

Politik för permanenta upptag av koldioxid

Mathias Fridahl och Ashley Almqvist-Ingersoll

Sammanfattning

Rapporten visar att permanenta upptag av koldioxid (framför allt från biomassa med koldioxidinfångning och -lagring, bio-CCS, men även biokol och på sikt direktinfångning från atmosfären, DACCS) sannolikt behövs som komplement för att nå klimatmål, eftersom utsläppsminskningar går för långsamt och naturliga kolsänkor försvagats. I scenarier för Parisavtalet, EU och Sverige antas betydande mängder permanenta upptag, men tydlig målstyrning saknas. Potentialen i Sverige bedöms som hög, särskilt för bio-CCS: studier anger upp till cirka 30 miljoner ton koldioxid (Mt CO₂) per år runt 2045. För biokol bedöms teknisk potential överstiga 1 Mt CO₂/år, medan underlaget för DACCS är svagt och ofta pekar på låg potential. Samtidigt finns stora hinder för realisering, där det viktigaste är brist på kostnadstäckning och hög investeringsrisk.

Kostnaderna är höga och osäkra: ungefär från 1 000 till 15 000 kr/ton CO₂. Biokol och bio-CCS kan vara billigare i gynnsamma fall (till exempel vid produktion av etanol eller biogas), medan DACCS bedöms dyrast (>5 000 kr/ton CO₂). I dagsläget är permanenta upptag ofta dyrare än prissignaler som koldioxidskatt och pris på utsläppsrätter i EU:s system för handel med utsläpp (ETS), men kan bli kostnadseffektiva lösningar när marginalkostnaden för utsläppsminskningar stiger.

Rapporten bedömer att dagens politik inte räcker för att realisera de volymer som krävs för att nå olika klimatmål. Sverige ligger relativt långt fram med omvända auktioner för bio-CCS, stöd via Industriklivet och Klimatklivet samt bilaterala avtal som möjliggör export av CO₂ till Norge och Danmark. På EU-nivå har bland annat certifiering av permanenta upptag utvecklats och mål satts för injektionskapacitet för lagring. Styrmedlen saknar dock förmåga att skapa långsiktig efterfrågan på permanenta upptag. En trolig utveckling är att permanenta upptag på sikt integreras i ETS, men ETS-priset kommer sannolikt inte ensamt räcka till för att bygga kapacitet i tillräckligt god tid. Kompletterande lösningar behövs antagligen, och ETS-integreringen måste säkerställa att incitamenten till att minska utsläpp inte urholkas.

Rekommendationerna är att Sverige: 1) inför indikativa mål och målbana för permanenta upptag till 2045, 2) beslutar en bioekonomi- och koldioxidstrategi (inklusive rollfördelning CCS/CCU och biomassa), 3) utvecklar nationella bokföringsregler för bio-CCS, DACCS och biokol som kompletterande åtgärder, 4) fortsätter utveckla nationella styrmedel parallellt med EU och anpassar dem när EU:s ramverk klarnar, 5) agerar proaktivt i EU-processen 2026, eftersom kommande EU-regler kan bli avgörande för realisering av svensk potential och måluppfyllelse.

Innehåll

1	Introduktion	3
1.1	Tekniker som inkluderas i analysen	3
1.2	Bokföringspraktik som utgångspunkt	4
2	Permanent upptag i befintliga klimatmål	6
2.1	Parisavtalet.....	6
2.2	Europeiska unionen	7
2.3	Sverige	10
3	Svensk potential för permanent upptag	16
3.1	Bio-CCS	16
3.2	Biokol	19
3.3	Direktinfångning och lagring av koldioxid, DACCS.....	20
3.4	Åtgärdskostnader	21
3.5	Risker, målkonflikter, synergier och acceptans	22
4	Sveriges politik för permanent upptag	25
4.1	Bio-CCS i Industriklivet	25
4.2	Omvända auktioner för bio-CCS	27
4.3	Biokol i Klimatklivet	27
4.4	Avtal om gränsöverskridande koldioxidexport	29
5	EU:s politik för att främja permanent upptag	30
5.1	Innovationsfonden och andra finansieringsprogram	30
5.2	EU-ram för certifiering av permanent upptag	30
5.3	Definition av permanent upptag.....	32
5.4	Utökade initiativ för finansiering av upptag	32
5.5	Utsläppshandel för finansiering bortom 2030	33
5.6	Klimatanspråk och kompensationsmöjligheter	33
5.7	Utbyggd injektionskapacitet genom industrilagstiftning	34
6	Andra länders politik för permanent upptag	35
6.1	Danmark.....	35
6.2	Norge	36
6.3	Nederländerna	38
6.4	Tyskland	39
6.5	Storbritannien.....	40
6.6	USA.....	42
7	Utveckling av nya styrmedel	45
7.1	Principer för vägledning av styrmedelsutveckling	45
7.2	Integrering i EU:s handelsdirektiv, ETS 1.....	47
7.3	Politik som kompletterar prissignalen i ETS 1	48
7.4	Integrering av permanent upptag i andra rättsakter	51
7.5	En strategi för användning av biomassa och koldioxid	52
8	Slutsatser	55
8.1	Potentialbedömningar och hinder för realisering.....	55
8.2	Permanent upptag i befintlig målstyrning	56
8.3	Existerande politik för att främja permanent upptag	57
8.4	Luckor i befintlig sammansättning av styrmedel.....	57
8.5	Rekommendationer för politikutveckling	58
9	Referenser.....	60

1 Introduktion

I takt med att klimatmål i allt högre grad gått från att fokusera på brutto- till nettoutsläpp har fokus på upptag av växthusgaser ökat. Nettoutsläppsmål handlar både om att minska utsläpp och öka upptag av växthusgaser. Upptag har traditionellt skett främst inom markanvändning, exempelvis inom skogs- och jordbruk. Eftersom utsläppen minskat i för långsam takt och eftersom nettosänkan i mark och skog försvagats har intresset för nya tekniker som åstadkommer upptag ökat. Dessa tekniker kan skapa både tillfälliga och permanenta upptag.

Tekniker som åstadkommer permanenta upptag av växthusgaser kommer troligtvis behövas som ett viktigt komplement till andra upptag, för att kompensera kvarvarande utsläpp inom vissa sektorer samt för att åstadkomma negativa nettoutsläpp på sikt. Kommersialiseringen av teknikerna är dock i sin linda och det saknas ett heltäckande regelverk för att hantera permanenta upptag. Klimatpolitiska rådet har därför uttryckt intresse för en fördjupning kring dessa tekniker, deras bidrag till klimatmålen och politiken för att realisera teknikerna.

Denna rapport bidrar med underlag till fördjupningen. Rapporten sammanställer existerande potentialbedömningar för permanenta upptag i svenskt territorium, diskuterar hinder för realisering av potentialerna, kartlägger vilken roll permanenta upptag har i befintlig målstyrning liksom de styrmedel och regelverk som påverkar realiseringen av permanenta upptag, samt diskuterar vilka luckor som finns i befintlig styrmedelsmix och hur dessa luckor skulle kunna stängas. Syftet med rapporten är att måla den breda översiktsskildern.

För att möjliggöra analysen begränsas fokus till de tre mest centrala teknikerna för permanenta upptag i det svenska klimatpolitiska ramverket: Avskiljning och lagring av biogen koldioxid (bio-CCS), direktinfångning och lagring av atmosfärisk koldioxid (DACCS) och biokol.

1.1 Tekniker som inkluderas i analysen

Bio-CCS (vanligen också förkortat BECCS): Koldioxidavskiljning appliceras vid en punktkälla av biogena koldioxidutsläpp, exempelvis vid förbränning av biomassa för att producera el, värme eller pappersprodukter, eller vid rötning och jäsning för produktion av etanol och biogas. Den avskilda koldioxiden transporteras och lagras sedan permanent, i normala fall i geologiska formationer, oftast under havsbotten men lagring under mark på land förekommer också.

DACCS: Direktinfångning och lagring av atmosfärisk koldioxid. Avskiljningen av koldioxid från luft görs genom kemiska lösningar eller fasta material. Lagringen sker på samma sätt som för bio-CCS.

Biokol: Skapas genom att upphetta organiskt material under syrefattiga förhållanden. Det stabila biokolet som bildas innehåller kol vilket lagras i marken när det används som jordförbättringsmedel. Biokol har också andra positiva egenskaper, exempelvis förbättrad jordhälsa, ökad torktålighet i jordbruk och minskat näringsläckage.

Permanensen för biokols kollagringseffekter diskuteras i vetenskaplig litteratur (från hundra år till tusentals).

Bio-CCS och DACCS brukar ofta diskuteras tillsammans med CCS-teknologi applicerad på fossila källor av koldioxid samt i kontext av infångning och användning av koldioxid (CCU). Överlapp finns men det finns också betydelsefulla skillnader. CCS som appliceras på fossila utsläpp innebär att utsläppen minskas. Den andel fossila koldioxidmolekyler som avskiljs och lagras når aldrig atmosfären och ska därför inte rapporteras som utsläpp, men de får heller inte rapporteras som ett negativt utsläpp – det vill säga ett upptag – eftersom de inte bidragit till att städa bort koldioxid från atmosfären. CCU som appliceras på fossil koldioxid innebär att utsläpp fördröjs, i vissa fall på så långa tidsskalor att koldioxiden kan beskrivas som relativt stabilt lagrad och då inte ska rapporteras som ett utsläpp. CCU som istället appliceras på biogen koldioxid innebär att tillfälliga negativa utsläpp kan rapporteras (om lagret är stabilt i mer än ett år), men att koldioxiden som bundits återgår till atmosfären efter viss tidsfördröjning, vid normal användning av produkten. I dessa fall uppstår ett temporärt upptag som balanseras till ett nollutsläpp vid fördröjd oxidering av produkten (Smith et al. 2024).

	DACCS	Bio-CCS	Biokol
Källa till infångad koldioxid	Koldioxid i luften	Koldioxid som bundits i biomassa och som frigörs exempelvis vid produktion av el, värme, biobränslen och pappersprodukter	Koldioxid som bundits i biomassa
Teknik	Avskiljning genom kemisk absorption med aminer	Avskiljning genom kemisk absorption: aminer, kaliumkarbonat	Stabilisering av kol i biomassa genom pyrolys (uppvärmning i syrefattig miljö)
Lagringsdepå	Geologisk formation	Geologisk formation	Tillförset till jord

Figur 1. Översikt av de tre tekniker som omfattas av analysen i denna rapport. Beskrivningen utgår från typexempel; alternativ teknik för avskiljning och lagring förekommer.

1.2 Bokföringspraktik som utgångspunkt

Rapporten utgår från den vägledning för bokföring av utsläpp och upptag i nationella utsläppsregister som utvecklas av FN:s klimatpanel (IPCC). Det innebär att DACCS, bio-CCS och biokol ska förstås som sänkor vilka ger upphov till upptag av koldioxid och därför ska rapporteras som negativa utsläpp.

Exemplet bio-CCS är i denna kontext klargörande: De upptag av koldioxid som uppstår i samband med tillväxt av biomassa, samt de utsläpp som uppstår i samband med skörd, rapporteras i markanvändningssektorn för biomassan och i energisektorn för arbetsmaskiner. Utsläpp som uppstår i samband med förädling och transport

av biobränsle, drift av avskiljningsanläggningen, samt komprimering, transport och slutförvaring av koldioxid rapporteras i olika delar av industri- eller energisektorn. Samtliga utsläpp och upptag förknippade med bio-CCS rapporteras alltså i nationella utsläppsregister. Att utsläppen från skörd av biomassa rapporteras inom markanvändningssektorn innebär att de inte ska rapporteras en gång till i samband med användning av biomassa, exempelvis vid förbränning för att producera el.

Utsläppsregistren speglar ganska väl utsläpp vid källor och upptag vid sänkor, men registren lämpar sig inte för att förstå systemdynamik, exempelvis att spåra kopplingar mellan utsläpp vid en källa och efterfrågan på en produkt i en komplex värdekedja. Det går exempelvis inte att använda registren för att analysera om offentligt stöd till bio-CCS eller privat efterfrågan på upptagskrediter från bio-CCS ökar efterfrågan på biomassa i kraftindustrin och skapar undanträngningseffekter i andra sektorer som är viktiga för klimatomställningen. Undanträngning kan ske genom att minska tillgången till biomassa för alternativa ändamål, som att producera bränslen till flygtrafik och sjöfart. Undanträngning kan också exempelvis handla om alternativ användning av el för drift av bio-CCS, som exempelvis skulle kunna användas för att substituera fossila bränslen inom transportsektorn eller i industrin.

Både livscykelanalyser och analyser av långsiktiga, dynamiska effekter av en storskalig utrullning av tekniker för permanenta upptag är viktiga. Sådana analyser ligger dock utanför de resursramar som finns tillgängliga för denna rapport. Rapporten utgår därför från ett snävt bokföringsperspektiv, utan analys av möjliga dynamiska effekter i bioekonomin eller konsekvenser för utsläpp och upptag inom markanvändning. Potentiella systemeffekter diskuteras dock i relevanta avsnitt, för att kvalitativt belysa komplexiteten i att bedöma klimatnyttan av permanenta upptag i ett dynamiskt och komplext system i skärningspunkten mellan klimatförändring, politik och ekonomi.

Den snäva utgångspunkten för analys är rimlig eftersom skalan på permanenta upptag i dagsläget är väldigt liten. Dagens svenska industri- och energianläggningar är i huvudsak konstruerade för att producera varor för avsättning på etablerade marknader, inte för att generera permanenta upptag. Det betyder att anläggningen drivs av andra skäl än att kunna generera och rapportera negativa utsläpp. Det kan exempelvis handla om produktion av pappersmassa, papper, biogas, etanol, el eller värme. Ökad användning av biomassa i Sverige drivs därför inte, i någon större omfattning, av efterfrågan på negativa utsläpp. Att den svenska bioekonomin växt beror framförallt på att Sverige och EU drivit en aktiv politik för att öka konkurrenskraften för förnyelsebar bioenergi i syfte att, av energisäkerhets- och klimatskäl, minska efterfrågan på fossila bränslen. Det gäller inte minst bio-CCS, men liknande resonemang kan föras också om biokol, där det framför allt har varit andra nyttor än kolsänkan som drivit upp efterfrågan. För DACCS är förutsättningarna delvis anorlunda eftersom teknikens primära produkt är negativa utsläpp. DACCS tillämpas alltså inte för att producera varor där negativa utsläpp kan kopplas på som en sidonytta eller kompletterande affärsmöjlighet.

I framtiden, om skalan på permanenta upptag ökar, kan också vikten av att utveckla nya scenarier för att exempelvis analysera potentiella målkonflikter, alternativ användning av insatsvaror och möjligheter att använda infångad koldioxid för andra klimatändamål än negativa utsläpp geologisk lagring.

2 Permanenta upptag i befintliga klimatmål

Permanent upptag av koldioxid finns med i internationella, europeiska och svenska scenarier för hur klimatmålen ska nås. Över tid har dessa upptag ökat i scenarierna till följd av uteblivna utsläppsminskningar och av att naturliga kolsänkor har försvagats, bland annat till följd av klimatförändringar.

2.1 Parisavtalet

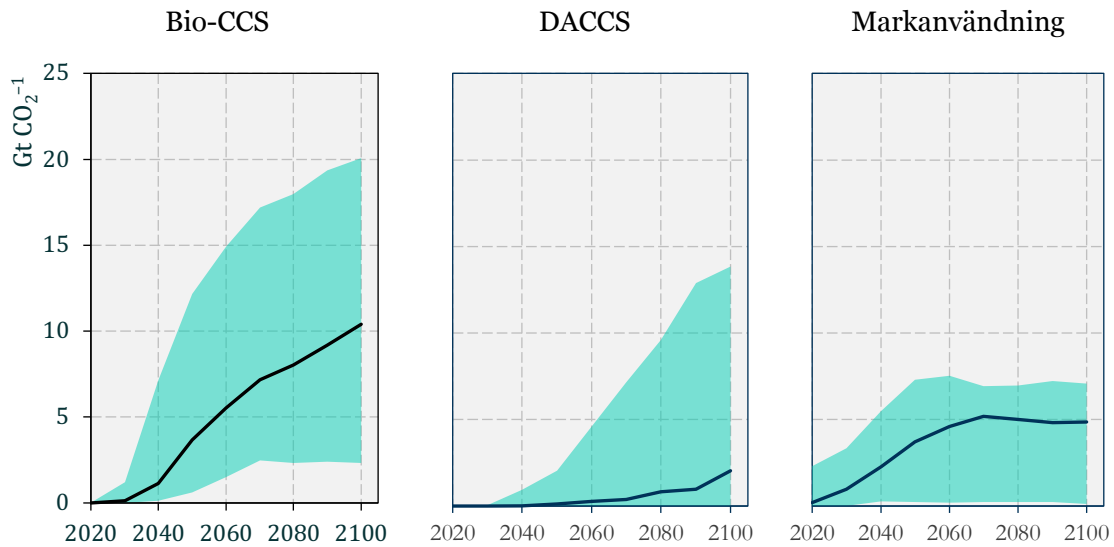
Parisavtalets temperaturmål antogs 2015 och innebär att uppvärmningen ska hållas väl under 2 °C jämfört med förindustriell nivå och att världens länder ska sträva efter att begränsa uppvärmningen till 1,5 °C (UN 2015: Artikel 2.1a). Enligt Internationella domstolen i Haag (ICJ 2025) bör 1,5-gradersmålet – bland annat som en effekt av de beslut som fattats av partskonferensen till Klimatkonventionen och Parisavtalet efter det att Parisavtalet antogs – förstås som lagligt bindande.

Parisavtalet specificerar inte en konkret utsläppsbana för hur temperaturmålet ska nås, men Artikel 4.1 betonar behovet av att utsläppen av växthusgaser kulminerar så fort som möjligt för att därefter minska i snabb takt. Under andra halvan av århundradet ska all alla växthusgasutsläpp från källor balanseras med motsvarande upptag genom sänkor.

IPCC sammanställer regelbundet vetenskapen om möjliga utvecklingsbanor som är kompatibla med olika temperaturmål. Dessa scenarier har framställts med integrerade bedömningsmodeller som optimerar tekniska och ekonomiska utvecklingsbanor för olika temperaturmål. I IPCC:s sjätte syntesrapport (IPCC 2023) innehåller i princip alla scenarierna för att begränsa den globala uppvärmningen till 1,5 °C en ansevärd mängd permanenta upptag. Storleken på permanenta upptag i scenarierna varierar kraftigt, bland annat beroende på hur stora utsläppsminskningar som bedöms kunna åstadkommas och hur nettoutsläppen inom skogar, jordbruk och övrig markanvändning utvecklas. Den ackumulerade volymen negativa utsläpp beror också på i vilken utsträckning scenarierna använder permanenta upptag för att trycka tillbaka uppvärmningen till 1,5 °C i slutet av århundradet, efter ett tillfälligt överskridande i perioden fram till 2100.

Även om omfattningen varierar är bio-CCS den absolut vanligaste tillämpning för att generera permanenta upptag i scenarierna. IPCC:s sjätte bedömningsrapport analyserar 230 publicerade scenarier som alla begränsar uppvärmningen till 1,5 °C. Bio-CCS ingår i teknikportföljen för 218 modellkörningar i vilka modellerna väljer att tillämpa bio-CCS i 213 scenarier. Med andra ord räknar modellerna till övervägande del med att bio-CCS är ett kostnadseffektivt sätt att nå Parisavtalets temperaturmål. Som jämförelse finns DACCS med i teknikportföljen för 70 modellkörningar och tillämpas i 50 scenarier. Biokol finns enbart med i portföljen för två körningar och tillämpas enbart i ett av dessa scenarier (Byers et al. 2022).

Figur 2 visar andelen permanenta upptag (bio-CCS, DACCS och biokol) i de av IPCC sammanställda scenarier som har minst 50 procents chans att begränsa den globala uppvärmningen till 1,5 °C år 2100. I många scenarier förväntas permanenta upptag genom bio-CCS rent av åstadkomma större negativa utsläpp än de nettoupptag som genereras av kolsänkor inom markanvändning.

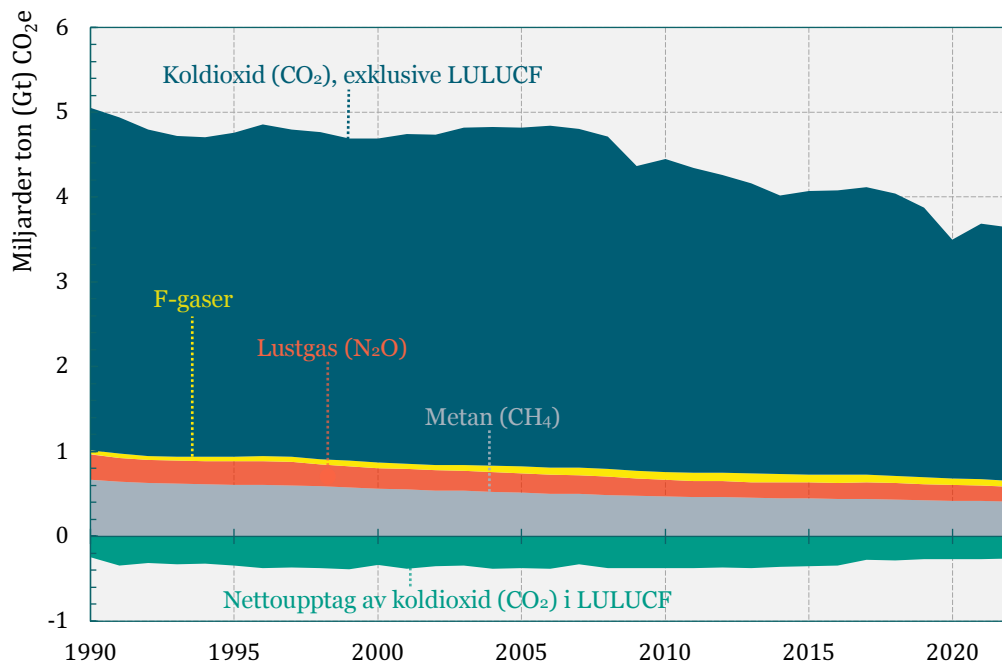


Figur 2. Antaganden om negativa utsläpp miljarder ton koldioxid per år ($Gt CO_2^{-1}$) i IPCC:s olika scenarier för att begränsa den globala uppvärmningen till 1,5 °C. Fälten visar intervallet mellan 5:e och 95:e percentilen medan linjen visar medianvärdet av scenarierna. Grafen över markanvändning visar upptag genom beskogning och annan kolinbindning i mark. Källa: Byers et al. (2022).

Parisavtalet reglerar alltså inte exakt vilka volymer permanenta upptag som ska genereras för att nå det globala temperaturmålet. Klart är dock att vetenskapen om hur målen kan nå räknar med att stora volymer både permanenta och mindre permanenta upptag kommer att tillämpas. Befintliga klimatmål på andra nivåer av styrning är något mer precisa.

2.2 Europeiska unionen

Inom EU:s klimatpolitiska struktur sätts separata mål för nettoupptag i markanvändning, förändrad markanvändning och skogsbruk (LULUCF). För att nå klimatmålet om att minska nettoutsläppen i EU med 55 procent till 2030, jämfört med 1990 års nivåer, ska EU:s medlemsstater se till att nettoupptaget av metan, lustgas och koldioxid i LULUCF uppgår till 310 miljoner ton koldioxidekvivalenter till 2030. Av dessa får 225 miljoner ton koldioxidekvivalenter användas för att uppnå 55-procentsmålet. I dagsläget är nettosänkan i LULUCF betydligt lägre (se Figur 3).

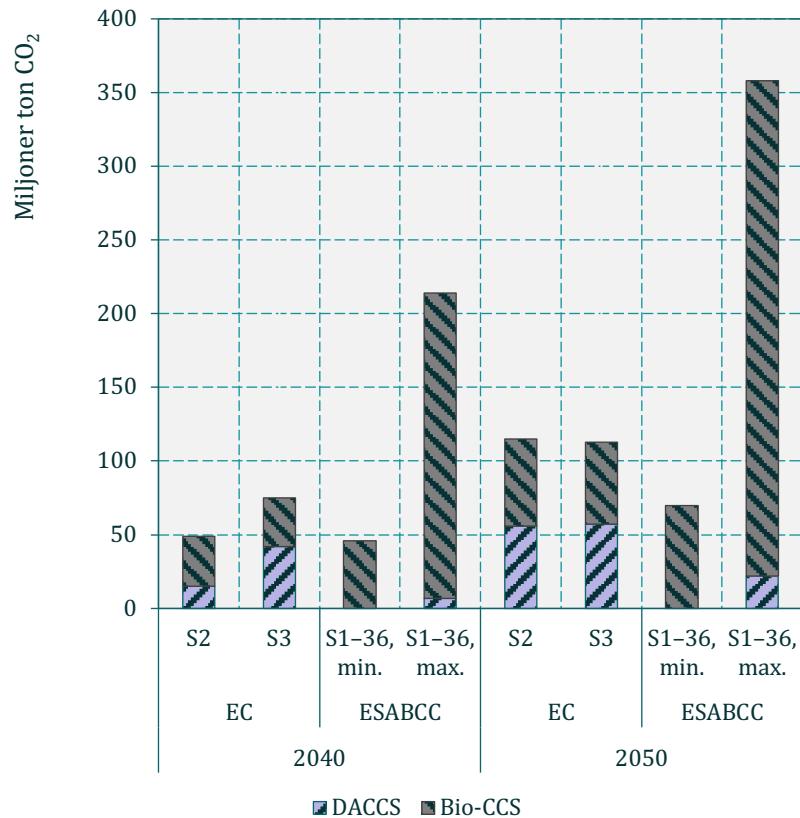


Figur 3. Nettoutsläpp av växthusgaser i territorierna för EU:s 27 medlemsstater och från internationella transporter, 1990–2022.

Inom EU finns alltså ett separat mål för nettosänkan i LULUCF, men det saknas ett liknande separat mål för permanenta upptag. Biokol kan visserligen användas för att uppnå nettoupptagsmålet i LULUCF, men varken bio-CCS eller DACCS omfattas av EU:s klimatpolitiska mål för 2030. Europeiska kommissionen har dock kommunicerat (EC 2021) en målsättning – ej lagligt bindande – att den europeiska industrisektorn ska fånga in och permanent lagra fem miljoner ton koldioxid år 2030. Sedan denna målsättning kommunicerades har EU dessutom förtydligat definitionen av permanenta upptag. I EU:s förordning om certifiering av permanenta kolupptag, kolinlagrande markanvändning och kollagring i produkter definieras ”permanent kolupptag” som ”varje metod eller process där atmosfäriskt eller biogent kol, under normala omständigheter och med lämpliga hanteringsmetoder, avskiljs och lagras i flera århundraden, inbegripet permanent kemiskt bunden kol i produkter, och som inte kombineras med ökad återvinning av kolväten” (EU 2024d: Artikel 2.9). Det rör sig alltså både om lagring i geologiska formationer som utesluter utökad gas- och oljeutvinning och om lagring i långlivade produkter, exempelvis stabila former av biokol. EU har dessutom satt upp ett bindande mål om årlig kapacitet att injicera 50 miljoner ton koldioxid i geologiska lagringsformationer till år 2030 (NZIA). Målet exkluderar utökad utvinning av kolväten och ansvar för att utöka kapaciteten allokeras till aktörer som utvinner olja och gas inom EU (EU 2024e). Även om kapacitetsmålet inte är ett explicit mål om att också fullt ut utnyttja kapaciteten för lagring nämns målet ofta i anslutning till diskussioner om både bio-CCS och DACCS, jämte CCS på källor till fossil koldioxid.

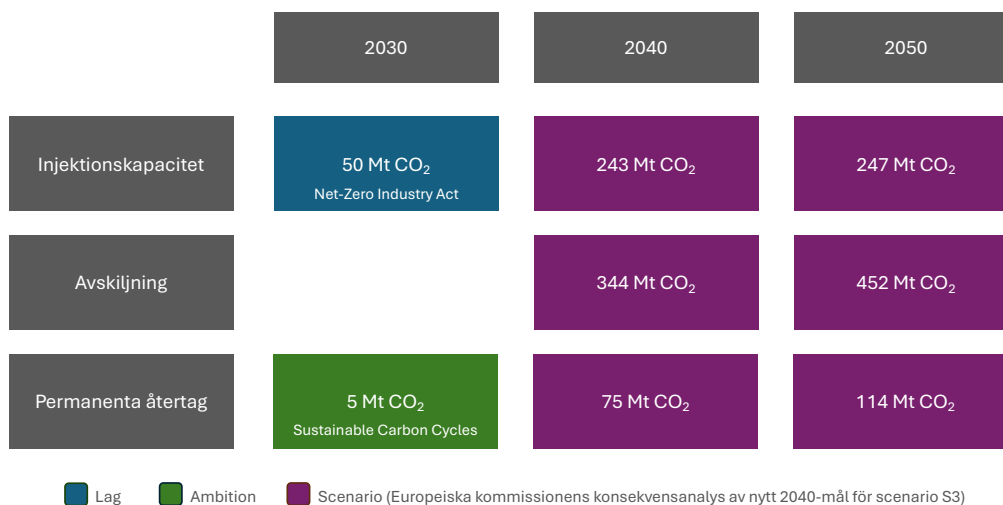
Jämte målsättningar och reglering av permanenta upptag till 2030 finns permanenta upptag med i både Europeiska kommissionens (EC 2025f) och EU:s

klimatekonomiska rådets (ESABCC 2023) scenarier för att nå EU:s klimatmål till 2040 och 2050. I Figur 4 visas permanenta upptag från bio-CCS och DACCS i EU:s scenarier.



Figur 4. Permanenta upptag i respektive institutions scenarier som når det föreslagna 2040-målet och målet om klimatneutralitet till 2050. Europeiska kommissionens (EC) scenario S2 leder till nettoutsläppsminskningar på runt 88 procent 2040 jämfört med 1990, S3 resulterar i nettoutsläppsminskningar på runt 92 procent. EU:s klimatvetenskapliga råds (ESABCC) 36 scenarier representerar en större spridning av nettoutsläppsminskningar till 2040. Diagrammet visar spridningen av permanenta upptag från mini- till maximumnivåer i ESABCC:s scenarier. Alla scenarier resulterar i klimatneutralitet för EU år 2050. Källor: EC (2025f) och ESABCC (2025b, 2023).

Som jämförelse kan sägas att EU:s totala utsläpp av växthusgaser år 1990 uppgick till cirka 5 000 miljoner ton koldioxidekvivalenter och år 2023 till ungefär 3 400 miljoner ton koldioxidekvivalenter. I scenarierna för 2040 och 2050 är det tydligt att både Europeiska kommissionen och EU:s klimatvetenskapliga råd ser framför sig att merparten av de permanenta upptagen bör ske genom bio-CCS med ett stort till måttligt inslag av DACCS. Det är viktigt att notera att EU-institutionernas bedömningar begränsats till vad som anses vara ett hållbart uttag av biomassa, men också teknisk mognad och kostnader. I Figur 5 presenteras en översiktsbild av permanenta upptag i EU-politiken.



Figur 5. Lag, ambition och modellerat scenario för olika parametrar av vikt för permanenta upptag i EU.

2.3 Sverige

2.3.1 Klimatmål med kompletterande åtgärder

Sveriges långsiktiga klimatmål om noll nettoutsläpp av växthusgaser till 2045 inkluderar separata mål för minskade utsläpp och för kompletterande åtgärder. De territoriella utsläppen ska minska med minst 85 procent jämfört med 1990. Vid beräkning av de territoriella utsläppen exkluderas utsläpp och upptag från LULUCF (Sveriges regering 2025b). Det innebär att utsläppen ska gå från 71,2 miljoner ton koldioxidekvivalenter 1990 till maximalt 10,7 miljoner ton koldioxidekvivalenter 2045. De återstående utsläppen får balanseras genom kompletterande åtgärder vilka alltså maximalt får uppgå till 10,7 miljoner ton. Regeringen har i sin klimathandlingsplan satt ett något högre mål för kompletterande åtgärder på minst 11,5 miljoner ton till 2045 (Sveriges regering 2025c). Om detta mål uppfylls kommer 93 procent, 10,7 av 11,5 miljoner ton kompletterande åtgärder, kunna räknas av mot det svenska klimatmålet.

Enligt det svenska klimatpolitiska ramverket (Sveriges regering 2025b), inramningen till Sveriges klimatlag (SFS 2017), kan kompletterande åtgärder ”till exempel vara ökat upptag av koldioxid i mark och skog, avskiljning och lagring av biogen koldioxid eller åtgärder i andra länder.” Vid tiden för antagandet av det klimatpolitiska ramverket, 2017, beskrevs bio-CCS som en kompletterande åtgärd. Dessutom listades ”sammantaget ökade nettoupptag” inom LULUCF samt ”verifierade utsläppsminskningar i enlighet med internationella regelverk” (SOU 2016b: sid. 46) om utsläppsminskningarna uppnåtts genom ”investeringar i andra länder” (SOU 2016a: sid. 365).

Vilka åtgärder som i övrigt kan klassas som kompletterande framgår inte av Miljömålsberedningens betänkanden från 2016 (SOU 2016a, 2016b), klimatlagen (SFS 2017) eller det klimatpolitiska ramverket (Sveriges regering 2016). Klimatpolitiska vägvalsutredningens betänkande *Vägen till en klimatpositiv framtid* beskrev att ”vad som får räknas som en kompletterande åtgärd är underställt kommande regeringars

bedömning och att en teknik för att åstadkomma negativa utsläpp inte automatiskt är en kompletterande åtgärd” (SOU 2020: sid. 145). Utredningen ansåg också att biokol ”bör kunna bidra till långvarig kolinlagring” (sid. 663) i Sverige. Biokol bör enligt IPCC:s metodvägledning för rapportering av utsläpp och upptag i nationella växthusgasinventarier (IPCC 2019) primärt bokföras inom markanvändning. Eftersom viss andel av biokol – beroende på råvara, parametrar i pyrolysisprocessen och jordförhållanden – lagras stabilt i jorden på tidskalor som överskrider hundratals år faller tekniken inom ramen för EU:s definition av permanenta upptag. Det är därför rimligt att biokol kan klassas som en kompletterande åtgärd, förutsatt att tekniken bidrar till ”sammantaget ökade nettoupptag” inom LULUCF. IPCC:s vägledning ger också skäl till att bedöma DACCS som en potentiell kompletterande åtgärd, även om Klimatpolitiska vägvalsutredningen bedömer att tekniken är energikrävande och dyr.

Miljömålsberedningens betänkande *Sveriges nationella klimatmål – uppdaterat etappmål till 2030* (SOU 2025) bekräftar dessa bedömningar. I betänkandet föreslås att ”relevanta myndigheter får i uppdrag att lägga förslag på bokföringsregler för ytterligare kompletterande åtgärder” (sid. 14), inklusive både biokol och DACCS. Eftersom Miljömålsberedningen är en parlamentarisk utredning är det rimligt att anta att riksdagen kommer ställa sig bakom att biokol och DACCS får räknas som kompletterande åtgärder, jämte bio-CCS, även om det i dagsläget (i mitten av mars 2023) regeringen fortfarande inte presenterat en proposition baserat på utredningens betänkande.

2.3.2 Separat mål för permanenta upptag saknas

Även om permanenta upptag alltså omfattas av Sveriges klimatlagstiftning saknas det ett tydligt siffersett mål för dessa upptag. Det klimatpolitiska ramverket har integrerat separata mål för utsläpp och för kompletterande åtgärder (på vardera maximalt 10,7 miljoner ton koldioxidekvivalenter år 2045). Eftersom kompletterande åtgärder också omfattar aktiviteter som sammantaget ökar kolsänkan i LULUCF samt internationella klimatinsatser går det inte att säga hur stor andel som kommer utgöras av permanenta upptag.

På så vis liknar Sveriges klimatmål både EU:s och FN:s; att minska utsläpp prioriteras framför att öka upptag, men efter att utsläppen minskat radikalt antas både nettoupptag i LULUCF-sektorn och permanenta upptag i andra sektorer kunna utgöra en betydande andel av måluppfyllelsen. Precis som inom FN och EU indikeras andelen permanenta upptag i utsläppsscenarioer, utan att för den skull definiera exakta volymer i bindande mål.

De målskenarier som ligger till grund för Sveriges klimatlag togs fram i samband med Miljömålsberedningens arbete runt 2016, vilka uppdaterades av Naturvårdsverket 2021 (NV 2021a). De nya målskenarierna för att minska utsläppen till 2045 hamnar på ungefär samma nivå som de gamla (10,7 miljoner ton). Som exempel kan nämnas det nya målskenario där utsläppen från inrikes transporter minskar med 70 procent till 2030 jämfört med transportutsläppen 2005 – det vill säga ett scenario som uppfyller sektorsmålet för inrikes transporter 2030 – i vilket det bedöms att utsläppen 2045 kommer vara cirka 1 miljon ton lägre (9,7 miljoner ton) än i det gamla målskenariot från 2016 (10,7 miljoner ton). De uppdaterade målskenarierna avseende utsläppen 2045 ligger alltså ungefär i linje med det gamla från 2016.

Däremot minskar utsläppen snabbare i de nya scenarierna jämfört med det gamla. Det beror inte minst på uppdaterade antaganden om teknikgenombrott i gruv- och metallindustrin. Att utsläppen minskar snabbare får stor betydelse för hur stora volymer ackumulerade kompletterande åtgärder som krävs i perioden fram till 2045. I de gamla och de nya scenarierna krävs i princip samma volymer kompletterande åtgärder vid mållåret 2045, men de uppdaterade scenarierna innehåller betydligt lägre ackumulerade volym kompletterande åtgärder i perioden 2030 till 2040. Det gör att antaganden om hastigheten i att rulla ut teknik för permanenta upptag till viss del kan sänkas. Däremot förutsätter scenarierna fortfarande att en stor kapacitet för permanenta upptag byggs upp till år 2045. Om efterfrågan på kompletterande åtgärder 2045 primärt ska tillgodoses av tekniker för permanenta upptag kommer det krävas en successiv utbyggnad av kapaciteten för att skapa förutsättningar för att generera dessa negativa utsläpp.

Denna successiva kapacitetssupplegning finns representerad i Naturvårdsverkets uppdaterade målscenarier (NV 2021a) genom en målbana för kompletterande åtgärder. Målbanan är i sin tur hämtad från Klimatpolitiska vägvalsutredningen, vilken inkluderar relativt stora volymer bio-CCS. Utredningens förslag till huvudstrategi inkluderade bio-CCS motsvarande 1,8 miljoner ton koldioxid 2030, vilket uppgick till 49 procent av hela utrymmet för kompletterande åtgärder år 2030 med den beräkningsmetod för etappmål som var beslutad vid tidpunkten för utredningens genomförande. För 2045 ansåg utredningen att osäkerheterna var för betydande för att precisera ett huvudalternativ. Förslaget till strategi inriktades på att tillämpa bio-CCS motsvarande minst 3 miljoner ton koldioxid 2045, med potential att nå upp till 10 miljoner ton. Det motsvarar 28 till 94 procent av utrymmet för kompletterande åtgärder 2045. Biokol föreslås också kunna bidra till måluppfyllelse, om än i mindre utsträckning. DACCS förutspås ha en för hög åtgärds kostnad för att kunna konkurrera med andra kompletterande åtgärder i hela åtagandeperioden och föreslås därför inte kunna bidra till att uppfylla målet (SOU 2020).

2.3.3 Flexibilitet kan öka kostnadseffektiviteten men försvaga målstyrningen

Att det svenska klimatpolitiska ramverket kategoriserar permanenta upptag som en kompletterande åtgärd tillsammans med verifierade internationella klimatinsatser skapar en stor flexibilitet i hur klimatmålen kan nås. Med hög flexibilitet ökar generellt möjligheterna att nå klimatmålen till en lägre kostnad jämfört med politik med låg flexibilitet i handlingsutrymmet för att nå mål. Samtidigt skapar den stora flexibiliteten en otydligare målstyrning och därmed sämre förutsättningar för investeringar. För att skapa trygghet för investerare rekommenderar EU:s klimatråd ESABCC (2025a) att EU definierar tydliga separata mål för utsläppsminskning, upptag i LULUCF-sektorn och för permanenta upptag genom bio-CCS och DACCS. Sverige har som sagt separata EU-åtagande för nettoupptag i LULUCF-sektorn fram till och med 2030, ett EU-åtagande och ett nationellt mål för utsläppsminskning i ESR-sektorn till och med 2030, samt nationella mål för utsläppsminskning i ESR-sektorn till 2040 och för nettoutsäpp i hela ekonomin till 2045. Det är också troligt att Sverige kommer få ett LULUCF-beting, eller motsvarande, av EU i perioden 2031 till 2040. Därtill kommer separata mål för kompletterande åtgärder 2030, 2040 och 2045. Det saknas dock tydlighet i målbanan för perioden 2041 till 2045 och

ESABCC:s rekommendation till EU – att också anta separata mål för permanenta CCS-baserade permanenta upptag – motsvaras inte heller av separat mål på nationell nivå.

Riksrevisionen har kritiserat Sveriges regering för bristande målstyrning av Sveriges internationella klimatinsatser. I sin granskningsrapport *Internationella klimatinsatser – otydliga mål och osäkra utfall* (RiR 2025) menar Riksrevisionen att effektiviteten i målstyrningen kan öka och rekommenderar regeringen att överväga ”att sätta kvantitativa mål för förvärv av utsläppskrediter i förhållande till klimatmålet 2045 och etappmålen 2030 och 2040” (sid. 58). Indirekt innebär en ökad tydlighet i mål för Sveriges förvärv av utsläppskrediter också ökad tydlighet relativt övriga kompletterande åtgärder. Eftersom permanenta upptag saknar separat mål är det dessutom troligt att Riksrevisionen, i en granskning av regeringens politik för permanenta upptag, skulle landa i en liknande slutsats om brister i målstyrningen.

Riksrevisionens kritik av regeringens målstyrning av internationella klimatinsatser och ESABCC:s rekommendation att sätta separata mål för permanenta CCS-relaterade upptag i EU kan överföras till kompletterande åtgärder genom permanenta upptag i de nationella klimatmålen i Sverige.

ESABCC (2023, 2025b) menar dessutom att EU av rättviseskäl bör undvika att nyttja internationella klimatinsatser för att nå EU:s klimatmål. Med utgångspunkt i Parisavtalets principer för ansvarsfördelning menar ESABCC att utsläppen i EU:s territorium bör minska med minst 90 till 95 procent till 2040 och att internationella klimatinsatser bör reserveras för att minska klyftan mellan en realistiskt genomförbar minskning av nettoutsläppen i EU och EU:s rättmätiga andel av den globala utsläppsbudgeten för att begränsa uppvärmningen till 1,5 °C. Denna rekommendation till EU ligger i linje med Klimatpolitiska vägvalsutredningens rekommendation om en svensk strategi för negativa utsläpp (SOU 2020). Utredningen menade att internationella klimatinsatser framförallt bör reserveras för att bidra till internationella löften om klimatfinansiering. Endast i undantagsfall, i händelse att planerade insatser för permanenta upptag och sammantaget ökade upptag i LULUCF-sektorn misslyckas, bör krediter förvärvade genom internationella klimatinsatser användas för att uppfylla nationella klimatmål. Både ESABCC:s råd till EU och Klimatpolitiska vägvalsutredningens råd till Sveriges regering pekar alltså i en tydlig riktning: återstående utsläpp i ekonomin vid tidpunkten för målet om noll nettoutsläpp bör primärt balanseras genom upptag i det egna territoriet, inte genom internationella klimatinsatser.

För etappmålen 2030 och 2040, som med sitt fokus på ESR-sektorn enbart täcker en delmängd av Sveriges territoriella utsläpp, tillåts en relativt begränsad mängd kompletterande åtgärder jämfört med 2045-målet som omfattar hela ekonomin. I Miljömålsberedningens förslag till reviderat etappmål för 2030 får kompletterande åtgärder nyttjas upp till 4,3 miljoner ton, motsvarande 10 procent av ESR-utsläppen år 2005 (SOU 2025). Miljömålsberedningen föreslår också att fler aktiviteter läggs till listan av kända kompletterande åtgärder för etappmålet 2030. Utöver bio-CCS föreslås, som beskrivits ovan, att även biokol och DACCS ska räknas som kompletterande åtgärder. Listan över verifierade utsläppsminskningar genom investeringar i andra länder föreslås också utökas, från Artikel 6 i Parisavtalet till att även omfatta delar av den flexibilitet som är tillåten inom ESR. Förslaget innebär att köp av

utsläppsutrymme inom ESR, från andra medlemsstater, också kan räknas som kompletterande åtgärd. Dessutom föreslås att listan utökas med möjligheten att undanhålla en begränsad mängd utsläppsrätter från auktionering inom EU:s utsläppshandelssystem (ETS 1). Sverige tillhör en av nio medlemsstater, med höga åtaganden i ESR-sektorn, som har möjlighet att nyttja denna typ av flexibilitet för att nå sitt ESR-åtagande till 2030. I perioden 2025 till 2030 får Sverige årligen överföra knappt 0,9 miljoner ton koldioxidekvivalenter från ETS 1 till ESR (motsvarande två procent av Sveriges utsläpp i ESR-sektorn 2005). Att bokföra dessa flexibla mekanismer som kompletterande åtgärder får enligt förslaget dock enbart göras om de förvärvade enheterna inte samtidigt används för att uppfylla Sveriges ESR-åtagande eller andra mål inom eller utanför Sverige (SOU 2025: sid. 64). Slutligen föreslår Miljömålsberedningen också att utsläppsrätter som förvärvas och annulleras av Energimyndigheten kan bokföras som kompletterande åtgärd. Det förutsätter dock, enligt förslaget, att det sker ”vid tillfällen då det går att säkerställa att annullering av dessa utsläppsrätter inte skulle ha skett ändå genom de automatiska mekanismer för marknadsstabilitet som finns i EU ETS” (sid. 64).

Att på den korta tid som återstår till 2030 kunna bygga upp en kumulativ volym kompletterande åtgärder som ligger i linje med en målbana för hela perioden 2021–2030 är mycket utmanande. Politik som skapar incitament för kompletterande åtgärder skulle, om de genomförs brådskande, öka möjligheterna till att bygga upp en sådan volym. Att nå upp till de 4,3 miljoner ton koldioxidekvivalenter år 2030, som föreslås av Miljömålsberedningen, är fortfarande möjligt, om än utmanande. Att nå upp till den kumulativa nivå kompletterande åtgärder som skulle krävas för en linjär målbana mellan 2021 och 2030, även om utgångspunkten 2021 sätts till 0 ton för att öka succesivt till 4,3 ton 2030, är betydligt mer utmanande. Det talar för en kraftigt accelererad takt i utsläppsminskning, för att minimera behovet av kompletterande åtgärder för etappmålet 2030.

Förutsatt att Miljömålsberedningens förslag genomförs har flexibiliteten i målstyrningen alltså ökat. Det ökar chanserna för stärkt kostnadseffektivitet i att nå målen. Samtidigt försvagas målstyrningen av den utökade flexibiliteten, vilket skapar risker förknippade med bristande investeringar i åtgärder som behövs för att målen ska uppnås.

2.3.4 Utökad flexibilitet men med begränsning av Parisavtalets Artikel 6

Förutom att utöka listan på kompletterande åtgärder genom internationella klimatsatser föreslår Miljömålsberedningen också att kompletterande åtgärder genom Parisavtalets Artikel 6 begränsas till maximalt 25 procent av det totala utrymmet för kompletterande åtgärder. Det innebär inte att utredningen föreslår ett tydligt volym-mål i linje med Riksrevisionens (RiR 2025) förslag, men begränsningen sätter ett övre tak för krediter förvärvade genom Artikel 6. I och med att listan på möjliga kompletterande åtgärder samtidigt föreslås expanderas med ytterligare flexibla mekanismer kopplade till EU:s klimatpolitiska rättsakter, både genom förvärv av utsläppsutrymme inom ESR och genom annullering av utsläppsrätter från ETS 1, skapar begränsningen av Artikel 6 ändå ingen indirekt tydlighet i målnivån för permanenta upptag. Dessutom är behovet av den totala volymen kompletterande åtgärder kopplat till hur snabbt utsläppen minskar i den svenska ekonomin. Om utsläppen minskar

mer än minimikravet på 85 procent till 2045, då minskar också behovet av kompletterande åtgärder för att nå målet. Med andra ord kvarstår en otydlighet i planeringen för hur stora volymer permanenta upptag som behövs inom ramen för kompletterande åtgärder. Osäkerheten begränsas dock av de ramar som ges för det maximala utrymmet kompletterande åtgärder i etappmålen och i det långsiktiga 2045-målet.

2.3.5 Ett indikativt mål för permanenta upptag med bibehållen flexibilitet

Sammanfattningsvis saknas konkretion av den volym permanenta upptag som bör eftersträvas. Detta är en brist eftersom tydliga mål ökar förutsägbarheten för investerare och skapar tydligare målstyrning för den nationella förvaltningen. Samtidigt innebär avsaknaden av separata mål för permanenta upptag en större flexibilitet i arbetet med att nå klimatmålen. Med ökad flexibilitet ökar i normalfallet också möjligheterna att nå målen till lägre kostnad. Fördelarna med ökad tydlighet i målstyrningen behöver alltså vägas mot nackdelar med ett begränsat handlingsutrymme.

Tydliga indikativa mål för den andel av kompletterande åtaganden som bör uppnås genom permanenta upptag skulle kunna utgöra en kompromiss mellan förbättrad målstyrning och bibehållen flexibilitet. Med indikativa mål och indikatorer för att följa upp progression skulle nationella myndigheter och investerare få en tydligare bild av politikens strategiska planering av den roll olika former av kompletterande åtgärder bör spela i av klimatomställningen. Samtidigt skulle politiken inte låsa nuvarande och kommande regeringar till en specifik utvecklingsbana. Om utvecklingen av permanenta upptag visar sig enklare eller svårare att genomföra än planerat kvarstår ett handlingsutrymme för justeringar.

I denna kontext är det viktigt att notera att det i Sverige saknas en bred strategi för bioekonomins utveckling och för den roll som infångad koldioxid kan spela inom bioekonomin, både som råvara till produkter och som potential för att skapa permanenta upptag. En sådan strategi bör utvecklas inom de ramar som sätts av Sveriges långsiktiga klimatpolitiska målsättning om noll nettoutsläpp till 2045, och negativa utsläpp därefter. Strategin bör också inkludera indikativa mål för permanenta upptag, med möjlighet till uppföljning av konkreta indikatorer och volymer i en målbana fram till 2045, för att bidra med ökad målstyrning men med bibehållen flexibilitet för oförutsedda händelser.

3 Svensk potential för permanenta upptag

I potentialbedömningar skiljs ofta mellan teoretisk, teknisk och realiserbar potential. Teoretiska potentialbedömningar tar ingen hänsyn till begränsade faktorer som ges av exempelvis infrastrukturbehov eller behov att täcka kostnader. En teoretisk potential för att skapa negativa utsläpp genom bio-CCS eller biokol skulle framförallt utgå från bedömning av den mängd biomassa som kan användas, utan att ta hänsyn till konkurrerande efterfrågan på biomassa för andra syften eller behov av investeringar i kapacitet att skörda och omvandla biomassan till permanenta kolförråd.

Den tekniska potentialen är en delmängd av den teoretiska potentialen som begränsas av tillgänglig teknik och hänsyn till uppenbara hinder. Som exempel bör en teknisk begränsning av den teoretiska potentialen för bio-CCS ta hänsyn till nuvarande tekniska system, möjligen med hänsyn till beslutade investeringar, storlek på punktutsläpp, geografiska hinder som försvårar transport av koldioxid till lagringsdepåer, och tillgång till lagringsutrymme.

De teoretiska potentialer som rapporteras i litteraturen är mindre relevanta för att resonera kring möjliga utvecklingsbanor, åtminstone på medellång sikt. Denna rapport utgår därför från tekniska potentialbedömningar.

Den realiserbara potentialen är den andel av den tekniska potentialen som anses möjlig att genomföra. Realiserbar potential påverkas av en mängd faktorer, varav en av de viktigaste är åtgärdskostnader relaterade till potentiella intäktsströmmar. Realiserbar potential påverkas emellertid också av andra faktorer, som exempelvis acceptans, teknikmognadsgrad samt regleringar som tillstånds-, miljö- och bygglovskrav, med mera. I detta kapitel diskuteras framför allt teknisk potential, om inget annat anges. I kommande kapitel diskuteras sedan hur befintlig politik används eller framtida politik kan användas för att realisera denna potential.

Generellt finns få vetenskapligt publicerade analyser av potential för permanenta upptag i Sverige. Beskrivningen av tidigare analyser lutar därför i hög grad på rapporten från olika innovationsprojekt och expertmyndigheter. Betänkanden från utredningar utgör också mycket viktiga underlag till sammanställningen.

3.1 Bio-CCS

Flera forskningsprojekt, utredningar och myndigheter har på senare år undersökt potentialen för bio-CCS i svenskt territorium. Potentialerna varierar mellan studierna vilket i hög grad kan förklaras med olika antaganden om exempelvis tekniska begränsningar och utvecklingsbanor fram till 2045, inte minst gällande konkurrens om biogena kolatomer. Vissa studier är också begränsade till specifika branscher eller sektorer. De olika potentialuppskattningarna beskrivs nedan och sammanfattas i Tabell 1.

Ett mycket grovt mått på potential diskuteras av Dufour och Möllersten (2025) som utgår från punktutsläpp av biogen koldioxid större än 0,1 miljoner ton, med antaganden om en 90-procentig avskiljningsgrad. Det resulterar i en teoretisk potential för Sverige på 30 miljoner ton bio-CCS årligen. Denna teoretiska potential speglar läget i svensk industri i mitten av 20-talet och bör förstås som mycket svår att

realisera även med ambitiös politik för bio-CCS eftersom många tekniska begränsningar behöver överbryggas.

Klimatpolitiska vägvalsutredningen (SOU 2020) genomförde ett omfattande arbete för att bedöma en teknisk begränsning av den svenska teoretiska potentialen för bio-CCS, både på kort och på lång sikt. I slutbetänkandet dras slutsatsen att den tekniska potentialen 2045 troligtvis är minst 20 miljoner ton koldioxid. Slutsatsen bygger på antaganden om hur industri och kraftvärmeproduktion i Sverige kan tänkas utvecklas fram till 2045, sannolikt med stora energieffektiviseringar som leder till minskade utsläpp. Dessutom förutspås minskad produktionskapacitet i vissa geografiska områden inom vissa sektorer, vilket delvis vägs upp av utökad produktionskapacitet i andra områden eller sektorer. I uppskattningen av den tekniska potentialen har utredningen tagit hänsyn till flera tekniska begränsningar, såsom årliga flöden och koncentration av koldioxid i rökgaser, realistisk avskiljningsgrad i en avskiljningsanläggning, infrastruktur för koldioxidtransport och avstånd till lämpliga lagringsformationer, samt möjligheten att nyttja överskottsvärme i industriprocesser för att driva avskiljning av koldioxid med aminer alternativt minska energiförluster från avskiljning med kaliumkarbonat genom att omhänderta överskottsvärme för fjärrvärme. Utredningen föreslår en strategi för att realisera 1,8 miljoner ton av denna tekniska potential till 2030 och driva politikutveckling för att realisera 3 till 10 miljoner ton bio-CCS till 2045. Den sammantagna bedömningen är att det finns mer än tillräckligt stor teknisk potential för att föreslå en strategi med sikte på att realisera bio-CCS upp till 10 miljoner ton årligen 2045.

Energiforsk (2025) bedömer att den teoretiska potentialen enbart inom fjärrvärmesektorn överstiger 10 miljoner ton koldioxid årligen. Samtidigt noterar Energiforsk att denna potential har tekniska begränsningar. I stället för att uppskatta en realiserbar potential utifrån olika begränsande faktorer inventerar Energiforsk fjärrvärmebranschens samlade planer på bio-CCS. Inventeringen skiljer mellan anläggningar med konkreta planer för bio-CCS, anläggningar som är i planeringsfasen och anläggningar för vilka det finns visioner om framtida bio-CCS. För 2030 finns flera konkreta planer, inklusive långt gångna planer hos Stockholm Exergi (investeringsbeslut fattat) och Öresundskraft (beslut om satsning fattat i kommunfullmäktige). Sammanlagd potential 2030 i konkreta planer eller pågående planeringsprocesser uppgår till runt 3,5 miljoner ton koldioxid, varav 2 miljoner ton omfattas av konkreta planer. I det längre perspektivet, för 2045, är osäkerheterna betydligt större. I det perspektivet finns också en omfattande mängd visioner för vilka det i dagsläget saknas pågående planeringsprocesser eller konkreta planer.

Även Beiron et al. (2022) undersöker potentialen i fjärrvärmebranschen. Olikt Energiforks fokus på företags planer för bio-CCS utgår Beiron et al. (2022) från den teoretiska potentialen. I analysen inkluderas 110 biomassa- och avfallsanläggningar kopplade till 78 olika fjärrvärmesystem. Vissa tekniska begränsningar modelleras, exempelvis används enbart avskiljning genom aminer och en avskiljningsgrad på 90 procent. Enligt studien finns potential att skapa upp till 16 miljoner ton negativa utsläpp. I en liknande studie av Johnsson et al. (2020), med fokus på svensk industri istället för kraftvärmeproduktion. Studien identifierar en potential på upp till 15 miljoner ton från 28 industriella punktsläpp större än 0,5 miljoner ton (2016) samlad biogen och fossil koldioxid. Potentialen baseras på avskiljning med aminer samt en

avskiljningsgrad på 90 procent. Varken Beiron et al. (2022) eller Johnsson et al. (2020) tidsbestämmer potentialen annat än att beräkningen utgår från existerande punktutsläpp 2022 respektive 2016. Ingen av de två studierna gör anspråk på att analysera den politik som skulle krävas för att realisera potentialen, eller i vilket tidsperspektiv den skulle kunna realiseras om politiken eller marknaden utvecklas i en riktning som täcker de specifika kostnaderna för bio-CCS som identifieras i studierna. Däremot jämförs den identifierade bio-CCS-potentialen med Sveriges klimatmål för 2045, vilket här antagits som en relevant tidshorisont för analyserna.

Utredningen Fossilfritt Sverige (2024) utgår från Sveriges stora och växande bioekonomi samt den efterfråga på biobaserade produkter som skapas av både svenska och internationella klimatmål. Det senare är viktigt att notera; i Fossilfritt Sveriges strategi diskuteras hur Sverige inte bara kan förse det inhemska behovet av kompletterande åtgärder utan också kan exportera negativa utsläpp och produkter baserade på biogen koldioxid. Med dessa utgångspunkter resonerar utredningen om en strategi för bio-CCS och -CCU som inkluderar fyra scenarier för hur svensk bioekonomi kan utvecklas. Scenarierna inkluderar ökat utnyttjande av biogent kol ”genom att ta till vara den biogena koldioxid som släpps ut till atmosfären vid storskalig förbränning (mer än 100 000 ton koldioxid per år) samt genom ökat hållbart uttag av restprodukter från skogs- och jordbruk” (Fossilfritt Sverige 2024: sid. 32). Det handlar om scenarier som alla, om de ska realiseras, kräver politiska åtgärder. I det scenario som till största del fokuserar på bio-CCS lagras 28 miljoner ton biogen koldioxid 2045, medan de två scenarion som fokuserar mer på bio-CCU inkluderar 3 miljoner ton bio-CCS. Dessutom utforskas ett scenario som balanserar bio-CCS och -CCU i vilket bio-CCS skapar 13 miljoner ton negativa utsläpp 2045.

Tabell 1. Bedömningar av potential för bio-CCS i Sverige.

Studie	Fokus	Potential [Mt CO ₂]	
		2030	2045
Klimatpolitiska vägvalsutredningen (2020)	Hela ekonomin	1,8 ^a	20
Fossilfritt Sverige (2025)	Hela ekonomin		3–28
Dufour & Möllersten (2025)	Hela ekonomin		30 ^b
Energiforsk (2025)	Fjärrvärmebranschen	Ca. 3,5 ^c	Ca. 5,7 ^d
Beiron et al. (2022)	Fjärrvärmebranschen		10–16 ^e
Johnsson et al. (2020)	Industrisektorn		15 ^f

^a Strategin bygger på upphandling av 2 Mt CO₂ genom omvänd auktion, med en förväntad efterlevnadsgrad på 90 procent. ^b Teoretisk potential för 2045 baserad på punktutsläpp 2022, begränsad av storlek $\geq 0,1$ Mt CO₂ och 90 % avskiljningsgrad. ^c Majoriteten utgörs av konkreta planer på bio-CCS. ^d Majoriteten utgörs av konkreta planer eller anläggningar som är i planeringsfasen för bio-CCS. ^e Potential baserad på punktutsläpp 2022, begränsad av storlek $\geq 0,1$ Mt CO₂ och 90 % avskiljningsgrad. Potentialen begränsas inte till 2045 men jämförs med Sveriges klimatmål för 2045. ^f Potential baserad på punktutsläpp 2016, begränsad av storlek $\geq 0,5$ Mt CO₂ och 90 % avskiljningsgrad. Potentialen begränsas inte till 2045 men jämförs med Sveriges klimatmål för 2045.

3.2 Biokol

I jämförelse med potentialstudier av bio-CCS är uppskattningar av den tekniska potentialen för biokolsproduktion i Sverige relativt utforskad. Detsamma gäller potentialen i att importera biokol från andra länder för användning i Sverige. Flera analyser pekar dock på att potentialen är stor, både vad gäller möjligheten att producera biokol och att få avsättning för biokolet på svenska marknader. Enligt slutrapporten för biokolsprojektet *Rest till bäst* har den svenska marknaden för biokol växt med mellan 40 och 70 procent per år i perioden 2017–2023, vilket gjort biokol till ”den största tekniska sänkningen i bruk” (Paulsson 2023: sid. 20) i Sverige. Enligt Klimatpolitiska rådet (KPR 2025) är potentialen att tillföra biokol till jord mycket stor inom jordbrukssektorn. Rådet menar därför att det snarare är tillgång på biomassa än på lämpliga områden för avsättning som begränsar potentialen. Eftersom efterfrågan på biokol till stor del också har sitt ursprung i stadsplanering, och eftersom avsättning också är möjlig inom skogsbruk, är avsättningspotentialen ännu större än de tillämpningar som analyserats av Klimatpolitiska rådets rapport.

Tillgången på lämplig biomassa som skulle kunna användas för biokolsproduktion beskrivs också som stor i många studier. Klimatpolitiska rådet pekar exempelvis ut halm, sly och skogsbiprodukter (KPR 2025). Andra pekar på möjligheten att hantera trädgårdsavfall genom biokolsproduktion, men också exempelvis avloppsslam, alger, tång samt skal och annan frörens (Olsson, Fridahl, and Grönkvist 2024; Paulsson 2023). Enbart svenskt avloppsslam uppgår till cirka 1 miljon ton varje år, vilket åtminstone till viss del skulle kunna hanteras genom pyrolys både för att rena slammet från virus, bakterier och läkemedelsrester, erhålla biokol och återföra näringsämnen till mark (Fransson et al. 2025). Möjligheten att använda trädgårdsavfall är också stor, men potentialen är svår att kvantifiera på grund av bristfällig data (NV 2021b). I många studier bedöms alltså potentialen som mycket stor, både avseende tillgång till råvara för inhemsk produktion och i termer av lämpliga lagringsdepåer inom markanvändning. Dessutom importeras biokol till Sverige.

Även Klimatpolitiska vägvalsutredningen (SOU 2020) genomförde en potentialanalys för biokol och beskriver en potential på upp till 1 miljon ton lagrad koldioxid årligen. Antagandet bygger på att använda en begränsad andel svenskproducerad träflis till biokolsproduktion, cirka 6 procent, och sprida denna genom inbladning i den jord som produceras i Sverige samt direkt till större markägare. Om andelen träflis ökar till 10 procent skulle det potentiella upptaget bli runt 1,6 miljoner ton koldioxid årligen (Gustafsson 2018a). Att använda en så stor andel träflis till biokol kan vara utmanande i konkurrensen om råvaran för energiproduktion, men potentialen i att använda träflis för biokol kan förstås som en proxy för andra råvaror med mer begränsat användningsområde såsom visst trädgårdsavfall, slam, halm eller tång.

Flera biokolsanläggningar är redan i drift i Sverige både inom jordbruket och kommunal avfallshantering (Olsson, Fridahl, and Grönkvist 2024). Den totala produktionsvolymen är dock begränsad. Potentialanalyser på mer begränsad regional eller kommunal skala visar dock på stora möjligheter att skala upp biokolsproduktion. Exempelvis har analys av potentialen på Värtaverket i Stockholm beskrivits som runt 120 000 ton koldioxid per år, med hänsyn taget till att viss del bundet kol i marken oxiderar (Gustafsson 2018b). Azzi et al. (2022) undersöker också potentialen för

biokol som sänka i byggandet av ett nytt bostadsområde för 57 000 invånare i Uppsala. I analysen används fem tillämpningar för biokol och den samlade potentialen för upptag bedömdes till 8 700 till 24 000 ton koldioxid per år. Även om den totala potentialen i den specifika fallstudien bedömdes som låg i absoluta tal utvärderades klimatnyttan som hög i ett livscykelperspektiv jämfört med referensalternativ.

I dagsläget (2025) registreras inte upptaget av koldioxid som binds i och lagras genom att använda biokol i det svenska utsläppsregistret. Eftersom det saknas övergripande sammanställningar och rapportering är det i därför svårt att uppskatta storleken på dagens upptaget av koldioxid från biokolsanvändning.

Tabell 2. Bedömningar av potential för biokol i Sverige.

Studie	Fokus	Potential [Mt CO ₂]	
		2030	2045
Klimatpolitiska vägvalsutredningen (2020)	Hela ekonomin	<1	<1
Konjunkturinstitutet (2025)	Hela ekonomin	<0,5	
Gustafsson (2018b)	Stockholm	0,12	0,12

3.3 Direktinfångning och lagring av koldioxid, DACCS

Potentialen för DACCS i Sverige är i stort outforskad. I de fall potentialen undersökts har den i de flesta fall bedömts vara noll, framförallt på grund av den höga åtgärds-kostnaden. Under förutsättning att en investering ska skapa negativa utsläpp bedöms potentialen för bio-CCS vara tillräckligt hög för att tillgodose det inhemska behovet till ett betydligt lägre pris per ton koldioxid (Fridahl 2019; SOU 2020; KI 2025).

I en mikroekonomisk analys av Pretsy (2025) modelleras kostnadseffektiviteten av att tillämpa DACCS. Modellen tar utgångspunkt i en hypotetisk gemensam målsättning för negativa utsläpp i nio länder runt Nordsjön, samt låter DACCS konkurrera med bio-CCS (vars potential utgår från existerande punktutsläpp på >0,1 miljoner ton biogen koldioxid) för att uppnå målet. Målet är satt till 100 miljoner ton negativa koldioxidutsläpp 2050 och DACCS begränsas enbart av att konsumera maximalt 10 procent av den nationella tillgången på el. Elpriset anses vara konstant under hela modellperioden, utifrån 2025 års prisnivå. Emissionsfaktorer för elproduktion påverkar också modellen, där antaganden om klimatnytta från DACCS är starkt förknippad med utsläpp från elproduktion för att driva DACCS-anläggningar. Både emissionsfaktorer och kapitalkostnad för DACCS antas sjunka dramatiskt under modellperioden. Under dessa mycket förenklade och optimistiska antaganden om hur Nordsjö-länderna kan samarbeta för att skapa stora volymer permanenta upptag visar modellresultaten att Sverige är en lämplig plats för att tillämpa DACCS. Samtidigt tycks resultatet indikera att DACCS i praktiken tillämpas av modellen framförallt på grund av att realisering av den fördefinierade, tekniska potentialen för bio-CCS i hög grad uttömts i kombination med mycket optimistiska antaganden om sjunkande investeringskostnader för DACCS.

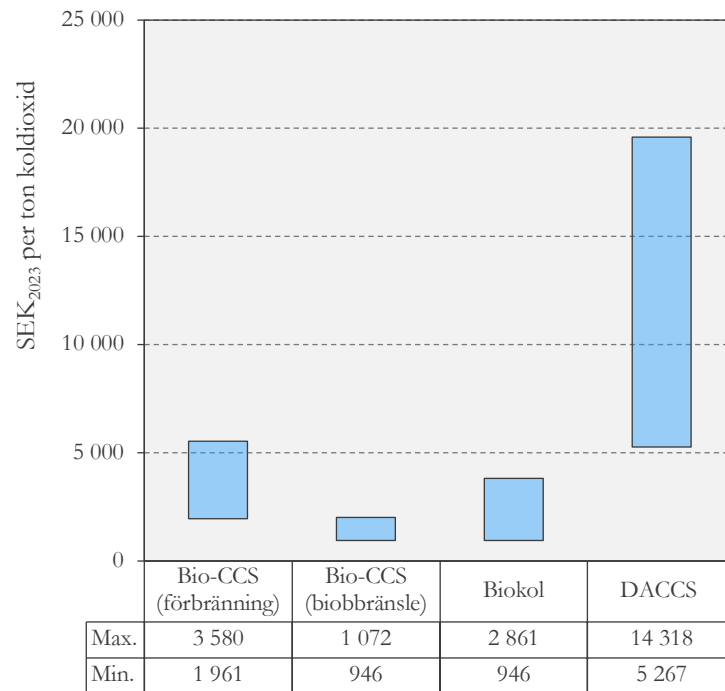
Tabell 3. Bedömningar av potential för DACCS i Sverige.

Studie	Fokus	Potential [Mt CO ₂]	
		2030	2045
Klimatpolitiska vägvalsutredningen (2020)	Hela ekonomin	0	0–?
Konjunkturinstitutet (2025)	Hela ekonomin	0	?
Presty (2025)	Hela ekonomin	0	~3,2

3.4 Åtgärdskostnader

Kostnaden för permanenta upptag utgör en stor barriär för tillämpning. En anledning är att upptag utgör en kollektiv nytta i kombination med att få privata aktörer är beredda att betala hela åtgärdskostnaden för permanenta upptag (läs mer i avsnittet Principer för vägledning av styrmedelsutveckling).

Åtgärdskostnaden för permanenta upptag är dock förknippad med stor variation för tillämpning i olika sammanhang med vitt skilda förutsättningar i kombinerat med stora osäkerheter. Det ger upphov till stora kostnadsspann för åtgärderna, vilket speglas i Figur 6 som presenterar de åtgärdskostnader som rapporterats i (EC 2025b). För DACCS, med låg teknikmognadsgrad, är osäkerheterna extra höga och förklarar till stor del den extrema variationen i kostnadsuppskattningar. För biokol och bio-CCS är det snarare främst skillnader i förutsättningar som antas ligga bakom de stora variationerna i uppskattade kostnader. Ett exempel på skilda förutsättningar är att tillämpa bio-CCS vid förbränning kontra exempelvis vid produktion av bioetanol. I det senare fallet består en av restprodukterna från jäsning av biomassa av nästan ren koldioxid. Kostnaden för avskiljning inom produktion av biobränslen är därför ofta väldigt låg i jämförelse med avskiljning från rökgaser vid förbränning av biomassa.



Figur 6. Åtgärdskostnader för permanenta upptag i 2023 års fasta priser (kronor per ton lagrad koldioxid). Källa: EC (2025b).

Även om Europeiska kommissionen (EC 2025b) själva inte anger olika datakällor som anledning till de stora spannen för att åtgärdskostnaderna är det troligtvis också en förklarande variabel. Kommissionen har utgått både från modellstudier och från intervjuer med aktörer inom sektorer med potential för permanenta upptag. Tidigare forskning indikerar att modellstudier tenderat att understkatta kostnaden för permanenta upptag, genomförande av projekt har gett en mer komplex bild av faktorer som driver upp kostnader vilket sammantaget pekar på högre faktiska kostnader än de som hittills uppskattas i modellanalys (Fridahl and Lundberg 2021).

I dagsläget är kostnaderna generellt höga och politik krävs i de flesta fall för att teknisk potential för permanenta upptag ska realiseras. Utsikterna för att sänka kostnader genom exempelvis utveckling, erfarenhetsutbyte och stordriftsfördelar beskrivs som relativt låg, åtminstone för bio-CCS (EC 2025b). Teknisksprång som kemcyklisk förbränning eller avskiljning från atmosfären med membran kan drastiskt ändra kostnadsbilden (Fleiß et al. 2024; Lyngfelt et al. 2019) men är i dagsläget långt från mogna tekniker.

3.5 Risker, målkonflikter, synergier och acceptans

Flera hinder begränsar möjligheterna att realisera den tekniska potentialen för permanenta upptag i Sverige. Som exempel kan nämnas att utvecklingen av svensk bioekonomi är svår att förutspå, vilket också noteras i många av studierna som refererats ovan. Samtliga analyser gör dock antaganden om stora punktutsläpp av biogen koldioxid i svensk ekonomi 2045, det vill säga att den tekniska potentialen för bio-CCS kommer att vara hög även på längre sikt. Samtidigt saknas tydlighet i hur politiken

vill att svensk bioekonomi ska utvecklas. Det finns ett stort behov av att placera bio-CCS och andra permanenta upptag i en bioekonomistategi som tar hänsyn till resurseffektiv användning både av biomassa och av infångade gröna koldioxidmolekyler (se avsnittet En strategi för användning av biomassa och koldioxid för diskussion om hur en bioekonomistategi kan vägleda politik för permanenta upptag).

Även biokol är förknippat med en rad begränsande faktorer. Bland annat finns risk för konkurrens om råvara (Paulsson 2023). I vissa studier påtalas dock flexibiliteten med biokolsteknik och möjligheten att använda råvara som inte konkurrerar med andra användningsområden (Levihn et al. 2019; Fransson et al. 2025) och att biokol också konkurrerar med hög klimatnytta jämfört med alternativa lösningar inom stadsplanering (Azzi, Karlton, and Sundberg 2022) och fjärrvärmeproduktion (Gustafsson 2018a). Biokol är också förknippat med potentiella toxikologiska effekter, men kunskapen om dessa är låg; biokol kan både sänka exponering genom bindning av tungmetaller i jord och höja exponering genom att bidra till spridning av tungmetaller som finns i råvara, exempelvis i avloppsslam (Azzi, Karlton, and Sundberg 2022). Dessutom kan hälsoeffekter på luftvägar uppstå i samband med utsläpp från pyrolysisprocessen (Azzi, Karlton, and Sundberg 2021). Samtidigt finns det stora potentiella positiva synergier med andra miljömål, bland annat inom jordbruk (Karan et al. 2023; Azzi, Karlton, and Sundberg 2021; Hu et al. 2025).

Flera studier och offentliga utredningar berör DACCS och pekar i samtliga fall på att om tekniken kommer tillämpas i Sverige är det under förutsättning att stora teknikgenombrott sker eller att tillräckligt lång tid förlöpt så att potentialen för billigare åtgärder för att skapa negativa uttömts (SOU 2020, 2022; KI 2025). I de flesta fall bedöms en eventuell realiserad potential för DACCS ligga bortom 2045. Den framtida, globala efterfrågan på negativa utsläpp skulle visserligen kunna utgöra en avsättning för svenskproducerade upptagskrediter som vida överstiger det svenska inhemska behovet för att nå klimatmål. I ett sådant bredare internationellt perspektiv anses åtgärdskostnaden för DACCS i Sverige i vissa fall vara för hög för att kunna konkurrera med DACCS i andra länder. Överskottsenergi och närhet till lagringsdepåer utgör då skäl till att andra länder har bättre förutsättningar för DACCS. I mer extrema fall, som drivs av antaganden om en mycket hög efterfråga på negativa utsläpp, kan DACCS i Sverige komma att utgöra ett komplement till bio-CCS. DACCS konkurrerar inte med andra användningsområden där biomassa kan utgöra insatsvara. Däremot konkurrerar DACCS om tillgång på el och värme, liksom lagring av koldioxid konkurrerar med alternativ användning för att producera olika produkter, exempelvis elektorbränslen som substitut till fossila bränslen inom flyg- och sjöfart.

Forskning om permanenta upptag visar att teknisk potential och kostnadseffektivitet sällan är tillräckliga villkor för att teknikerna ska tillämpas. Teknikanvändningen påverkas också av attityder, tillit, riskuppfattningar, rättvisebedömningar med mera, som ofta sammanfattas med begreppet acceptans (Devine-Wright 2009; Engelmann et al. 2025). Produktion och användning av biokol präglas av att beslutas av många decentraliserade aktörer. Forskningen pekar därför på att praktisk användbarhet och upplevd operativ nytta är centrala för att metoden ska användas, liksom kännedom om metoden –som ofta saknas –och kunskap om dess nyttor (Roberts et al. 2010; Fridahl et al. 2020; Olsson, Fridahl, and Grönkvist 2024). För bio-CCS är

acceptansfrågorna ofta mer konfliktbenägna än för biokol. Metoden omfattar ofta storskaliga anläggningar, långa transportkedjor och geologisk lagring. Forskning visar att lokala attityder om bio-CCS formas av upplevd samhällsnytta, risker, institutionell tillit och lokala erfarenheter. Konflikter kring biomassans hållbarhet och risken att negativa utsläpp tränger undan utsläppsminskningar tillkommer (Markusson, McLaren, and Tyfield 2018; Bellamy 2018; Fridahl 2017; Bellamy et al. 2021). DACCS uppfattas ofta som mindre markintensiv än bio-CCS men mer energikrävande, vilket gör att attityder ofta formas av energisystemets koldioxidintensitet och kostnader per ton lagrad koldioxid (Fajardy and Mac Dowell 2018; Engelmann et al. 2025). Studier visar måttlig acceptans för DACCS men som präglas av oro för kostnader och för att DACCS innebär en övertro på tekniska lösningar (Cox, Spence, and Pidgeon 2020).

Sammantaget påverkar acceptans hur biokol, bio-CCS och DACCS tillämpas genom att forma politiskt handlingsutrymme, påverka tillståndprocesser och styra hur marknader utvecklas. Forskningen stödjer policystrategier som kombinerar robusta system för att mäta och rapportera klimatnytta med rättvisa processer och kommunikation som tydliggör vilken roll permanenta upptag kan spela i klimatomställningen, en metods potentiella sidonyttor (inte minst gällande biokol) och system för att undvika hållbarhetsproblem, exempelvis kopplat till tillförsel av biomassa eller energianvändning.

4 Sveriges politik för permanenta upptag

Styrmedel för att åstadkomma permanenta upptag av koldioxid är ännu i sin linda. Sverige har kommit jämförelsevis långt fram i politikutvecklingen. Men det finns också viss politikutveckling på EU-nivå och i andra länder. Här nedan sammanfattas de viktigaste styrmedlen:

- a. Sveriges omvända auktioner för bio-CCS – nytt svenskt statsstöd med en budget på över 30 miljarder kronor fram till 2045.
- b. Industrikivet som stödjer utveckling av tekniker för permanenta upptag tidigare i innovationscykeln (bio-CCS och DACCS) och Klimatkivet som stödjer marknadsintroduktion för permanenta upptag som inte omfattas av andra styrmedel (biokol).
- c. Sveriges avtal med Norge och Danmark om lagring av koldioxid i den norska kontinentalsockeln.
- d. Industrikivet som stödjer utveckling av tekniker för permanenta upptag tidigare i innovationscykeln (bio-CCS och DACCS) och Klimatkivet som stödjer marknadsintroduktion för permanenta upptag som inte omfattas av andra styrmedel (biokol).
- e. Sveriges avtal med Norge och Danmark om lagring av koldioxid i den norska kontinentalsockeln.

4.1 Bio-CCS i Industrikivet

Industrikivet utgör en av de största källorna till att finansiera pilot- och forskningsanläggningar för bio-CCS, genomförbarhetsstudier i olika sektorer och rena forsknings- och utvecklingsprojekt. Några exempel på sådan finansiering listas i Tabell 4.

Tabell 4. Exempel på Industriklivets finansiering av projekt inom bio-CCS.

Projekt	Projektägare	Statsstöd, kr
Pilotanläggning för bio-CCS vid Värö bruk	Södra Skogsägarna	1 493 075
Projektering av bio-CCS på Igelsta	Söderenergi AB	74 650 650
Intensifiering av bio-CCS genom additiv tillverkning för att möjliggöra energieffektiva negativa utsläpp	Kungliga Tekniska Högskolan	9 848 080
Bio-CCS på västkusten i Halmstad	Halmstads Energi och Miljö AB	3 812 297
Genomförbarhetsstudie för CCS vid Gärstadsverket	Tekniska verken i Linköping AB	2 764 000
CCS process- och projektutveckling till investeringsbeslut för HICAS	Öresundskraft AB	33 613 937
Vägen till den första fullskaliga anläggningen för Bio-CCS i hamn nära Tierp	TEMAB fjärrvärme AB	2 251 500
Bio-CCS i Sverige bortom 2030 – styrmedel för att nå Sveriges mål om noll nettoutsläpp 2045	RISE Research Institutes of Sweden AB	3 148 159
BioCCS vid ny kraftvärmelanläggning i Malmö Energihamn	E.ON Energiinfrastruktur AB	743 000
Genomförbarhetsstudie för avfall-CCS på Sysav	Sydsånes avfallsaktiebolag, SYSAV	8 448 235
Oxyfuelbränning av fast biomassa för negativa koldioxidutsläpp	Umeå universitet	7 725 265
Bio-CCS i det smarta energisystemet i Falun	KLIMPO Klimatpositivt & Kolsänkor AB	2 473 263
Bio-CCS i ett växande Jönköping	Jönköping energi AB	2 911 500
HPC pilottest för avfallsförbränningsanläggning, HICAS	Öresundskraft AB	2 790 731
Genomförbarhetsstudie för bio-CCS på Åby och Händelö kraftvärmeverk	E.ON Energiinfrastruktur AB	474 086

Industriklivet har byggt kapacitet både för att lägga, eller på informerad grund avstå från, bud i den svenska omvända auktionen för bio-CCS. Statsstödet har också generellt ökat kunskapen om och förutsättningarna att investera i bio-CCS.

Enligt förordningen som styr Industriklivet (Sveriges regering 2017) begränsas stödet till processrelaterade utsläpp i industrin, till bio-CCS och DACCS och till innovativa klimatlösningar inom industrin. Stöd har inte betalats ut till rena biokolsprojekt där kolet används som markförbättringsmedel eller kolförråd i andra produkter. Däremot har Industriklivet stöttat projekt där pyrolys använts för att producera kol från biomassa i syfte att ersätta bruk av fossilt kol i industriella processer. Denna typ

av substitut leder till minskade utsläpp men inte till ökade upptag och kan därför inte förstås som en kolsänka som skapar permanenta upptag. Biokol beviljas istället statsstöd genom exempelvis Klimatklivet.

4.2 Omvända auktioner för bio-CCS

Efter förslag från Klimatpolitiska vägvalsutredningen (SOU 2020) tog regeringen beslut om att inrätta en omvänd auktion till stöd för bio-CCS i Sverige. Auktionen administreras av Energimyndigheten, som också ansvarar för svenskt kompetenscentrum för CCS, även det inrättat efter förslag från Klimatpolitiska vägvalsutredningen.

En första auktion utlystes i slutet av 2025 vilken resulterade i att en stor del av auktionsbudgeten, 20 miljarder kronor, allokerats till Stockholms Exergi. Kontraktet finansierar avskiljning av runt 11 miljoner ton koldioxid från Värtaverket i Stockholm, för vidare transport till en norsk lagringsdepå. En andra auktion öppnade i december 2025 i vilken aktörer kan tävla om totalt drygt 10 miljarder kronor i stöd till bio-CCS. Auktionen stänger 13 augusti 2026.

4.3 Biokol i Klimatklivet

Klimatklivet administreras av Naturvårdsverket och ger stöd till organisationer som vill genomföra lokala eller regionala klimatinvesteringar i åtgärder förutsatt att de bland annat är additionella (inte skulle genomförts utan stödet), inte omfattas av andra styrmedel såsom utsläppshandel eller investeringsprogram och inte syftar till att producera el. Klimatklivet inrättades 2015 och utgör sedan dess den viktigaste källan till svenskt statsstöd av biokolsproduktion, med exempel på beviljade projekt listade i Tabell 5. En stor andel Klimatklivets finansieras av Faciliteten för återhämtning och resiliens via EU:s satsning NextGenerationEU.

Tabell 5. Exempel på Klimatklivets finansiering av biokolsprojekt.

Projekt	Projektägare	Statsstöd,kr
Biokol panna till Skattegården	Anders Andersson	4 173 000
Biokolpanna i Melleruds fjärrvärmenät	Borgans Bioenergi AB	7 328 750
Biokolpanna på Dille Gård	Dille Fastighet AB	5 118 750
Biokol anläggning i Herrljunga	EM biovärme AB	6 006 240
Biokolsanläggning Bjursätters ladugård	Fräkentops gård, Tomas von Heideken	507 000
Fjärrvärme och biokol i Getinge	Getinge Biovärme AB	7 800 000
Biokolsproduktion	Henrik Falck	763 200
Biokol panna till Gårdens uppvärmning	Henrik Jönsson	5 295 000
Klimatpositiv värme och biokol på Hjelsäter	Hjelsätters Egendom	1 808 625
Värmecentral och biokolsproduktion på Klevs Gård	Håkan o Paul enskild firma	9 620 000
Biokolproduktion för växthus	Hällnäs Handelsträdgård AB	16 250 000
Ersättning av halmpanna och oljepanna med biokolpanna och fastbränslepanna	Högestad Christinehof Fideikommiss Aktiebolag	15 852 000
Biokol, Fjärrvärme och Fjärrkyla Löddeköpinge	Kävlinge Fjärrvärme AB	19 341 178
Fjärrvärme och biokol i Kävlinge	Kävlinge Fjärrvärme AB	9 142 594
Biokol och fjärrvärme Kävlinge etapp 2	Kävlinge Fjärrvärme AB	10 434 000
Biokolanläggning i Ulricehamn	Lucrum tech Ab	10 620 000
Biokolproduktion till växtodlingen	Mats Areskoug	2 835 000
Anläggning för produktion av biokol	Nordvästra Skånes Renhållnings AB	12 440 000
Biokolproduktion och Närvärme	OK Maskiner och Fastigheter AB	9 835 000
Biokolproduktion till Salsta Gård	Sahlsta Gård (Enskild näringsverksamhet Elisabeth Rudbeck)	3 918 000
Biokolspanna	Skanska Industrial Solutions AB	3 879 000
Klimatpositiv fjärrvärme med biokolproduktion	Skånefrö Förvaltnings AB	17 183 400
Småskalig industri för framställning av biokol	Spetsamåla Gård HB	1 001 400
Fjärrvärmeutbyggnad och biokol i Svedala	Svedala Fjärrvärme AB	7 803 520
Från Avfall till Biokol	Telge Återvinning	4 494 821
Biokolvärme till Thuressons Hönseri	Thuressons Hönseri AB	3 147 500

4.4 Avtal om gränsöverskridande koldioxidexport

Londonprotokollet förbjuder export av koldioxid för dumpning under havsbotten. Genom resolution LP.3(4), 2009, gjordes ett tillägg till protokollets artikel 6 för att tillåta export av koldioxid. Tillägget har ännu inte ratificerats av tillräckligt många parter för att träda i kraft. Genom resolution LP.5(14) från 2019 tillåts parterna till Londonprotokollet att provisoriskt tillämpa tillägget till Londonprotokollet till dess att det träder i kraft. Provisorisk tillämpning kräver bilaterala avtal mellan exportör och importör. I början av 2024 tecknade Sverige bilaterala avtal med Norge och Danmark om gränsöverskridande transport av koldioxid för permanent geologisk lagring (Danmarks och Sveriges regering 2024; Norges och Sveriges regering 2024). Avtalen möjliggör för svenska aktörer att exportera koldioxid för lagring under havsbotten i danskt och norskt territorium.

5 EU:s politik för att främja permanenta upptag

Enligt en rapport från Europeiska kommissionen pågår det, i Europa, minst 34 projekt inom bio-CCS, 62 inom DACCS och 30 inom biokol, alla antingen redan i drift eller med planerad driftsättning senast 2030 (EC 2025b). Antalet biokolsprojekt är dessutom antagligen betydligt högre; enbart i Sverige (Olsson, Fridahl, and Grönkvist 2024) pågår betydligt fler projekt än de sju svenska projekt som identifierats i rapporten. I EU ingår dock varken bio-CCS eller DACCS i unionens klimatlagstiftning. Dessa upptag omfattas varken av EU:s utsläppshandel (EU ETS 1), ansvarsfördelningsförordningen (ESR) eller förordningen om markanvändningssektorn (LULUCF). Däremot omfattas biokol av LULUCF-förordningen och kan rapporteras av medlemsstaterna som ett sätt att uppfylla sina åtaganden till 2030.

5.1 Innovationsfonden och andra finansieringsprogram

Finansiering av åtgärdskostnader har varit, och är, en nyckelutmaning för permanenta upptag. Innovationsfonden har fram till mars 2025 stöttat permanenta upptag med omkring 24 miljarder kronor, varav merparten (cirka 85 procent) är indirekta stöd, exempelvis till infrastruktur för transport och lagring av koldioxid eller till system för övervakning och rapportering (EC 2025e).

Den i särklass största finansiären är Innovationsfonden. Fonden finansierar en rad projekt för permanenta upptag. I linje med principen om att förorenaren betalar finansieras fonden genom försäljning av utsläppsrätter i ETS 1 och stöttar innovativa projekt som minskar utsläpp av växthusgaser. Innovationsfonden har bland annat bidragit med finansiering av bio-CCS i Helsingborg (INNOZHERO-projektet) och i Stockholm (Beccs Stockholm-projektet), samt biokol i samband med produktion av biobränsle i Åmli, Norge (BIOZIN-projektet). Innovationsfonden stöttar innovativa projekt som inte är kommersiella på existerande marknader och som kräver subventionering för att realiseras. Det innebär att fonden ger stöd till demonstration av innovativ teknik snarare än att skapa marknadsmässiga förutsättningar för storskalig spridning av tekniken. Även om fonden kan bidra till att teknik utvecklas och att risker sänks, vilket på sikt kan främja spridning, krävs i normalfallet en bredare utveckling av ekonomiska drivkrafter för att tekniken ska få större spridning.

Jämte direkt finansiering av projekt för att generera permanenta upptag finansieras bland annat infrastruktur genom Fonden för ett sammanlänkat Europa (EU 2024b) och forskning och utveckling av bland annat EU:s flagskeppsprogram Horisont Europa (EC 2025e).

5.2 EU-ram för certifiering av permanenta upptag

EU söker olika sätt att skapa starkare ekonomiska drivkrafter för att sprida teknik för permanenta upptag av koldioxid. Som ett led i denna politikutveckling har EU antagit en förordning om inrättande av en unionsram för certifiering av permanenta kolupptag, kolinlagrande markanvändning och kollagring i produkter (EU 2024d), vilken i första hand syftar till att främja en frivilligmarknad för certifierade upptag.

Certifieringsramverket (CRCF) är utformat för att styra processen för certifiering av verksamheter som bidrar till kolupptag samt eventuella hållbara sidonyttor. Enligt förordningen ska certifieringsramverket se till att verksamhetsutövare som söker certifiering för sina verksamheter efterleva de fastställda kvalitetskriterierna: kvantifiering, additionalitet, ansvar och hållbarhet (Q.U.A.L.I.T.Y). Certifieringsmetodologier övervägs kontinuerligt av Europeiska kommissionen i samarbete med en expertgrupp för kolupptag. En delegerad akt som omfattar certifieringsmetoder för bio-CCS, DACCS och biokol genomgick offentligt remissrunda under sommaren 2025 med ytterligare kommentar från expertgruppen i november 2025. Den slutliga versionen publicerades i början av 2026. Certifiering av de första enheterna förväntas ske senare under 2026.

Certifieringsramverket förväntas stimulera samt garantera kolinlagring av hög kvalitet. Detta ska ske till följd av robusta certifieringsmetoder för verifiering av kolinlagring och regelbunden uppdatering av både referensscenarier för kolinlagring och för certifieringsmetoder. Certifieringsmetoderna för bio-CCS, DACCS och biokol kommer att uppdateras minst vart fjärde år.

Verksamhetens nettoupptag i hela livscykeln kommer att kvantifieras i jämförelse med referensscenarier fastställda genom certifieringsmetoderna. Dessa referensscenarier bör i hög grad spegla den förväntade effekten på utsläpp och upptag under de rådande sociala, ekonomiska, regulatoriska och miljömässiga förhållandena i en kontrafaktisk verklighet som prognostiserar utsläpp och upptag i avsaknad av den klimatinvestering som möjliggjorts genom försäljning av certifikat. Därutöver ska referensscenarierna ta hänsyn till lokala mark- och miljöfaktorer (EU 2024c: 3-4). Vart femte år ska referensscenarierna granskas för att säkerställa att de är aktuella. I praktiken betyder det att verksamheter som, under en femårsperiod, utvecklats till att bli standard inte längre kommer beaktas som additionella. Verksamheten och verksamhetsplanerna är också föremål för regelbunden granskning.

Enligt förordningens nuvarande lydelse är befintliga verksamheter berättigade att ansöka om certifiering. Detta har kritiserats av ickestatliga organisationer för att potentiellt undergräva additionalitetskravet i artikel 5.1b om att den certifierade verksamheten ska baseras på den stimulanseffekt som ges av CRCF för att bli ekonomiskt bärkraftiga (Schneider, Siemons, and Fallasch 2025). Kritikerna menar att certifiering av befintlig verksamhet strider mot artikel 5.1b. Standardiserade referensscenarier och regelbundna revideringar ger dock viss försäkran om att även befintliga verksamheter kan beaktas som additionella då de jämförs med en aktuell standardprestanda för att förbli berättigad till certifikat.

Certifieringsmetoderna krav på hållbar biomassa till bio-CCS och biokol har också fått kritik av ickestatliga organisationer. Kritikerna menar att CRCF kan leda till negativ klimatpåverkan genom indirekt förändring av markanvändning, särskilt i samband med att konvertering av jordbruksmark eller att biomassa importerats från länder utanför EU (Bellona 2025; Schneider, Siemons, and Fallasch 2025). Enligt kritiken riskerar systemgränserna i kvantifieringen av livscykelutsläpp från biokol och bio-CCS att vara för snäva och leda till att nettoupptagen överskattas (Bellona 2025), en risk som också uppmärksammats av Europeiska kommissionen (EC 2025g). När det gäller produktion av biokol ställer certifieringsmetoderna dessutom inga krav på verksamheter att använda den senast tillgängliga tekniken, vilket kan leda till

inlåsning i energikrävande anläggningar (Schneider et al. 2025). Under expertgruppmötet i november 2025 diskuterades också permanenten av kolupptag genom biokol vilket ledde till att aktivitetsperiodens längd minskades till fem år och att konservativa mått införts för att förhindra att antalet certifikat som genereras bygger på metoder som överskattar ett projektets klimatnytta.

Generellt finns väldigt lite kritik mot certifieringsmetoderna för DACCS. De största problemen som diskuteras är hur certifiering ska kunna stimulera investering och belöna tidiga aktörer, vilket resulterat i att tidiga projekt (med investeringsbeslut fattat innan 2030), tillåts mindre strikta under sin första aktivitetsperiod, vilket för DACCS-projekt sträcker sig över 15 år. (EC 2025a: sid. 21).

Det är viktigt att notera att certifikat utfärdade under CRCF-ramverket är projektbaserade och omfattar projektets hela livscykel. Klimateffekten av projekten kan återspeglas i nationella växthusgasregister och på så vis bidra till måluppfyllnad, men dessa register använder andra metoder för att mäta och rapportera upptag och utsläpp. Medlemsstater får dock *inte* använda certifikat för att uppfylla sina EU-åtaganden, bland annat eftersom klimatnyttan då riskerar att dubbelräknas i nationella utsläppsregister och genom certifikaten.

5.3 Definition av permanenta upptag

Genom CRCF definieras också permanenta upptag. Ett permanent kolupptag definieras som ”varje metod eller process där atmosfäriskt eller biogent kol, under normala omständigheter och med lämpliga hanteringsmetoder, avskiljs och lagras i flera århundraden, inbegripet permanent kemiskt bunden kol i produkter, och som inte kombineras med ökad återvinning av kolväten” (EU 2024d: Artikel 2.9).

DACCS och bio-CCS är med denna definition exempel på permanenta upptag, förutsatt att koldioxiden inte lagras i syfte att utöka utvinning av olja eller gas. En andel av det kolupptag som genereras genom biokol kvalar också in i denna definition.

Genom att definiera permanenta upptag med tillhörande projektbaserade metodologier för certifiering och uppföljning önskar EU öka transparensen och tilliten till klimatåtgärder som skapar upptag, minska oseriösa anspråk och grönmålning, samt sänka de administrativa kostnaderna för projekt genom standardisering.

5.4 Utökade initiativ för finansiering av upptag

För att ytterligare främja frivilligmarknaden kommer Europeiska kommissionen att inrätta en ”köparklubb” för CRCF-certifikat. Genom köparklubben vill Europeiska kommissionen samordna köpare av certifierade upptag och på så vis både förenkla för köpare att hitta säljare och skapa en stabil efterfrågan som ger förutsägbarhet för investerare och incitament till jord- och skogsbrukare att engagera sig i att skapa upptag (EC 2025c). Initiativet är dock baserat på frivilliga insatser både från köpare och säljare. Frivilligmarknaden kan bidra med finansiering men är troligtvis inte tillräcklig för att realisera en större del av potentialen för permanenta upptag (Fridahl et al. 2023).

Enligt Europeiska kommissionen kommer stödet till frivilligmarknaden att kompletteras med fortsatt satsning på permanenta upptag genom Innovationsfonden och

genom att undersöka möjligheten att inkludera CRCF-certifierade permanenta upptag i ETS 1 (EC 2025c). Kommissionen utvecklar dock inte hur en integrering av certifierade permanenta upptag skulle kunna gå till. Exempelvis finns administrativa utmaningar kopplade till skillnader i hur utsläpp bokförs inom ETS 1 och den projektbaserade och livscykelorienterade CRCF-förordningen, samt hur upptagen rapporteras i nationella utsläppsregister samtidigt som de ska skapa någon form av kredit i ETS 1. Exempelvis rapporteras upptag genom biokol inom LULUCF-förordningen, inte handelsdirektivet. Hur ETS 1 kan utvecklas och/eller kompletteras för att ge utökade incitament till permanenta upptag diskuteras vidare i avsnittet Integrering i EU:s handelsdirektiv, ETS 1.

I sammanhanget bör också nämnas att Europeiska kommissionen undersöker olika format för ett upphandlingsprogram till stöd för permanenta upptag (EC 2025d). Motivet är främst att stora permanenta upptag kommer att behövas för att uppnå EU:s långsiktiga klimatmål samtidigt som det i dagsläget är stor brist på betalningsvilja för permanenta upptag. Den kapacitetsuppbyggnad som behövs i närtid – för att kunna tillgodose framtidens behov av permanenta upptag – realiseras inte med dagens politik. Om ett upphandlingsprogram kommer att genomföras, och i så fall hur det utformas, är oklart. Klart är dock att Europeiska kommissionen ämnar stödja medlemsstater som önskar upphandla varor och tjänster som främjar den europeiska bioekonomin. Detta initiativ omfattar biokol, med potential att stödja också bio-CCS (EC 2025c). Det är sammantaget troligt att subventioner till permanenta upptag, från EU och eventuellt också från EU:s medlemsstater med administrativt stöd från EU, kommer att öka i framtiden.

5.5 Utsläppshandel för finansiering bortom 2030

I handelsdirektivet finns det skrivningar om att det bör utredas hur vissa permanenta upptag kan inkluderas i utsläppshandel. Överenskommelsen mellan europeiska ministerrådet och parlamentet, om tillägg till den europeiska klimatlagen, innehåller ytterligare krav på att permanenta upptag ska integreras i utsläppshandel. Eftersom överenskommelsen vid skrivandets stund ännu inte formaliserats är den inte publicerad i EU:s officiella webbplats för publicering av EU-rätten (EUR-lex). Överenskommelsen har därför inte analyserats i detalj i denna rapport, men den signalerar en mycket tydlig riktning för integrering av permanenta upptag i EU:s klimatpolitiska ramverk: permanenta upptag kommer på ett eller annat sätt att inkluderas i utsläppshandel senast från och med 2030.

5.6 Klimatanspråk och kompensationsmöjligheter

I mars 2023 presenterade Europeiska kommissionen ett förslag till Direktivet om miljöpåståenden (Green Claims Directive) som bland annat innebar obligatorisk tredjepartsverifiering av miljöpåståenden, krav på livscykelanalys som grund för miljöpåståenden och skärpta regler för miljömärkning och kommunikation. Direktivet, om det genomförts, hade begränsat möjligheterna för företag att göra svepande uttalanden om klimatneutralitet och liknande baserat på köp av utsläppskrediter, inklusive krediter som skapats genom permanenta upptag. Kommissionen ville på så vis

begränsa vilseledande marknadsföring. Europeiska kommissionen tillkännagav sommaren 2025 att förslaget skulle dras tillbaka, främst på grund av oro för en höjd administrativ börda för småföretag. Förhandlingarna om förslagets antagande har pausats och inga nya steg har meddelats.

Från och med september 2026 gäller dock Direktivet om mer konsumentmakt i den gröna omställningen (Empowering Consumers for the Green Transition Directive). Direktivet innebär att företag måste kommunicera sina klimatpåståenden med mycket större precision, transparens och bevisbörda. Alla påståenden måste bygga på erkänd miljöprestanda och vara tydligt specificerade. Företag får inte göra ett påstående om minskade nettoutsläpp om påståendet bygger på köp av utsläppskrediter. Det gäller oavsett om krediterna kommer från högkvalitativa projekt som skapar permanenta upptag eller från andra projekt. Direktivet förbjuder dock bara påståendet, inte aktiviteten. Företag får fortfarande köpa utsläppskrediter, finansiera klimatprojekt och använda krediter i sin klimatstrategi. Däremot får de inte använda dessa åtgärder som underlag för att hävda att deras egen verksamhet har minskat sina nettoutsläpp, är "klimatneutral", har "lägre klimatpåverkan", med mera, tack vare åtgärderna. Sådana budskap är uttryckligen förbjudna i direktivets marknadsföringsdel. Direktivets effekt på finansiering av permanenta upptag är fortfarande oklar.

5.7 Utbyggd injektionskapacitet genom industrilagstiftning

Från och med juni 2024 började Förordning om nettonollindustrin (Net-Zero Industry Act, NZIA) att gälla i hela EU. Förordningen har betydelse både för bio-CCS och DACCS genom att den lyfter CCS som en prioriterad teknik för att stärka den gröna industrins konkurrenskraft. En central innovation i NZIA är införandet av ett mål att, till 2030, ha kapacitet att injicera minst 50 miljoner ton koldioxid per år i geologiska lagringsformationer. Syftet är att undanröja lagringskapacitet som flaskhals för CCS i EU, inklusive permanenta upptag genom bio-CCS och DACCS.

Bolag som utvinner fossila bränslen hålls direkt ansvariga för att bygga upp EU:s strategiskt viktiga infrastruktur för lagring av koldioxid. Fossilindustrin måste bidra till etablering av en öppen, EU-omfattande lagringsinfrastruktur som sedan kan användas av exempelvis industri som avskilt biogen koldioxid eller som fångat in koldioxid direkt från atmosfären. Genom att skapa detta producentansvar flyttas kostnad och risk från offentliga medel till de industrier som orsakar problemet.

6 Andra länders politik för permanenta upptag

I detta avsnitt presenteras en utblick till länder som i olika sammanhang utmärkt sig för att ligga i framkant av politikutveckling för permanenta upptag.

6.1 Danmark

Danmark strävar efter att vara ledande inom minskade utsläpp och ökade upptag, med det lagstiftade målet att vara klimatneutralt senast 2050 (Retsinformation 2021). Nuvarande regering vill höja ambitionsnivån till att vara klimatneutralt senast 2045 och minska nettoutsläppen av växthusgaser med 110 procent jämfört med 1990 års nivåer senast 2050 (Klimatrådet 2025). Upptag förväntas spela en viktig roll i uppnåendet av dessa mål, med ett totalt kolupptag som förväntas uppgå till cirka 16 miljoner ton koldioxid. I strävan efter dessa mål har Danmark varit ambitiöst när det gäller att utforska och finansiera möjligheter för ökade upptag inklusive geologisk lagring av koldioxid. Från och med 2024 hade 190 miljoner danska kronor öronmärkts för att stödja utvecklingen av lokala värdekedjor för CCUS, och ytterligare 196 miljoner kronor avsatts för att stödja utvecklingen av grön teknik, inklusive bioraffinering och pyrolys (Danmarks regering 2024).

Dessutom har Danmarks CCS-fond (tidigare CCUS-fonden) avsatt knappt 29 miljarder danska kronor för att finansiera koldioxidavskiljning och -lagring, inklusive bio-CCS. Den första omgången av anbudsprojekt 2023 subventionerade Ørsted för ett bio-CCS-projekt för att avskilja och lagra 430 000 ton koldioxid årligen från 2026 (Energistyrelsen 2023). En andel av fonden är öronmärkt till negativa utsläpp och kallas NECCS-fonden, vilken i maj 2024 gav finansiering till tre företag för att avskilja 160 350 ton biogen koldioxid årligen mellan 2026 och 2032 (Energistyrelsen 2024). Ytterligare tio företag har förkvalificerat sig för nästa finansieringsrunda; bindande och slutliga anbud skulle lämnas in senast den 17 december 2025, och tilldelningen av medel förväntas äga rum i april 2026 (Energistyrelsen 2025). Oro över höga risker, strikta volymer med stora straffavgifter, korta tidsramar och en omogen koldioxidmarknad ledde dock till att vissa företag valde att inte söka finansiering (AffaldPlus 2025; Energnist 2025). Dessa farhågor understryker komplexiteten i att balansera en önskan om snabb utbyggnad med behovet av att skydda mot missbruk av statliga medel, och speglar väl de farhågor som svenska aktörer gett uttryck för i diskussion om de svenska omvända auktionerna för bio-CCS (Fridahl et al. 2024).

Utöver detta har Danmarks program för energiteknisk utveckling och demonstration har beviljat 11,54 miljoner danska kronor till CHOCO₂LATE-projektet i ett försök att skala upp DACCUS och möta efterfrågan på koldioxid som råvara (DEA 2025).

Danmark har också arbetat aktivt med prospektering och licensiering av lämpliga underjordiska lagringsplatser både på land och till havs. Flera prospekteringslicenser har redan godkänts av den danska regeringen, varav 20 procent innehas av Nordsøfonden, som ägs av den danska staten. Danmark räknar med en årlig injektionskapacitet på minst 20 miljoner ton koldioxid år 2030. Två befintliga lagringsprojekt är redan under utveckling, Greensand och Bifrost. Greensand är baserat i uttömda olje- och gaslagar i Siri-fältet väster om Jylland, med den första planerade leveransen av koldioxid att avgå i början av 2026. Ytterligare kapacitet på 8 miljoner

ton per år planeras att läggas till under 2030 (Westerberg et al. 2025). Greensands inledande kommersiella fas syftar till att lagra 400 000 ton biogen koldioxid från biometanproduktion årligen, med en planerad expansion till 2030 (Greensand 2026). Projektet leds av Inos i samarbete med Harbour Energy och Nordsøfonden.

Bifrost ligger likaledes i ett utarmat gasfält, Harald, som ligger 250 kilometer från Danmarks västkust. Bifrost räknar med en initial injektionskapacitet på två till tre miljoner ton per år med början 2030. Den initiala lagringsplatsen kommer att vara en sandreservoar, men möjligheten att komplettera denna kapacitet med en kalkreservoar undersöks. Om detta ytterligare lagringsalternativ förverkligas kommer det att bli den första kalklagringsanläggningen i Norden (Westerberg et al. 2025). Bifrost har utsetts till ett projekt av gemensamt intresse av Europeiska kommissionen, vilket skapar förenklade tillståndprocesser och behörighet att söka EU-finansiering från Fonden för ett sammanlänkat Europa. Ytterligare fyra projekt har beviljats licenser för att undersöka potentiella lagringsplatser: Greenstore, Kalundborg, Ruby och Norne.

En majoritet av projekten planeras att starta senast 2030 med en sammanlagd injektionskapacitet på cirka 19 miljoner ton per år. Norne förväntas driftsättas i mitten av 2030-talet med en konservativt uppskattad injektionskapacitet på 15 miljoner ton per år (Westerberg et al. 2025). Insamlingen av koldioxid för Kalundborgprojektet förväntas påbörjas i Kalundborgterminalen 2026. En fjärde licensrunda avslutades i mars 2025 för prospektering och utveckling av lagringsplatser i Jamarbugt, Lisa och Inez.

Fram till 2024 utgjorde regulatoriska hinder ett stort hinder för storskalig användning av biokol i danskt jordbruk. Dessa regleringar fanns för att skydda mot läckage av skadliga ämnen, antingen bildade under pyrolys eller innehållande den använda biomassan, i jorden. Medan kommunerna kunde fatta lokala beslut om tillstånd fanns det ingen standardiserad administrativ process, vilket gjorde det svårt att skala upp tekniken (KEFM 2024). År 2024 antog den danska regeringen en biokolstrategi för att undersöka förekomsten av skadliga ämnen som läcker ut från biokol i jordar och hur dessa ämnen kan minskas. Regeringen siktade på en skala upp biokolsanvändningen till mitten av 2026 och införde ett subventionssystem på cirka 10 miljarder danska kronor avsatt för lagring av biokol fram till 2045 (KEFM 2024). Strategin kommer att ses över under räkenskapsåret 2026/27 för att följa upp genomförandeläget. Enligt strategin är Danmarks tekniska potential olika för olika insatsvaror. För halm är potentialen ca. 12 miljoner ton koldioxid årligen, för träråvara är potentialen runt 38 miljoner ton koldioxid årligen. Det är mycket osäkert om denna potential, som i analysen enbart begränsas av avsättningsareal och miljölagstiftning, kan realiseras.

6.2 Norge

Norge har inte åtagit sig att uppnå nettonollutsläpp eller nettonegativa utsläpp, utan har istället satt upp ett mål om att minska nettoutsläppen med minst 55% till 2030 jämfört med 1990 års nivåer, och 70–75% minskning 2035 jämfört med 1990 års nivåer. Till 2050 ska Norge vara ett lågutsläppssamhälle, "lavutsläppssamfunn" (Lovdata 2025).

Norges kanske mest uppseendeväckande bidrag till permanenta upptag är Långskeppprojektet, som de marknadsför som Europas första kompletta värdekedja för CCS. I detta projekt ansvarar Northern Lights, som ägs gemensamt av Equinor, Shell och TotalEnergies, för att transportera, ta emot och lagra infångad koldioxid både från Långskepps egen CCS-anläggning i Brevik, och från en rad andra anläggningar i Europa och USA. Den första fasen av Northern Lights har en injektionskapacitet på 1,5 miljoner ton per år, med de första injektionerna i augusti 2025. I mars 2025 fattade Equinor det slutgiltiga investeringsbeslutet om att gå vidare med en andra utvecklingsfas som förväntas öka transport- och lagringskapaciteten med minst ytterligare 3,5 miljoner ton per år. Den andra fasen förväntas vara i drift 2028 (Westerberg et al. 2025).

Eftersom Långskepp koordineras av Norges Energimyndighet har Northern Lights reserverat 0,8 miljoner ton per år i injektionskapacitet för inhemsk CCS (Westerberg et al. 2025). Infångad koldioxid från Stockholm Exergis bio-CCS-anläggning är kontrakterad att lagras vid Northern Lights-anläggningen, likaså är 430 000 ton årligen infångade biogena utsläpp från danska kraftverk Asnæs och Avedøre (Northern Lights 2023).

Utöver Northern Lights har ytterligare nio licenser beviljats för prospektering och utveckling av lagringsplatser: Polaris, Smeaheia, Luna, Poseidon, Havstjerne, Trudvang, Iroko, Albondigas och Kinno. Med undantag för Iroko, som inte har ett tillkännagivet förväntat öppningsår, förväntas dessa lagringsplatser ge en injektionskapacitet på 45 miljoner ton per år runt 2030 och 60 miljoner ton per år runt 2035, vilket är en konservativ metod. Iroko förväntas bidra med ytterligare 7,5 miljoner ton per år i 30 år när det blir aktivt (Westerberg et al. 2025).

Norge håller också på att utveckla bio-CCS- och DACCS-installationer. År 2025 samarbetade Phlair med Carbon Removals dotterbolag, NorDAC Kollsnes AS, för att utveckla ett storskaligt DACCS-projekt längs Northern Lights-terminalen i Øygarden (Ranevska 2025a). Till skillnad från andra DACCS-installationer som är beroende av både el och värme för att utvinna koldioxid från omgivningen, är Øygarden-anläggningen utformad för att vara lastflexibel och inte vara beroende av värme, vilket sänker kostnaderna och energibehovet för den storskaliga anläggningen. Vid full kapacitet förväntas denna anläggning rena 500 000 ton koldioxid årligen.

CCS-projekt, bland annat DACCS- och bio-CCS-projekt, finansieras genom en mängd olika myndigheter, inklusive Gassnova, Forskningsrådet, Innovation Norge och Enova. Cirka 89 miljoner norska kronor har anslagits till DACCS-projekt, medan 53 miljoner kronor har anslagits till bio-CCS-projekt. Ytterligare stöd har getts till projekt med blandade fossila och biogena utsläppskällor (Enova 2026). Två aktuella exempel: år 2025, fick Carbon Centric drygt 7,6 miljoner norska kronor i statlig finansiering från Enova för ett bio-CCS-projekt för att avskilja 30 000 ton koldioxid från biogent avfall från Solør Bioenergis anläggning i Kirkenær, och ytterligare 9,5 miljoner norska kronor för koldioxidavskiljning för en bioförbränningsanläggning vid Norske Skog.

6.3 Nederländerna

Nederländernas klimatlag kräver att landet ska minska utsläppen av växthusgaser med 55 procent jämfört med 1990 års nivåer senast 2030 och uppnå nettonollutsläpp av växthusgaser senast 2050. Landet strävar efter att fortsätta sin utveckling genom att arbeta mot negativa nettoutsläpp efter 2050 (KOOP 2019). Nederländernas förväntade kvarvarande utsläpp för 2050 är ännu inte definierade, vilket gör det svårt att uppskatta hur mycket upptag som krävs för att uppnå dessa mål.

Mycket av Nederländernas nuvarande arbete fokuserar på att utveckla och att skala upp industriella CCS-projekt, vilket kan vara tillämpligt på permanenta CDR-installationer. Liksom Norge är Nederländerna tidigt ute i utvecklingen av transport- och lagringsinfrastruktur, vilket möjliggör uppskalning av både fossil-, DACCS och bio-CCS i Europa. Landet har redan förhandlat fram bilaterala samarbeten med Belgien och Danmark kring transport och lagring. Två stora lagringsprojekt pågår: Porthos och Aramis. Porthos är en rörledningstransport och lagringsanläggning under havsbotten som har utsetts till ett EU-projekt av gemensamt intresse. Den kommer att ha kapacitet att lagra cirka 2,5 miljoner ton per år i 15 år med planerad driftstart 2026. Aramis är ett offentlig-privat partnerskap mellan statligt ägda energiföretag och de privata olje- och gasbolagen TotalEnergies och Shell som kommer att dela kompressionsanläggningar med Porthos. Investeringsbeslut förväntas mellan 2026 och 2027, med en planerad driftstart 2030 och en initial injektionskapacitet på 7,5 miljoner ton per år som kan utökas till högst 22 miljoner ton per år (TotalEnergies et al. 2024).

Bio-CCS förväntas endast spela en mindre roll för att uppnå de nederländska klimatmålen, och enligt den nederländska regeringskoalitionens överenskommelse kommer den inte att få några statliga stimulansåtgärder (WKR 2024). I utkastet till den nederländska klimatplanen hävdas dock att upptag kommer att vara en viktig komponent för att uppnå klimatneutralitet (Scheepers et al. 2025). Trots den nederländska regeringskoalitionens överenskommelse om att dra in statligt stöd till bio-CCS planeras två anläggningar vid kraftverken Eemshaven och Amer, som ersätter koleldad med biomassaeldad elproduktion, vilka tillsammans förväntas fånga in 11 till 14 miljoner ton koldioxid per år (RWE 2022) både för användning i bioplaster och för permanent lagring. Oavsett om bio-CCS utgör en stor del av landets portfölj för upptag eller inte, anses bio-CCS lämpligt för tillämpning inom biobränsleproduktion och avfallsförbränning (WKR 2024). Enligt vissa scenarier anses bio-CCS vara ekonomiskt fördelaktigt jämfört med fossil CCS på grund av högre koncentrationer av koldioxid och färre andra partiklar i rökgaser (Scheepers et al. 2025).

Forskning och utveckling av DACCUS pågår också i Nederländerna. Carbyon är ett startupföretag inom koldioxidadsorbenter som utvecklar en ny sorbent för användning i DACCUS och fick 2025 ett bidrag från det nederländska bidragsprogrammet Demonstration Energy and Climate Innovation (DEI+) för test- och demonstrationsprojekt (Carbyon 2025).

Nederländernas klimatråd WKR pekar ut ogynnsamma förutsättningar för biokol i Nederländerna år 2050, med hänvisning till en låg potential för upptag av koldioxid på 0,05 miljoner ton per år, en låg till genomsnittlig teknisk beredskapsnivå och höga kostnader per ton borttaget koldioxid jämfört med andra metoder (WKR 2024).

Rapporten konstaterar: ”Det nederländska vetenskapliga rådet rekommenderar att endast permanenta upptag av koldioxid används för att kompensera för fossila växthusgasutsläpp och utsläpp av växthusgaser som finns kvar i atmosfären under lång tid” (sid. 28). De bedömer därför att exempelvis skogsplantering och biokol inte är lämpliga åtgärder för att kompensera för kvarvarande fossila eller andra långlivade utsläpp (WKR 2024). Icke-permanenta upptag rekommenderas endast i den mån de bidrar till andra hållbarhets- och miljöpolitiska mål. Klimatrådet uttrycker dock också oro i sin rapport över de mycket höga kostnaderna för permanenta upptag (WKR 2024).

6.4 Tyskland

Tyskland har i sin federala klimatskyddslag åtagit sig att vara växthusgasneutrala år 2045 och ha nettonegativa utsläpp efter 2050 (BGBI 2019). Som sådan förväntas upptag vara en viktig del av att uppnå de nationella utsläppsmålen. Tysklands behov av bio-CCS och DACCS har uppskattats till mellan 17 och 59 miljoner ton koldioxid per år för bio-CCS och mellan 15 och 38 miljoner ton per år för DACCS (Block, Viebahn, and Jungbluth 2024).

Den tyska strategin för koldioxidhantering fokuserar huvudsakligen på att använda CCS och CCU för att skapa en koldioxidneutral industri (BMWK 2024). Landet arbetar utifrån IPCC:s bedömning att CCS och CCU kommer att vara mindre effektiva åtgärder för utsläppsminskningar fram till 2030 jämfört med förnybara energi och ökad energieffektivisering, och Tysklands utveckling är av den anledningen inriktad på att främja CCS- och CCU-teknik till 2040 och framåt. Arbetet pågår för att prioritera CCS och CCU på kraftverk som använder gasformiga eller biomassabaserade råvaror. Subventioner kommer att ges för anläggningar som är beroende av biomassa, inte till fossildrivna anläggningar (BMWK 2024: sid. 257). Detta är för att främja en övergång till ett klimatneutralt elsystem.

Tyskland har även utvecklat en långsiktig strategi för negativa utsläpp som pekar ut bio-CCS, DACCS och biokol som viktiga tekniker för att främja landets klimatomställning i ett längre perspektiv, till 2060. Strategin lyfter fram den ovan nämnda strategin för koldioxidhantering jämte med en nationell biomassastrategin och en nationell bioekonomistrategi, liksom den federala handlingsplanen för naturbaserade lösningar för klimat och mångfald och EU:s certifieringsramverk CRCF. Dessa beskrivs som viktiga juridiska och strategiska ramverk för att utveckla infrastruktur och forskning samt styra användningen av de tre teknikerna (Block, Viebahn, and Jungbluth 2024).

Mycket av Tysklands planerade portfölj för ökade upptag fokuserar på att stödja landbaserade kolsänkor, främst genom skogsplantering/återbeskogning (BMWK 2024). Sammanfattande faktorer, inklusive torka och ökad efterfrågan på biomassa för att ersätta fossilbaserade material inom en mängd olika sektorer, har resulterat i en prognos om minskad tillgång på inhemskt virke och restprodukter från skogsbruk. Även om Tyska regeringen föredrar inhemska biomassa, förväntar sig Tyskland ett ökat beroende av importerad biomassa för att möta den ökande efterfrågan (BMWK 2024: sid. 152). Den ökande efterfrågan kan få konsekvenser för den kaskadbaserade användningen av biomassa för energi och biokol, och kan leda till indirekta

förändringar i markanvändningen som negativt skulle påverka framstegen att nå nationella och EU:s klimatmål.

Regeringen inrättade forskningsprogrammet CDRterra för att undersöka den storskaliga genomförbarheten av upptag och dess interaktioner med eko-, jord- och klimatsystem (BMWK 2024). Forskningsprogrammet täcker en rad landbaserade projekt för upptag av koldioxid, inklusive inom jord- och skogsbruk, bio-CCS, DACCS och biokol, men också med fokus på acceptansfrågor och behov av politikutveckling.

Det senaste tyska regelverket för ökade upptag har krävt justeringar eller borttagande av befintliga hinder för utveckling av stödjande infrastruktur. I augusti 2025 godkände regeringen lagen om koldioxidlagring och -transport, som ger transport- och lagringsprojekt status som ”övervägande allmänintresse”, vilket möjliggör geologisk lagring under mark, både under land och havsbotten, genom opt-in-principen, det vill säga som en möjlighet för delstater i förbundsrepubliken att tillåta lagring inom delstatens territorium. Vissa begränsningar för placering av geologisk lagring till havs gäller fortfarande för att skydda sårbara arter och bevara marina skyddsområden (BMWK 2024).

6.5 Storbritannien

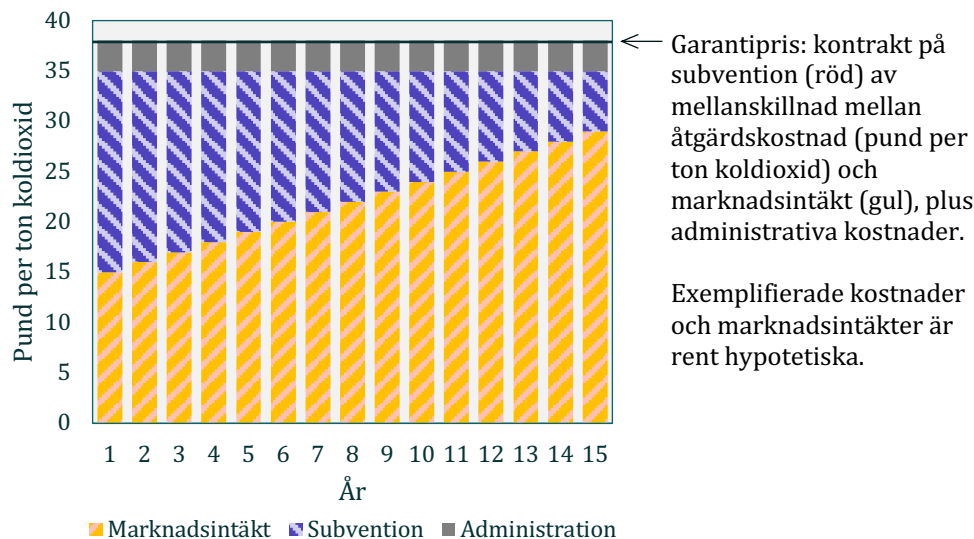
Storbritannien utvecklar en ambitiös strategi för upptag, och dess klimatråd anser det vara nödvändigt att nå landets nollutsläppsmål till 2050 (The National Archives 2023). Landet är optimistiskt om sina potentialer för tekniska upptag och siktar på att utnyttja minst 5 miljoner ton koldioxid per år till 2030, 23 miljoner ton koldioxid per år till 2035 och mellan 75 och 81 miljoner ton koldioxid per år till 2050 (Storbritanniens regering 2021). Bio-CCS förväntas stå för majoriteten av dessa upptag, modellerade för att representera mer än 50 procent av utsläppsupptagen fram till 2035 i olika scenarier (BEIS 2022), och förväntas bidra med 52 till 58 miljoner ton koldioxid per år till 2050 (ESNZ 2023). Storbritanniens strategi för att utveckla koldioxidupptag lägger tonvikten på att utveckla Storbritannien som en önskvärd plats för privata investeringar i grön teknik.

Regeringen ser upptag som viktigt för att uppnå sina nettonollutsläppsmål och förväntar sig att DACCS och bio-CCS kommer att vara stora användare av transportinfrastruktur för koldioxid i mitten av 2030-talet (Storbritanniens regering 2025). De scenarier för klimatmålen 2050 som ingår i strategin för noll nettoutsläpp exkluderade bland annat biokol och förstärkt vittring på grund av ”osäkerheter och behovet av ytterligare utveckling” (Storbritanniens regering 2021: sid. 346). I industriportföljen för noll nettoutsläpp öronmärks 100 miljoner pund för DACCS och andra tekniker för upptag av växthusgaser (Storbritanniens regering 2021), och tillhandahåller också finansiering för en demonstration för installationer för vätgasproduktion med bio-CCS (ESNZ 2023).

Nuvarande policyer skiljer mellan upptag av växthusgaser och ett antal olika typer av CCS, inklusive bio-CCS på kraftverk, bio-CCS i industrin, DACCS och andra tillämpningar av bio-CCS i samband med förgasning för att producera biometan och vätgas (Storbritanniens regering 2021). Två affärsmodeller som beskriver subventioner för generella upptag respektive bio-CCS håller på att utvecklas, där storskaliga installationer av bio-CCS inom elproduktion (mer än 100 MW) är berättigade till

riktade bio-CCS-stöd, och mindre anläggningar (mindre än 100 MW), liksom andra tekniker för ökade upptag, kvalificerar för stöd enligt affärsmodellen för upptag. Kvantifieringsmetoder för affärsmodellerna är för närvarande under utveckling, med tillfälliga standarder för bio-CCS och DACCS som publiceras av British Standards Institution i juli 2025 (Storbritanniens regering 2025).

För att stimulera ett tidigt införande av nya former av upptag bygger affärsmodellen för upptag på ett garantipris till leverantören som täcker kostnaden för att städa bort ett ton koldioxid från atmosfären. Subventioner beviljas i kontrakt på 15 år och täcker skillnaden mellan detta lösenpriset och intäkter från försäljning av upptagskrediter på kreditmarknader (ESNZ 2025). Modellen bygger alltså på differenskontrakt mellan statlig subvention och intäkter på marknader, illustrerat i Figur 7.



Figur 7. Illustration av de grundläggande komponenterna i affärsmodellen för upptag. Källa: ESNZ (2025).

Affärsplanen kommer att täcka transport- och lagringskostnaderna separat för att stabilisera värdekedjan och skydda den från oförutsebara risker och förändringar. Även om regeringen tillåter att vissa utvecklingsutgifter är stödberättigade, gäller detta endast projekt som uppnår slutgiltiga investeringsbeslut, och de aktiviteter som är berättigade till stöd genom lösenpriset kan komma att ändras. På kort sikt strävar Storbritannien efter att stimulera investeringar i den frivilliga koldioxidmarknaden, men tekniska upptag av växthusgaser kommer också att integreras i Storbritanniens efterlevnadsmarknad senast i slutet av 2028 (ESNZ 2025).

Storbritannien sekvenserar sin CCUS-utbyggnad i industriella kluster. Sju sådana kluster har identifierats och producerar cirka 50 procent av Storbritanniens utsläpp. Utbyggnaden i det första klustret, HyNet i nordvästra England och norra Wales, och East Coast Cluster i Teesside, började 2021. Tekniskt konstruerade GGR:er kommer också att inkluderas i dessa sekvenserade kluster, där två initiativ – både upptag generellt och specialsatsningar på bio-CCS inom kraftproduktion – kvalificerar för HyNet-expansionen (Storbritanniens regering 2025).

Biokol anses vara en del av den brittiska portföljen för ökade upptag, men anses vara en mindre mogen teknik än bio-CCS och DACCS. Till följd av detta anses det krävas mer forskning för att säkerställa lång lagringstid och potentiella föroreningsrisker för jordar. År 2022 tilldelades fem demonstrationsprojekt för biokol totalt 18 miljoner pund (ESNZ 2023).

Parallellt med att utveckla avskiljning i samband med användning av biomassa och direkt från atmosfären arbetar Storbritannien med att utveckla geologiska lagringsplatser för koldioxid. Ett sådant projekt, Acorn, är en transport- och lagringsanläggning, både på land och till havs, belägen i Nordsjön nära St. Fergus i Skottland. Liksom projekt i Nederländerna och Norge återanvänder detta projekt gamla borrhål i anslutning till lämpliga akviferer, i kombination med utbyggnad av rörledningar och annan infrastruktur. Acorn rapporterar att rörledningarna kan transportera upp till 20 miljoner ton koldioxid per år vid maximal produktion, med en sammanlagd potentiell injektionskapacitet i brunnarna på 240 miljoner ton koldioxid.

6.6 USA

År 2022, under Biden-administrationen, antog USA Inflationsreduktionslagstiftningen (Inflation Reduction Act, IRA) som inkluderade en injektion på 390 miljarder dollar i finansiering klimatomställningen (Hersher and Simon 2025). Under Biden-administrationen tillkännagav energidepartementet en strategi – Carbon Negative Shot – för att utveckla och sänka kostanden för nya metoder att öka kolupptag samt stödja utvecklingen marknader för upptagskrediter. I strategin ingick att, genom offentlig-privata samarbeten, mobilisera minst en miljard dollar till investeringar i forskning och utveckling (DOE 2025e). Vid den tidpunkten innebar satsningarna att USA positionerade sig som ledande inom utveckling av politik för upptag av koldioxid.

Valet 2024 markerade en skarp vändpunkt i amerikansk klimatpolitik. Som en av de första officiella handlingar under sin andra mandatperiod utfärdade president Trump en exekutiv order som frös utbetalningar av IRA-medel och avskaffade en rad av Biden-administrationens exekutivorder som stödde klimatrelaterade initiativ (USA:s regering 2025). Beslutet att frysa IRA-medel ifrågasattes rättsligt, och administrationen ålades att återuppta utbetalningen av medel på order av en federal domare. Trots detta har Trump-administrationen fortsatt att skära ner på medel till klimatforskning. I september 2025 återförde energidepartementet (DOE) 13 miljarder dollar som hade avsatts för att stödja tillämpning av fossilfri energi, utsläppsminskning och upptag (DOE 2025d). I oktober samma år upphävde energidepartementet 321 federala finansiella anslag på totalt 7,56 miljarder dollar till stöd för 223 projekt (DOE 2025c), där finansiering av minst nio regionala DACCS-kluster över hela landet fick sin finansiering indragen (Ranevska 2025b). Dessutom har minst tre federala finansieringskällor öronmärkta för pilotprogram för DACCS pausats i avvaktan på Trump-administrationens ställningstagande, vilket motsvarar cirka 90 miljoner dollar i kontanta bidrag som kan ha försvunnit (DOE 2026c, 2026b, 2026a).

Trump-administrationens beroende av verkställande order för att främja sin dagordning, och de många efterföljande rättsprocesserna mot dessa åtgärder, har gjort det svårt att urskilja statusen för federal finansiering mellan olika områden, inklusive

klimatforskning. Förutom de komplikationer som uppstår till följd av verkställande order och rättsliga processer, vilka kan orsaka avbrott i finansieringen, har listor med ”förbjudna” ord rapporterats som ytterligare kan tysta forskning eller hindra den från att hittas. Det finns rapporter om att anställda vid DOE har instruerats att undvika ord som ”klimatförändringar” och ”hållbar” (Hersher and Simon 2025), vilket gör det svårt att bedöma det nuvarande läget för den amerikanska federala klimatpolitiken.

Det kan dock med säkerhet sägas att Trump-administrationen i många fall är öppet fiendlig inställd till klimatåtgärder, särskilt de som genomfördes av den förra administrationen. I stället främjar Trump-administrationen olje- och gasutvinning och att återuppväcka den amerikanska kolindustrin (DOE 2025b, 2025a). Som ett exempel på denna satsning har hemsidan för det tidigare Office of Carbon Management, som inkluderade hantering och finansiering av tekniker för permanenta upptag, konverterats till landningssidan för Office of Coal (www.energy.gov/hgeo/office-coal), medan den federala miljömyndighetens (Environmental Protection Agency, EPA) landningssida för koldioxidinfångning och -lagring har arkiverats.

Samtidigt som administrationens negativa inställning till klimatinitiativ är uppenbar, är framtiden för klimatomställningens finansiering genom IRA oklar. Även om Trump-administrationen vill upphäva IRA och avsluta finansieringen till klimatinitiativ, gynnas vissa republikanskt dominerade delstater av denna finansiering och kongressens stöd för att upphäva IRA är inte garanterat. Även om Trump-administrationen har ökat trycket på och inflytande över kongressen under sin andra mandatperiod är det i slutändan upp till kongressen huruvida anslagna IRA-medel och program dras tillbaka. En finansieringsström under IRA, som fortfarande är aktiv, är EPA:s Climate Pollution Reduction Grants, som i november 2025 förlängde sin ansökningsperiod till den 1 juni 2026 (EPA 2026).

Det är också viktigt att notera att det, trots federal fiendlighet mot klimatåtgärder, tas fortsatta initiativ för kolupptag på delstatsnivå. Några exempel är Kalifornien, Washington och Colorado:

- a. Kalifornien: År 2018 åtog sig Kalifornien att uppnå koldioxidneutralitet senast 2045 och ser ökade kolupptag som en viktig pelare för att uppnå detta mål (Kaliforniens delstatsregering 2018). Staten ser dock utmaningar med begränsningar när det gäller marktillgång, hållbarhetsutmaningar och lagringskapacitet (Mahone et al. 2020).
- b. Washington: Redan 2008 åtog sig delstaten Washington en stegvis strategi som syftar till att minska nettoutsläppen av växthusgaser med 70 procent till 2040 och 95 procent till 2050 jämfört med 1990 års nivåer (Washingtons delstatsregering 2025). Staten undersöker vilken roll kolupptag kan spela för att uppnå dessa mål (Washington State DoE 2024).
- c. Colorado: Colorado är optimistisk om sin potential att uppnå negativa nettoutsläpp under de kommande decennierna. I sin färdplan för hantering av koldioxid uppskattar Colorados energikontor att delstatens potential för upptag (bland annat inklusive bio-CCS, biokol och sågade trävaruprodukter) till 32 miljoner ton koldioxid per år. Delstaten är också positiv till DACCS och föreslår skatteförmåner för att främja projektutveckling (Colorados delstatsregering 2025).

Det bör dock nämnas att enskilda delstater inte har budgeten att investera i kolupptag i samma utsträckning som den federala regeringen. Alternativa inkomstkällor för upptag kommer att vara nödvändiga för att främja ökade upptag, vilket sannolikt kommer att kräva betydande investeringar från det privata näringslivet och bilateralt och regionalt samarbete mellan delstater.

7 Utveckling av nya styrmedel

I regeringens senaste scenario om effekten av existerande och beslutad politik beräknas endast 1,2 av planerade 11,5 miljoner ton kompletterande åtgärder åstadkommas till 2045. Det är alltså ställt utom allt tvivel att befintlig politik inte räcker till för att åstadkomma den volym kompletterande åtgärder som kommer att krävas för att Sverige ska nå sitt långsiktiga klimatmål. I ljuset av detta faktum fokuserar detta kapitel på möjligheter med att revidera existerande och utveckla nya styrmedel för att främja realiseringen av permanenta upptag.

7.1 Principer för vägledning av styrmedelsutveckling

Artikel 191.2 i fördraget om Europeiska unionens funktionssätt beskriver hur Unionens miljöpolitik ska ”bygga på försiktighetsprincipen och på principerna att förebyggande åtgärder bör vidtas, att miljöförstöring företrädesvis bör hejdas vid källan och att förorenaren ska betala.” Samma principer speglas också i Miljöbalken, exempelvis försiktighetsprincipen och förebyggande åtgärder i 2 kap. 3§ och principen om att förorenaren betalar i 2 kap. 8 §. Utöver dessa principer styrs utveckling av styrmedel generellt av principerna att de ska vara verkningsfulla, kostnadseffektiva och genomförbara. Dessa principer bör också vägleda utvecklingen av styrmedel för att främja permanenta upptag.

Då skadliga utsläpp sker i samband med produktion av en vara eller en tjänst kan dessa utsläpp exempelvis beskattas för att spegla den skada som utsläppet ger upphov till i priset för produktion. Det skapar incitament att på ett samhällsekonomiskt kostnadseffektivt sätt minska utsläppen. I nationalekonomiska termer kallas detta för att kostnaden för en negativ externalitet (skada) internalisera i priset för produktion.

Permanent upptag ger dock upphov till en nytta, inte en skada. Produktion av varor och tjänster som ger upphov till upptag av växthusgaser utan att producenten belönas för dessa nyttor utgör en positiv externalitet (nytta). En producent kan få betalt för en nytta genom att sälja denna till en konsument. Ett problem med att sälja permanenta upptag är att de utgör en kollektiv nytta. Det går inte att avgränsa klimatnyttan till enskilda aktörer genom att exkludera andra från att ta del av den (den är icke-exkluderande) och en enskild aktörs nytta av ett upptag minskar inte för att andra aktörer tar del av den (den är icke-rivaliserande). Samtidigt kan produktionen av nyttan vara förenad med en specifik kostnad för producenten. För biokol som säljs som markförbättringsmedel kan det exempelvis innebära att klimatnyttan med biokol prioriteras lägre i produktionen än vad den skulle ha gjort om klimatnyttan belönades och produktionen kunde optimeras, exempelvis genom val av insatsvaror eller kalibrering av en pyrolysisprocess. Om biokolets klimatnytta exempelvis subventioneras så att den positiva externaliteten internaliseras i priset för produktion kan producenten hålla nere priset till konsument och efterfrågan kan öka. På så vis skulle den positiva klimateffekten i normalfallet öka.

För bio-CCS och DACCS finns ingen positiv externalitet. Olikt biokol som säljs om jordförbättringsmedel där klimatnyttan riskerar att inte fullt ut premieras producerar bio-CCS och DACCS istället primärt en klimatnytta som måste generera intäkter för att täcka kostnader. Avsaknad av intäkter för att täcka kostnader innebär att

upptaget överhuvudtaget inte genereras. För bio-CCS innebär det att producenter av exempelvis pappersmassa eller el väljer bort möjligheten att producera dessa varor med integrerad bio-CCS-teknik helt enkelt eftersom den ökade kostnaden inte motsvaras av en intäkt för den ökade klimatnyttan. Utan intäkter måste den ökade kostnaden övervältras på kunderna av de varor som tillverkas. Om kunderna inte är villiga att betala en premie för klimatnyttan riskerar producenten att förlora marknadsandelar genom att kunder istället vänder sig till andra leverantörer av samma produkt, letar efter substitut eller helt avstår från att konsumera varan. Fallet DACCS är ännu tydligare. DACCS är inte en teknik som integreras i en värdekedja för varor på redan etablerade marknader. Det innebär att det inte finns möjlighet att utveckla en affärsmodell för DACCS som bygger på att kunder på en marknad för en vara kan betala en premie för klimatnyttan. Bio-CCS och DACCS är tydliga exempel hur teoretisk potential för att generera en kollektiv klimatnytta är svår att realisera till stora delar på grund av bristande betalningsvilja från offentliga och privata aktörer.

Det finns ofta goda skäl för staten att subventionera kollektiva nyttor. Med stöd i principen om att förorenaren betalar finns det samtidigt anledning att söka intäkter till subventioner av permanenta upptag bland de aktörer som släpper ut växthusgaser till atmosfären. Det är också möjligt att skapa marknader eller system där förorenare är skyldiga att antingen upphöra med sin förorenande verksamhet eller städa upp de utsläpp de orsakar alternativt betala för kompensatoriska åtgärder till andra aktörer som kan städa bort utsläppen.

Om kollektiva nyttor kombineras med tydliga politiska målsättningar att realisera dessa nyttor ökar anledningen att överväga subventionering och att skapa system för att förorenare betalar för sina utsläpp. Sveriges mål om att nå noll nettoutsläpp av växthusgaser till 2045 för att därefter uppnå nettonegativa utsläpp utgör ett sådant exempel, i vilket permanenta upptag antas spela en roll.

Kaskadprincipen bör också nämnas. Inom EU styrs användning av hållbar biomassa av kaskadprincipen som liknas vid ett vattenfall i flera steg (en kaskad), där biomassa, så långt möjligt, i varje steg i kaskaden materialåtervinns i ekonomin istället för att gå direkt till energiåtervinning. I varje steg av materialåtervinning ska biomassan allokeras till syften som skapar högsta möjliga värde för ekonomin och miljön. Först längst ned i kaskaden bör biomassan exempelvis förbrännas (EU 2024a).

Slutligen bör också likvärdighetsprincipen (like-for-like) nämnas. Likvärdighetsprincipen innebär att fossilt kol som extraheras, oxideras och släpps ut till atmosfären enbart får kompenseras av permanenta upptag. Temporära upptag får användas för att balansera övriga utsläpp (Delerce 2025). Likvärdighetsprincipen försöker hantera problem kopplat till olika tidskalor för utsläpp och upptag, där fossilt kol som bundits geologiskt i princip är permanent lagrad. Om ett permanent lager töms genom att försätta fossilt kol i cirkulation ska det motsvaras av att samma mängd kol förs bort från atmosfären tillbaka till ett permanent lager i geosfären. Om fossila utsläpp istället balanseras genom upptag som skapar temporära kollager krävs kontinuerligt nya upptag för att garantera balans mellan källor och sänkor, vilket ökar risken för att balansen på sikt sätts ur spel. Likvärdighetsprincipen är inte allmänt vedertagen men används ofta i sammanhang där styrmedel för ökade permanenta upptag diskuteras.

7.2 Integrering i EU:s handelsdirektiv, ETS 1

EU:s handelsdirektiv, ETS 1, ger bra förutsättningar att operationalisera EU:s vägledande principer för miljöstyrning i syfte att realisera en del av den tekniska potentialen för permanenta upptag i Sverige och EU. Att integrera permanenta upptag i ETS 1 efter 2030 är också det mest troliga scenariot för hur EU-politiken kommer utvecklas (se avsnitt EU:s politik för att främja permanenta upptag).

Det finns flera anledningar till integrering i ETS 1, som kopplar till den principiella frågan om att föroreningar i första hand ska upphöra och att förorenaren – om föroreningen fortgår – ska betala för sin förorening. ETS 1 styrs av en kontinuerlig sänkning av den mängd utsläpp som tillåts från verksamheter som omfattas av systemet. I vissa fall leder sänkningen av utsläppstaket till substitution (exempelvis genom att byta kolkraft mot vind- och solkraft och konstgödsel mot organisk gödsel), i andra fall till effektivisering eller teknikgenombrott (exempelvis att reducera järnmalm med vätgas istället för fossilt kol). Utsläpp från vissa typer av verksamheter i ETS 1 är emellertid mycket svåra att helt fasa ut. Det gäller exempelvis vid avfallshantering av gammal plast i olika byggmaterial, långdistansresor med flyg, eller produktion av cement. Det är därför troligt att ETS 1 inte kommer att kunna nå hela vägen till nollutsläpp.

I nuvarande form kommer handelsdirektivet att uppnå nollutsläpp någonstans runt 2040 (Fridahl et al. 2023). En sådan snabb utfasning av samtliga utsläpp från verksamheter i ETS 1 kommer kräva uppoffringar. Det är också oklart hur gränsjusteringsmekanismen CBAM skulle kunna fungera då exempelvis import av cement från tredje land skulle avkrävas CBAM-certifikat som speglar kostnaden för en utsläppsrätt på ETS-marknaden samtidigt som inga utsläppsrätter längre tillförs marknaden och inga utsläpp därför får existera i ETS 1. Det är ur detta perspektiv uppenbart att ETS 1 eller CBAM kommer att behöva reformeras.

Den mest troliga utvecklingen, givet politiska ställningstaganden inom Europeiska rådet och EU-parlament, men också Europeiska kommissionens utvecklingsarbete samt rekommendationerna från EU:s klimatvetenskapliga råd ESABCC, är att ETS 1 kommer reformeras från utsläppshandel till nettoutsläppshandel. En sådan utveckling respekterar den genom EU-fördraget styrande principen om att förorenaren ska åtgärda och/eller betala för sina utsläpp, men också likvärdighetsprincipen i den mån fossila utsläpp i ETS 1 enbart får balanseras av permanenta upptag.

En principiell fördel med att integrera permanenta upptag i utsläppshandel är att handelssystem som ETS 1 styr på marginalkostnaden. Det innebär i normalfallet att de billigaste åtgärderna för att skapa upptagskrediter kommer att realiseras innan dyrare åtgärder. Detta är viktigt för permanenta upptag eftersom åtgärds-kostnaden inte är homogen (se avsnittet Åtgärds-kostnader). Om exempelvis en fast subvention erbjuds per ton lagrad koldioxid kommer vissa aktörer med låga åtgärds-kostnader för permanenta upptag få stora vinstmarginaler medan andra inte kommer att investera i upptag. Situation med heterogena kostnader för permanenta upptag är en av huvudanledningarna till att Sverige valt ett system med omvänd auktion för subventionering av bio-CCS istället för en fast subvention per ton lagrad biogen koldioxid.

Genom att i ett handelssystem låta marginalkostnaden för att minska utsläpp möta marginalkostnaden för att öka upptag och på så vis styra vart i ekonomin som

åtgärder för permanenta upptag realiserar, ökar dessutom chanserna för att styrmedlet uppfyller principen om att vara kostnadseffektiv.

Flera problem kan dock uppstå vid integrering i ETS 1. Medan prissignalen som ges av ETS 1 mycket väl kan skapa utökad produktion och användning av biokol i Sverige är det mindre troligt att systemet på egen hand ger tillräckliga incitament till investeringar i bio-CCS och DACCS. Om klimatnyttan med biokol genererar intäkter genom försäljning av upptagskrediter kan det leda till sänkt pris på biokol och ökad efterfrågan. Det kan i sin tur leda till ökade investeringar i produktionskapacitet. Däremot är prissignalen på marknaden för utsläppsrätter inte tillräcklig för att på egen hand motivera investeringar i DACCS och en stor andel av den tekniska potentialen för bio-CCS. För att realisera potentialen för dessa tekniker kommer det krävas ett betydligt högre pris på utsläppsrätter än dagens pris på strax under 90 euro per utsläppsrätt. Naturvårdsverket (2025) bedömer att priset på utsläppsrätter de närmsta åren kommer att ligga på mellan 70 och 100 euro för att sedan stiga till mellan 100 och 140 euro i perioden 2028 till 2030. Liknande scenarion presenteras i vetenskaplig litteratur. Det är långt under den kostnad för bio-CCS som avslöjats i danska och svenska auktioner för bio-CCS. Prissignalen är dessutom inte helt stabil och den är svåröversäglig, vilket ökar riskerna för aktörer som vill investera i långsiktiga klimatprojekt som bio-CCS och DACCS. Investeringskalkylen försvåras också om investeringen är stor, vilket oftast är fallet med bio-CCS på grund av stordriftsfördelar.

I ett snävt perspektiv är det bättre att rikta investeringarna till utsläppsminskning om det är billigare att sänka utsläppen än att öka upptagen. Det kan dock skapa stora problem då taksänkningen i handelssystemet närmar sig noll och ytterligare åtgärder för minskade utsläpp inte längre existerar. I dessa fall behövs permanenta upptag för att kunna reformera handelssystemet till nettoutsläppshandel och på så vis möjliggöra måluppfyllelse. Dessutom behövs upptag antagligen för att stabilisera priset i handelssystemet. Utmaningen är att det tar lång tid att installera kapacitet för att producera permanenta upptag som kan generera upptagskrediter i ETS 1. I övergångsperioden mellan en situation då prissignalen är tillräckligt hög för att ge incitament till investeringar i permanenta upptag till dess att installerad kapacitet kan driftsättas riskerar EU:s ekonomi att drabbas av stora prisvariationer och företagskonkurser. Dessutom riskerar det politiska stödet för handelssystemet att kollapsa om systemet drabbas av denna typ av likviditetsbrist. Kapacitetsutbyggnad av permanenta upptag behöver därför påbörjas i god tid innan ETS 1 ger tillräckligt höga incitament för att motivera investeringar.

Det innebär i sin tur att ETS 1 antagligen behöver kompletteras med ytterligare intäkter från andra marknader, med överlappande politik, eller genom att utvecklas så att upptagskrediter ges extra stöd utöver den prissignal som ges av marknaden för utsläppsrätter.

7.3 Politik som kompletterar prissignalen i ETS 1

Regelverket för både de danska och de svenska auktionerna till stöd för bio-CCS tillåter att budgivare använder andra intäktsströmmar i sin budgivning. Genom att garantera andra intäktsströmmar ökar en aktörs konkurrenskraft i auktionerna och därmed möjligheten att vinna ett kontrakt. Detta möjliggörs bland annat genom att

tillåta dubbla anspråk på klimatnyttan från upptaget. Upptaget som följer på att statsstöd ges till bio-CCS kan på så vis både återspeglas i Sveriges nationella utsläppsregister, och därmed bidra som kompletterande åtgärd till att Sverige når sina nationella klimatmål, och i privata aktörers hållbarhetsredovisning, om de exempelvis köpt upptagskrediter från samma klimatåtgärd. Krediter av detta slag får dock inte auktoriseras för att användas i syfte att uppfylla andra länders klimatlöften under Parisavtalet. Upptaget ska alltså som mest bokföras i ett lands utsläppsregister för att undvika dubbelbokföring. Det är alltså tillåtet att göra dubbla anspråk på klimatnyttan, men inte att dubbelbokföra upptaget i de av FN reglerade nationella utsläppsregistren.

En integrering i ETS₁ skulle möjligen kunna fungera på ett liknande sätt. Regelverket för att undvika dubbelbokföring behöver vara robust, men principiellt bör det finnas lösningar som möjliggör att stapla intäkter för permanenta upptag från fler källor än genom försäljning av upptagskrediter. På så vis kan ETS 1 förmås ge en tillräckligt hög och stabil prissignal för att motivera investeringar i permanenta upptag.

I Nederländerna används ett system med differenskontrakt för att täcka kostnader för installation av CCS på fossila utsläppskällor som omfattas av ETS 1 (Lundberg and Fridahl 2022). Systemet baseras på omvänd auktionering som resulterar i kontrakt på mellanskillnaden mellan åtgärdskostnaden för CCS och de kostnadsbesparingar som uppstår då utsläppen från en verksamhet minskar och därmed resulterar i att verksamhetsutövaren slipper köpa och överlåta utsläppsrätter i ETS 1. Systemet är kompatibelt med EU-rätten som tillåter differenskontrakt kopplat till marknaden för utsläppsrätter och liknar till stora delar det system som också tillämpas i Storbritannien, i deras nyligen antagna affärsmodell för upptag illustrerat i Figur 7. Differenskontrakt eller liknande långsiktiga lösningar för finansiering av permanenta upptag beskrevs även som en möjlig lösning i arbetet med den Klimatpolitiska vägvalsutredningen (Fridahl 2019; SOU 2020).

Ett sätt att finansiera ett statligt stöd till differenskontrakt för permanenta upptag i ETS 1 är genom intäkter som genereras av medlemsländernas auktionering av utsläppsrätter och från gränsjusteringsmekanismen CBAM. I fallet Sverige bedömer Naturvårdsverket (2025) att svenska statens intäkter från auktionering av utsläppsrätter i ETS 1 kommer att uppgå till totalt cirka 16 till 23 miljarder kronor i perioden 2025–2030. Intäkterna från CBAM bedöms vara runt en till drygt två miljarder kronor 2026 för att sedan succesivt öka i takt med att kraven inom CBAM skärps (NV 2025). I kalkylerna av intäkter från auktionering har avdrag gjorts för olika EU-fonder och marknadsstabilitetsreserven i ETS 1, samt annullering av utsläppsrätter som undanhålls från auktioner. Annullering av utsläppsrätter som skulle sålts och genererat intäkter till Sverige skapar istället ett utsläppsutrymme som överförs till Sveriges åtagande inom ansvarsfördelningsförordningen, ESR. Sveriges regering har meddelat Europeiska kommissionen att Sverige ämnar använda hela utrymmet som erbjuds genom denna flexibilitet mellan ETS 1 och ESR, vilket motsvarar knappt 0,86 miljoner ton koldioxidekvivalenter årligen i perioden 2025–2030. Med Naturvårdsverkets antaganden om prisutveckling i ETS 1 motsvarar det totalt cirka 4,7 till 6,6 miljarder kronor i uteblivna intäkter, för hela perioden 2025 till 2030. I sammanhanget kan nämnas att intäkterna från ETS 2 troligtvis också kommer vara höga. Med hänsyn taget till stora osäkerheter uppskattar Naturvårdsverket att det rör sig om

mellan 7 och 12 miljarder kronor per år (NV 2025). Även dessa intäkter skulle kunna finansiera permanenta upptag i linje med principen om att förorenaren betalar.

Sammantaget genererar dessa rättsakter stora intäkter till Sverige och till övriga medlemsstater. Enligt EU:s regelverk kan dessa intäkter exempelvis nyttjas för att subventionera permanenta upptag genom bio-CCS.

Differenskontrakt har potential att lösa problemet med att kapacitet för permanenta upptag behöver byggas upp i god tid innan efterfrågan eskalerar. Kontrakten skulle kunna reducera investeringsrisken till acceptabla nivåer för investerare och samtidigt avlasta behovet av statlig finansiering.

Ett stort problem med differenskontrakt är dock att de riskerar att underminera prissignalen för minskade utsläpp i ETS 1. En ovillkorad integrering i ETS 1 där upptagskrediter och utsläppsrätter betraktas som helt utbytbara produkter (fungibla varor) och där upptagskrediterna subventionerats av statsstöd, kommer i praktiken öka utsläppsutrymmet i handelssystemet och därmed sänka priset på utsläppsrätter (Rickels et al. 2021). En urholkad prissignal innebär färre investeringar i att minska utsläpp och riskerar att vara samhällsekonomiskt ineffektivt. Subventionerade upptag kommer i ett sådant system att ersätta billigare åtgärder för att minska utsläpp och hålla nere priserna på utsläppsrätter.

För att hantera dessa problem kan integreringen i ETS 1 villkoras. Med villkorad integrering avses ett system där tillförseln av upptagskrediter till marknaden för utsläppsrätter styrs av ett tydligt mandat (Fridahl et al. 2023; Rickels et al. 2022; Rickels et al. 2021). Ett sådant mandat kan vara centrerat kring specifika funktioner, exempelvis att stabilisera priser på marknaden för utsläppsrätter i ETS 1 i en framtid där likviditetsbrist riskerar att skapa volatilitet som kraftigt ökar investeringsriskerna och samhällskostnaden för måluppfyllelse samt att underminera det politiska stödet för ETS 1 (Rickels et al. 2022).

Mandatet bör hanteras av en oberoende institution som kan liknas vid en centralbank för koldioxid. I syfte att verka inom mandatet bör centralbanken ha tillgång till en reserv av upptagskrediter som antingen fylls på genom ett centralt administrerat upphandlingsprogram för permanenta upptag, ett decentraliserat upphandlingsprogram där varje medlemsstat bidrar eller en kombination av central och decentraliserad upphandling. Det är dock viktigt att ett system av detta slag, med villkorad integrering i ETS 1, startas upp i god tid innan behovet av prisstabilisering i ETS 1 uppstår. Detta eftersom kreditreserven behöver vara tillräckligt stor för att marknaden ska ha tillit till möjligheten att stabilisera priser, men också för att skapa tidiga incitament för investeringar i permanenta upptag och på så vis succesivt bygga upp kapaciteten att fylla på kreditreserven.

En kreditreserv som hanteras av en centralbank för koldioxid kan även den, i ett tidigt skede, finansieras genom försäljning av utsläppsrätter (likt Innovationsfonden) och framtida intäkter från CBAM. I ett senare skede kommer sådan finansiering att kompletteras med intäkter från försäljning av upptagskrediter från kreditreserven. Eftersom priset på utsläppsrätter i framtiden kommer vara betydligt högre än i dagsläget kommer skillnaden mellan kostnaden för permanenta upptag och kostnaden för att minska utsläpp att vara mindre. Det innebär att den risk för samhällsekonomisk ineffektivitet minskar, det vill säga risken för att ovillkorad integrering genom

differenskontrakt leder till att utsläppsminskningar skjuts upp på grund av subventionerade upptag.

I sammanhanget bör också nämnas att Klimatklivets stöd till biokol erbjuds under premissen att det är ett marknadsintroduktionsstöd till verksamheter som inte täcks av EU ETS 1 (Olsson, Fridahl, and Grönkvist 2024). Om biokol kommer omfattas av ett regelverk för att generera upptagskrediter i ETS 1 innebär det troligtvis att det nationella stödet till biokol behöver reformeras.

7.4 Integrering av permanenta upptag i andra rättsakter

Permanent upptag kan komma att behövas i högre grad, för att uppfylla EU:s klimatmål, än den efterfråga som skapas inom ETS 1. Stora delar av de utsläpp som på längre sikt förväntas kvarstå i ekonomin (residualutsläpp) återfinns i ESR och i form av kolförluster från jordbruksmark inom LULUCF. Potentialen att använda upptag i LULUCF, för att kompensera för alla kvarvarande utsläpp i LULUCF och i ESR, är begränsad och räcker med mycket stor sannolikhet inte till för att nå noll nettoutsläpp 2050. Internationella klimatsatser genom Parisavtalets artikel 6 har introducerats som en volym- och kvalitetsbegränsad möjlighet att uppnå EU:s etappmål för 2040 och kan på sikt komma att bidra också till måloppfyllelse 2050, vilket i så fall avlastar efterfrågan på upptag. Men i Europeiska kommissionens egna konsekvensanalyser för klimatmålen 2040 och 2050 utgör permanenta upptag en så stor andel av åtgärderna som behöver genomföras för att målen ska nås (se avsnittet Permanent upptag i befintliga klimatmål: Europeiska unionen) att internationella krediter troligtvis inte kan kompensera för hela behovet av permanenta upptag.

Av dessa anledningen kan det finnas behov av integrering permanenta upptag också i andra av EU:s klimatpolitiska pelare än ETS 1, det vill säga ESR (inklusive ETS 2), LULUCF. Alternativt kan det behöva skapas nya pelare som utvecklas för att uppfylla EU:s klimatmål till 2040 och 2050.

Att integrera permanenta upptag i ETS 1 behöver dessutom inte innebära att permanenta upptag utesluts från andra pelare i det klimatpolitiska ramverket. Det är fullt möjligt att skapa parallella system så länge ett och samma upptag inte används för att uppfylla åtaganden i mer än en pelare. Exempelvis kan en stat mycket väl få möjlighet att skapa eller köpa upptagskrediter för att uppfylla nationella åtaganden i LULUCF eller ESR och upptagskrediter skulle kunna integreras också i ETS 2, alltså inom ESR. Integrering i ETS 2 kan dessutom villkoras och en centralbank för koldioxid, som hanterar en kreditreserv för upptag för prisstabilisering i ETS 1, skulle också kunna få uppdrag att möta efterfråga på upptagskrediter utanför ETS 1.

Ett alternativ för att integrera permanenta upptag i EU:s klimatpolitik är att utveckla ett fristående EU-system för handel med upptag (Removals Trading System, RTS). Ett sådant system skulle definiera en mängd upptag som verksamheter inom handelssystemet måste skapa för att uppfylla sina skyldigheter. Enligt Meyer-Ohendorf (2023) skulle verksamheter som omfattas av ETS 1 kunna beläggas med en sådan skyldighet, jämte skyldigheten att överlämna utsläppsrätter motsvarande verksamheternas årliga utsläpp i ETS 1. En upptagsskyldighet motiveras av ETS-verksamheternas historiska ansvar för att klimatförändringarna.

Förslaget har dock brister. I ett system för handel med upptag finns inget givet samband mellan en teknisk potential för upptag och en skyldighet att överlämna upptagskrediter, ett problem som Meyer-Ohlendorf (2023) noterar men saknar en lösning för. Utan att koppla skyldigheter till en teknisk potential upptag finns det inget tydligt incitament för leverantörer av upptagskrediter att handla sinsemellan. Handeln skulle antagligen till största del gå från aktörer som saknar skyldigheter men kan realisera en potential att tillhandahålla krediter, till aktörer med skyldigheter men med låg eller ingen kapacitet att själva generera krediter. Om efterfrågan på upptagskrediter i RTS skulle komma från återtagsskyldigheter fördelade till verksamheter i ETS 1, då framstår det rimligare att istället integrera upptag direkt i ETS 1. Om RTS istället tilldelar återtagsskyldigheter till anläggningar med stora utsläpp av biogen koldioxid riskerar det att på ett övergripande EU-plan öka konkurrenskraften på fossila bränslen, relativt biobränslen, med ökade utsläpp som följd.

Ett separat handelssystem är alltså utmanande. Det riskerar att bli en onödig administrativ pålaga i det fall betalningskollektiven ändå identifieras inom exempelvis jordbruk i ESR eller inom ETS 1 och ETS 2.

Ett alternativ till integrering i ETS 1 och att skapa ett separat system för handel med upptag skulle kunna vara att fastställa skyldigheter för EU:s medlemsstater att skapa permanenta upptag och låta medlemsstaterna själva designa nationella politiska instrument för att uppfylla skyldigheterna, i stil med ESR- och LULUCF-sektorn. En efterfråga på permanenta upptag som skapas av medlemsstaters ansvar att uppfylla ett åtagande kan kombineras med en marknadsplats eller ett handelssystem för upptag (Westerberg et al. 2025).

7.5 En strategi för användning av biomassa och koldioxid

Strategisk planering är ett mycket viktigt instrument i klimatomställningen. Strategier används för att beskriva visioner, sätta långsiktiga mål och identifiera möjligheter och hinder att nå målen. Strategier bör ha ett brett systemperspektiv som utgångspunkt för att prioritera åtgärder på kort, medellång och lång sikt. En väl utvecklad strategi kan vägleda hantering av intressekonflikter i konkurrens om råvaror, design av styrmedel och regleringar samt rikta investeringar i forskning och utveckling.

Flera instanser har lyft vikten av strategisk planering för att främja en svensk och europeisk bioekonomi. I slutet av 2025 antog Europeiska kommissionen en bioekonomistrategi för EU (EC 2025c) som i sin tur bygger på en tidigare strategi från 2012 (EC 2012). I den uppdaterade strategin understryks de strategiska möjligheterna med en utvecklad bioekonomi för att uppfylla EU:s biodiversitets- och klimatmål, samt stärka EU:s energisäkerhet. Enligt Europeiska kommissionen behövs en strategi bland annat för att realisera en ”enorm” (EC 2025c: sid. 2) och till stora delar outnyttjad bioekonomisk potential, där strategiska överväganden krävs för att prioritera användningen av tillgångar i linje med politiska målsättningar, hantera marknadsmisslyckanden och stimulera investeringar, samt identifiera och övervinna regelbaserade hinder.

Sverige saknar fortfarande en officiell bioekonomistrategi, även om initiativ har tagits till att skapa en sådan strategi. Sommaren 2022 beslutade regeringen att tillsätta en särskild utredare för att ”ta fram förslag till en strategi för en hållbar,

konkurrenskraftig och växande svensk bioekonomi” (Sveriges regering 2025a). Det resulterade i Bioekonomiutredningen som lämnade sitt slutbetänkande till regeringen i december 2023 (SOU 2023). I skrivandets stund har regeringen ännu inte lagt något förslag till svensk bioekonomistrategi baserat på bioekonomiutredningens betänkande eller de inkomna remissvaren.

Bioekonomiutredningen (SOU 2023) menar bland annat att ”styrmedel som enbart främjar koldioxidinfångning för permanent lagring (CCS), men inte koldioxidinfångning för användning (CCU) i nya material som bränslen och kemikalier” (SOU 2023: Sid. 73) kan utgöra ett hinder för en effektiv bioekonomi som maximerar klimatnytta. Samma tanke återspeglas i Fossilfritt Sveriges strategi för biogen koldioxidinfångning: ”Hållbar bioråvara är en begränsad resurs och behöver betraktas i ett system där biomassan och de biogena kolatomerna bidrar till klimatomställningen på ett energi- och resurseffektivt sätt” (Fossilfritt Sverige 2024: sid. 11).

I båda fallen är andemeningen att bio-CCS bör placeras i en bredare kontext som viktat systemnyttan med att använda infångad koldioxid till att skapa produkter som kan substituera användning av fossila råvaror mot systemnyttan av att lagra koldioxid för att skapa permanenta upptag. Denna logik kan utökas till att också gälla andra former av permanenta upptag. Vid planering för permanenta upptag är behovet av en bioekonomistrategi stort. En strategi kan placera biokol, bio-CCS, DACCS och andra klimatåtgärder där biomassa används eller där koldioxid avskiljs i en bredare kontext. Ett brett angreppssätt kan skapa strategisk riktning genom visioner för utveckling av resurseffektiv och värdeskapande användning av biogent kol och infångade koldioxidmolekyler.

Fossilfritt Sveriges strategi för bio-CCS och -CCU, Bioekonomiutredningen förslag till bioekonomistrategi och EU:s bioekonomistrategi beskriver alla vikten både av att öka tillförseln av hållbar biomassa till bioekonomin och att prioritera användningen av gröna kolatomer, både i biomassa och i infångad koldioxid, i tillämpningar som skapar så högt förädlingsvärde och så stor klimatnytta som möjligt.

En strategi kan bidra till ökad tillgång på gröna kolatomer genom att exempelvis identifiera outnyttjade potentialer och ineffektiva resursflöden. Outnyttjade potentialer kan exempelvis finnas i restprodukter från avfallshantering, industri, skogs-, jord- och vattenbruk samt annan markanvändning som exempelvis parkförvaltning och trädgårdsskötsel, liksom kolatomer i rökgaser, jäsning av biomassa och uppgradering av biogas. Ineffektiva flöden kan exempelvis finnas i förbränning av potentiellt högvärdig biomassa eller biomassa med alternativ användning som kan bidra med större samhällsnytta, vilken exempelvis kan tillgängliggöras för annat än kraftvärmeproduktion eller genom att elektrifiera industri och transporter; i det senare fallet för att minska förbrukning av fossila bränslen men också för att minska efterfrågan på biobränsle (Fossilfritt Sverige 2024; SOU 2023).

Att tillämpa en bioekonomistrategi innebär att politiken styr så att grönt kol återvinns i så många processer som möjligt i syfte att öka kolets förädlingsvärde innan det når kompostering, jäsning rötning eller förbränning. Efter att lågvärdigt kol nått långt ned i avfallshierarkin finns det också goda skäl till att kolet inte deponeras i atmosfären i form av koldioxid utan istället fångas in och används till nya produkter eller slutförvaras i geosfären. För att uppnå ett resurseffektivt flöde av gröna kolatomer i svensk ekonomi kan strategin utgå från EU:s kaskadprincip (EU 2024a) och

från den svenska avfallshierarkin, som bygger på kaskadprincipen. Avfall ska i första hand förebyggas, i andra hand återanvändas och i tredje hand materialåtervinnas. Först därefter bör biomassa energiåtervinnas. Fossilfritt Sverige (2024) identifierar dock ett behov av att nyansera avfallshierarkin. Att nyansera avfallshierarkin kan bland annat innebära att kol återförs till ekonomin efter energiåtervinning för att förädlas till nya produkter istället för att lagras geologiskt. En bioekonomistrategi bör också hantera frågan om klimatnytta genom kolförråd i levande biomassa kontra skörd av biomassa för användning i samhället.

De flesta remissinstanser var positiva till Bioekonomutredningens förslag till strategi. Över två år har gått sedan förslaget överlämnades till regeringen och Sverige saknar fortfarande en övergripande, nationell strategi samtidigt som behovet av en svensk bioekonomistrategi ökat i betydelse i takt med att behovet av permanenta upptag ökat i klimatomställningen. Sveriges bioekonomi är dessutom stor som andel av bruttonationalprodukten och svensk skogsindustri står för en mycket betydande andel av Sveriges export (Johnson et al. 2022), vilket också motiverar behovet av en strategi för att vägleda den fortsatta utvecklingen av den svenska bioekonomin.

8 Slutsatser

Denna rapport har sammanställt existerande potentialbedömningar för permanenta upptag i svenskt territorium, diskuterat hinder för realisering av potentialerna, kartlagt vilken roll permanenta upptag har i befintlig målstyrning samt de styrmedel och regelverk som påverkar realiseringen av permanenta upptag, samt diskuterat vilka luckor som finns i befintlig styrmedelsmix och hur dessa luckor skulle kunna stängas.

Fokus i rapporten har varit att måla den breda översikt bilden för de tre mest centrala teknikerna för permanenta upptag i det svenska klimatpolitiska ramverket: Avskiljning och lagring av biogen koldioxid (bio-CCS), direktinfångning och lagring av atmosfärisk koldioxid (DACCS) och biokol.

8.1 Potentialbedömningar och hinder för realisering

Den tekniska potentialen för permanenta upptag i svenskt territorium är svår att kvantifiera i exakta tal. Det är dock möjligt att dra slutsatsen att potentialen är hög. Bäst kunskap om potentialen finns för bio-CCS, där bedömningar uppskattar en potential på upp till 30 miljoner ton koldioxid per år runt 2045. Runt 2045 bedöms den tekniska potentialen för biokol överstiga en milon ton koldioxid per år. För DACCS saknas bra underlag för en uppskattning av potentialen.

Hindren för att realisera dessa potentialer är många. Framförallt saknas det kostnadstäckning, men även andra hinder behöver överbryggas för att potentialen ska kunna realiseras. Exempelvis saknas mål för permanenta upptag och en strategi med visioner för utveckling av den svenska bioekonomin. Osäkerheter i ekonomins och klimatpolitikens framtida utveckling skapar investeringsrisker som inte minst påverkar de stora investeringsbeslut som krävs för att bygga bio-CCS, men också DACCS och produktionsanläggningar för biokol.

Kostnaden för permanenta upptag utgör förmodligen det största hindret för realisering av den tekniska potentialen. Bland annat på grund av bristande erfarenhet är åtgärds kostnaden för permanenta upptag osäker men bedöms ligga i spannet från knappt 1 000 kronor till nästan 15 000 kronor per ton lagrad koldioxid. Billigast åtgärds kostnad bedöms finnas för bio-CCS under optimala förhållanden, vilket framförallt gäller för produktion av etanol och biogas som genererar restströmmar av gas med mycket höga koncentrationer av koldioxid, samt för biokol. Dyrast bedöms DACCS, där de mest optimistiska uppskattningarna överstiger 5 000 kronor per ton lagrad koldioxid.

I jämförelse med kostnaden för att minska utsläpp genom reduktionsplikt, som uppskattas kosta en bra bit över 3 000 kronor per ton, bedöms de flesta tillämpningar av bio-CCS och biokol som kostnadseffektiva. Kostnaden för permanenta upptag kan också jämföras med nivåerna på den svenska koldioxidskatten, på runt 1 500 kronor per ton utsläppt koldioxid 2026, och priset på utsläppsätter i EU:s handelssystem ETS 1, som pendlat mellan knappt 1 000 kronor till 700 kronor per ton under de första månaderna av 2026. I jämförelse med dessa prissignaler bedöms permanenta upptag i de flesta fall, i dagsläget, vara relativt dyra åtgärder.

Kostnadseffektiviteten för permanenta upptag kommer med hög sannolikhet att stärkas i takt med att åtgärds kostnaden stiger för att minska utsläpp, vilket sker i

samband med att billigare åtgärder genomförs, och i takt med att erfarenheten av att genomföra permanenta upptag ökar och lärdomar sprids. Samtidigt finns det risk för att större projekt för permanenta upptag visar sig bli dyrare än budgeterat. I dagsläget är erfarenheten av att bygga exempelvis större anläggningar för bio-CCS begränsad. I takt med att erfarenheten ökar kan kostnader avslöjas som inte finns med i kalkylerna.

Utmaningen är att fästa orealistiska förväntningar på permanenta upptag som minskar omställningstrycket i övriga delar av ekonomin samtidigt som politiken behöver utvecklas för att också främja permanenta upptag, så att kapaciteten för dessa åtgärder ökar.

8.2 Permanenta upptag i befintlig målstyrning

Scenarion för att uppfylla de långsiktiga klimatmålen på global nivå (2100) liksom i EU (2050) och Sverige (2045) inkluderar stora mängder kvarvarande utsläpp som till stor del antas kunna kompenseras genom ökade upptag, inklusive stora mängder permanenta upptag. Bortom scenarioarbete saknas dock konkretion. Varken globalt, inom EU eller för de nationella svenska klimatmålen finns tydliga separata mål för permanenta upptag. Detsamma gäller i de flesta andra länder med politik för att främja permanenta upptag. Detta är en brist eftersom separata mål ökar förutsägbarheten för investerare och skapar tydligare målstyrning för den nationella förvaltningen. Samtidigt innebär avsaknaden av separata mål för permanenta upptag en större flexibilitet i arbetet med att nå klimatmålen. Med ökad flexibilitet ökar i normalfallet också möjligheterna att nå målen till lägre kostnad. Fördelarna med ökad tydlighet i målstyrningen behöver alltså vägas mot nackdelar med ett begränsat handlingsutrymme.

I Sverige saknas dessutom en bred strategi för bioekonomins utveckling och för den roll som infångad koldioxid kan spela inom bioekonomin, både som råvara till produkter och som potential för att skapa permanenta upptag. En sådan strategi bör utvecklas inom de ramar som sätts av Sveriges långsiktiga klimatpolitiska målsättning om noll nettoutsläpp till 2045, och negativa utsläpp därefter. Strategin kan innehålla indikativa mål för permanenta upptag utan att låsa handlingsutrymmen till att dessa mål måste uppfyllas.

På EU-nivå saknas också tydlighet i hur permanenta upptag kan integreras i EU:s klimatpolitik och tillåtas bidra till att uppfylla näringslivets åtaganden inom ETS 1 och medlemsstaternas åtaganden både inom Ansvarsfördelningsförordningen (ESR) och i markanvändningssektorn (LULUCF). Det tillägg till den europeiska klimatlagen som beslutades 2026, om ett nytt etappmål för 2040, inkluderar permanenta upptag men saknar ett tydligt siffersatt separat mål. Under 2026 kommer EU:s lagstiftande institutioner påbörja processen för att besluta vilka regler och styrmedel som behövs för att det nya etappmålet ska kunna uppfyllas. I ljuset av den stora svenska potentialen för permanenta upptag är denna process viktig för svensk klimatpolitik. Hur EU-politiken utvecklas kommer påverka förutsättningarna för att realisera den svenska potentialen för permanenta upptag och det är därför viktigt att Sverige engagerar sig proaktivt i denna process för att påverka utkomsten i en riktning som främjar det globala klimatarbetet. Europeiska kommissionen planerar att lägga

lagförslag på detta område i tredje och fjärde kvartalet av 2026. Det innebär att tidsfönstret för Sverige att arbeta proaktivt, innan förslagen presenteras, är snävt. Efter att lagförslagen presenteras finns fortsatta möjligheter att påverka politikens utformning genom den ordinarie lagstiftningsprocessen i EU, men denna är mer reaktiv i och med att processen då utgår från redan lagda förslag.

8.3 Existerande politik för att främja permanenta upptag

Samtidigt som scenarion för att nå långsiktiga klimatmål inkluderar stora mängder permanenta upptag redan i närtid, fram till 2030, är politiken främst inriktad på att främja forskning och utveckling av permanenta upptag. I EU och i Sverige finns flera finansieringskällor för forskning om permanenta upptag, och på båda styrvivåerna erbjuds stöd till företag och andra organisationer som vill genomföra förstudier samt utveckla och demonstrera metoder för att skapa permanenta upptag. I Sverige rör det sig främst om ett stödsystem baserat på omvända auktioner för att främja bio-CCS, investeringsstöd till biokol genom Klimatklivet och delfinansiering av genomförbarhetsstudier samt olika former av pilot-, forsknings-, demo- och fullskaleanläggningar genom Industriklivet. I EU rör det sig främst om investeringar i infrastruktur för transport och lagring genom Connecting Europe Facility och i avskiljningsanläggningar genom EU:s Innovationsfond.

Med undantag för EU:s industrilagstiftning som ställer krav på att företag som utvinner olja och gas ska finansiera utvecklingen av kapacitet att lagra koldioxid geologiskt saknas i dagsläget politik som kan realisera större mängder permanenta upptag. Det är möjligt att politiken kan realisera mindre mängder till 2030 – i nivå med det mål som Europeiska kommissionen satt upp på fem miljoner ton – men det saknas instrument för att skala upp tillämpningen. I Europeiska kommissionens konsekvensanalyser krävs mycket stora volymer permanenta upptag för att nå 2040- och 2050-målet.

8.4 Luckor i befintlig sammansättning av styrmedel

De största luckorna i befintliga styrmedel är att de inte, i någon större utsträckning, bidrar till att skapa en efterfråga på permanenta upptag. Denna brist blir extra tydlig om målstyrningen utvecklas i den riktning som rekommenderas i denna rapport, det vill säga med en tydlig integrering i befintliga klimatmål på EU-nivå, separata mål för permanenta upptag och med en tydlig strategi för bioekonomins utveckling.

En av de mer troliga politiska utvecklingsbanorna av styrmedel för att öka efterfrågan är att inkludera permanenta upptag i EU:s system för handel med utsläpp, ETS 1. Systemet lämpar sig väl för integrering av permanenta upptag. En sådan integrering skapar bättre förutsättningar för att bygga långsiktig politiska acceptans för ETS 1 genom att möjliggöra prisstabilisering i handelssystemet, ökad kostnadseffektivitet i att uppfylla EU:s klimatmål och förbättrad möjlighet till stärkt europeisk konkurrenskraft inom industri för vilken det saknas rimliga substitutionsvaror och där en total utfasning av utsläpp är omöjlig eller extremt kostsam.

Eftersom möjligheten att nå svenska klimatmål till viss del baseras på permanenta upptag behöver svensk politik skapa förutsättningar för att sådana upptag också

realiseras. Det finns därför ett fortsatt stort behov att främja permanenta upptag genom politik som beslutas i Sverige. Att i Sverige avstå egna styrmedel och enbart förlita sig på framtida EU-politik är ett dåligt alternativ eftersom den mängd kompletterande åtgärder som behövs i målbanan fram till 2045 redan är fördröjd. Det är särskilt viktigt till dess att Sverige får klarhet i hur EU:s politik för permanenta upptag kommer att se ut fram till 2045. De nationella styrmedlen kan se olika ut för olika former av permanenta upptag men gemensamt för stödet är att det behöver skapa långsiktigt stabila förutsättningar för investering. När klarhet i EU-politiken nås bör de svenska styrmedlen anpassas till de styrmedel som antas av EU.

Förutom styrmedel behöver Sverige också utveckla regler för hur permanenta upptag kan kvantifieras och bokföras för att räknas som kompletterande åtgärd i Sveriges nationella etappmål till 2030 och 2040 samt klimatmål till 2045. Dessa bokföringsregler bör baseras på de metodriktlinjer som redan utvecklats av IPCC. I takt med att IPCC:s riktlinjer utvecklas och dessa riktlinjer eventuellt antas av Klimatkonventionen UNFCCC för att gälla inom Parisavtalet bör de svenska reglerna kunna revideras. IPCC planerar att besluta om nya och utvecklade riktlinjer i slutet av 2027, vilket skapar ett underlag för UNFCCC som planerar att besluta om reviderat transparensramverk för Parisavtalet i slutet av 2028.

8.5 Rekommendationer för politikutveckling

Av de slutsatser som dragits i denna rapport härleds följande rekommendationer till att utveckla den svenska politiken för att realisera permanenta upptag i Sverige:

- Förtydliga målstyrningen genom att inrätta indikativa mål för permanenta upptag till 2045 och överväg att målet också uttrycks genom en mål bana för perioden 2031–2044.
- Besluta om en svensk strategi för bioekonomi och koldioxid, för resurseffektiv användning av gröna kolatomer och infångad koldioxid.
- Utveckla nationella bokföringsregler för bio-CCS, DACCS och biokol som kompletterande åtgärder parallellt med utvecklingen av Klimatpanelens IPCC:s riktlinjer metodriktlinjer för rapportering av permanenta upptag i nationella utsläppsregister (2026–2027) och Klimatkonventionens UNFCCC:s översynen transparensregelverk (2028).
- Eftersom möjligheten att nå svenska klimatmål till viss del baseras på permanenta upptag behöver svensk politik skapa förutsättningar för sådana upptag också realiseras. Det finns därför ett fortsatt stort behov att främja permanenta upptag genom politik som beslutas i Sverige. Att i Sverige avstå egna styrmedel och enbart förlita sig på framtida EU-politik är ett dåligt alternativ eftersom den mängd kompletterande åtgärder som behövs i målbanan fram till 2045 redan är fördröjd. Det är särskilt viktigt till dess att Sverige får klarhet i hur EU:s politik för permanenta upptag kommer att se ut fram till 2045. När sådan klarhet nås bör de svenska styrmedlen anpassas till de styrmedel som antas av EU.
- EU har beslutat om att integrera permanenta upptag i EU:s klimatpolitik från och med 2031. EU-politiken för att främja permanenta upptag bortom 2030 kommer att utvecklas med start 2026. Möjligheten att påverka hur

Europeiska kommissionen utformar lagförslagen är begränsad till första halvan av 2026, därefter övergår arbetet i förhandlingar mellan de lagstiftande institutionerna och möjligheterna till påverkans blir då mer reaktivt i betydelsen att arbetet då utgår från de förslag som lagts.

9 Referenser

- AffaldPlus. 2025. "AffaldPlus afgiver ikke tilbud i Energistyrelsens CCS-udbud." In. Næstved: AffaldPlus,.
- Azzi, Elias S., Erik Karlton, and Cecilia Sundberg. 2021. 'Small-scale biochar production on Swedish farms: A model for estimating potential, variability, and environmental performance', *Journal of Cleaner Production*, 280: 124873.
- . 2022. 'Life cycle assessment of urban uses of biochar and case study in Uppsala, Sweden', *Biochar*, 4: 18.
- Beiron, Johanna, Fredrik Normann, and Filip Johnsson. 2022. 'A techno-economic assessment of CO₂ capture in biomass and waste-fired combined heat and power plants – A Swedish case study', *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 118: 103684.
- BEIS. 2022. "Power Bioenergy with Carbon Capture and Storage (BECCS) Project Submission: Background and Guidance for submission." In. London: Department for Business, Energy and Industrial Strategy,.
- Bellamy, Rob. 2018. 'Incentivize negative emissions responsibly', *Nature Energy*.
- Bellamy, Rob, Mathias Fridahl, Javier Lezaun, James Palmer, Emily Rodriguez, Adrian Lefvert, Anders Hansson, Stefan Grönkvist, and Simon Haikola. 2021. 'Incentivising bioenergy with carbon capture and storage (BECCS) responsibly: Comparing stakeholder policy preferences in the United Kingdom and Sweden', *Environmental Science & Policy*, 116: 47-55.
- Bellona. 2025. "The European Commission moves forward with CRCF Permanent Removals despite concerns from the Carbon Removal Expert Group." In. Brussels: Bellona,.
- BGBL. 2019. "Bundes-Klimaschutzgesetz vom 12. Dezember 2019 (BGBL. I S. 2513), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 15. Juli 2024 (BGBL. 2024 I Nr. 235) geändert worden ist." In. Berlin: Bundesgesetzblatt,.
- Block, Simon, Peter Viebahn, and Christian Jungbluth. 2024. 'Analysing direct air capture for enabling negative emissions in Germany: an assessment of the resource requirements and costs of a potential rollout in 2045', *Frontiers in Climate*, 6.
- BMWK. 2024. "Aktualisierung des integrierten nationalen Energie- und Klimaplan: Bundesrepublik Deutschland." In. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK),.
- Byers, Edward, Volker Krey, Elmar Kriegler, Keywan Riahi, Roberto Schaeffer, Jarmo Kikstra, Robin Lamboll, Zebedee Nicholls, Marit Sanstad, Chris Smith, Kaj-Ivar van der Wijst, Alaa Al Khourdajie, Franck Lecocq, Joana Portugal-Pereira, Yamina Saheb, Anders Strømman, Harald Winkler, Cornelia Auer, Elina Brutschin, Matthew Gidden, Philip Hackstock, Mathijs Harmsen, Daniel Huppmann, Peter Kolp, Claire Lepault, Jared Lewis, Giacomo Marangoni, Eduardo Müller-Casseres, Ragnhild Skeie, Michaela Werning, Katherine Calvin, Piers Forster, Celine Guivarch, Tomoko Hasegawa, Malte Meinshausen, Glen Peters, Joeri Rogelj, Bjorn Samset, Julia Steinberger, Massimo Tavoni, and Detlef van Vuuren. 2022. "AR6 Scenarios Database." In. Laxenburg: International Institute for Applied Systems Analysis,.
- Carbyon. 2025. 'First DEI+ subsidy for DAC development granted to Carbyon for demonstrator project', Carbyon,, Accessed 13-01-2026. <https://www.carbyon.com/news/dei-subsidy>.
- Colorados delstatsregering. 2025. "Colorado Management Roadmap." In. Denver: Colorado State, Governor's office, Energy Office.
- Cox, Emily, Elspeth Spence, and Nick Pidgeon. 2020. 'Public perceptions of carbon dioxide removal in the United States and the United Kingdom', *Nature Climate Change*, 10: 744-49.
- Danmarks och Sveriges regering. 2024. "Memorandum of understanding (MoU) between the ministry of climate, energy and utilities of Denmark and the ministry of climate and enterprise of Sweden on cross-border transportation of CO₂ with the purpose of permanent geological storage." In. Brussels: Ministry of climate,

- energy and utilities of Denmark and Ministry of climate and enterprise of Sweden.
- Danmarks regering. 2024. "Endelig ajourføring af Danmarks nationale energi- og klimaplan for perioden 2021- 2030." In. Köpenhamn: Danmarks regering.
- DEA. 2025. "CHOCO₂LATE." In. Esbjerg: Danish Energy Agency: The Energy Technology Development and Demonstration Programme,.
- Delerce, Sylvain. 2025. "Understanding and Implementing the Like for Like Principle: Rules for carbon removal that enable durable net-zero." In. Brussels: Carbon Gap.
- Devine-Wright, Patrick. 2009. 'Rethinking NIMBYism: The role of place attachment and place identity in explaining place-protective action', *Journal of Community & Applied Social Psychology*, 19: 426-41.
- DOE. 2025a. 'Energy Department Announces \$100 Million to Restore America's Coal Plants', US Deptment of Energy, Accessed 14-01-2026. <https://www.energy.gov/articles/energy-department-announces-100-million-restore-americas-coal-plants>.
- . 2025b. 'Energy Department Announces \$625 Million Investment to Reinvigorate and Expand America's Coal Industry', US Deptment of Energy, Accessed 14-01-2026. <https://www.energy.gov/articles/energy-department-announces-625-million-investment-reinvigorate-and-expand-americas-coal>.
- . 2025c. 'Energy Department Announces Termination of 223 Projects, Saving Over \$7.5 Billion', US Deptment of Energy, Accessed 14-01-2026. <https://www.energy.gov/articles/energy-department-announces-termination-223-projects-saving-over-75-billion>.
- . 2025d. 'Energy Department Returns \$13 Billion in Unobligated Wasteful Spending to American Taxpayers', US Deptment of Energy, Accessed 14-01-2026. <https://www.energy.gov/articles/energy-department-returns-13-billion-unobligated-wasteful-spending-american-taxpayers>.
- . 2025e. "Strategy for the Carbon Negative Shot™." In. Washington D.C.: US Department of Energy.
- . 2026a. 'Americian-Made Programme: DAC Commercial CDR Purchase Pilot Prize', US Deptment of Energy, Accessed 14-01-2026. <https://www.herox.com/DAC-commercial>.
- . 2026b. 'Americian-Made Programme: DAC Pilot Prize', US Deptment of Energy, Accessed 14-01-2026. <https://www.herox.com/DAC-Pilot>.
- . 2026c. 'Americian-Made Programme: DAC Pre-Commercial Technology Prize', US Deptment of Energy, Accessed 14-01-2026. <https://www.herox.com/DAC-pre-commercial-tech>.
- EC. 2012. "Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: Innovating for Sustainable Growth: A Bioeconomy for Europe, COM/2012/060 final." In. Brussels: European Commission.
- . 2025a. "9th Carbon Removals Expert Group Meeting Carbon Removals and Carbon Farming (CRCF): Methodologies for certifying permanent carbon removals." In. Brussels: European Commission.
- . 2025b. "Carbon Removals in the EU: Review of current carbon removal projects and early-stage financing." In. Brussels: European Commission.
- . 2025c. "Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: A Strategic Framework for a Competitive and Sustainable EU Bioeconomy, COM(2025) 960 final." In. Brussels: European Commission.
- . 2025d. "An EU purchasing programme for permanent carbon removals: Assessment of policy options and recommendations for short-term policy design." In. Brussels: European Commission, Directorate-General for Climate Action.
- . 2025e. "Funding of EU Carbon Removals: Assessment of existing EU funding programmes and new funding models to increase carbon removal supply." In. Brussels: European Commission.

- . 2025f. "Impact Assessment Report – Part 3. Securing our future: Europe's 2040 climate target and path to climate neutrality by 2050 building a sustainable, just and prosperous society. SWD(2024) 63 final, Part 3/5." In. Brussels: European Commission.
- . 2025g. "Support to the development of methodologies for the certification of industrial carbon removals with permanent storage: Technical assessment paper on certification methodologies of permanent carbon removals." In. Brussels: European Commission, Directorate-General for Climate Action.
- Energistyrelsen. 2023. 'The first tender of the CCUS subsidy scheme has been finalized: the Danish Energy Agency awards the contract to Ørsted's full scale CCS project', Energistyrelsen, , Accessed 13-01-2026. <https://ens.dk/en/press/first-tender-ccus-subsidy-scheme-has-been-finalized-danish-energy-agency-awards-contract>.
- . 2024. 'Danish Energy Agency presses the start button for billion-dollar tendering procedure for carbon capture and storage', Energistyrelsen, , Accessed 13-01-2026. <https://ens.dk/en/press/danish-energy-agency-presses-start-button-billion-dollar-tendering-procedure-carbon-capture>.
- . 2025. '10 companies selected to compete for Denmark's CCS Fund with DKK 28.7 billion for Carbon Capture and Storage', Energistyrelsen, , Accessed 13-01-2026. <https://ens.dk/en/press/10-companies-selected-compete-denmarks-ccs-fund-dkk-287-billion-carbon-capture-and-storage>.
- Energist. 2025. "Esbjerg-projekt for CO₂-fangst rammes af udbuddets tidsplan." In. Kolding och Esbjerg: Energist,.
- Engelmann, Linda, Imke Haverkämper, Wiktoria Wilkowska, and Martina Ziefle. 2025. 'Perceived benefits and barriers of direct air carbon capture and storage: Applying a holistic perspective among German citizens using structural equation modeling', *Energy Research & Social Science*, 127: 104270.
- Enova. 2026. 'Heilo CCUS', Enova,, Accessed 12-01-2026. <https://www.enova.no/nb/bedrift/andre-markedstilbud/tema-heilo/heilo-ccus>.
- EPA. 2026. 'Climate Pollution Reduction Grants', US Environmental Protection Agency, Accessed 14-01-2026. <https://www.epa.gov/inflation-reduction-act/climate-pollution-reduction-grants>.
- ESABCC. 2023. "Scientific advice for the determination of an EU-wide 2040 climate target and a greenhouse gas budget for 2030–2050." In. Copenhagen: European Scientific Advisory Board on Climate Change.
- . 2025a. "Scaling up carbon dioxide removals: Recommendations for navigating opportunities and risks in the EU." In. Copenhagen: European Scientific Advisory Board on Climate Change.
- . 2025b. "Scientific advice for amending the European Climate Law: Setting climate goals to strengthen EU strategic priorities." In. Copenhagen: European Scientific Advisory Board on Climate Change.
- ESNZ. 2023. "Biomass Strategy." In. London: Department for Energy Security and Net Zero,.
- . 2025. "Greenhouse Gas Removals: Greenhouse Gas Removals (GGR) Business Model summary." In. London: Department for Energy Security and Net Zero,.
- EU. 2024a. "Europaparlamentets och rådets direktiv (EU) 2018/2001 av den 11 december 2018 om främjande av användningen av energi från förnybara energikällor (omarbetning)." In. Brussels: European Union.
- . 2024b. "Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2021/1153 av den 7 juli 2021 om inrättande av Fonden för ett sammanlänkat Europa och om upphävande av förordningarna (EU) nr 1316/2013 och (EU) nr 283/2014." In. Brussels: European Union.
- . 2024c. "REGULATION (EU) 2024/3012 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 27 November 2024 establishing a Union certification framework for permanent carbon removals, carbon farming and carbon storage in products." In, edited by European Parliament. Brussels: Official Journal of the European Union.

- . 2024d. "Regulation (EU) 2024/3012 of the European Parliament and of the Council of 27 November 2024 establishing a Union certification framework for permanent carbon removals, carbon farming and carbon storage in products. OJ L, 2024/3012 " In. Brussels: The European Union,.
- Fajardy, Mathilde, and Niall Mac Dowell. 2018. 'The energy return on investment of BECCS: is BECCS a threat to energy security?', *Energy & Environmental Science*, 11: 1581-94.
- Fleiß, Benjamin, Juraj Priscak, Martin Hammerschmid, Josef Fuchs, Stefan Müller, and Hermann Hofbauer. 2024. 'CO2 capture costs of chemical looping combustion of biomass: A comparison of natural and synthetic oxygen carrier', *Journal of Energy Chemistry*, 92: 296-310.
- Fossilfritt Sverige. 2024. "Strategi för fossilfri konkurrenskraft: Biogen koldioxidinfångning (bio-CCUS)." In. Stockholm: Statens ofefntliga utredningar, Fossilfritt Sverige.
- Fransson, Ann-Mari, Mattias Gustafsson, Jonatan Malmberg, and Markus Paulsson. 2025. "Biokolhandboken – för användare." In. Stockholm: Region Skåne och Vinnova,.
- Fridahl, Mathias. 2017. 'Socio-political prioritization of bioenergy with carbon capture and storage', *Energy Policy*, 104: 89-99.
- . 2019. "Incitamentsstrukturer för bioenergi med koldioxidavskiljning och -lagring i Sverige och Europeiska unionen: Underlagsrapport till Klimatpolitiska vägvalsutredningen (M 2018:07)." In. Linköping: Linköping univeristy and Stockholm Environment Institute,.
- Fridahl, Mathias, Simon Haikola, Peter Msumali Rogers, and Anders Hansson. 2020. 'Biochar Deployment Drivers and Barriers in Least Developed Countries.' in Walter Leal Filho, Johannes Luetz and Desalegn Ayal (eds.), *Handbook of Climate Change Management: Research, Leadership, Transformation* (Springer International Publishing: Cham).
- Fridahl, Mathias, and Liv Lundberg. 2021. "Aktörspreferenser i design av ett stödsystem för bio-CCS." In. Linköping: Linköpings universitet och RiSE.
- Fridahl, Mathias, Kenneth Möllersten, Liv Lundberg, and Wilfried Rickels. 2024. 'Potential and goal conflicts in reverse auction design for bioenergy with carbon capture and storage (BECCS)', *Environmental Sciences Europe*, 36: 146.
- Fridahl, Mathias, Felix Schenuit, Liv Lundberg, Kenneth Möllersten, Miranda Böttcher, Wilfried Rickels, and Anders Hansson. 2023. 'Novel carbon dioxide removals techniques must be integrated into the European Union's climate policies', *Communications Earth & Environment*, 4: 459.
- Greensand. 2026. 'A world-leading CO2 storage facility', Greensand,, Accessed 01-12-2026. <https://greensandfuture.com/next-chapter>.
- Gustafsson, Kåre. 2018a. "Förslag till styrning mot användning av biokol - för att skapa kolsänkor och anpassning till klimatförändringarna." In. Stocholm: Stockholm Exergi och KTH Kungliga tekniska högskolan,.
- . 2018b. 'Spearheading negative emissions in Stockholm's multi-energy system.' in Mathias Fridahl (ed.), *Bioenergy with carbon capture and storage: From global potentials to domestic realities* (European Liberal Forum, : Brussels).
- Hersher, Rebecca, and Julia Simon. 2025. 'Energy Dept. tells employees not to use words including 'climate change' and 'green"', *NPR Network*.
- Hu, Yu, Jingwen Huang, Yang Zhao, and Guangyu Shi. 2025. 'Environmental and Economic Assessment of Cow Manure Management in Halland, Sweden: Land Return, Biofuel, and Biochar', *BioEnergy Research*, 18: 104.
- ICJ. 2025. "Obligations of States in respect of Climate Change: Advisory Opinion " In. The Hague: International Court of Justice,.
- IPCC. 2019. "2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories." In. Hayama, Kanagawa,: The Institute for Global Environmental Strategies (IGES),.
- Johnson, Francis Xavier, Nella Canales, Matthew Fielding, Ganna Gladkykh, May Thazin Aung, Rob Bailis, Mbeo Ogeya, and Olle Olsson. 2022. 'A comparative analysis of bioeconomy visions and pathways based on stakeholder dialogues in Colombia,

- Rwanda, Sweden, and Thailand', *Journal of Environmental Policy & Planning*, 24: 680-700.
- Johnsson, Filip, Fredrik Normann, and Elin Svensson. 2020. 'Marginal Abatement Cost Curve of Industrial CO₂ Capture and Storage – A Swedish Case Study', *Frontiers in Energy Research*, 8.
- Kaliforniens delstatsregering. 2018. "Executive Order B-55-18, 2018 to Achieve Carbon Neutrality." In. Sacramento: California Office of Land Use and Climate Innovation.
- Karan, Shivesh Kishore, Fabian Osslund, Elias Sebastian Azzi, Erik Karlton, and Cecilia Sundberg. 2023. 'A spatial framework for prioritizing biochar application to arable land: A case study for Sweden', *Resources, Conservation and Recycling*, 189: 106769.
- KEFM. 2024. "Strategi og arbejdsprogram for pyrolyse." In. Köpenhamn: Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet,.
- KI. 2025. "Bio-CCS som kompletterande åtgärd i det svenska klimatpolitiska ramverket." In. Stockholm: Konjunkturinstitutet,.
- Klimatrådet. 2025. "Statusrapport 2025." In. Köpenhamn,: Klimarådet i Danmark,.
- KOOP. 2019. "Klimaatwet." In. the Hauge: Kennis- en Exploitatiecentrum Officiële Overheidspublicaties,.
- KPR. 2025. "Potentialbedömning och kvantitativ scenarioanalys av minskade växthusgasutsläpp från svenskt jordbruk." In. Stockholm: Klimatpolitiska rådet,.
- Levihn, Fabian, Linus Linde, Kåre Gustafsson, and Erik Dahlen. 2019. 'Introducing BECCS through HPC to the research agenda: The case of combined heat and power in Stockholm', *Energy Reports*, 5: 1381–89.
- Lovdata. 2025. "Lov om klimamål (klimaloven), LOV-2017-06-16-60 (sist endret: LOV-2025-06-20-90)." In. Oslo: Lovdata,.
- Lundberg, Liv, and Mathias Fridahl. 2022. 'The missing piece in policy for carbon dioxide removal: reverse auctions as an interim solution', *Discover Energy*, 2: 3.
- Lyngfelt, Anders, Anders Brink, Øyvind Langørgen, Tobias Mattisson, Magnus Rydén, and Carl Linderholm. 2019. '11,000 h of chemical-looping combustion operation—Where are we and where do we want to go?', *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 88: 38-56.
- Mahone, Amber, Zachary Subin, Gabe Mantegna, Rawley Loken, Clea Kolster, and Niki Lintmeijer. 2020. "Achieving Carbon Neutrality in California: PATHWAYS Scenarios Developed for the California Air Resources Board." In. San Francisco: Energy and Environmental Economics.
- Markusson, Nils, Duncan McLaren, and David Tyfield. 2018. "Towards a cultural political economy of mitigation deterrence by negative emissions technologies (NETs)", *Global Sustainability*, 1: e10.
- Meyer-Ohlendorf, Nils. 2023. "Making Carbon Removals a Real Climate Solution: How to integrate carbon removals into EU Climate Policies." In. Berlin: Ecologic Institute.
- Norges och Sveriges regering. 2024. "Memorandum of understanding (MoU) between the ministry of climate and the environment in Sweden and the ministry of energy in Norway on cross-border transportation of CO₂ with the purpose of permanent geological storage." In. Brussels: Swedish ministry of climate and the environment and the Norwegian ministry of energy.
- Northern Lights. 2023. 'Northern Lights enters into cross-border transport and storage agreement with Ørsted', Northern Lights,, Accessed 12-01-2026. <https://norlights.com/news/northern-lights-enters-into-cross-border-transport-and-storage-agreement-with-orsted/#:~:text=Together%20with%20the%20Yara%20announcement,runs%20entirely%20on%20green%20energy>.
- NV. 2021a. "Uppdaterade målsценарier som visar hur målen i det svenska klimatpolitiska ramverket skulle kunna nås." In. Stockholm: Naturvårdsverket.
- . 2021b. "Uppdrag att föreslå genomförande av artikel 22 om bioavfall Europaparlamentets och rådets direktiv 2008/98/EG i den svenska lagstiftningen." In. Stockholm: Naturvårdsverket.

- . 2025. "Intäkter till Sverige från ETS och CBAM." In. Stockholm: Naturvårdsverket,.
- Olsson, Alexander, Mathias Fridahl, and Stefan Grönkvist. 2024. 'Expectations on biochar as a climate solution in Sweden: Carbon dioxide removal with environmental co-benefits', *Renewable and Sustainable Energy Transition*, 5: 100087.
- Paulsson, Markus. 2023. "Rest till Bäst: Biokol som lösning och produkt i det cirkulära och klimatpositiva samhället (steg 3)." In. Lund: Lunds kommun,.
- Presty, Romain. 2025. "Optimal Deployment of Engineered Carbon Dioxide Removal (BECCS & DACCS) in the North Sea Region." In. Rueil-Malmaison: IFP School Center for Energy Economics and Management,.
- Ranevska, Sasha. 2025a. 'Phlair And Carbon Removal Unite On Pioneering Large-Scale DACS Project In Norway', *Carbon Herlad*.
- . 2025b. 'U.S. DOE Axes \$7.6B Worth Of Awards, Affecting 223 Climate-Related Projects', *Carbon Herlad*.
- Retsinformation. 2021. "Klimaloven, LBK nr 2580 af 13/12/2021." In. København: Retsinformation,.
- Rickels, Wilfried, Alexander Proelß, Oliver Geden, Julian Burhenne, and Mathias Fridahl. 2021. 'Integrating Carbon Dioxide Removal Into European Emissions Trading', *Frontiers in Climate*, 3.
- Rickels, Wilfried, Roland Rothenstein, Felix Schenuit, and Mathias Fridahl. 2022. 'Procure, Bank, Release: Carbon Removal Certificate Reserves to Manage Carbon Prices on the Path to Net-Zero', *Energy Research & Social Science*, 94: 102858.
- RiR. 2025. "Internationella klimatinsatser – otydliga mål och osäkra utfall. RiR 2025:28." In. Stockholm: Riksrevisionen.
- Roberts, Kelli G., Brent A. Gloy, Stephen Joseph, Norman R. Scott, and Johannes Lehmann. 2010. 'Life Cycle Assessment of Biochar Systems: Estimating the Energetic, Economic, and Climate Change Potential', *Environmental Science & Technology*, 44: 827-33.
- RWE. 2022. "RWE launches project BECCUS for large-scale capture and storage of CO₂." In. Geertruidenberg: RWE Renewables Benelux B.V.,.
- Scheepers, Martin, Floris Taminiau, Koen Smekens, Juan Giraldo Chavarriaga, and Karina Veum. 2025. "Koolstofverwijdering in een duurzaam Nederlands energiesysteem Nadere analyse van ADAPT en TRANSFORM scenario's." In. Den Haag: TNO Publiek,.
- Schneider, Lambert, Wolfram Jörß, Anne Siemons, and Hannes Böttcher. 2025. "Second assessment of the draft technical specifications for certification under the EU CRCF: Permanent carbon removals through DACCS/BioCCS." In. Freiburg, Darmstadt and Berlin: The Oeko-Institut,.
- Schneider, Lambert, Anne Siemons, and Felix Fallasch. 2025. 'Carbon Certification Removal Framework (CRCF) methodologies among lowest quality – analysis', Carbon Market Watch, Accessed 12 December 2025. <https://carbonmarketwatch.org/2025/06/02/carbon-certification-removal-framework-crcf-methodologies-among-lowest-quality-analysis/>.
- SFS. 2017. "Klimatlag 2017:720." In. Stockholm: Svensk författningssamling,.
- Smith, S. M., O. Geden, M. J. Gidden, W. F. Lamb, G. F. Nemet, J. C. Minx, H. Buck, J. Burke, E. Cox, M. R. Edwards, S. Fuss, I. Johnstone, F. Müller-Hansen, J. Pongratz, B. S. Probst, S. Roe, F. Schenuit, I. Schulte, and N. E. Vaughan. 2024. "The State of Carbon Dioxide Removal - 2nd Edition." In.: The State of Carbon Dioxide Removal.
- SOU. 2016a. "En klimat- och luftvårdsstrategi för Sverige, del 1, SOU 2016:47." In. Stockholm: Statens offentliga utredningar.
- . 2016b. "Ett klimatpolitiskt ramverk för Sverige, SOU 2016:21." In. Stockholm: Statens offentliga utredningar.
- . 2020. "Vägen till en klimatpositiv framtid, SOU 2020:4." In. Stockholm: Statens offentliga utredningar.
- . 2022. "Om prövning och omprövning: en del av den gröna omställningen, SOU 2022:33." In. Stockholm: Statens offentliga utredningar.

- . 2023. "En hållbar bioekonomistrategi – för ett välmående fossilfritt samhälle, SOU 2023:84." In. Stockholm: Statens offentliga utredningar.
- . 2025. "Sveriges nationella klimatmål – uppdaterat etappmål till 2030, SOU 2025:107." In. Stockholm: Statens offentliga utredningar.
- Storbritanniens regering. 2021. "Net Zero Strategy: Build Back Greener." In. London: Government of the United Kingdom.
- . 2025. 'Collection: UK carbon capture, usage and storage (CCUS)', Government of the United Kingdom, Accessed 13-01-2026. [https://www.gov.uk/government/collections/uk-carbon-capture-usage-and-storage-ccus#greenhouse-gas-removals-\(ggrs\)](https://www.gov.uk/government/collections/uk-carbon-capture-usage-and-storage-ccus#greenhouse-gas-removals-(ggrs)).
- Sveriges regering. 2016. "Regeringens proposition 2016/17:146 Ett klimatpolitiskt ramverk för Sverige." In. Stockholm: Sveriges regering.
- . 2017. "Förordning (2017:1319) om statligt stöd till åtgärder som bidrar till industrins klimatomställning." In. Stockholm: Svensk författningssamling.
- . 2025a. "Kommittédirektiv: En nationell bioekonomistrategi – ett verktyg för den gröna industriella omställningen. Dir. 2022:77." In. Stockholm: Sveriges regering.
- . 2025b. "Kommittédirektiv: Tilläggsdirektiv till Miljömålsberedningen (M 2010:04) om utformningen av svenska etappmål till 2030. Dir. 2025:3." In. Stockholm: Sveriges regering.
- . 2025c. "Prop. 2025/26:1 Bilaga 4: Klimatredovisning." In. Stockholm: Sveriges regering.
- The National Archives. 2023. "Climate Change Act 2008." In. Norwich: The National Archives,.
- TotalEnergies, Shell, Energie Beheer Nederland (EBN), and Gasunie. 2024. "ARAMIS, a transport infrastructure for large-scale CO2 reduction: A significant step towards achieving decarbonisation goals." In. The Hague: TotalEnergies, Shell, Energie Beheer Nederland (EBN) and Gasunie,.
- UN. 2015. "Paris Agreement." In. New York: United Nations,.
- USA:s regering. 2025. "Unleashing American Energy." In. Washington D.C.: Government of the USA, executive order of president Trump, the White House.
- Washington State DoE. 2024. "Use of Carbon Dioxide Removal to Meet Washington State's Emissions Reduction Limits: Interim Progress Report." In. Olympia: State of Washington, Department of Ecology.
- Washingtons delstatsregering. 2025. "SENATE BILL 5036 Chapter 195, Laws of 2025, 69th Legislature, 2025 Regular Session, GREENHOUSE GAS EMISSIONS DATA—ANNUAL REPORTING." In. Olympia: State of Washington, Office of Secretary of State.
- Westerberg, Jenny, Håkan Sköldbäck, Julia Renström, Emil Nyholm, Jenny Sahlin, Clara Haag Johansson, Kenneth Möllersten, Mathias Fridahl, Alexander Olsson, Gry Møl Mortensen, Jan Kjärstad, and Katja Åström. 2025. "Bio-CCS i fjärrvärmesektorn: Möjligheter och utmaningar för utsläppsminskning och negativa utsläpp genom CCS." In. Stockholm: Energiforsk,.
- WKR. 2024. "Clearing the air? Advice for principles and policy for governing carbon dioxide removal." In. The Hague: Netherlands Scientific Climate Council,.