Till Klimaträttsutredningen M 2019:05

Delrapport B1. Nyckelverksamheter i omställningen

Delleverans för uppdrag med diarienummer: Komm2021/00110/M

2022-01-26

Professor Filip Johnsson, Institutionen för Rymd-, geo- och miljövetenskap, avdelning Energiteknik, Chalmers

Seniora analytikerna Ebba Löfblad, Thomas Unger och Jenny Gode, Profu

Författarna vill rikta ett stort tack till följande personer för värdefulla diskussioner och inspel till analyserna:

Henrik Thunman, professor Chalmers tekniska högskola

Johan Rootzén, doktor IVL Svenska Miljöinstitutet

Lisa Göransson, docent Chalmers tekniska högskola

Max Åhman, professor Lunds tekniska högskola och Lunds universitet

Mikael Odenberger, docent Chalmers tekniska högskola

Sammanfattning

Vårt uppdrag från Klimaträttsutredningen har bestått i att svara på om, samt på vilka grunder, man kan peka ut fysiska verksamheter som bedöms kunna vara avgörande för att målet om nettonollutsläpp ska kunna nås i Sverige. Det övergripande syftet med detta är att i så fall, i en tillståndsprövning, kunna ha möjligheten att låta dessa verksamheters potentiella klimatnytta i vissa fall väga tyngre än lokal miljöpåverkan eller andra samhällsmål.

Som vi resonerar kring i rapporten vill vi särskilt understryka vikten av ett systemperspektiv i den omställning vi är inne i, samt de risker och utmaningar vi ser kopplat till att specifikt peka ut ett antal nyckelverksamheter som bör gynnas i tillståndsprövningar. Behovet av att klimatnyttan av en verksamhet ska kunna vägas in i en tillståndsprövning som gäller lokal miljöpåverkan är uppenbar men, enligt vår uppfattning, inte självklar med avseende på vilka kriterier som ska tillämpas.

Vi har istället valt att föreslå ett begränsat antal (fyra) grupperingar av tekniker eller verksamheter – ”strategiska funktioner” – som vi anser är kritiska för att bidra till en effektiv klimatomställning i Sverige och för att uppnå Sveriges nationella klimatmål.

Som vi beskriver i rapporten kan dessa strategiska funktioner omfatta ett antal olika tekniker och verksamheter, vilket vi ger *exempel* på under respektive grupp. Skälet till detta är att man då undviker att peka ut ett antal utvalda tekniker/verksamheter som särskilt viktiga, av orsaker vi resonerar kring i rapporten.

Grupperingen i fyra kategorier av nyckelfunktioner ska därför ses som *ett* möjligt alternativ att svara på vad som skulle kunna ses som nyckelverksamheter i klimatomställningen. De kriterier som ska användas för respektive nyckelfunktion får då istället avgöras i den enskilda prövningen, men vi ger i rapporten ett antal exempel på förslag till kriterier som skulle kunna användas (även om de är långtifrån självklara, av skäl som vi också resonerar kring i rapporten).

Innehåll

1 Bakgrund och syfte med uppdraget ... 1

1.1 Bakgrunden till förslaget om en ny, fristående avvägningsregel i miljöbalken för att väga in en verksamhets klimatnytta ... 1

1.2 Syfte och mål med uppdraget och analysen ... 2

2 Utgångspunkter, avgränsningar och svårigheter ... 4

2.1 Möjliga definitioner av begreppen nyckelverksamhet och klimatnytta ... 4

2.1.1 Vår definition av begreppet nyckelverksamhet i omställningen ... 5

2.2 Svårlösliga problem, målkonflikter och acceptansen för omställningen ... 6

2.3 Svårigheter med att lista verksamheter eller tekniker ... 9

2.4 Vikten av systemperspektivet ... 10

2.5 Implikationerna av analysens systemgräns ... 12

3 Sveriges nationella klimatmål och huvudspår i omställningen ... 14

3.1 Sveriges nationella klimatmål ... 14

3.2 Tekniska huvudspår i omställningen ... 16

3.3 Tidsperspektivet i omställningen och övergångstekniker ... 19

3.4 Vikten av resurseffektivitet och cirkularitet ... 21

4 Förslag till nyckelverksamheter – fyra nyckel*funktioner* i omställningen ... 23

4.1 Elförsörjning ... 24

4.2 Stödtjänster och leveranssäkerhet ... 27

4.3 Negativa utsläpp – Bio-CCS ... 28

4.4 Tekniker för sektorer där det är synnerligen svårt att reducera växthusgasutsläppen samt sådant som bidrar till ökad cirkularitet i samhället ... 30

4.5 Ytterligare nyckeltekniker eller nyckelfunktioner? ... 32

5 Avslutande ord ... 33

6 Referenser ... 35

APPENDIX A Dokumentation från två workshops med deltagare i referensgruppen

APPENDIX B Fördjupning av resonemang för två nyckeltekniker inom nyckelområdet ”elförsörjning”

1 Bakgrund och syfte med uppdraget

Klimaträttsutredningen har fått i uppdrag av regeringen att se över all relevant lagstiftning så att det klimatpolitiska ramverket får genomslag. Syftet med utredningen handlar om att skapa bättre förutsättningar för att Sveriges klimatmål ska kunna nås genom att klimatfrågan integreras i lagstiftningen. I uppdraget ingår att se över hur verksamheter som bidrar till klimatomställningen kan gynnas i tillståndsprövningar.

I sitt delbetänkande[1] redovisar utredarna hur miljöbalken kan anpassas så att den blir ett effektivt verktyg för att bidra till att Sveriges klimatmål nås. I delbetänkandet föreslog Klimaträttsutredningen även ett tilläggsdirektiv till utredningen inför andra fasen av arbetet om att införa en särskild *avvägningsregel* om klimatnytta. Utredningen arbetar nu med slutbetänkandet som fokuserar på tre områden: transporteffektivt samhälle, underlätta att bygga elnät och att möjliggöra att klimatnyttan av en verksamhet kan beaktas vid prövningar enligt miljöbalken och annan lagstiftning. Det senare handlar om att utreda möjligheten att i en ny avvägningsregel väga klimatnytta mot negativ påverkan på människors hälsa och miljö. Utredningen ska avrapporteras 15 maj 2022.

Klimaträttsutredningen har uppdragit åt Chalmers (professor Filip Johnsson) att med stöd av forsknings- och konsultföretaget Profu analysera och besvara frågor kring följande tre områden som ingår i utredningens uppdrag i dess andra fas:

1. *Nyckelverksamheter i omställningen*
2. *Elektrifieringens betydelse för omställningen*
3. *Betydelsen av åtgärder för att skapa ett mer transporteffektivt samhälle*

De tre områdena kommer att analyseras och avrapporteras i tre separata delrapporter.

Föreliggande rapport behandlar och omfattar enbart analysen av ”Nyckelverksamheter i omställningen”

1.1 Bakgrunden till förslaget om en ny, fristående avvägningsregel i miljöbalken för att väga in en verksamhets klimatnytta

I Klimaträttsutredningens delbetänkande anges: *”Enligt utredningsdirektiven bör prövningen av verksamheter med miljöpåverkan som bidrar till att nå klimatmålen men som i dag har svårt att tillgodoräkna sig klimatnyttan i prövningen ses över. Av direktiven framgår även att uppdraget att inkludera klimathänsyn i miljöbalken kan innebära att underlätta för verksamheter med låg klimatpåverkan eller som på olika sätt kan bidra till minskade klimatutsläpp.”*

Klimaträttsutredningen anser därför att det vore lämpligt att införa en ny, fristående avvägningsregel i 2 kap. miljöbalken som omfattar de s.k. allmänna hänsynsreglerna[2]. Dessa är centrala för miljölagstiftningen genom att de ska verka så att balkens mål får genomslag. I 7 § i samma kapitel återfinns idag den rimlighetsavvägning som handlar om hur man ska väga

[1] https://www.regeringen.se/497638/contentassets/70d8526708da4425a9996037cee1b1fa/en-klimatanpassad-miljobalk-for-samtiden-och-framtiden-sou-202121

[2] https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/miljobalk-1998808_sfs-1998-808

nyttan av de skyddsåtgärder och andra försiktighetsmått som krävs enligt hänsynsreglerna och platsvalsregeln mot kostnaden för sådana åtgärder. Förutom denna rimlighetsavvägning saknas idag den typ av specifika avvägningar mellan olika samhällsmål i miljöbalken som Klimaträttsutredningen nu utreder.

I delbetänkandet lyfter Klimaträttsutredningen flera funderingar om vad man behöver ta ställning till för att avgöra om en sådan avvägningsregel ska införas. Det handlar om att den valda systemgränsen för verksamhetens bidrag till klimatomställningen, t.ex. kopplat till frågan hur man ska se på produktion med lågt klimatavtryck som exporteras utomlands i perspektivet av betydelsen för Sveriges *nationella* klimatmål. Man måste även göra ställningstagande av storleken på klimatnyttan och när en verksamhets bidrag kan anses väsentligt och/eller avgörande för att nå Sveriges klimatmål. Eftersom det nationella klimatmålet inte är överordnat övriga miljömål blir huvudutmaningen, vilket Klimaträttsutredningen själva lyfter i sitt delbetänkande, att olika mål kommer att stå emot varandra och frågan blir då när det ena ska väga tyngre än det andra och på vilka grunder. För att avgöra vilka åtgärder eller verksamheter som kan komma i fråga för en sådan avvägningsregel behövs det därför utredas vilka kriterier som kan göra att en verksamhets klimatnytta är av sådan betydelse att det i den enskilda prövningen ska gå att låta klimatnyttan väga tyngre än lokal miljöpåverkan eller andra samhällsintressen.

1.2 Syfte och mål med uppdraget och analysen

Mot bakgrund av ovanstående har Klimaträttsutredningen gett författarna av denna rapport i uppdrag att försöka svara på om, och i så fall på vilka grunder, det går att peka ut olika typer av fysiska verksamheter – ”nyckelverksamheter” – som bedöms kunna vara avgörande för att målet om nettonollutsläpp ska kunna nås i Sverige.

Det övergripande syftet är att ge förslag på nyckelverksamheter som bör gynnas i olika typer av prövningar utifrån att de i) är avgörande för att nå klimatmålen och ii) är i behov av att gynnas i olika typer av prövningar för att få tillstånd eller komma på plats snabbare än vad som annars skulle varit fallet. Det kan alltså handla om verksamheter med lokal miljöpåverkan men som utgör nyckelverksamheter för att Sverige når uppsatta klimatmål.

Klimaträttsutredningens delbetänkande beskriver problemställningen:

”Utredningen bedömer att det i vissa fall ska gå att väga en åtgärds eller verksamhets klimatnytta mot dess påverkan på människors hälsa och miljön. En verksamhet som trots sin klimatnytta inte skulle få tillstånd i dag, eller som skulle begränsas av villkor som kan komma att minska klimatnyttan, bör kunna få tillstånd grundat på att dess klimatnytta vägs in. Det skulle i det enskilda fallet kunna handla om villkor som ställs enligt de s.k. hänsynsreglerna i 2 kap. miljöbalken och som minskar klimatnyttan eller att en klimatnyttig verksamhet inte får tillstånd på grund av att platsvalsregeln inte är uppfylld.”

Klimaträttsutredningen önskar svar på *om* man i vissa fall bör låta en åtgärds eller verksamhets klimatnytta väga tyngre mot dess påverkan på människors hälsa och miljön samt på vilka grunder.

Frågeställningar som utredarna önskar få besvarade i denna del av uppdraget är:

1. Vilka fysiska verksamheter skulle kunna vara nyckelverksamheter i omställningen?
2. Vilka kriterier skulle urvalet av fysiska verksamheter som är nycklar för klimatomställningen och som behöver och bör gynnas kunna baseras på? Kriterierna behöver kunna tillämpas på dagens situation men också fungera på längre sikt.

Analysen har genomförts under november och december 2021 och till arbetet har knutits en referensgrupp bestående av Lisa Göransson, Mikael Odenberger och Henrik Thunman vid Chalmers tekniska högskola, Johan Rootzén vid IVL Svenska Miljöinstitutet samt Max Åhman vid Lunds tekniska högskola och Lunds universitet.

Då vi i vår analys tidigt drog slutsatsen att det finns tydliga problem och risker med att upprätta en heltäckande lista över "nyckelverksamheter" har vi istället valt att, utifrån diskussionerna med referensgruppen samt i en separat diskussion med Max Åhman, beskriva fyra viktiga nyckel*funktioner* i klimatomställningen. Dessa beskrivs nedan tillsammans med *exempel* på fysiska verksamheter inom dessa nyckelfunktioner. Vi har dessutom tagit fram förslag till ett antal kriterier som vi anser kan utgöra ett motiv för att öka statusen på en specifik åtgärd (eller grupp) i en miljöprövningsprocess, och därmed utgöra en grund för en avvägningsregel.

Vi har däremot *inte* gjort någon analys av huruvida en sådan avvägningsregel är nödvändig eller i vilken utsträckning en avvägningsregel skulle medföra en ökad sannolikhet för att den specifika åtgärden får tillstånd enligt miljöbalken, t.ex. kopplat till platsvalsregeln. Det senare avser verksamheter vars förutsättningar är helt avhängiga den specifika platsen av ett visst skäl, t.ex. en gruva som kopplas till en viss metallfyndighet.

Vi vill även förtydliga att vi i denna rapport har valt att ej inkludera transportsektorn i vår analys då den (i princip[3]) inte omfattar verksamheter som kräver tillstånd enligt miljöbalken på det sätt som verksamheter inom industri- och energisektorn.

Vi inleder rapporten med att först, i kapitlen 2 och 3 beskriva utmaningarna med uppdragets huvudfrågeställningar samt våra utgångspunkter för analysen inklusive en beskrivning av vad Sveriges nationella klimatmål innebär och vilka teknikspår som det råder relativ konsensus om. Den inledande delen av rapporten är främst kopplat till frågan – " *om*, och i så fall på vilka grunder, det går att peka ut olika typer av fysiska verksamheter – "nyckelverksamheter" – som bedöms kunna vara avgörande för att målet om nettonollutsläpp ska kunna nås i Sverige".

I kapitlen 4 och 5 går vi in på slutsatserna av vår analys och presenterar våra förslag till nyckelverksamheter i form av dessa fyra "nyckelfunktioner" i omställningen.

[3] En del infrastruktur som till exempel vätgasinfrastruktur (tankställen för vätgas) skulle möjligen kunna kräva tillstånd för vilket en avvägningsregel skulle kunna vara relevant.

2 Utgångspunkter, avgränsningar och svårigheter

I detta kapitel beskriver vi våra utgångspunkter för denna studie såsom definitioner och systemgränser. Avgränsningar gör vi i enlighet med uppdragsbeskrivningen men också av resursmässiga skäl. Vi tar i detta avsnitt även upp de svårigheter vi ser med att ta fram en lista på nyckelverksamheter, dvs ”om” det går att peka ut specifika verksamheter och tekniker som behöver och bör gynnas med en avvägningsregel.

2.1 Möjliga definitioner av begreppen nyckelverksamhet och klimatnytta

Enligt uppdragsbeskrivningen avser ”nyckelverksamheter” sådana fysiska verksamheter som bedöms kunna vara avgörande för att målet om nettonollutsläpp ska nås med fokus på de svenska utsläppen. Denna typ av verksamheter bör därför rimligtvis ha en stor potential att (i förhållande till en referensnivå), direkt eller indirekt minska utsläppen av växthusgaser i Sverige i tidsperspektivet fram till år 2045. En central fråga i denna analys handlar därför om vad som ska kvalificera verksamheter att betraktas som avgörande för att nå Sveriges klimatmål.

Klimaträttsutredningen har, som nämnts ovan, även lagt in förbehållet om att det också handlar om verksamheter som prövas enligt någon lagstiftning (främst miljöbalken) för att få tillstånd för verksamheten: ”*En verksamhet som trots sin klimatnytta inte skulle få tillstånd i dag, eller som skulle begränsas av villkor som kan komma att minska klimatnyttan, bör kunna få tillstånd grundat på att dess klimatnytta vägs in.”* Vi har därför valt att hålla oss (främst) till sådana verksamheter som oss veterligen behöver någon form av miljötillstånd för att komma på plats (i dagsläget krävs t.ex. inget tillstånd enligt miljöbalken av solparker varför solel ej ingår i analysen).

För att kunna peka ut dessa nyckelverksamheter krävs därför att vi först försöker identifiera vilka verksamheter som (idag) kräver tillstånd för att få etableras, vilka av dem som bidrar med ”klimatnytta” utifrån någon definition av detta begrepp, samt om det finns något sätt att avgöra hur betydande denna klimatnytta bör vara för att anses vara avgörande för att Sveriges nationella klimatmål ska nås. Det senare handlar om hur man i en enskild prövning ska väga denna klimatnytta mot andra samhällsmål.

En rimlig utgångspunkt är att det kan handla både om verksamheter som åstadkommer direkta utsläppsminskningar i sin egen verksamhet och verksamheter som på ett indirekt sätt bidrar till utsläppsminskningar i andra verksamheter genom att möjliggöra klimatomställningen i stort. Det senare kan alltså handla verksamheter som har en (mindre) direkt klimatpåverkan genom sin egen verksamhet men som kan bidra med ”nyttigheter” (t.ex. el eller insatsråvaror) som krävs i klimatomställningen. Så här skriver Klimaträttsutredningen i sitt delbetänkande[4]: *”De verksamheter och åtgärder som skulle kunna komma i fråga [för en ny avvägningsregel i miljöbalken,* författarnas förtydligande*] kan t.ex. vara befintliga verksamheter med utsläpp av växthusgaser som genomför förändringar för att ersätta insatsvaror, byter produktionsprocess genom ny teknik eller investerar i avskiljning, transport och lagring av koldioxid (CCS) eller avskiljning, transport och lagring av koldioxid av biogent ursprung (bio-CCS). Det kan också*

[4] https://www.regeringen.se/497638/contentassets/70d8526708da4425a9996037cee1b1fa/en-klimatanpassad-miljobalk-for-samtiden-och-framtiden-sou-202121

handla om verksamheter som bidrar till klimatomställningen på andra sätt än genom egna utsläppsminskningar som verksamheter som producerar förnybar energi eller utvinner mineraler av essentiell betydelse för vissa tekniker som anses nödvändiga för klimatomställningen."

Vi använder i denna rapport ordet *klimatnytta* för verksamheter som potentiellt kan bidra till Sveriges klimatomställning (även om det självklart kan ifrågasättas huruvida någon mänsklig aktivitet kan sägas ha en verklig nytta för klimatet[5]). I enlighet med ovan inkluderar vi i begreppet även verksamheter som kan ses som "möjliggörare" i omställningen, dvs. verksamheter som genom sin "existens" bidrar till att klimatnyttiga verksamheter kan komma till stånd (t.ex. elnät som förbinder elproduktionen med de slutanvändare som behöver elen för att driva sina verksamheter och som i sin tur kan bidra till en klimatnytta i någon form).

I Energimyndighetens och Naturvårdsverkets underlag till den nationella strategin för en hållbar vindkraftsutbyggnad (Energimyndigheten och Naturvårdsverket, 2021) lyfts frågan om huruvida vindkraftens klimatnytta kan lyftas in i miljöbalken eller vägas in i en enskild miljöprövning. Vindkraftens klimatnytta definieras i detta sammanhang som vindkraftens *möjligheter att bidra till att minska växthusgasutsläpp*. Energimyndigheten och Naturvårdsverket skriver vidare: *Ett tillägg i 2 kap 7 §, i linje med vad vindkraftsbranschen föreslagit, skulle därmed kunna ha effekt om det handlar om situationer där avvägningar är möjligt. […] Vi instämmer i bedömningen att en ökad vindkraftsproduktion kan bidra till att begränsa klimatpåverkan, men anser samtidigt att det finns praktiska svårigheter med att beräkna effekten av mer vindkraft i Sverige på kort och lång sikt. Detta eftersom de faktiska följderna av en viss investering eller utebliven investering i vindkraft påverkas av så många olika faktorer i det starkt ihopkopplade nordeuropeiska elsystemet, som gör det svårt att beräkna klimateffekten.*

Att mer exakt kvantifiera klimatnytta är onekligen komplext och något som knappast är möjligt att hantera inom ramen för tillståndsprövningar. Samtidigt är frågan om möjligheten till kvantifiering ofrånkomlig när man ska bedöma en verksamhets bidrag till Sveriges klimatmål. Men det är ändå ganska uppenbart att det finns ett antal tekniker som tydligt bidrar till stor klimatnytta i termer av att de antingen kraftigt sänker utsläppen från en viss verksamhet (t.ex. CCS eller vätgasbaserad stålproduktion) eller bidrar till att omställningen kan göras klimateffektivt (t.ex. vindkraft samt elnätsutbyggnad). Då det ej har rymts inom uppdraget att i detalj kvantifiera och potentialbedöma olika fysiska verksamheters bidrag till måluppfyllelse nöjer vi oss här med att konstatera att det finns svårigheter med detta, vilket alltså understryks av Energimyndigheten och Naturvårdsverket ovan.

2.1.1 Vår definition av begreppet nyckelverksamhet i omställningen

Vårt urval av vad som potentiellt kan bedömas utgöra "nyckelverksamheter i omställningen" baseras i första hand på vår tidigare och pågående forskning samt våra erfarenheter inom området. Det handlar därmed om de fysiska verksamheter och tekniker *vi bedömer* kommer kunna ha en betydande potential (utan att kvantifiera denna potential) att bidra till att Sverige kan minska sina utsläpp av växthusgaser, framförallt på kort och medellång sikt.

[5] Man skulle även kunna prata om verksamheter med direkt eller indirekt utsläppsminskningspotential.

I linje med Klimaträttsutredningens definition ovan avser vi sådana åtgärder och verksamheter som vi bedömer kan ha någon form av utsläppsminskningspotential (relativt dagens utsläppsnivåer) och/eller kan betraktas som möjliggörare i omställningen, utifrån vår definition ovan av vad som kan betraktas ha eller bidra med en klimatnytta.

Tillsammans med delar av referensgruppen har vi under två workshops diskuterat och tillsammans sammanställt förslag på vad som skulle kunna vara nyckelverksamheter i omställningen, samt på vilka grunder (utifrån vilka kriterier) dessa skulle kunna komma i fråga för en ny avvägningsregel i miljöbalken[6]. Vi är dock fullt medvetna om, och gör inget anspråk på, att ha tagit fram en komplett lista på "nyckelverksamheter".

Som nämnts inledningsvis har vi fokuserat vår analys på att utifrån de kartlagda nyckelverksamheterna identifiera olika typer av nyckelfunktioner som sådana verksamheter fyller i omställningen och har därefter landat i fyra grupper av nyckelfunktioner, där de identifierade verksamheterna istället har fått utgöra *exempel* som eventuellt platsar inom respektive grupp.

Innan vi går in på vårt förslag beskriver vi dock först en rad utmaningar som vi ser med uppdragets huvudfrågeställningar vad gäller *om* det går att peka ut nyckelverksamheter och i så fall på vilka grunder.

2.2 Svårlösliga problem, målkonflikter och acceptansen för omställningen

Klimatomställningen och komplexiteten i den utmaning vi står inför ökar risken för att samhället tvingas hantera ett ökande antal svårlösliga, eller i vissa fall även olösliga problem och målkonflikter. Inom forskningen kallar man denna typ av problem för "elaka problem" eller så kallade "*wicked problems*". De kännetecknas av en hög grad av komplexitet och osäkerhet, de saknar en entydig definition och det finns inte heller rätt eller fel lösningar på problemen och inte heller några entydiga kriterier för att utvärdera hur bra lösningarna är. Termen kommer från Rittel & Webbers artikel från 1973 "*Dilemmas in a General Theory of Planning*". Så här beskriver författarna dilemmat med denna typ av problem:

"The search for scientific bases for confronting problems of social policy is bound to fail, because of the nature of these problems. They are "wicked" problems, whereas science has developed to deal with "tame" problems". Policy problems cannot be definitely described. Moreover, in a pluralistic society there is nothing like the undisputable public good; there is no objective definition of equity; [...]. Even worse, there are no "solutions" in the sense of definitive and objective answers".

Klimatomställningen vi är mitt inne i innehåller således en mängd potentiella wicked problems. Framförallt handlar det om målkonflikter som måste hanteras när vi behöver väga olika miljömål och/eller andra samhällsmål mot varandra. Det är minst sagt en delikat uppgift att, utöver Sveriges nationella klimatmål och de nationella miljömålen samt de mål som sätts upp

[6] I appendix A till denna rapport återfinns anteckningarna från diskussionerna från workshop 2 om dessa utpekade verksamheter och potentiella kriterier, risker och osäkerheter kopplade till dessa. Anteckningarna ska endast ses som en dokumentation av diskussionerna och inget författarna av denna rapport i sin helhet står bakom. Dock kan de tjäna som underlag för att förstå de olika delade meningar som råder inom en mindre grupp forskare inom ämnesområdet.

på internationell nivå, ta hänsyn till hållbarhetsbegreppets tre dimensioner (miljömässig, ekonomisk och social), de av FN uppsatta 17 hållbarhetsmålen (Agenda 2030) liksom de tre grundpelarna för den svenska energipolitiken i form av försörjningstrygghet, konkurrenskraft och ekologisk hållbarhet. I det fall det inte finns något specifikt mål som av politiken pekas ut som helt överordnat övriga mål måste samhället, för att lyckas med omställningen och så långt möjligt undvika att nya problem uppstår, sträva efter att beakta och försöka uppfylla alla dessa måldimensioner. Samtidigt kommer det troligtvis inte alltid vara möjligt att uppfylla samtliga mål och om det antas att klimatmålen är nödvändiga att uppnå kan det i vissa fall innebära att detta riskerar att äventyra övriga måldimensioner och ge upphov till nya miljöproblem vilket i slutänden kommer kräva kompromisser avseende dessa mål.

Alltför förenklade bedömningssystem där en komplex målbild försöker fångas in i en enda parameter eller med några få kriterier riskerar att leda till att oförutsedda problem. Inte minst om en allt för snäv systemgräns har valts och om det inte finns en tydlighet i de risker som olika val eller beslut kan ge upphov till. Ett exempel är kärnkraften och olika sätt att se på dess hållbarhetsaspekter inklusive dess klimatnytta. Unger m.fl. (2019) visar t.ex. hur olika förespråkare eller motståndare till kärnkraften inom forskarvärlden kan underbygga sina argument med resultat från samma studier men i olika syften (för att leda i bevis att kärnkraften är hållbar eller att den inte är det). Det går alltså, beroende på hur man väljer att tolka resultaten, att använda samma studier i olika syften. Komplexiteten vad gäller att hållbarhetsbedöma kärnkraften tillsammans med de vitt skilda uppfattningar och ståndpunkter som finns hos forskare inom detta område gör det svårt för lekmän och allmänhet att skapa sig en klar bild av vilken "sida" som har "rätt" eller "fel". Detta är viktigt för beslutsfattare att förstå och förhålla sig till inom så komplexa områden som hållbarhetsbedömningar.

Kermisch & Taebi (2017) är exempel på forskare som argumenterar för att hållbarhet bäst kan beskrivas som ett moraliskt eller etiskt ramverk (*"moral framework"*) som består av ett flertal olika moraliska värderingar. Författarna pekar på vikten av att tydliggöra detta för att komma ifrån den benägenhet som idag finns vad gäller att använda sig av binära hållbarhetsklassificeringar av olika tekniker: *"If we leave out the complexity associated with the concept of sustainability, this notion could be easily (mis)used for greenwashing and rhetorical purposes, leading to potential ideological and political manipulation."*

Det finns exempel på initiativ för att definiera och värdera verksamheters bidrag till olika klimat- och miljömål, dock utan förbehållet om att det handlar om tillståndspliktiga verksamheter, varav det mest aktuella exemplet handlar om arbetet med EU:s taxonomi. Taxonomins syfte är att hjälpa investerare att identifiera och jämföra miljömässigt hållbara investeringar genom ett gemensamt klassificeringssystem. Detta klassificeringssystem har som övergripande mål att stimulera investeringar i verksamheter som kan bidra till att uppnå EU:s klimatmål, men där man tar hänsyn till att även andra hållbarhetsmål (ekologisk och social hållbarhet) beaktas. En summering av hur regelverket är uppbyggt ges på regeringens hemsida[7]: "*För att en viss ekonomisk verksamhet ska klassificeras som miljömässigt hållbar så ska den bidra väsentligt till ett eller flera av sex fastställda miljömål, inte orsaka betydande skada för något av de övriga*

[7] https://www.regeringen.se/regeringens-politik/finansmarknad/taxonomi-ska-gora-det-enklare-att-identifiera-och-jamfora-miljomassigt-hallbara-investeringar/

målen, samt uppfylla vissa minimikrav inom hållbarhet. Villkoren för "väsentligt bidrag" och "betydande skada" för olika ekonomiska verksamheter ska specificeras närmare genom så kallade tekniska granskningskriterier[8]. Dessa ska fastställas av kommissionen i delegerade akter till förordningen.

Ett annat system på samma tema och mot samma bakgrund som EU:s föreslagna förordning om en grön taxonomi – dvs. att skapa hållbara investeringar – är "*The Common Principles for Climate Mitigation Finance Tracking*" som har utvecklats av Joint Climate Finance Tracking Group of multilateral development banks (MDB:s) och medlemsbanker i International Development Finance Club (IDFC)[9]. The Common Principles består av ett antal definitioner och riktlinjer samt en lista på lämpliga/önskvärda (*eligible*) aktiviteter i syfte att stimulera klimatåtgärder. Dessa principer lyfter tre typer av kategorier av klimatåtgärder som kan anses generera betydande bidrag (*substantial contribution)* i klimatomställningen:

1) Aktiviteter (verksamheter/åtgärder) som kan bidra till negativa utsläpp (*negative emissions*) eller som har nästintill ingen klimatpåverkan (*very-low-emission activities*) och som ligger i linje med Parisavtalets mål.
2) Övergångsaktiviteter, som fortfarande är en del av det "klimatutsläppande systemet" (*GHG-emissive system*), men som är viktiga i och bidrar till övergången mot en klimatneutral ekonomi.
3) "Möjliggörare" (*enabling activities*), som är av fundamental betydelse vad gäller att möjliggöra för andra aktiviteter att åstadkomma betydande bidrag i klimatomställningen, vilket i The Common Principles exemplifieras med bl.a. industritekniker med mycket låg klimatpåverkan/utsläpp.

Naturligtvis finns en rad utmaningar kopplat till denna typ av försök att få fram ett konsistent, transparent och hanterligt ramverk eller lista på principer/riktlinjer/kriterier (vad gäller att kunna avgöra vilka verksamheter eller åtgärder som är av avgörande betydelse för att nå våra klimatmål). Till exempel innebär EU:s Taxonomi en binär bedömning av en teknik eller verksamhet: antingen anses den hållbar eller också är den inte det (med undantag av några tekniker som föreslagits utpekas som övergångstekniker idag). Anledningen är förståelig, den behöver vara enkel att använda, men det visar också på riskerna med denna typ av hållbarhetsbedömning. Beroende på antaganden, systemgräns m.m., erhålls olika svar huruvida en teknik eller åtgärd är hållbar eller ej. Ett aktuellt exempel är hur skogsbruket ska bedömas ur klimatperspektiv, där olika sidor i debatten kommer fram till diametralt olika slutsatser avseende det svenska skogsbrukets roll i klimatomställningen.

En annan viktig faktor vid försök att värdera vad som är hållbart eller inte, eller om det bidrar till klimatnytta eller inte, är *tidsperspektivet*. Det är långtifrån självklart att det som bidrar till klimatnytta idag kommer att fortsätta bidra till klimatnytta i ett längre tidsperspektiv. En viss teknisk lösning eller resurs kan vara en del av en omställning, där olika teknologier ersätter varandra över tiden. Tidsperspektivet är t.ex. något som ofta lyfts i debatten om användningen av biomassa och huruvida, och i så fall till vad, den ska användas som en resurs för samhället i

[8] För mer om olika angreppssätt för att utveckla de tekniska granskningskriterierna kopplade till EU:s Taxonomi, se t.ex. Canfora m.fl. (2021).
[9] https://www.eib.org/attachments/documents/mdb_idfc_mitigation_common_principles_en.pdf

klimatomställningen[10]. En viktig utgångspunkt när man talar om biomassans roll är därmed att beakta hur värdet av denna kan komma att ändras över tid (se t.ex. Hassler m.fl., 2020, Berndes m.fl., 2018, Fossilfritt Sverige[11], 2021). Vi utvecklar frågan om tidsperspektiv och övergångstekniker längre fram i rapporten.

2.3 Svårigheter med att lista verksamheter eller tekniker

Ett av problemen med att lista verksamheter eller tekniker är att det samtidigt riskerar att utesluta andra potentiellt viktiga verksamheter och åtgärder och att en lista därmed resulterar i en form av ”cherry picking” vilket vi och referensgruppen anser mindre lämpligt. Delvis kan detta vara ett utslag för att uppdraget är begränsat vilket av praktiska skäl inte möjliggör en överblick och analys över alla de olika tekniker och lösningar som potentiellt kan stå till buds som klimateffektiva åtgärder i omställningen. Inte minst kan det finnas olika industriprocesser som kan bidra till omställningen och som det skulle krävas en mer omfattande analys att identifiera. Vad som kan vara en nyckelverksamhet i omställningen kan också komma att ändras över tid.

Genom att fokusera på enskilda produktionsslag eller tekniker, finns en risk för att vi förbiser samverkanslösningar eller sektorskoppling mellan olika tekniker och/eller sektorer. Det kan exempelvis handla om att för en aktör investera i storskalig batterikapacitet för att erbjuda balansering av ny vindkraft men där lokaliseringen är på helt olika platser i systemet (men ändå på ett sådant sätt att balanseringen blir adekvat). Det finns flera skäl att bejaka ett energisystem som är uppbyggt av en mångfald av olika slags tekniker och lösningar. Det kan handla om robusthet och försörjningstrygghet eller om ekonomisk systemeffektivitet.

Vi har också en elmarknad som i mångt och mycket ska guida såväl producenter som konsumenter att fatta effektiva och riktiga beslut genom prissignaler. Redan idag har vi av flera skäl begränsat elmarknadens fulla potential genom olika regleringar, stödsystem och annan statlig intervention för att säkerställa även andra (politiska) mål. Om detta kan man naturligtvis ha olika åsikter. Den frågan vi nu ställer oss är om ett framtagande av nyckeltekniker och kriterier för dessa ytterligare leder till att elmarknaden begränsas i sin funktion och om det i så fall är av godo eller av ondo. Till viss del har ju elområdesindelningen medfört att det finns prissignaler för var i landet man ska producera eller konsumera mer el. Dessutom finns det i elprisbilden incitament för exempelvis vilken typ av elproduktion som är effektiv att bygga.

Utvecklingen inom energisystemet beror också till stora delar på hur väl allmänheten accepterar olika åtgärder och tekniker utifrån den inverkan dessa får på människors välbefinnande men också utifrån vilka attityder och normer som vi människor styrs av. Avsaknad av ett, åtminstone upplevt, långsiktigt gemensamt eller tydligt ansvar för elförsörjningen riskerar också att skada tilliten till systemet. Ju större genomslag en teknik får där det finns potentiella konflikter desto större är risken för acceptansproblem och bakslag i omställningstakten. Det i sig kan innebära att det bör finnas en viss flexibilitet i bedömningen av hur angelägen eller hur nyttig en speciell teknik kan anses vara. Är exempelvis den

[10] För en översikt över kunskapsläget om skogens roll för klimatet och de olika synsätt som finns på hur klimatnyttan ska bedömas hänvisas till t.ex. Berndes m.fl. (2018).
[11] https://fossilfrittsverige.se/strategier/biostrategi/

landbaserade vindkraftparken som bidrar till den 125e terrawattimmen lika angelägen och oumbärlig som den park som några år tidigare levererade den 50e terrawattimmen? Eller är det rent av så att nyttan med vindkraft ökar i takt med elektrifieringen och kraven på klimatneutral elproduktion och att vindkraftens status i miljöprövningen därmed gradvis bör öka?

Genom att istället dela in nyckelverksamheterna i ett antal huvudgrupper utifrån dess funktion i omställningen, med tillhörande exempel, menar vi att man även beaktar investeringar i viktiga verksamheter som i dagsläget kan betraktas som icke nödvändiga för Sveriges nationella klimatmål men som å andra sidan kan bidra till global klimatnytta i enlighet med Parisavtalet eller som i ett senare skede skulle kunna vara avgörande för att nå netto nollutsläpp (eller negativa utsläpp).

En andra svårighet med att ta fram en komplett och rättvisande lista över nyckeltekniker har att göra med gränsdragningen mellan nyckelverksamheterna och de stödsystem/ stödinfrastruktur som kopplar till dessa. Det kan handla om alltifrån den direkt kopplade stödinfrastrukturen för tekniken (t.ex. transportinfrastrukturen av infångad koldioxid med mellanlager, hamnar samt slutlagringsplats som hör till CCS-teknik) till att säkerställa bostäder för tillkommande arbetskraft i närheten av en stor ny industriverksamhet liksom utökade samhällstjänster för att industrin, obeaktat om den får tillstånd, ska kunna drivas i praktiken.

En tredje och kanske den viktigaste svårigheten som relaterar till *om* det går att peka ut nyckeltekniker avser systemperspektivet. Det är energisystemet som helhet som avgör graden av (kostnads)effektiv och samhällelig klimatnytta och det är energisystemet som helhet som väsentligen avgör förutsättningarna för enstaka tekniker.

2.4 Vikten av systemperspektivet

Vår utgångspunkt är systemperspektivet. Det är systemet som helhet som ska leverera energitjänster och det är systemet som helhet som ska möta kraven på ekonomisk effektivitet, klimatnytta och resurshushållning samt tillförselsäkerhet. De tekniker och åtgärder som vi studerar samverkar alla mot olika energi- och klimatpolitiska mål. Vår erfarenhet, baserat på ett stort antal systemanalyser, säger oss också att det mest effektiva sättet att möta klimatmålen är att öppna upp för en lång rad olika tekniker eller åtgärder. Omställningen är så pass stor och omfattande att vi inte har råd att på förhand utesluta någon teknik givet att vi ska möta målen (de tekniker som inte bidrar till måluppfyllnad diskvalificerar sig själva, inom överskådlig tid i en sådan analys). Utifrån vårt sätt att se det kommer vi alltså att behöva en mångfald av tekniker och åtgärder, vilket återigen gör det svårt att ta fram en lista med särskilt prioriterade tekniker.

Utifrån ett systemperspektiv är det således svårt och starkt förenklat att betrakta en teknik som en isolerad företeelse eller komponent. Dess värde, i termer av klimatnytta eller problembild är i stor utsträckning ett resultat av det system inom vilket tekniken verkar. Till exempel har Göransson och Johnsson (2018) visat att flexibilitetsåtgärder som krävs för att integrera stora mängder vindkraft i ett elsystem är systemberoende, dvs. nyttan med en viss (som författarna benämner) variationshanteringsåtgärd, till exempel vätgaslager, är systemberoende.

Behovet och nyttan med vissa tekniker är villkorad av hur andra tekniker utvecklas över tid, hur de presterar eller underpresterar. Om vi exempelvis får svårt att få till en utbyggnad av vindkraft till havs av olika skäl, obeaktat tillståndsfrågorna, så kommer behovet av andra klimateffektiva tekniker för elförsörjningen att öka givet den omfattande elektrifieringsutveckling vi idag förväntar oss inom industrin och transportsektorn. Huruvida en teknik ska bedömas som särskilt nödvändig eller avgörande beror alltså på hur systemet och alternativa tekniker utvecklas i övrigt.

Som ett exempel på samspelet mellan de olika elproduktionsslagen, men också utmaningen att väga olika miljömål mot varandra, kan vi lyfta den svenska vattenkraften, som i sig kan ses som ett system av elproducerande älvar snarare än enskilda kraftverk och som är högaktuell på så sätt att man nu ska väga vattenkraftens klimatnytta mot dess lokala miljöpåverkan i den förestående omprövningen av vattenkraftens vattendomar. Hur vattenkraften körs beror på en rad olika faktorer, men det är starkt kopplat till och avhängig utvecklingen och förutsättningarna för elsystemet i stort, vilket i sin tur påverkar kraftbolagens ekonomiska incitament för att producera el. Det handlar dels om förändringar i elpriser och prisvolatilitet, dels förändringar vad gäller ekonomisk kompensation för tillhandahållande av systemtjänster som styr hur kraftbolagen väljer att köra sina anläggningar.

Elsystemets utveckling med en allt högre andel icke-planerbar elproduktion innebär att kraven och förväntningarna på vattenkraftens förmåga och betydelse för att kunna balansera systemet kan komma att se radikalt annorlunda ut inom ett eller två decennier (se t.ex. Mukheibir, 2013; Gaudard m.fl., 2016; Löfblad m.fl. 2021; NEPP, 2020). Framförallt är det vindkraftens framtida utveckling men också hur stort det framtida el- och effektbehovet blir i framtiden som kommer innebära betydande konsekvenser på vattenkraften och dess förutsättningar framöver. Som en följd av vindkraftens ökade andel av Sveriges elproduktion kommer vattenkraftens betydelse som energislag och reglerkraft öka framförallt på flerdygnsskalan. Det finns även en indirekt påverkan på vattenkraften av förändringar i konsumtionsmönster och annan produktion (som också delvis är en konsekvens av klimatförändringen och åtgärder för att motverka denna), eftersom vattenkraften är den främsta resursen att anpassa till nya behovssituationer i kraftsystemet både på kort och lång sikt.

Vattenkraften befinner sig emellertid i en ny tid med tydliga målkonflikter, där krav på moderna miljövillkor måste avvägas mot ökad efterfrågan av vattenkraftens produktions- och reglerbidrag. Krav på moderna miljövillkor för vattenkraftsanläggningar i syfte att minska vattenkraftens nuvarande och historiska påverkan på ekosystemen står mot en ökad efterfrågan av vattenkraftens effekt- och reglerbidrag.

Med vattenkraften som ett exempel på något som detta uppdrag nu försöker hantera så ser vi naturligtvis värdet av att i lagstiftningen låta klimatnyttan få en större tyngd för att peka på de viktiga värden som vattenkraften står för och våga hantera målkonflikten och låta dessa värden väga tyngre. Men, just för vattenkraften handlar det om att klimatnyttan står mot tung EU-lagstiftning i form av främst ramdirektivet för vatten. Som Klimaträttsutredningen själva skriver i sitt delbetänkande: *"Eftersom klimatmålet inte är överordnat övriga miljömål är syftet inte att klimatnyttan alltid ska väga tyngre än övriga hälso- och miljöintressen utan det ska röra sig om en bedömning i ett enskilt fall där tillståndsmyndigheten får utrymme att i vissa fall låta*

klimatnyttan väga tyngre än andra hälso- och miljöintressen. En förutsättning är att avvägningen inte innebär ett åsidosättande av de skyldigheter som följer av Sveriges medlemskap i EU, t.ex. av vad som följer av art- och habitatdirektivet[12], fågeldirektivet[13] eller ramdirektivet för vatten[14]."

Det sistnämnda är ett problem som en avvägningsregel inte förmår ändra på. Detta problem är också något som lyfts av Energimyndigheten och Naturvårdsverket (2021) i deras analys av de juridiska förutsättningarna för en hållbar vindkraftsutbyggnad. Där lyfter myndigheterna att de största anledningarna till avslag vid tillståndsprövningar av vindkraft handlar just om försvarets stoppområden, artskydd enligt EU-rätten eller det kommunala vetot: "*Ett sätt att ytterligare manifestera den politiska viljan att främja utbyggnaden av vindkraft skulle kunna vara att, på ett tydligare sätt än idag, lyfta fram klimatnyttan i miljöbalkens portalparagraf. En sådan förändring skulle enligt Energimyndighetens och Naturvårdsverkets bedömning kunna spela en viss roll i avvägningssituationer. Det är dock svårt att se hur en sådan förändring i portalparagrafen skulle få någon egentlig betydelse när det kommer till situationer då vindkraftsetableringar ska prövas mot andra intressen/lagregler där utrymme för att göra den typen av avvägningar saknas."*

En viktig fråga att ställa sig är därför vad en ny avvägningsregel får för genomslag i praktiken beaktat alla de utmaningar som finns med att peka ut ett antal nyckelverksamheter vars potentiella klimatnytta, i vissa specifika fall, ska kunna vägas mot andra miljö- och samhällsmål.

2.5 Implikationerna av analysens systemgräns

Utgångspunkten för Klimaträttsutredningen är att de förslag utredningen lägger ska bidra till att minska Sveriges territoriella utsläpp i syfte att uppfylla Sveriges *nationella* klimatmål. Klimaträttsutredningen har därmed ett primärt fokus på de direkta växthusgasutsläpp som sker inom Sveriges nationella gränser.

Det svenska nationella klimatmålet står därför delvis i strid med det tvärsektoriella målet i det svenska miljömålssystemet, det så kallade generationsmålet, som lyder: *Det övergripande målet för miljöpolitiken är att till nästa generation lämna över ett samhälle där de stora miljöproblemen är lösta, utan att orsaka ökade miljö- och hälsoproblem utanför Sveriges gränser*. Som Klimaträttsutredningen lyfter i sitt delbetänkande ska dock målen i det klimatpolitiska ramverket nås på ett sätt som inte leder till ökade utsläpp av växthusgaser utanför Sveriges gränser.

Det potentiella problemet att fokusera enbart på de nationella utsläppen har lyfts av forskningen (se t.ex. t.ex. Davis & Caldeira, 2010; Kouloumpis m.fl., 2015.), men även Miljömålsberedningen och Klimatpolitiska rådet har i sina utredningar pekat på dessa risker. Bland annat skriver Klimatpolitiska rådet i sin rapport från 2020: *"Den svenska klimatpolitikens koppling till de globala utsläppen måste bli tydligare. Den svenska klimatpolitikens bör därför kompletteras med klargörandet att de svenska klimatmålen är intermediära och syftar till att bidra till att världen blir klimatneutral. I den mån en konflikt mellan målen för svenska utsläpp*

[12] Rådets direktiv 92/43/EEG av den 21 maj 1992 om bevarande av livsmiljöer samt vilda djur och växter.
[13] Europaparlamentets och rådets direktiv 2009/147/EG av den 30 november 2009 om bevarande av fåglar.
[14] Europaparlamentets och rådets direktiv 2000/60/EG av den 23 oktober 2000 om upprättande av en ram för gemenskapens åtgärder för gemenskapens åtgärder på vattenpolitikens område

och den globala klimatnyttan identifieras är det den senare som ska prioriteras. Vi är inom rådet visserligen inte helt eniga om hur stora dessa målkonflikter är, men vi är eniga om att de kan uppstå och att ansvariga myndigheter bör ges i uppdrag att kvantifiera förekomsten av dem."

Med detta sagt så har vi i denna analys och i enlighet med utredningens direktiv ett primärt fokus på Sveriges territoriella utsläpp och Sveriges *nationella* klimatmål.

Vi utgår i analysen även från att det är önskvärt att Sverige fortsatt kommer vara ett industriland med omfattande inhemsk produktion för såväl de svenska som internationella marknaderna och att produktionen tillåts öka även framgent. Det innebär att vi även utgår från att nya industrianläggningar tillåts att etableras i Sverige, så länge som de bidrar till eller inte försvårar klimatomställningen i enlighet med Parisavtalet. Vi beaktar således ej någon alternativ omvärld där ekonomisk tillväxt inte längre sker/tillåts ske.

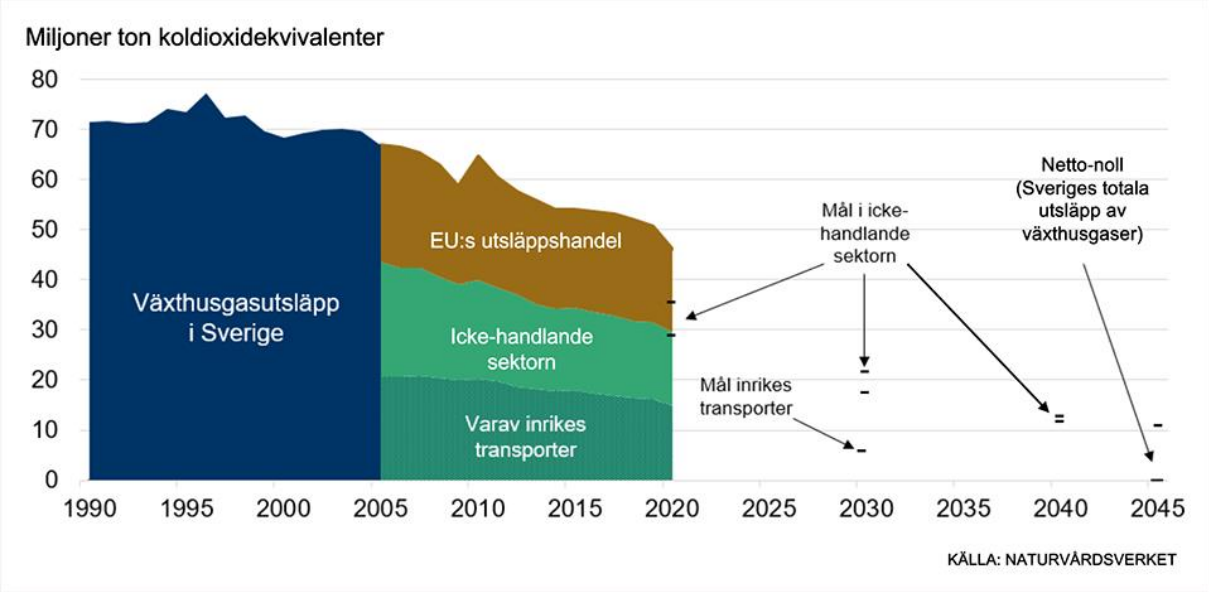
3 Sveriges nationella klimatmål och huvudspår i omställningen

3.1 Sveriges nationella klimatmål

Sveriges klimatpolitiska ramverk består av en klimatlag, klimatmål samt ett klimatpolitiskt råd. Det långsiktiga nationella klimatmålet innebär att Sverige senast år 2045 ska ha nettonollutsläpp av växthusgaser till atmosfären, för att därefter uppnå negativa utsläpp. Rent konkret innebär målet att utsläppen från verksamheter inom Sveriges gränser ska vara minst 85 % lägre år 2045 än utsläppen år 1990. De resterande utsläppen ned till nollnivån (upp till 15%) får reduceras med så kallade kompletterande åtgärder inklusive avskiljning och lagring av koldioxid (CCS) från biogena utsläppskällor. För att nå målet får även CCS på utsläppskällor av fossilt ursprung räknas som en åtgärd där rimliga alternativ saknas. Vid beräkning av utsläppen från verksamheter inom Sveriges gränser omfattas inte utsläpp och upptag från markanvändning, förändrad markanvändning och skogsbruk (LULUCF). Däremot räknas ökat upptag i skog och mark som en kompletterande åtgärd.

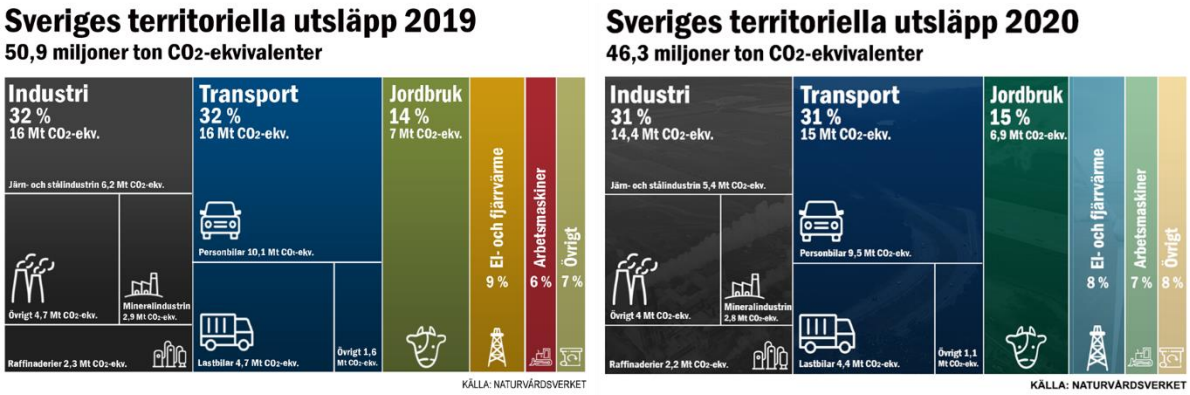
Det långsiktiga målet om nettonollutsläpp år 2045 gäller samtliga sektorer. Fram till 2045 finns även uppsatt ett antal etappmål mot det långsiktiga målet. Dessa etappmål rör endast växthusgasutsläpp i den så kallade icke-handlande sektorn (växthusgaser som omfattas av EU:s ansvarsfördelning). Utsläppen av växthusgaser som omfattas av EU:s system för handel med utsläppsrätter är idag inte inkluderade i etappmålen.

Figur 1 visar Sveriges långsiktiga klimatmål och etappmålen på vägen mot 2045 (med och utan möjligheten att utnyttja kompletterande åtgärder) tillsammans med historiska utsläpp av växthusgaser (sedan år 2005 uppdelade på utsläpp från verksamheter inom EU:s utsläppshandelssystem och från den icke-handlande sektorn där andelen som inrikes transporter står för framgår).



Figur 1 Historiska utsläpp av växthusgaser i Sverige fram till idag samt målnivåer fram till 2045 då Sveriges utsläpp ska vara nettonoll. Källa: Naturvårdsverket. De små horisontella strecken i diagrammen avser målnivåerna för de olika sektorerna.

Sveriges territoriella utsläpp av växthusgaser uppgick under 2019 till knappt 51 Mton CO2-ekvivalenter (se Figur 2). Under 2020 minskade utsläppen till omkring 46 Mton, främst till följd av Covid-19-pandemin och andra (enligt Naturvårdsverket) tillfälliga utsläppsminskningar. Främst minskade utsläppen inom industrin, inrikes transporter och el- och fjärrvärmesektorn. Den senare minskningen beror dels på fortsatt utfasning av fossila bränslen inom denna sektor, inklusive minskat uppvärmningsbehov under 2020. Vad gäller utsläppsminskningarna från industrin och transporter kopplar dessa främst till en minskad produktion inom järn- och stålindustrin, produktionsstopp inom kemiindustrin samt minskning av biltrafik och resor med inrikesflyg[15].



Figur 2 Naturvårdsverkets översikt över Sveriges territoriella utsläpp av växthusgaser (ton koldioxidekvivalenter) 2019 respektive 2020.

[15] https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/klimat/vaxthusgaser-territoriella-utslapp-och-upptag

3.2 Tekniska huvudspår i omställningen

Beaktat att det är mindre än tjugofem år till målet står samhället inför en stor utmaning vad gäller att ställa om alla de sektorer i samhället som idag har en direkt eller indirekt negativ klimatpåverkan. Sveriges mål om nettonollutsäpp av växthusgaser till år 2045 innebär en rejäl omställning för i synnerhet två sektorer i Sverige: industrin och transportsektorn (se Figur 2). Det är dessa två sektorer som idag står för de i särklass största utsläppen medan övriga sektorer som el- och fjärrvärmeförsörjning samt bostäder och service står för relativt små utsläpp. För omställningen av industrin och transportsektorn ses elektrifiering som en avgörande och central åtgärd. Som nämnts har vi i denna rapport dock valt att ej ha med transportsektorn i vår analys. Utifrån hur vi har valt att definiera nyckelverksamheter återfinns de verksamheter vi fokuserar på i denna analys därför främst inom industrisektorn respektive energisektorn. Industrisektorns utsläpp uppgår idag till ca 14-16 Mton CO_2-ekvivalenter medan energisektorn (utsläpp från el- och fjärrvärmeproduktion) står för ca 3,7 Mton CO_2-ekvivalenter. De verksamheter vi beskriver nedan och dess klimatnyttor kan därför ställas i relation till dessa utsläppsnivåer och utvecklingen mot nettonoll 2045.

Merparten av industrins utsläpp av växthusgaser uppkommer i olika tillverkningsprocesser och är då kopplade till de råvaror som används i produktionen. Man brukar dela in industrins utsläpp i processrelaterade och de som härrör från förbränning när fossila bränslen används för energiändamål. De senare är lättare att minska genom att byta ut fossila bränslen till biobränslen och/eller el till den energi som krävs för produktionen. De processrelaterade utsläppen är betydligt svårare att minska och kräver också i många fall nya innovationer och teknikutveckling för att förändra produktionsprocesserna och/eller att man utvecklar nya råvaror för produktion av samma varor.

Som framgår av Figur 2 står den svenska industrin för ca en tredjedel av Sveriges totala fossila växthusgasutsläpp. Under de senaste åren har utsläppsminskningarna från svensk industri avstannat, främst på grund av att fortsatta utsläppsminskningar är svåra att åstadkomma med dagens teknik (Energimyndigheten, 2021:27). Hittills har utsläppsminskningarna främst åstadkommits genom att man bytt ut insatsenergin till förnybara bränslen och el. För fortsatt minskning av processrelaterade utsläpp krävs nu betydande utveckling och förändring av produktionsprocesser.

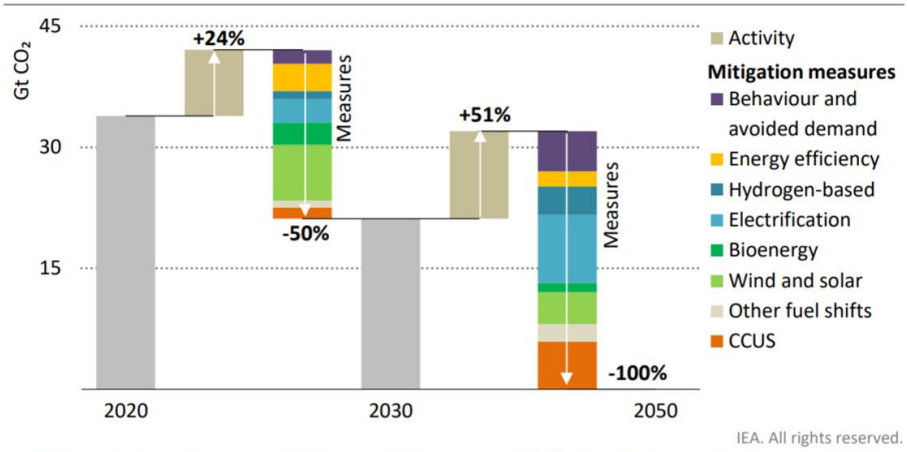
Det finns en rad olika studier och projekt som beskriver den svenska industrins möjligheter till omställning (se t.ex. Åhman m.fl., 2013, Nilsson m.fl., 2017; Karltorp m.fl., 2019; Energimyndigheten, 2020; Energimyndigheten 2021; Karlsson m.fl., 2021, Toktarova, 2021; Material Economics; 2021). Dessutom har en rad branscher inom ramen för initiativet Fossilfritt Sverige[16] tagit fram egna färdplaner där man beskriver de huvudspår man ser framför sig vad gäller att åstadkomma utsläppsminskningar i enlighet med Sveriges klimatmål. De åtgärder och huvudspår för industrins omställning som lyfts för svensk industrin är i stort desamma som lyfts i internationella studier och rapporter på samma tema (IEA, 2020; Tamaryn m.fl., 2015; IPCC, 2014; IPCC, 2018; EC, 2018). Energimyndigheten (2021) lyfter de fyra huvudsakliga tekniskspår det råder stor konsensus kring vad gäller att åstadkomma utsläppsminskningar av

[16] https://fossilfrittsverige.se/

industrins processrelaterade utsläpp. Dessa är: ökad användning av biomassa, indirekt elektrifiering med vätgas, direktelektrifiering samt avskiljning och lagring av fossil eller biogen koldioxid, där det senare också är ett alternativ för att uppnå/åstadkomma negativa utsläpp.

Av Figur 3 framgår IEA:s bedömning av potentialen för de huvudsakliga grupperna av utsläppsminskningsåtgärder, som IEA benämner som *pelare* i omställningen (*"key pillars of decarbonisation"*). I stort handlar det om samma huvudspår: elektrifiering, förnybar energi, vätgas och vätgasbaserade bränslen, bioenergi samt CCS.

Key pillars of decarbonisation **enligt IEA**



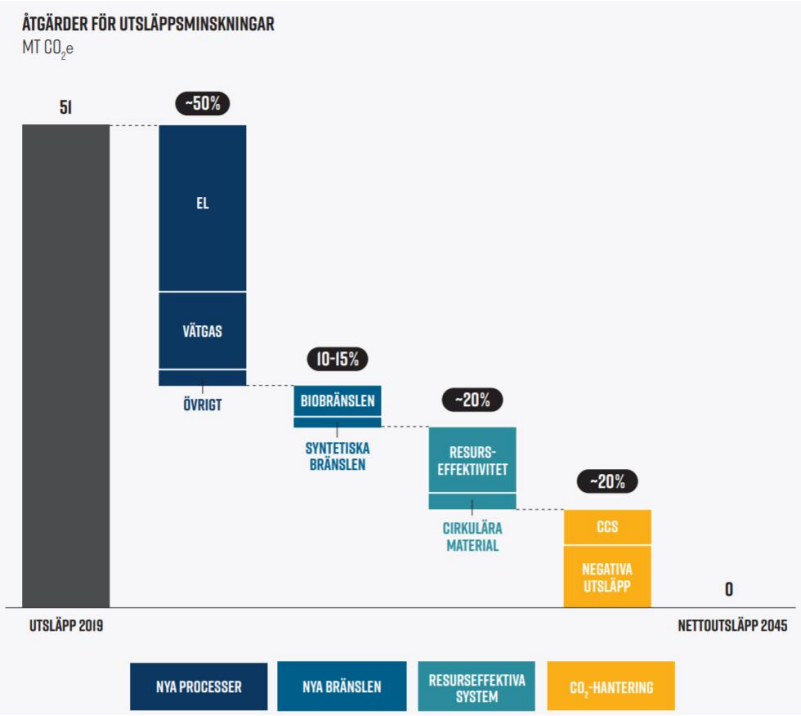
Solar, wind and energy efficiency deliver around half of emissions reductions to 2030 in the NZE, while electrification, CCUS and hydrogen ramp up thereafter

Notes: Activity = energy service demand changes from economic and population growth. Behaviour = energy service demand changes from user decisions, e.g. changing heating temperatures. Avoided demand = energy service demand changes from technology developments, e.g. digitalisation. Other fuel shifts = switching from coal and oil to natural gas, nuclear, hydropower, geothermal, concentrating solar power or marine.

Figur 3 Utsläppsminskningar för olika typer av åtgärdskategorier till år 2030 respektive 2050 i ett scenario (NZE[17]) som förutsätter att nollutsläpp uppnås globalt år 2050. Källa: IEA (2020).

Material Economics (2021) har gjort ett motsvarande scenario över hur Sverige kan nå nettonollutsläpp 2045. Som framgår av Figur 4 har man gjort en potentialbedömning av vilka utsläppsminskningar som kan åstadkommas genom nya processer och tekniker, nya bränslen, resurseffektivare system och hantering av koldioxid genom bl.a. CCS och bio-CCS. En del av åtgärderna handlar specifikt om industrins omställning och omfattar bland annat elektrifiering av industrin (nya processer som drivs med el), vätgas som råvara, energibärare och reduktionsmedel inom industrin, bio- och vätgasbaserade bränslen främst i förbränningsprocesser där elektrifiering är att alternativ, ökad återvinning av metaller, stål och plaster samt bio-CCS inom avfallsförbränning, fjärrvärme samt massa- och pappersindustrin och CCS för cement och kalk och för avfallsförbränning.

[17] NZE: Net Zero Emissions



Figur 4. Material Economics scenario för hur man med ett antal åtgärdskategorier kan få ned dagens utsläpp av växthusgaser i Sverige till nettonollutsläpp år 2045. Källa: Material Economics (2021).

Många svenska industriföretag ser elektrifiering av sina tillverkningsprocesser som avgörande i sin strävan efter att åstadkomma utsläppsminskningar och för att behålla och stärka sin konkurrenskraft i ett framtida fossilfritt samhälle. Ett tydligt exempel är omställningen och avkarboniseringen av järn- och stålindustrin där man genom att frångå den tusenåriga masugnstekniken till förmån för s.k. direktreduktionsteknik (DRI-teknik) av järn, går från kol till el/vätgas som reduktionsmedel. Dagens masugnar ska då ersättas av anläggningar för direktreduktionen av järnmalmspellets tillsammans med ljusbågsugnar och vätgaslager. Eftersom stålindustrin står för ca 11 % av Sveriges totala utsläpp av växthusgaser finns en betydande potential för denna typ av teknik att bidra med klimatnytta. Samtidigt krävs betydande mängder utsläppsfri elproduktion som möjliggörare för denna omställning.

Vätgas kan ses som en möjliggörare för många sektorer, inte minst möjliggör den sektorskoppling och integration av storskalig förnybar elproduktion. Vätgas utgör även en viktig utbytesråvara till industrin för avkarbonisering och kan också användas för produktion av drivmedel.

När det gäller till exempel petrokemin handlar det främst om att byta ut de fossila råvarorna till biobaserade samt att öka graden av återvinning av råvaran. Även här kommer dock elektrifiering spela en viktig roll som en åtgärd för att fasa ut den naturgas som idag används för att producera den vätgas som används i olika processteg inom petrokemin. Även här kommer således utsläppsfri elproduktion vara en kritisk möjliggörare för omställningen tillsammans med ökad mängd biomassa.

Elektrifiering ses alltså som en viktig nyckel till omställningen mot nettonollmålet till år 2045. Detta kräver en omfattande utbyggnad av det svenska elförsörjningssystemet såväl i produktions- som i distributionsledet. Även om fortsatta effektiviseringar av, och flexibilitet i elanvändningen kan hålla emot ökningstakten inom vissa sektorer (det mesta pekar exempelvis på att el för uppvärmning kommer att fortsätta minska), så är det mycket sannolikt att vi under de kommande åren kommer att se en signifikant ökning av elanvändningen till följd av att industrin och transportsektorn ställer om. Det finns olika uppskattningar om det framtida elbehovet varav det ofta pekas på i storleken en fördubblad elanvändning samtidigt som en betydande del av elproduktionen kommer att bestå av väderberoende elproduktion, främst i form av vindkraft.

Det pågår planer för utbyggnad av bio-CCS i syfte att nå negativa utsläpp (och där ett styrmedel i form av ett omvänt auktioneringsförfarande är under framtagande med målet att staten ska handla upp negativa utsläpp till lägsta kostnad). Bio-CCS avser här CCS både på anläggningar eldade med biobränslen och avfall. För avfallsförbränningen är det den biogena delen av avfallet som med CCS ger negativa utsläpp, medan CCS för den fossila delen av avfallet minskar de fossila koldioxidutsläppen. Detta är således ett exempel på att nyckeltekniker kan ändras över tid, dvs om tekniker tas fram som möjliggör cirkulär plaståtervinning så kan olja som råvara för ny plast fasas ut för att åstadkomma ett mer cirkulärt materialsystem (Thunman m.fl., 2019). Ett sådant system är naturligtvis mer hållbart än att elda upp plasten och avskilja koldioxiden med CCS, även om klimatnyttan är likartad.

3.3 Tidsperspektivet i omställningen och övergångstekniker

Vi vill i detta sammanhang peka på tidsperspektivet beaktat att vi ser framför oss en omställning under de kommande 25 åren samtidigt som teknikutvecklingen går snabbt framåt. Som nämns ovan, är tidsperspektivet en viktig faktor när man försöker värdera vad som är hållbart eller inte, eller om det bidrar till klimatnytta eller inte.

I branschforskningsprojektet NEPP där rapportförfattarna ingår i projektledningen och forskargruppen lyfter vi i slutrapporten[18] av den senaste forskningsetappen många av de utmaningar vi ser. Slutrapporten pekar på fyra faktorer av avgörande betydelse för vilken utvecklingslinje det svenska energisystemet kommer att följa: graden av elektrifiering, graden av systemintegrering, balansen mellan marknadsdriven och politiskt styrd utveckling samt hur synen på hållbarhet kan komma att ändras över tid. Det gäller i hög grad även synen på klimatnytta. Det är långtifrån självklart att det som bidrar till klimatnytta idag kommer att fortsätta bidra till klimatnytta i ett längre tidsperspektiv. Det beror dels på hur man från början väljer att definiera klimatnytta, dels vilka alternativ man jämför med samt utvecklingen av nya alternativ och deras potentiella klimatnytta över tid.

Tidsperspektivet är t.ex. något som ofta lyfts i debatten om användningen av biomassa och huruvida, och i så fall till vad, den ska användas som en resurs för samhället i klimatomställningen[19]. En viktig utgångspunkt när man talar om biomassans roll är därmed att

[18] https://www.nepp.se/pdf/Insikter_och_vagval.pdf

[19] För en översikt över kunskapsläget om skogens roll för klimatet och de olika synsätt som finns på hur klimatnyttan ska bedömas hänvisas till t.ex. Berndes m.fl. (2018).

beakta hur värdet av denna kan komma att ändras över tid (se t.ex. Hassler m.fl., 2020, Berndes m.fl., 2018, Fossilfritt Sverige[20], 2021).

På kort sikt kan biomassa ersätta fossila råvaror inom t.ex. transportsektorn genom möjligheten att använda biodrivmedel för vägtransporter. Beaktat att biomassa är en begränsad resurs måste man dock fundera över värdet av att använda dessa biogena (förnybara) kolatomer och vad som kan ses som en långsiktigt hållbar användning av biomassa eller inte. Detta gäller alla typer av råvaror med begränsningar, och det är således av fundamental betydelse att beakta resurseffektiviteten när man gör avvägningar i hur man bäst använder råvaror för att bidra till klimatnytta i det längre tidsperspektivet. Vissa tekniker eller verksamheter kan därför behöva klassas som *övergångstekniker*. När det gäller själva biomassan så bör dess klimatnytta vara hög under överskådlig tid framöver då det är troligt att det kommer finnas flera sektorer i alla fall fram till 2045 som kommer behöva kolbaserade bränslen och insatsvaror för att kunna ställa om (Berndes m.fl, 2018), dvs. biomassan kommer substituera för fossila kolatomer i olika sektorer vid olika tidpunkter.

Ett exempel på en övergångsteknik skulle kunna utgöras av ovan nämnda CCS på avfallsförbränning – som är linjär till sin karaktär – medan returplastraffinaderier där plasten cirkuleras då blir en mer långsiktigt hållbar teknik. Det är således viktigt att beakta cirkularitet som något att sträva efter även om vi under en tid fortsatt kommer att ha system som är delvis linjära[21].

Det motsatta finns också, det vill säga tekniska lösningar vars klimateffektivitet sannolikt ökar över tid i takt med omställningen och teknisk utveckling. En ökad elanvändning, antingen för att möta helt nya konsumtionsbehov eller för att ersätta fossil energianvändning utgör ett sådant exempel. På den integrerade nordeuropeiska elmarknaden leder en ökad elanvändning i Sverige även till förändringar i elproduktionen på Kontinenten och inte bara till förändringar inom Sveriges gränser. På Kontinenten är elproduktionen idag fortfarande relativt koldioxidintensiv men kommer att bli allt mindre koldioxidintensiv i takt med att fossilbränslebaserad kraftproduktion fasas ut av olika skäl, framförallt till följd av energi- och klimatpolitik. Elanvändning i sig kommer därmed att bli förknippad med allt lägre växthusgasutsläpp i takt med att den nordeuropeiska elproduktionen ställer om. Om elanvändningen dessutom leder till substitution bort från fossila energislag (elbilar och elektrifiering av industriella processer) så blir den positiva nettoeffekten ännu större.

Genom att klassa teknik som övergångsteknik riskerar man dock att minska viljan i att investera i dessa tekniker, vilka på kort sikt kan vara avgörande för att lyckas med att nå våra klimatmål. Investeringsviljan hos enskilda företag och investerare i nya tekniker bestäms av hur de långsiktiga förutsättningarna till fortsatt lönsamhet ser ut. Hur man ska få industriverksamheter att satsa pengar på teknik som väljs att klassas som övergångsteknik är en av alla de

[20] https://fossilfrittsverige.se/strategier/biostrategi/

[21] Tidsperspektivet skapar en utmaning kopplat till risken för de potentiella inlåsningseffekterna i linjära system om man inte gör tillräckligt för att stimulera övergången till cirkulära system. Det finns en risk för att för stora förhoppningar om att övergången går snabbt innebär att man inte lägger vikt vid att förbättra de linjära system som finns på plats idag. En utmaning är därför om när och hur man tar sig från dagens linjära till morgondagens mer cirkulära system.

utmaningar vi ser om vi inte ska riskera omställningen på kort tid. Risken är också att man genom att explicit klassa en viss teknik för övergångsteknik hämmar företagens innovationskraft. Det senare handlar om hur man ser på Sveriges roll som producerande industrination där industriföretagen vågar och får med sig investerare i att ta investeringsbeslut i de tekniker som behövs i omställningen men som också kan bidra till ytterligare klimatnytta genom att exportera tekniken till andra länder.

3.4 Vikten av resurseffektivitet och cirkularitet

Resurseffektivitet, i ett generellt perspektiv, är sannolikt avgörande för att nå klimatmålen. Det kan definieras som en strävan efter att använda färre/mindre mängder av olika resurser, som material, vatten, energi och mark, för att nå samma/motsvarande nivå av levnadsstandard (se t.ex. International Resource Panel, 2020). Ett annat sätt att uttrycka det kan vara en strävan efter att producera samma nytta med mindre mängd resurser. Även här måste man vara medveten om svårigheterna när man väger olika åtgärder och tekniker som utgår från olika typer av resurser mot varandra och försöker jämföra effektiviteten i utnyttjandet av dessa olika resurser.

Cirkularitet (som en del i strävan efter att uppnå en cirkulär ekonomi och ytterligare öka resurseffektiviteten) handlar om att bibehålla värdet av produkter, material och resurser i systemet så länge som möjligt, och på så sätt minska uppkomsten av avfall.

Förutom att generellt sträva efter största möjliga resurseffektivitet (som även inbegriper undvikande av viss resursanvändning), är det extra viktigt att resurser som är begränsade i någon form (t.ex. kritiska mineraler och biomassa) används så resurseffektivt som möjligt. Det kan också innebära att använda nya betongrecept och lättare konstruktioner för att minska behovet av cement i byggnader och infrastruktur. Det kan också, ur vissa perspektiv, vara viktigt att ta en så kallad kaskadprincip i beaktande, vilket innebär en prioritetsordning för användningen av råvaror och material för att möjliggöra bästa möjliga resurseffektivitet. Principen används t.ex. inom EU-lagstiftningen kopplat till avfall respektive biomassa och kan vara en väg att gå för att främja resurseffektivitet i största möjliga mån. Här kan man dock tillägga att även kostnadseffektivitet och betalningsvilja är viktigt att ha i åtanke. Kaskadprincipen är en bra tumregel, men kan också leda fel och till konsekvenser man inte förutsett. Det är också viktigt att vara medveten om begränsningarna med hur stor grad av cirkularitet som i praktiken kan uppnås förutsatt att vi strävar efter samma materialkvalitet och att vi förväntar oss en fortsatt efterfrågan på slutprodukterna. Stål, glas och papper är exempel på resurser som kan återanvändas till viss grad, men som (åtminstone idag) kräver olika grad av inblandning av ny, jungfrulig råvara. Det gäller också olika typer av metaller och mineraler som kommer att bli kritiska för omställningen då de utgör viktiga råvaror till batterier, elfordon, vindkraftverk och solceller. Även om man kan uppnå en hög grad av återvinning kommer det att krävas fortsatt brytning av dessa metaller och mineraler beaktat magnituden av den omställning som måste åstadkommas globalt och därmed efterfrågan på metaller för tillverkning av de viktiga teknikerna (se t.ex. IEA, 2021).

En begränsning kan också avse en poolresurs som ovan nämnda biomassa, dvs. om en viss teknik eller verksamhet till exempel bygger på en viss biomassafraktion som är starkt begränsad globalt. Vissa biooljor som nu används för produktion av till exempel biodrivmedel

kommer troligtvis aldrig kunna ge en långsiktigt uthållig klimatnytta på en stor skala då deras tillgång globalt är starkt begränsad.

Det är i detta sammanhang viktigt att vara medveten om skillnaden mellan tekniker som har potentialen att uppnå ett cirkulärt system, och sådana som inte ger denna möjlighet även om klimatnyttan är lika. Ett illustrativt exempel är jämförelsen mellan de tidigare nämnda returplatsraffinaderier som nu utvecklas (Thunman m.fl., 2019) och där allt pekar på att de skulle möjliggöra ett cirkulärt system där plast återförs till sina ursprungsmonomerer (inte att förväxla med dagens plaståtervinning som resulterar i en degradering av plastens kvalitet). Därmed skulle den idag förhärskande metoden att göra ny plast från råolja kunna fasas ut. Detta ska jämföras med samma klimatnytta som kan fås med att utrusta avfallseldade kraftvärmeanläggningar med koldioxidavskiljning (CCS teknik), vilket ger en stor klimatnytta men resulterar i ett linjärt system med fortsatt beroende av fossil olja för plasttillverkningen.

4 Förslag till nyckelverksamheter – fyra nyckel*funktioner* i omställningen

Vikten av att kunna väga in klimatnyttan i tillståndsprövningar i de fall där så är möjligt och där det kanske också är avgörande för att verksamheten överhuvudtaget ska få tillstånd är både uppenbar och önskvärd. Som diskuteras ovan uppstår utmaningarna när man måste väga klimatnyttan mot andra samhällsmål och lokal miljöpåverkan samt på vilka grunder man i så fall ska kunna göra det. Som vi har argumenterat för i avsnitten ovan finns det många utmaningar och risker med att peka ut specifika tekniker eller åtgärder som ska kunna omfattas av en ny avvägningsregel i miljöbalken i detta syfte. En ytterligare utmaning är svårigheten att formulera en avvägningsregel så att den ska bli tillämpbar i praktiken, med tillräcklig tydlighet men också logik (där acceptansen för logiken är tillräckligt stor) vad gäller avgränsning och kriterier liksom en viss förutsägbarhet för verksamhetsutövare, tillsyns- och tillståndsmyndigheter vad som gäller för att kunna "åberopa" avvägningsregeln.

Som nämnts inledningsvis är vårt förslag att utgå från ett begränsat antal grupperingar av tekniker eller verksamheter, eller snarare strategiska *funktioner*, som vi anser är *kritiska* för att bidra till en effektiv klimatomställning *i Sverige* och för att uppnå Sveriges nationella klimatmål. Systemgränsen "Sverige" medför att vissa verksamheter eller funktioner inte faller under begreppet *nyckel*verksamheter men de kan ändå ha stor betydelse speciellt vid ett vidgat synsätt. Vi resonerar lite mer kring detta i ett avslutande underkapitel till detta kapitel.

I vissa fall är det ingen knivskarp gränsdragning mellan de olika grupperna. Vår gruppering bygger också på inställningen att man bör, så långt möjligt, utgå från *teknikneutralitet*, utifrån perspektivet att det viktiga är att klimatomställningen och utsläppsminskningarna sker, inte exakt vilken teknik som genererar utsläppsminskningarna. Det senare är också uppenbart mot bakgrund av vårt resonemang ovan om tidsperspektivet och frågan om övergångstekniker.

Våra föreslagna nyckelfunktioner utgörs av följande fyra grupper (utan ingående rangordning):

- Elförsörjning
- Stödtjänster och leveranssäkerhet
- Negativa utsläpp – bio-CCS (samt på sikt DAC)
- Tekniker för sektorer där det är synnerligen svårt att reducera växthusgasutsläppen samt sådana som bidrar till ökad cirkularitet i samhället

Nyckelfunktionerna beskrivs i varsitt avsnitt nedan.

Som vi nämner inledningsvis i rapporten har vi i vår analys inte gått vidare in i frågan kopplat till platsvalsregeln, dvs. att en ny avvägningsregel främst behövs för de verksamheter som har stor betydelse för omställningen men som är avhängig en viss lokalisering för att överhuvudtaget ha förutsättningar att etableras (t.ex. en gruva). De verksamheter som listas i följande kapitel har ju olika förutsättningar vad gäller om de är platsberoende eller inte. En anläggning för batteriproduktion eller konstgödsel kanske har större flexibilitet vad gäller lokalisering, även om närheten till elproduktion/elnätkapacitet kan vara platsbegränsande medan t.ex. CCS eller en anläggning för kemisk återvinning av plast är mer tydligt platsbegränsande vad gäller var de placeras. CCS-anläggningen måste placeras direkt vid

utsläppskällan och kemisk återvinning av plast kan behöva finnas i nära anslutning till ett befintligt kraftvärmeverk.

I appendix A till denna rapport finns även de tabeller med exempel på fysiska verksamheter under respektive grupp som har tagits fram under ovan nämnda workshops inom ramen för uppdraget. I respektive avsnitt nedan finns också utdrag från dessa tabeller.

4.1 Elförsörjning

Som nämnts ovan ses en omfattande elektrifiering av verksamheter som idag använder fossila bränslen, främst industrin och transportsektorn, som i stort sett avgörande för en effektiv klimatomställning.

Elektrifiering kommer att kräva avsevärda mängder ny elproduktion. Gruppen ”elförsörjning” omfattar tekniker som har egenskaper som fossilfrihet och som bidrar med signifikanta volymer av elenergi. Urvalet baseras på sådana tekniker som kräver tillståndsprövningar för sin verksamhet. Vi beaktar framförallt elproduktion från nya installationer vilket kan innefatta vindkraft, kraftvärme, vattenkraft eller kärnkraft. Som vi ser i vår och andras forskning och analyser av utvecklingen över Sveriges framtida energisystem handlar det framför allt om ny vindkraft som i det korta till medellånga tidsperspektivet kan bidra med de stora mängder el som elektrifieringen av samhället kräver. I dagsläget dominerar investeringar i landbaserad vindkraft men inom relativt kort tid kommer det även behövas investeringar i havsbaserad vindkraft. Många av de andra kraftslagen tar längre tid att bygga ut av olika skäl.

Som nämnts listar vi i appendix A till denna rapport en tabell ett antal olika elproduktionstekniker som faller in under nyckelfunktionen ”Elförsörjning” och som är associerade med olika förtjänster och utmaningar samt exempel på möjliga kriterier vid bedömningen med avseende på avvägningsregeln. I Tabell 1 nedan presenteras en nedbantad version av den tabell som återfinns i appendix A.

Tabell 1 Exempel på verksamheter som kan falla in under nyckelfunktionen “Elförsörjning”. Tabellens innehåll är hämtad från de tabeller som återfinns i sin helhet i appendix A till denna rapport.

Eltillförsel	**Motivering till exempel på potentiell nyckelverksamhet**	**Exempel på *förslag* till kriterier för när/om en sådan verksamhet ska omfattas av avvägningsregeln**	**Kommentarer**
Vindkraft Land	• Det enda kraftslag som på kort till mellanlång sikt som kan leverera den elenergi vi behöver (kriterium i sig) • Låg klimatpåverkan vid drift	• Yteffektivitet (låg miljöpåverkan per m2 och/eller per MWh) • Närhet till elnätsinfrastruktur • Inkopplingsnivå (inkoppling på hög spänning ger låga förluster i nätet) • Närhet till slutanvändning	• Stor risk för målkonflikter (acceptans) Andra hållbarhetsaspekter/osäkerheter: • Resursanvändning för verk/byggnation? • Behov av kritiska mineraler (sällsynta jordartsmetaller) • Vägar och elnät måste vägas in i markanspråktagandet • Yteffektivitet – ett kriterium som kan straffa ut framtida “lågvindsturbiner”?

			• Idag problem med flaskhalsar i elnätsöverföringen (något som talar för bättre närhet till slutanvändningen) • Beroende på hur man ser på systemgränsen – bör man ha med att vindkraftselen ska gagna svensk industriproduktion? • Inte säkert att vindkraften ska leverera stödtjänster (ej kostnadseffektivt)
Vindkraft Havs	• Motsvarande som för land men på mellanlång sikt • Låg klimatpåverkan vid drift	• Motsvarande som landbaserade vindkraft • Gynnsamma vindlägen – ett viktigt kriterium i form av "få lågvindsperioder" är något som havsbaserad VK kan leverera	• Kan komma att spela en större roll inom 10 år • Behovet av koppar och sällsynta jordartsmetaller är högre än landbaserad vindkraft (IEA, 2021) • Påverkan på marina miljön • Fördel jmf med land – gynnsamma vindlägen, markanvändning lägre • Högre kostnader jmf land
Vattenkraft	• Bidrar med balansering • Reglerförmåga på alla tidsskalor • Låg klimatpåverkan	• Miljöpåverkan per typ av MWh som levereras? • Säsongslager? (pga att dessa kan vara svåra att ersätta?)	• Hur hantera beaktat NAP och omprövningen av vattenkraften? • Pumpkraft? • Stor del av infrastrukturen finns redan på plats, bättre ur hållbarhetssynpunkt jmf med att bygga nytt. • Vattenkraftens värde för elsystemet – kan balansera stora mängden vindkraft (systemperspektivet!) • Till skillnad mot vindkraften som levererar bulkenergi bidrar vattenkraft med MWh av olika kvalitet samt effekt.
Kärnkraft (ny) *Här pekas ej ut typen av kärnkraft (kan vara III+, IV gen eller SMR)*	• Elenergin behövs • Låg klimatpåverkan och hög yteffektivitet	• Passiv säkerhet (gynnar SMR?) • Något kriterium kopplat till slutförvar (t.ex. lagringstid för avfallet – gynnar 4e gen+SMR)	• (Mycket) lång sikt • Osäkerhetsfaktorer • Avfallshanteringen • Hållbarhetsaspekter på utvinning och anrikning av bränslet • Säkerhet/acceptans • Dyrt idag • Teknikutveckling? • Långa ledtider • Stort frågetecken finns gällande ny kärnkraft och dess förmåga (och lönsamhet) att anpassa sig till en elmarknad med en hög grad av variabilitet
Kraftvärme	• Viktig för lokala energiförsörjningen (värme+el)	• Krav på resurseffektivitet, cirkularitet och	• Ifrågasättande av förbränning (både avfall/bio) • Plasten i avfallet

	• Klimatpåverkan beror på systemgränsen	redovisning av kolcykel (både avfall/bio) • Anläggningar med "systemstabiliserande åtgärder" (balanskraft, kapacitetsförsäkring, frekvenshållning)? • Krav på bio-CCS/CCS?	• Bio-CCS/CCS (acceptans)
Elnät	Den avgörande nyckeln för elektrifieringen som länken mellan elproduktion och slutanvändare	• Närhet till slutanvändning, t.ex. vindkraft, industri, vätgas, stad, i princip "om man möjliggör för nyckelverksamheterna att komma på plats	• Markanvändning • Målkonflikter med markägare • Ökar behov av koppar och aluminium • Kanske särskilt peka ut kablar till havsbaserad vindkraft som viktig? • Måste beakta alternativet: vad blir det för konsekvenser om vi inte får ledning på plats? • Beakta biologisk mångfald? • Plan för återvinning?

Vi bedömer att vindkraft är det enda kraftslag som på relativt kort tid kan leverera huvuddelen av de omfattande mängder el som kommer att efterfrågas på grund av ett växande elbehov inom framför allt industrin och transportsektorn. Detta gör vindkraften i sig till en nyckelteknik. Det beror inte minst på att ny vindkraft är mycket konkurrenskraftigt och där landbaserad vindkraft sannolikt är det billigaste kraftslaget att bygga för en investerare. Dessutom går det snabbt att bygga vindkraftparker om man bortser från tillståndsprocessen som kan innebära till betydande ledtider. Potentiellt viktiga kriterier för vindkraften (som har framkommit i diskussionerna med referensgruppen) som man kan överväga med avseende på om avvägningsregeln ska tillämpas eller ej omfattar exempelvis närhet till elnätsanslutning, närhet till elförbrukning, yteffektivitet (resursåtgång per m^2) men möjligen även vindläget. När det gäller yteffektivitet med avseende på resursåtgången så finns det ett potentiellt motsatsförhållande med så kallade lågvindhastighetsturbiner där rotorarean (och därmed resursåtgången) i förhållande till generatoreffekten är hög. Å andra sidan förmår sådana turbiner exploatera sämre vindlägen med relativt hög utnyttjningstid vilket gör de ekonomiskt intressanta. I appendix B har vi valt att lägga till ett stycke där vi, som ytterligare ett exempel på svårigheterna med uppdraget, för ett mer uttömmande resonemang kring fördelar och risker med vindkraft. Där tar vi även upp ytterligare möjliga kriterier som har diskuterats vid workshoparna med referensgruppen.

Ett annat kraftslag som vi bedömer platsar i nyckelfunktionen "elförsörjning" är ny kärnkraft. Motiven för detta omfattar planerbarhet, effektsäkerhet, bidrag till stödtjänster i elsystemet samt potentialen att generera en väsentlig volym av elenergi. Dessutom är kärnkraftens utsläpp av växthusgaser generellt bland de allra lägsta av samtliga kraftslag i ett livscykelperspektiv (UNECE, 2021). Riskbilden för ny kärnkraft är i mångt och mycket välkänd och omfattar ekonomisk lönsamhet, långa ledtider och acceptans. Även för kärnkraft för vi ett utökat resonemang i appendix B.

Elproduktionen från de olika kraftslagen som vi listar här kan ha olika egenskaper med avseende på stödtjänster, leveranssäkerhet och effekt. Det handlar exempelvis om frekvenshållning och spänningshållning som är egenskaper som bör premieras i ett framtida elsystem och det kan göras antingen i direkt anslutning till själva installationen eller på annat sätt och på andra platser i elsystemet (se mer under nästa grupp där vi tar upp ”stödtjänster och leveranssäkerhet” som en egen funktion). Det bör påpekas att dessa egenskaper eventuellt kan komma att premieras i tillräcklig omfattning på andra sätt, antingen genom olika marknadslösningar eller genom reglering (”grid codes”) vid anslutning av ny elproduktion.

I gruppen ”elförsörjning” ingår också nödvändig infrastruktur för transmission och distribution av el med tillhörande komponenter i syfte att möta efterfrågan på el med ett utbud.

4.2 Stödtjänster och leveranssäkerhet

Denna grupp omfattar tekniker som på olika sätt bidrar med stödtjänster eller robusthet för ett svenskt elsystem (kan möjligtvis benämnas med ett begrepp som ”systemstabiliserande åtgärder”). Eftersom vi bedömer att elsystemet kommer att få en allt viktigare roll i samhället och i klimatomställningen kommer även frågor avseende robusthet, stabilitet och leveranssäkerhet att öka i betydelse. Detta gäller stödtjänster som omfattar frekvens- och spänningshållning men även sådana egenskaper i elsystemet som säkerställer funktionen efter en större störning eller avbrott (egenskaper som rotorvinkelstabilitet, kortslutningseffekt, dödnätstart, ö-drift med mera).

Denna grupp omfattar också reserveffekt vid extremt hög belastning som idag hanteras inom ramarna för Svenska Kraftnäts effektreserv. Det framtida elsystemet kommer inte bara att kännetecknas av en ökande inomårsvariabilitet utan även mellanårsvariabilitet där variation i tillrinning i vattenmagasinen (torr- respektive våtår) kommer att ackompanjeras av vindrika och vindfattiga år som ytterligare kan accentuera denna typ av variabilitet.

Tekniker eller åtgärder som omfattas av denna grupp är mångfacetterade och kan befinna sig i såväl produktions-, distributions- som användarledet, en del kräver tillstånd, andra inte. I produktionsledet kan den här typen av åtgärder göras vid själva elproduktionsinstallationen och kopplar då mer direkt till föregående grupp eller på annan plats i systemet. Det är just den alternativa lokaliseringen (det vill säga inte nödvändigtvis i direkt anslutning till elproduktionsinstallationen) som bland annat gör att vi väljer att betrakta denna funktion som en egen grupp.

Exempel på produktionsåtgärder kan vara gasturbiner som kan placeras på lämpliga platser där de gör störst systemnytta eller batterier. Även syntetisk svängmassa som kan utgöra ett viktigt bidrag till frekvenshållningen i vindkraftverk eller annan förnybar elproduktion som inte är synkront ansluten till elnätet premieras enligt detta synsätt. Det gör även sådan kraftproduktion som är synkront ansluten till elnätet och därmed levererar vissa av dessa tjänster ”på köpet”. Nätförstärkningar i syfte att öka leveranssäkerhet eller systemstabiliteten ingår också i denna grupp även om det i vissa fall kan koppla till gruppen ”elförsörjning”. Som vi nämnt, finns det ingen knivskarp gräns mellan ”funktionsgrupperna”.

Andra tekniker eller åtgärder omfattar elektrolysörer och/eller vätgassystem med tillhörande lager. Den spingande punkten är att en installation ska kunna erbjuda en viss överkapacitet för att kunna erbjuda flexibilitet till elsystemet för att betraktas som särskilt ”nyttig” och därmed få en viss särställning i miljöprövningsprocessen. Ett visst mått av överkapacitet skulle därmed kunna utgöra ett kriterium om det handlar om en installation som förbrukar el. Som Toktarova m.fl. (2021) visat kan det till exempel vara kostnadseffektivt att investera i överkapacitet för vissa stålproduktionsenheter (elektrolysörer, DRI-anläggningar och ljusbågsugnar) tillsammans med investeringar för lagringssystem för vätgas och järnmalmspellets så att stålproduktionen kan följa elsystemets variabilitet.

Stödtjänster och leveranssäkerhet kan också erbjudas genom efterfrågeflexibilitet på användarsidan inom exempelvis hushåll och elbilar. Dessa sektorer kommer att leverera ett viktigt bidrag men vi bedömer inte att detta är relevant av miljöprövningsskäl.

I Tabell 2 lyfter vi det enda exempel i denna kategori som i mer detalj har kommit fram i diskussionerna med referensgruppen kopplat till just denna kategori – nämligen elektrolysörer med tillhörande vätgaslager.

Tabell 2 Exemplet elektrolysör som kan falla in under nyckelfunktionen "Stödtjänster och leveranssäkerhet". Tabellens innehåll är hämtad från de tabeller som återfinns i sin helhet i appendix A till denna rapport.

Stödtjänster	**Motivering till varför ingår som potentiell nyckelverksamhet**	**Exempel på *förslag* till kriterier för när/om en verksamhet ska omfattas av avvägningsregeln**	**Kommentarer**
Elektrolysörer med tillhörande lager	• Möjliggörare av sektorskoppling och integration av storskalig förnybar elproduktion • Möjliggör variationshantering	• Överkapacitet i elektrolysör för att kunna bidra med flexibilitetstjänster • Överkapacitet i lagerstorlek • Närhet slutanvändning och elnät • Krav på plan för nätintegration (istället för närhet till elnätinfrastruktur?) • Undvika läckage/energiförluster • Krav på systemeffektivitet	• Viktigt att inte vara för teknikspecifik, här sker snabb teknikutveckling – snarare flexbilitetshantering generellt • Finns det andra alternativ som är bättre ur systemeffektivitetssynpunkt, t.ex. direktelektrifiering? • BAT på verkningsgrad innebär sämre möjlighet till flexibilitet – en konflikt som man bör vara medveten om • Säkerhet/acceptans?

4.3 Negativa utsläpp – Bio-CCS

För att komma ner i utsläpp i sektorer som är svåra eller till och med mycket svåra att komma åt så kommer det att krävas negativa utsläpp. Det mesta pekar dessutom på (se exempelvis IPCC, 2018)[22] att negativa utsläpp kommer att vara oundvikligt på ett globalt plan för att överhuvudtaget ha en chans att stabilisera den globala temperaturökningen på 1,5 grader C mot slutet av detta århundrade eftersom vi sannolikt kommer att överträffa den temperaturgränsen inom ett par decennier (de samlade utsläppen kommer att bli högre än vad

[22] IPCC (2018), "Special report: Global warming of 1.5 °c", https://www.ipcc.ch/sr15/

som ryms inom en kolbudget för 1,5 gradersmålet, dvs. vi får en så kallad "overshoot"). Negativa utsläpp kommer därmed att bidra till en snabbare minskning av halten koldioxid i atmosfären.

I Sverige har vi synnerligen goda förutsättningar för negativa utsläpp, dels i fjärrvärmesektorn där biobränslen dominerar produktionsmixen (Beiron m.fl., 2021), dels i skogsindustrin av samma skäl (Johnsson m.fl., 2020). I bägge sektorer handlar det om stora punktkällor av biogena utsläpp vilket ytterligare stärker motivet eftersom avskiljning och deponering av CO_2 har uppenbara skalfördelar.

Det är även viktigt att lyfta de stödsystem som måste till för att överhuvudtaget realisera funktionen "negativa utsläpp". Förutom avskiljnings- och hanteringssystem för den infångade koldioxiden vid anläggningar där tekniken installeras krävs mellanlager, transportsystem och utskeppningshamnar samt förstås en slutlagringsplats. Vikten av detta framhålls av bl.a. Johnsson & Kjärstad (2019), Klimatpolitiska vägvalsutredningen (SOU, 2020) liksom i det pågående Energiforskprojektet om en Färdplan för bio-CCS för fjärrvärmesektorn.

Det är dock viktigt att konstatera att med bakgrund av det som nämnts tidigare om att värdet på biomassa kommer att öka över tid, så kommer det bli en viss konkurrens mellan att använda biomassan för negativa utsläpp med CCS och att använda den i "svåra" ("hard-to-abate") sektorer som till exempel långväga flyg och sjöfart. Till vilken grad en sådan konkurrens uppstår beror på utvecklingen av alternativa bränslen och tekniker, inte minst vätgas och elektrifiering.

Ett möjligt viktigt kriterium för bio-CCS är att "tjänsten" negativa utsläpp inte ska vara verksamhetens huvudfunktion. I fallet fjärrvärme/kraftvärme ska huvudfunktionen vara värme/el.

I Tabell 3 har vi inkluderat bio-CCS som det exempel som i mer detalj diskuterades med referensgruppen kopplat till just denna kategori.

Tabell 3 Exemplet bio-CCS under nyckelfunktionen "Negativa utsläpp". Tabellens innehåll är hämtad från de tabeller som återfinns i sin helhet i appendix A till denna rapport.

Negativa utsläpp	**Motivering till exempel på potentiell nyckelverksamhet**	**Exempel på *förslag* till kriterier för när/om en sådan verksamhet ska omfattas av avvägningsregeln**	**Kommentarer**
Bio-CCS	• En möjlighet till kompensationsåtgärd och kolsänka (bidrar till negativa utsläpp efter 2045), t.o.m. en "nödvändighet"?	• Viss avskiljningsnivå? • Samverkanskluster kanske särskilt ska lyftas? • Närhet till hamn? • Samtidig produktion av drivmedel/CCU/xx?? • Ska ej vara huvudprodukt (det är el+FV)	• Kaskadprincip? • Kanske bör ha krav på ersättning för förlust av lokal eleffekt? • Begränsad resurs • Beakta värdet av biogena kolatomer på sikt

Förutom negativa utsläpp från användning av biomassa så kan även DAC (*Direct Air Capture*) generera negativa utsläpp. DAC-installationer är inte i sig begränsade till en viss plats sånär som på att det måste finnas el- och värmeförsörjning. Potentialen för denna teknik bedöms på flera håll vara mycket stor men man pekar också på den relativt höga energiförbrukningen, dels el för att driva fläktarna, dels värme för att separera ut den infångade koldioxiden.[23] Ett tänkbart kriterium som kopplar till DAC skulle alltså kunna utgöras av energieffektivitet. Det finns inledande arbete med att undersöka om och under vilka förutsättningar DAC tekniken skulle kunna vara intressant för Sverige (men det är inte självklart att anläggningarna ska stå på svenskt territorium och då kommer de knappast ifråga för svensk miljöprövning).

4.4 Tekniker för sektorer där det är synnerligen svårt att reducera växthusgasutsläppen samt sådant som bidrar till ökad cirkularitet i samhället

I denna den sista grupp har vi valt att samla tekniker eller åtgärder som på olika sätt bidrar till att reducera växthusgasutsläppen i sektorer som är extra svåra att komma åt. Vi tänker oss i första hand åtgärder som görs inom respektive sektor vilket kan handla om exempelvis bränslebyte till biobränslen, vätgas, elektrobränslen eller förnybara flygbränslen. Här finns återigen ett visst överlapp med någon av de andra grupperingarna och denna gång framför allt med gruppen "Negativa utsläpp – Bio-CCS". Ju större volym negativa utsläpp som genereras från investeringar i den föregående gruppen desto mindre tryck på åtgärder i "Övrigt"-gruppen. Dessutom är CCS (avskiljning av fossil koldioxid) en åtgärd som kan platsa även här *om* det skulle visa sig att detta är enda möjligheten att få ner utsläppen. Cementindustrin utgör sannolikt ett sådant exempel.

Till denna grupp kan också inkluderas tekniker som antingen kan ses som i stort sett det enda rimliga alternativet för att åstadkomma utsläppsminskningar och/eller avkarbonisera t.ex. en industribransch, eller tekniker eller åtgärder som leder till ökad resurseffektivitet och cirkularitet i samhället och som samtidigt bidrar till avkarbonisering av olika sektorer och verksamheter/aktiviteter. Här kan det handla om t.ex. DRI-tekniken för att åstadkomma systemskiftet mot fossilfrihet inom järn- och stålindustrin men det kan även vara avancerad plaståtervinning (kemisk plaståtervinning) eller åtgärder som leder till minskade utsläpp inom jordbrukssektorn som exempelvis förnybar konstgödselproduktion (konstgödsel baserad på förnybar vätgas). Man kan också nämna anläggningar för återvinning av elektronikskrot och batterier som verksamheter som bidrar till cirkularitet och ökar resursanvändningen.

I Tabell 4 har vi inkluderat exempel inom denna grupp som, på motsvarande sätt som under ovanstående kategorier, har diskuterats med referensgruppen och som är ett utdrag ur tabellerna som återfinns i appendix A.

[23] Nature communcations 2019, "An inter-model assessment of the role of direct air capture in deep mitigation pathways", https://www.nature.com/articles/s41467-019-10842-5.pdf; https://www.rechargenews.com/energy-transition/the-amount-of-energy-required-by-direct-air-carbon-capture-proves-it-is-an-exercise-in-futility/2-1-1067588

Tabell 4 Exempel på verksamheter som kan falla in under nyckelfunktionen "Svårt att åtgärda-sektorer + bidrar till cirkularitet". Tabellens innehåll är hämtad från de tabeller som återfinns i sin helhet i appendix A till denna rapport

Kategorin "Svåra att åtgärda-sektorer + bidrar till cirkularitet"	**Motivering till exempel på potentiell nyckelverksamhet**	**Exempel på *förslag* till kriterier för när/om en sådan verksamhet ska omfattas av avvägningsregeln**	**Kommentarer**
CCS	Direkt klimatnytta genom att man tar bort fossila utsläpp vid punktkällan, men också indirekt klimatnytta för övriga delar i värdekedjan	• Om inga andra alternativ finns • Viss avskiljningsnivå? • Krav på: Plan för avveckling för att undvika inlåsningseffekter?	• Skapar inlåsningseffekter om tekniken används på sektorer som på sikt måste ställa om från fossilt till förnybart. • I dagsläget återstår en del för att få hela infrastrukturkedjan på plats. • Skulle kunna vara en övergångsteknik för de sektorer som på längre sikt kan ställa om råvarubasen (petroleumindustrin) men som på kort sikt kan använda CCS för att ta bort fossila utsläpp vid produktionsanläggningen (innan man har hunnit ställa om). • Inte säkert att denna återstående CO2 ska lagras bort, måste beakta värdet av den.
Anläggningar för kemisk återvinning av plast	• Avkarbonisering • Bidrar till resurseffektivitet och cirkularitet,	• Stadsnära och möjlighet till FV bra • Överkapacitet (elektrolys)	• Om man använder biomassa bör kanske någon form av kaskadprincip användas och visa alternativa användningsområden • Fjärrvärmenät? • Utsortering av plast osv • Kolcykeln viktig, bör beskriva liksom energieff.
Anläggningar för produktion av grönt konstgödsel	Sänker utsläpp för en sektor som har svårt att få ner sina utsläpp	• Överkapacitet • Närhet till hamn/slutanv.	• Krav på cirkularitet (speciellt viktigt om det handlar om fosfor)
DRI-teknik *Reduktion med vätgas*	• Direkt klimatnytta på befintliga anläggningar när man går från masugnsteknik till reduktion med vätgas • Potential till indirekt klimatnytta (globalt) när man etablerar nya produktionsanläggningar	• Överkapacitet i elektrolysörer för att kunna bidra med flexibilitetstjänster (systemansvaret) • Bör ställa krav på: • Mellanlager av järnsvampen, ska finnas överkapacitet • Förnybara bränslen • Strategi för vatten- och värmeeffektivitet	Stort beroende av andra delar i värdekedjan och stödinfrastruktur: • *Elektrolysörer* • *Vätgaslager* • *Elnät* • *Ljusbågsugnar* • *Gjuterier* • *Valsverk* • *Verkstadsindustrin*

			Bör inte vara för teknikspecifik för utvecklingen av elektrolysörer går fort och leder till minskad kostnad och bättre energieffektivitet

4.5 Ytterligare nyckeltekniker eller nyckelfunktioner?

Som vi nämnt tidigare så är en fullständig översyn över potentiella nyckeltekniker eller nyckelfunktioner i klimatomställningen en resurskrävande uppgift. Vi gör med andra ord inte anspråk på en komplett genomgång.

Det finns dock några potentiella nyckeltekniker (eller -verksamheter) som är mer uppenbara men som vi av systemgränsskäl (verksamheter som bidrar till att nå Sveriges nationella klimatmål) valt att exkludera. Till exempel kan man, utöver att argumentera för att det kan finnas ett stort värde av svensk försörjningstrygghet, argumentera för och lyfta vikten av att Sverige bidrar med råvaror till klimatomställningen, t.ex. i form av kritiska metaller och mineraler som Sverige i vissa fall har stora fyndigheter av och som är av särskild nytta för flera av de nyckeltekniker och -verksamheter som samhället behöver för omställningen. Det senare skulle kunna innebära att vi i Sverige väljer att öppna nya gruvor även i Sverige trots de potentiella olägenheter som följer av detta (miljökraven ska dock självklart vara högt ställda). I perspektivet ”försörjningstrygghet” kan man även lägga till anläggningar för produktion av biodrivmedel och kanske även batterifabriker (även om det är troligt att sådana inte är bundna till en viss lokalisering). Det avser alltså verksamheter vi ser som viktiga i omställningen men som man kanske inte ska se som avgörande för att nå Sveriges nationella klimatmål, allt beror dock på hur man väljer att tolka denna systemgräns och implikationerna av den.

Tabell 5 exemplifierar denna typ av verksamheter som har diskuterats med referensgruppen (utdrag ur motsvarande tabell i appendix A).

Tabell 5 Exempel på övriga verksamheter som kan argumenteras vara viktiga i omställningen men kanske inte platsar när man håller sig inom systemgränsen (avgörande för att nå Sveriges nationella klimatmål). Tabellens innehåll är hämtad från motsvarande tabell som återfinns i sin helhet i appendix A till denna rapport

Övrigt som har diskuterats	**Motivering till exempel på potentiell nyckelverksamhet**	**Exempel på *förslag* till kriterier för när/om en sådan verksamhet ska omfattas av avvägningsregeln**	**Kommentarer**
Gruvor för utvinning av kritiska metaller och mineraler	Indirekt klimatnytta genom att dessa metaller & mineraler möjliggör elektrifieringen.	• Kanske vissa specifika metaller ska pekas ut? • Bör vara av nationellt intresse? Andra nyckelverksamheter? • Lokaliseringen är given dvs där fyndigheten finns	Metaller som nämns: Koppar, zink, nickel, litium, grafit, mangan, silikater, kobolt, krom, sällsynta jordartsmetaller, molybden. IEA (2021). • Vi har stora resurser/tillgångar av många av dessa i Sverige • Försörjningstrygghetsaspekt (geopolitik) • Svårt att enkelt kvantifiera klimatnyttan. • Acceptans? • Stor risk för målkonflikter • Miljörisker (lokal miljöpåverkan) genom ökad spridning av metallutsläpp lokalt • Bör kanske ställa krav på kompensationsåtgärder/bygdepeng?
Batteriproduktion	Möjliggörare av elektrifieringen av transportsektorn (indirekt klimatnytta)	• Energi per kWh lagrings-kapacitet	• Ökar behovet av kritiska metaller • Bör säkerställa krav på återvinning/cirkularitet! • Vad är alternativvärdet av resursen? • Troligt att lokaliseringen är flexibel vilket talar för att avvägningsregel ej nödvändig
Biodrivmedels-produktion	Indirekt klimatnytta genom avkarbonisering av transportsektorn	• När vätgas behövs ska produktion ske genom elektrolys alt. biogas • Kombinerat med bio-CCS • Överkapacitet (elektrolys) • Fördelaktig lokalisering tex i samband med fjärrvärmeinfrastruktur (tillvaratagande av restvärme)	• Begränsad resurs • Beakta värdet av biogena kolatomer på sikt • Hållbarhetskriterier • Acceptans för biomassa • Försörjningstrygghet att ha produktionsanläggningar i Sverige

5 Avslutande ord

Vårt uppdrag har bestått i att svara på om, samt på vilka grunder, man kan peka ut fysiska verksamheter som bedöms kunna vara avgörande för att målet om nettonollutsläpp ska kunna nås i Sverige, med det övergripande syftet att i så fall i en tillståndsprövning ha möjligheten

låta dessa verksamheters potentiella klimatnytta i vissa fall väga tyngre än lokal miljöpåverkan eller andra samhällsmål.

Som vi har resonerat kring i rapporten vill vi särskilt understryka vikten av ett systemperspektiv i den omställning vi är inne i, samt de risker och utmaningar vi ser kopplat till att specifikt peka ut ett antal nyckelverksamheter som bör gynnas i tillståndsprövningar. Behovet av att klimatnyttan av en verksamhet ska kunna vägas in i en tillståndsprövning som gäller lokal miljöpåverkan är uppenbar men, enligt vår uppfattning, inte självklar beaktat svårigheterna med att väga olika miljömål med likvärdig ”tyngd” mot varandra.

Som vi beskrivit ovan har vi istället föreslagit fyra kategorier av strategiska *funktioner,* som vi anser är *kritiska* för att bidra till en effektiv klimatomställning *i Sverige* och för att uppnå Sveriges nationella klimatmål. Dessa nyckelfunktioner kan omfatta ett antal olika tekniker och verksamheter, vilket vi har gett *exempel* på under respektive grupp. Bakgrunden är att man då undviker att peka ut ett antal utvalda tekniker/verksamheter som särskilt viktiga, av orsaker vi resonerat kring i rapporten. Grupperingen i fyra kategorier av nyckelfunktioner ska därför ses som *ett* möjligt alternativ att svara på vad som skulle kunna ses som nyckelverksamheter i klimatomställningen. De kriterier som ska användas för respektive nyckelfunktion får då istället avgöras i den enskilda prövningen, men vi har som framgår ovan listat förslag på kriterier som skulle kunna användas (även om de är långtifrån självklara av skäl som vi också diskuterar).

6 Referenser

Beiron, J., Svanberg Frisinger, M-S., Holm, J., Johnsson, F., Unger, T., Wolf, J., Bio-CCS i fjärrvärmesektorn - Teknik, systemintegration och kostnader, Energiforsk, december 2021.

Berill, P., Arvesen, A., Scholz, Y., Gils, H.C. & Hertwich, E.G. (2016). Environmental impacts of high penetration renewable energy scenarios for Europe. Environmental Research Letters, Volume 11, Number 1.

Canfora, P., Dri, M., Polidori, O., Solzbacher, C. & Padilla Arranz, M. (2021). Climate change mitigation – a framework to define technical screening criteria for the EU taxonomy, EUR 30550 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2021, ISBN 978-92-76-28364-5, doi:10.2760/80248, JRC123355. https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC123355/jrc123355_substantial_contribution_to_climate_change_mitigation_final.pdf

EC (2018). Final Report of the High-Level Panel of the European Decarbonisation Pathways Initiative. European Commission. https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/226dea40-04d3-11e9-adde-01aa75ed71a1

Energimyndigheten (2020). Scenarier över Sveriges energisystem 2020. ER 2021:6.

Energimyndigheten (2021a) Industrin – nuläge och förutsättningar för omställning. En nulägesanalys för omställning. ER 2021:27.

Energimyndigheten (2021b). Nationell strategi för en hållbar vindkraftsutbyggnad. Rapport framtagen i samarbete med Naturvårdsverket. ER 2021:2.

Energimyndigheten och Naturvårdsverket (2021). Analys av juridiska förutsättningar för en hållbar vindkraftsutbyggnad. Underlag till Nationell strategi för en hållbar vindkraftsutbyggnad. 2021-01-27.

Gaudard, L., Gabbi, J., Bauder, A. & Romerio, F. (2016). Long-term Uncertainty of Hydropower Revenue Due to Climate Change and Electricity Prices. Water Resource Management (2016) 30: 1325-1345.

Göransson, L. & Johnsson, F. (2018). A comparison of variation management strategies for wind power integration in different electricity system contexts. Wind Energy, 2018;1-18. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/we.2198

IEA (2020). Net Zero by 2050. Roadmap for the Global Energy Sector.

IEA (2021). The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions. WEO Special Report. https://iea.blob.core.windows.net/assets/24d5dfbb-a77a-4647-abcc-667867207f74/TheRoleofCriticalMineralsinCleanEnergyTransitions.pdf

IPCC (2014). Industry. Fischedick M., J. Roy, A. Abdel-Aziz, A. Acquaye, J.M. Allwood, J.-P. Ceron, Y. Geng, H. Kheshgi, A. Lanza, D. Perczyk, L. Price, E. Santalla, C. Sheinbaum, and K. Tanaka, 2014: Industry. In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer,

C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA

IPCC (2018). Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Working Group I Technical Support Unit.
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_Full_Report_High_Res.pdf

Johnsson, F. & Kjärstad, J. (2019). Avskiljning, transport och lagring av koldioxid i Sverige. Behov av forskning och demonstration.
https://research.chalmers.se/publication/509912/file/509912_Fulltext.pdf

Johnsson, F., Normann, F., Svensson, E. (2020). Marginal abatement cost curve of industrial CO2 capture and storage - a swedish case study. Frontiers in Energy Research 8:175. doi: 10.3389/fenrg.2020.00175.

JRC (2020). Raw materials demand for wind and solar PV technologies in the transition towards a decarbonised energy system.
https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC119941

Karltorp, K., Bergek, A., Fahnestock, J., Hellsmark, H., Ulmanen, J. (2019). Statens roll för klimatomställning i processindustrin. Utmaningar och möjligheter för socioteknisk omställning i svensk industri för framställning av järn- och stål, cement, raffinaderiprodukter och kemikalier. RISE Rapport 2019:15.

Löfblad, E., Gode, J., Strandberg, G., Kjellström, E. & Montin, S. (2021). Klimatförändringarnas inverkan på energisystemet. Vattenkraft. Energiforsk 2021:743.
https://energiforsk.se/media/29882/klimatforandringarnas-inverkan-pa-vattenkraften-energiforskrapport-2021-743.pdf

Material Economics (2021). Klimatagenda för Sverige. En plan som kombinerar netto-noll utsläpp med industriellt värdeskapande. https://materialeconomics.com/material-economics-klimatagenda-faor-sverige-online-version.pdf?cms_fileid=d4010fe6b17026890cb690e9b201464d

Mukheibir, P. (2013). Potential consequences of projected climate change impacts on hydrolelectricity generation. Climatic Change (2013) 121:67-78.

NEPP (2020). Eleffektfrågan – utmaningar och lösningar. https://www.nepp.se/pdf/Eleffektfragan.pdf

Nilsson, L. J. (Red.), Johansson, B. (Red.), Ericsson, K., Hildingsson, R., Kronsell, A., Andersson, F. N. G., 2017, Nollutsläpp i basindustrin - förutsättningar för en ny industripolitik, (101 red.) Lund: Miljö- och energisystem, LTH, Lunds universitet.

SOU 2020, Mot en klimatpositv framtid, Statens offentliga utredningar, 2020:4.

SOU 2021:53. En rättssäker vindkraftsprövning.
https://www.regeringen.se/49e6a7/contentassets/8b16a30f6de3468ab6fa640ebb23851f/en-rattssaker-vindkraftsprovning-sou-202153

Tamaryn, N., Hills, T., Masoudi Soltani, S., Bosch, J. & Mazur, C. (2015). A survey of key technological innovations for the low-carbon economy. https://www.oecd.org/env/cc/g20-climate/collapsecontents/Imperial-College-London-innovation-for-the-low-carbon-economy.pdf

Thunman, H., Berdugo Vilches, T., Seemann, M., Maric, J., Cañete Vela, I., Pissot, S., Nguyen, H.N.T., Circular use of plastics-transformation of existing petrochemical clusters into thermochemical recycling plants with 100% plastics recovery, Sustainable Materials and Technologies, Volume 22, 2019, e00124, ISSN 2214-9937

Toktarova, A., Walter, V., Göransson, L. & Johnsson, F. (2021). Interaction between electrified steel production and the north European electricity system. *Submitted for publication*

UNECE (2021), "Life Cycle Assessment of Electricity Generation Options", https://unece.org/sites/default/files/2021-10/LCA-2.pdf

Åhman, M., Nilsson, L. J., & Andersson, F. N. G. (2013). Industrins utveckling mot netto-nollutsläpp 2050 (IMES/EES Rapport 88). Lund University.

APPENDIX A

I detta appendix återfinns tabellerna från de två workshops som har genomförts med deltagare i referensgruppen samt anteckningarna från workshop 2 som kopplar an till diskussionerna om förslag till möjliga kriterier för potentiella nyckelverksamheter.

Inom ramen för uppdraget har genomförts två workshops med deltagare ur referensgruppen. I Workshop 1 som genomfördes i november diskuterades verksamheter och teknik som kan ses som avgörande för att Sverige ska nå sitt nationella klimatmål. Workshop 2, som genomfördes i december, diskuterade möjliga kriterier och risker/osäkerheter med respektive listad verksamhet/teknik.

Tabellerna A1-A5 ska ses som en dokumentation av de två workshops som har gjorts med deltagare i referensgruppen. Innehållet i tabellerna ska inte ses som referensgruppens eller rapportförfattarnas åsikter utan är enbart av resonerande karaktär och visar de tankar som kom upp i diskussionerna som hade utgångspunkten: ”nyckelverksamheter med stor potential att nå Sveriges nationella klimatmål”.

Tabell A1 Eltillförsel

Eltillförsel	Motivering	Tidsperspektiv – när kan det finnas på plats?	Förslag till kriterier för när/om en verksamhet ska omfattas av avvägningsregeln?	Stödinfrastruktur?	Risker/osäkerheter	Övriga kommentarer
Vindkraft Land	• Det enda kraftslag som på kort till mellanlång sikt som kan leverera den elenergi vi behöver (kriterium i sig) • Låg klimatpåverkan vid drift	Nu och framåt	• Yteffektivitet (låg miljöpåverkan per m2 och/eller per MWh) • Närhet till elnätsinfrastruktur • Inkopplingsnivå (inkoppling på hög spänning ger låga förluster i nätet) • Närhet till slutanvändning	Elnät	Stor risk för målkonflikter (acceptans) Andra hållbarhetsaspekter/osäkerheter: - Resursanvändning för verk/byggnation? - Behov av kritiska mineraler (sällsynta jordartsmetaller) - Vägar och elnät måste vägas in i markanspråktagandet - Yteffektivitet – ett kriterium som kan straffa ut framtida "lågvindsturbiner"?	• Svensk Vindenergi har föreslagit att NV ska ges i uppdrag att kvantifiera klimatnyttan av ytterligare elproduktion från vindkraft. • Idag problem med flaskhalsar i elnätsöverföringen (något som talar för bättre med närhet till slutanvändningen) • Beroende på hur man ser på systemgränsen – bör man ha med att vindkraftselen ska gagna svensk industriproduktion t.ex.)? • Inte säkert att vindkraften ska leverera stödtjänster (ej kostnadseffektivt)
Vindkraft Havs	• Motsvarande som för land men på *mellanlång* sikt • Låg klimatpåverkan vid drift	Kan komma att spela en större roll inom 10 år	*Motsvarande som landbaserade vindkraft* Gynnsamma vindlägen – ett viktigt kriterium i form av "få lågvindsperioder" är något som havsbaserad VK kan leverera	Elnät	• Behovet av koppar och sällsynta jordartsmetaller är högre än landbaserad vindkraft (IEA, 2021) • Påverkan på marina miljön	Fördel jmf med land – gynnsamma vindlägen, markanvändning lägre Högre kostnader jmf land
Vattenkraft	• Bidrar med balansering • Reglerförmåga på alla tidsskalor • Låg klimatpåverkan	Nu och framåt	• Miljöpåverkan per typ av MWh som levereras? • *Säsongslager? (svårt att ersätta?)*	Elnät	Hur hantera beaktat NAP och omprövningen av vattenkraften? Pumpkraft?	Stor del av infrastrukturen finns redan på plats, bättre ur hållbarhetssynpunkt jmf med att bygga nytt. Vattenkraftens värde för elsystemet – kan balansera stora mängden vindkraft (systemperspektivet!) Till skillnad mot vindkraften som levererar bulkenergi bidrar vattenkraft med MWh av olika kvalitet samt effekt.
Kärnkraft (ny)	• Elenergin behövs • Låg klimatpåverkan och hög yteffektivitet	(Mycket) lång sikt	• Passiv säkerhet (gynnar SMR?) • Något kriterium kopplat till slutförvar (t.ex. lagringstid för avfallet – gynnar 4e gen+SMR)	Elnät	• Avfallshanteringen • Hållbarhetsaspekter på utvinning och anrikning av bränslet • Säkerhet/acceptans • Dyrt idag • Teknikutveckling? • Långa ledtider • Stort frågetecken finns gällande ny kärnkraft och dess förmåga (och lönsamhet) att anpassa sig till en elmarknad med en hög grad av variabilitet	Vi pekar ej ut vilken typ av kärnkraft (kan vara III+, IV gen eller SMR)
Kraftvärme	• Viktig för lokala energiförsörjningen (värme+el) • Klimatpåverkan beror på systemgränsen	Nu och på medellång sikt	• Krav på resurseffektivitet, cirkularitet och redovisning av kolcykel (både avfall/bio) • Anläggningar med "systemstabiliserande åtgärder" (balanskraft, kapacitetsförsäkring, frekvenshållning)? • Krav på bio-CCS/CCS?	Elnät	Ifrågasättande av förbränning (både avfall/bio) Plasten i avfallet Bio-CCS/CCS (acceptans)	
Elnät	Den avgörande nyckeln för elektrifieringen som länken mellan elproduktion och slutanvändare	Nu och framåt	• Närhet till slutanvändning, t.ex. vindkraft, industri, vätgas, stad, i princip "om man möjliggör för nyckelverksamheterna att komma på plats	Transformator stationer Nät på lägre spänningsnivåer…?	• Markanvändning • Målkonflikter med markägare • Ökar behov av koppar och aluminium	Kanske särskilt peka ut kablar till havsbaserad vindkraft som viktig??? Måste beakta alternativet: vad blir det för konsekvenser om vi inte får ledning på plats? Beakta biologisk mångfald? Plan för återvinning?

Tabell A2 Stödtjänster samt negativa utsläpp

Stödtjänster & Leveranssäkerhet	Motivering	Tidsperspektiv – när kan det finnas på plats?	Förslag till kriterier för när/om en verksamhet ska omfattas av avvägningsregeln?	Stödinfrastruktur?	Risker/osäkerheter	Övriga kommentarer
Elektrolysörer och vätgaslager	• Möjliggörare av sektorskoppling och integration av storskalig förnybar elproduktion • Möjliggör byte till fossilfria insatsråvaror till industrin • Möjliggörare av fossilfria drivmedel (lång sikt) • Möjliggör variationshantering	Kort/mellanlång sikt?	• Överkapacitet i elektrolysör för att kunna bidra med flexibilitetstjänster • Överkapacitet i lagerstorlek • Närhet slutanvändning och elnät Krav på plan för - Nätintegration (istället för närhet till elnätinfrastruktur?) - Undvika läckage/energiförluster - Krav på systemeffektivitet	• Elnät • Lager (centralt i vätgasens värdekedja) • Rörledningar • Tankstationer? • …?	Oönskade effekter? Säkerhet/acceptans?	- *Var ej för teknikspecifik, här sker snabb teknikutveckling – snarare flexbilitetshantering generellt!* - *Finns det andra alternativ som är bättre ur systemeffektivitetssynpunkt, t.ex. direktelektrifiering?* - *BAT på verkningsgrad innebär sämre möjlighet till flexibilitet – en konflikt som man bör vara medveten om!* - *LISA: Viktigt att se till systemgräns för resurseffektivitet. En elektrolysör med lägre verkningsgrad och med överinvestering kan ge högre resurseffektivitet och vi också ser till möjligheten att tillvara på vindkraft och solel.*

Negativa utsläpp	Motivering	Tidsperspektiv – när kan det finnas på plats?	Förslag till kriterier för när/om en verksamhet ska omfattas av avvägningsregeln?	Stödinfrastruktur?	Risker/osäkerheter	Övriga kommentarer
Bio-CCS	- En möjlighet till kompensationsåtgärd och kolsänka (bidrar till negativa utsläpp efter 2045), t.o.m. en ”nödvändighet”?	Mellanlång sikt	• Viss avskiljningsnivå? • Samverkanskluster kanske särskilt ska lyftas? • Närhet till hamn? • Samtidig produktion av drivmedel/CCU/xx??	Mellanlagring, transport och utskeppning/hamn	• Begränsad resurs • Värdet av biogena kolatomer på sikt?	Tveksamheter att ha med CCU (driver på energiomsättningen) Kaskadprincip Kanske bör ha krav på ersättning för förlust av lokal eleffekt? Ska ej vara huvudprodukt (det är el+FV)

Tabell A3 "Svårt att åtgärda & bidrar till cirkularitet"

"Svårt att åtgärda + bidrar till cirkularitet"	Motivering	Tidsperspektiv – när kan det finnas på plats?	Förslag till kriterier för när/om en verksamhet ska omfattas av avvägningsregeln?	Stödinfrastruktur och följdverksamheter i värdekedja	Risker/osäkerheter	Övriga kommentarer
DRI-teknik *Reduktion med vätgas*	• Direkt klimatnytta på befintliga anläggningar när man går från masugnsteknik till reduktion med vätgas (ex. HYBRIT) • Potential till indirekt klimatnytta (globalt) när man etablerar nya produktionsanläggningar (ex. H2GS)	Mellanlång till lång sikt	• Överkapacitet i elektrolysörer för att kunna bidra med flexibilitetstjänster (systemansvaret) Bör ställa krav på: - Mellanlager av järnsvampen, ska finnas överkapacitet - Förnybara bränslen - Strategi för vatten- och värmeeffektivitet	Elektrolysörer Vätgaslager Elnät Ljusbågsugnar Gjuterier Valsverk Verkstadsindustrin	• Stort beroende av andra delar i värdekedjan och stödinfrastruktur • Inte vara för teknikspecifik för det utvecklingen av elektrolysörer går fort och leder till bättre energieffektivitet	*Stålindustrin står för ca 11 % av Sveriges totala utsläpp av växthusgaser* *Referens för överkapacitet:* Toktarova m.fl. (2021): *" …it is found to be cost-efficient to invest in overcapacity for steel production units (electrolyzers, DR shaft furnaces and electric arc furnaces) and to invest in storage systems for hydrogen and hot briquetted iron, so that steel production can follow the variations inherent to wind and solar power."*
Anläggningar för kemisk återvinning av plast	Avkarbonisering! Bidrar till resurseffektivitet och cirkularitet,	Medel till lång sikt	• Stadsnära och möjlighet till FV bra • Överkapacitet (elektrolys)	- Fjärrvärmenät? - Utsortering av plast osv	- Kolcykeln viktig, bör beskriva liksom energieff.	*Om man använder biomassa bör kanske någon form av kaskadprincip användas och visa alternativa användningsområden*
CCS	Direkt klimatnytta genom att man tar bort fossila utsläpp vid punktkällan, men också indirekt klimatnytta för övriga delar i värdekedjan	Mellanlång sikt?	• Om inga andra alternativ finns • Viss avskiljningsnivå? Krav på: - Plan för avveckling för att undvika inlåsningseffekter	Mellanlagring, transport och utskeppning/hamn	• Skapar inlåsningseffekter om tekniken används på sektorer som på sikt måste ställa om från fossilt till förnybart. • I dagsläget återstår en del för att få hela infrastrukturkedjan på plats.	*CCS på Cementas produktion (tar bort ca 6 % av Sveriges totala utsläpp av växthusgaser?)* Skulle kunna vara en övergångsteknik för de sektorer som på längre sikt kan ställa om råvarubasen (petroleumindustrin) men som på kort sikt kan använda CCS för att ta bort fossila utsläpp vid produktionsanläggningen (innan man har hunnit ställa om). Inte säkert att denna återstående CO2 ska lagras bort, måste beakta värdet av den.
Återvinning av elektronikskrot, batterier osv.	Ökar resursanvändning och cirkularitet (indirekt klimatnytta)	Nu och mellanlång sikt	? (ej diskuterat djupare)	? (ej diskuterat djupare)	? (ej diskuterat djupare)	
Anläggningar för produktion av grönt konstgödsel?	Sänker utsläpp för en sektor som har svårt att få ner sina utsläpp	Medellång sikt?	• Överkapacitet • Närhet till hamn/slutanv.	? (ej diskuterat djupare)	Krav på cirkularitet (speciellt viktigt om P)	"… konventionellt producerat kvävegödsel står för en betydande del av jordbrukets utsläpp av växthusgaser." Ahlgren m.fl., (2015). Om dessa ska gynnas – kanske för inhemsk anv.?

Tabell A4 Övrigt

Verksamhet Övrigt	Motivering	Tidsperspektiv – när kan det finnas på plats?	Förslag till kriterier för när/om en verksamhet ska omfattas av avvägningsregeln?	Stödinfrastruktur?	Risker/osäkerheter	Övriga kommentarer
Gruvor för utvinning av kritiska metaller och mineraler	Indirekt klimatnytta genom att dessa metaller & mineraler möjliggör elektrifieringen.	Mellanlång sikt?	• Kanske vissa specifika metaller ska pekas ut? • Bör vara av nationellt intresse? Andra nyckelverksamheter? Bör ställa krav på: - Ekonomisk kompensation - Cirkularitet - Kompensationsåtgärder	Smältverk Del av värdekedja (batteritillverkning, elbilstillverkning m.m.) som delvis finns i Sverige	Acceptans? Stor risk för målkonflikter Miljörisker (lokal miljöpåverkan) genom ökad spridning av metallutsläpp lokalt	Metaller som nämns: Koppar, zink, nickel, litium, grafit, mangan, silikater, kobolt, krom, sällsynta jordartsmetaller, molybden. IEA (2021). • Vi har stora resurser/tillgångar av många av dessa i Sverige • Försörjningstrygghetsaspekt (geopolitik) • Svårt att enkelt kvantifiera klimatnyttan.
Biodrivmedels-produktion	Indirekt klimatnytta genom avkarbonisering av transportsektorn	Nu och framåt	• När vätgas behövs ska produktion ske genom elektrolys alt. biogas • Kombinerat med bio-CCS • Överkapacitet (elektrolys)	• Vätgas (i förekommande fall) • Elnät	• Begränsad resurs • Värdet av biogena kolatomer på sikt? • Hållbarhetskriterier • Acceptans?	*Befintliga raffinaderiindustrin står för ca 5 % av Sveriges totala utsläpp av växthusgasutsläpp* • Försörjningstrygghet att ha produktionsanläggningar i Sverige
Batteriproduktion	Möjliggörare av elektrifieringen av transportsektorn (indirekt klimatnytta)	Nu	• Energi per kWh lagrings-kapacitet	Del av värdekedja för fordonsindustrin Laddinfrastruktur Elnät	Ökar behovet av kritiska metaller Bör säkerställa krav på återvinning/cirkularitet!	Vad är alternativvärdet av resursen?
Icke-bränslebaserade fjärrvärmelösningar	• Kan frigöra biomassa från kraftvärmesektorn som kan användas till transport…? • ”Klimateffektiva” lösningar • Hög acceptans (jmf med fjärrvärme från förbränning)					Ex. solvärme, spillvärme, geotermi Fördel är att de kan frigöra biomassa från fjärrvärmesektorn till andra sektorer/användningar Vi tror inte att deras bidrag är annat än marginell under överskådlig tid (i Sverige) En mer negativ syn på biobränsle och större konkurrens kan öka intresset/vikten av dessa tekniker

Mötesanteckningar från workshop 2 på temat "Möjliga kriterier för nyckelverksamheter i omställningen"

Observera att detta är minnesanteckningar och därför kortfattade och i punktform.

Generellt

- Överlag svårt att hitta exakta kriterier, men man bör ha med "infrastrukturen" som en parameter.
- Viktigt att prata om yteffektivitet som ett kriterium. Ett annat kriterium [om vi diskuterar Sveriges nationella klimatmål] är att man också ska ha närhet till svensk industri, detta ska gynna svensk industri. T ex inte [ge gräddfil för att] bygga vindkraft för export till utlandet. Tror det är viktigt för acceptansen.
- "Motiv" är det viktiga kriteriet [*motiveringen i den kolumn som har rubriken motiv är egentligen också ett kriterium, t.ex. det som står om vindkraften – det enda kraftslag som på kort sikt kan leverera den elenergi vi behöver*].
- Närheten till den/det som får nytta eller yteffektivitet kan vara en del i ett generellt kriterium.
- Resurseffektivitet och yteffektivitet. Om det ska vara användbart så måste det tydligt specificeras men hållas enkelt så att det blir användbart.
- BAT-tänk är vettigt (både när det gäller yteffektivitet och resurseffektivitet). Kanske någon kurva som en verksamhet ska ligga inom.
- Kriterierna handlar om vad som inte får äventyras när man prioritera klimat. Mycket viktigt med ett livscykelperspektiv när man gör klimatbedömningar.
- Apropå yteffektivitet/resurseffektivitet så bör supportinfrastruktur också ingå
- Fysisk placering kanske ska inbegripa en "bygdepeng"? Att nyttan går till närsamhället där elproduktionen/verksamheten läggs, ersättningsmodell för acceptans.
- Närhet till användare kan bytas ut mot ett kriterium som kräver att man måste visa att installationen ger ett betydande nationellt värdeskapande
- Återigen, LCA-perspektivet viktigt! Kanske snegla på "Do no significant harm"-kriteriet i taxonomin från EU. Kanske kan ge uppslag till fler kriterier.
- Generella dimensioner som gäller för alla grupper: resurseffektivitet, LCA, BAT mm.
- vi kommer att ha ett lapptäcke av regelverk som riskerar suboptimering. Det vi tar fram nu måste anpassas till det
- skillnad mellan livscykelperspektiv och LCA. Perspektivet är viktigt men metoden kan man fundera på. Viktigt hur man formulerar detta, t.ex. LCA, men hur benämner man det (analys vs perspektiv), vill ju inte förespråka en viss metod.
- Bör *klimatanpassning* finnas med som ett kriterium!??
- Fundera på om tillståndet bör tidsbegränsas? (kan gälla ALLT som vi har pratat om). Är rimligt om man få gå före i kön att tillståndet är tidsbegränsat (tidsbegränsning pga att fånga teknikutvecklingen).
- Tror inte alltför kort tidsgräns för tillstånd (undantag från miljöprövning) ska gälla generellt. För t.ex. industri och gruvor riskerar det att motverka målet med att införa en avvägningsregel.

- Det måste finnas en transparens och en praktisk möjlighet att arbeta med denna typ av kriterielistor ("Krav på kraven").

Vindkraft

- Vad definierar yteffektivitet för vindkraft? Relativt låg miljöpåverkan per kvm2 och/eller per MWh. Denna ska premieras in. Utifrån ngn genomsnittspark i Sverige, som man kan bedöma det mot. Ligger man lägre än det värdet så bör man vara prioriterad. Närhet till vägnät och elnät ska också bedömas/omfattas/ingå.
- Bra med hög medelvind vilket bör täckas in om man räknar så.
- Närhet till industri, storstad, vätgas kan också vara ett kriterium. Man får direktnytta i närområdet vilket gör det lättare för acceptansproblematiken.
- Stödtjänster är inte säkert att vindkraften ska leverera för det är inte kostnadseffektivt.
- Mer generellt, närheten till stad, industri och annat är bra men kanske inte central. Istället bör kanske inkopplingsnivå kunna vara ett alternativ. Inkoppling på hög spänning ger låga förluster i nätet.
- Närhet till nyttan utesluter ju också ev överexploatering för export
- Angående ett kriterium om förväntad produktion per km2, yteffektivitet, kan vara bra idag, men i en framtid kan det komma in helt andra typer av turbiner. Nyttan med andra typer av turbiner, exempelvis lågvindsturbiner (som kan komplettera systemet) kanske isåfall straffas ut i synnerhet när man närmar sig 100-150 TWh. Man kanske därför inte ska sträva mot maxeffekt (yteffektivitet)?
- Vägarna kan vägas in i LCA.

Vattenkraft

- Bidrar till balansering, den borde vara tung.
- Vind levererar bulkenergi, MWh (enklare därför att sätta kriterium för), vatten däremot levererar MWh av olika kvalitet och levererar även effekt. Ska man sätta miljöpåverkan i samband med typen av MWh som man levererar?
- Saknar pumpkraft?

Kärnkraft

- Kan bidra väsentligt till Sveriges elförsörjning. Hög yteffektivitet. Ett kriterium är befintliga platser, men kanske är en icke-fråga.
- SMR ska kunna koppla ner sig utan ett aktivt ingrepp (Janne W). Inbyggd passiv säkerhet kan vara ett kriterium. Man ska inte placera enstaka SMR på enstaka siter, utan de ska placeras i grupp och bidrar då med robusthet och närhet till infrastruktur och delar på säkerhetssystemen
- Passiv säkerhet kanske ska vara ett kriterium. Slutförvar, kanske kan få in något om det som något kriterium? T.ex. lagringstid för avfall, där finns det skillnad mellan olika typer av reaktortekniker (konventionell vs 4e gen). Krav på riskbilden bör ses över?
- Lyfta med spridningsrisker?

Kraftvärme

- Lokal energiförsörjning, en helhet mellan el och värme bör vara en del av motiveringen (högt resursutnyttjande). Cirkularitet. Gränsdragning mellan biomassa och avfall/plast är inte självklar om vi går mot ökar recirkulation. Formuleringen bör vara att inte bidra till fossila utsläpp. Biodrivmedelsfabriker, drivmedel för att ersätta fossila bränslen. Resurseffektivitet bör ingå i kriterierna, ska kunna påvisa detta
- Krav på cirkularitet, krav på att redovisa kolcykler när man har en termisk process. Gäller även biomassa. Resurseffektivitet viktigt. Åtagande, ska synka väl med övriga energisystemet. T ex om ngt händer i övriga systemet så kanske man bör bidra med extra stöd? Då skulle kanske värme inte vara huvudsaken utan systemet, men svårt att formulera.
- Ska man överväga CCS för ytterligare klimatnytta? Ett kriterium är kanske att man ska kräva CCS för att man ska få en gräddfil? För avfall kanske man ska ha ett kriterium att man tittar på maximal utsortering och cirkulering. Risk: Acceptans för förbränning.
- (CCS) Capture ready kanske kan vara ett kriterium för termisk förbränning? Finns krav i EU. Inte självklart dock att CCS är önskvärt. Prio bör vara ett cirkulärt energisystem. Resurseffektivitet bör vara centralt!

Elnät:

- Cost-benefit, vad tappar vi om vi går på en icke-lösning eller en alternativ lösning? Vad blir vi av med i samhället om vi inte får kabeln på plats? Finns det alternativ kabeldragning eller tappar vi en industri? Handlar inte om man inte vill ha en kabel eller inte utan visa på konsekvenserna om man inte får ledningen på plats. Närhetsaspekten är en dimension. Men kanske också bygga kabel i närheten av vindrika områden, vilket öppnar upp för en exploatering av sådana områden.
- Närhet till industrikluster/andra laster.
- Krav på att möjliggöra omställningen för konsumenter eller producenter som finns på listan (dvs. närhet till slutanvändning, närhet till städer bra). Möjliggör man för nyckelteknikerna att komma på plats så är det ett bra kriterium.
- Byggs väl aldrig där de inte behövs? Kriterier: plan för återvinning (kanske gäller alla nyckeltekniker), beakta åtgärder för att beakta biologisk mångfald. Variationshanteringstekniker, inte bara vätgas utan även biogas (turbiner).
- ett kriterium att stärkta elnät för specifika ändamål (t.ex industrisatsningar). Måste ju ha utsedda platser där vi behöver el idag och i framtiden, om man kan visa att man vill leverera till de platserna, då kan det vara ett kriterium. Energikrävande industrier - reservat, bör vara prioriterat.
- Ingen kommer ju bygga där det inte behövs, ingen kommer väl bygga något som är ineffektivt? Oklart hur man ska låta detta komma in som kriterium, är väl låg risk?

CCS/CCU:

- risk för inlåsning, beakta kolcykeln. Vad går vi miste om ifall vi använder CCS? Hur stor del av det vi måste lösa med CCS? Hur stor del löser vi med denna aktivitet/lokaliseringen?

- Ska vi verkligen ha med CCU? Det driver på energiomsättningen och det blir en utmaning att klara av.
- strategi för hantering av transporter och infrastruktur. Viss avskiljningsnivå kanske kan var ett kriterium, dvs. avskilj så mycket som möjligt. Ta fram en plan för avveckling för att undvika inlåsningseffekter.
- kan man visa att det inte finns alternativ så kan man få gå före.
- är kluven. Man ska visa att man inte omöjliggör andra mål. Cementproduktion, egentligen den enda fossila kolkällan. Kan betrakta koldioxiden som en resurs varför inte självklart att den ska lagras bort, den kan bindas i andra tillämpningar. Bör därför inte vara "per default" att koldioxiden ska lagras bort, känns inte rimligt i ett längre tidsperspektiv.

Bio-CCS:

- nödvändigt för att nå klimatmålen. Men, man bör inte ha negativa utsläpp som huvudprodukt! Huvudprodukterna bär vara el/fjärrvärme. Inte CCSa om värmebehov saknas.
- Kanske krav på ersättning för förlust av lokal eleffekt, genom någon form av flexibilitet för avskiljningen?
- Inom industrin ska man utnyttja de restflöden som finns, vilket kanske är mer självklart i FV-systemen. En risk för bio-CCS handlar om synen på biomassan.
- en resurs som trycks bort, så här är det viktigt att man visar på nyttan istället för att utnyttja biobränsle till andar ändamål. Någon form av kaskadtänkande.

DRI och plaståtervinning, gödsel och biodrivmedel kräver vätgas. Man kan kräva överkapacitet och vätgaslager (antingen direkt eller hos ngn annan). Det ska finns en grund för valet av överkapacitet. Går nog att få fram miniminivåer för hur det kan se ut.

Konstgödsel:

- Cirkularitet mycket viktigt. Om fosforbaserat så måste det vara återvunnet fosfor eftersom fosforflödet är felaktigt i samhället.
- Närhet till hamn, närhet till avnämare/slutanvändning. Ska det kanske ligga i södra Sverige (inkl. elektrolysör)? Transport/logistik aspekterna ska beaktas. Om man ska gå före i "kön" (gynnas) bör det kanske handla om inhemsk produktion?
- Viktigt med det nationella värdet? Vad är alternativvärdet av resursen.

Batteriproduktion:

- Är det ens svårt att få tillstånd för batteriproduktion? Annars kanske de bör vara förberedda för återvinning som krav (eller finns det med i wee-direktivet?). Det ska vara lätt att återvinna de kritiska materialen. Eller så är kravet att man ska använda återvunna kritiska material i sin process?
- Viktigt med det nationella värdet? Vad är alternativvärdet av resursen.
- Batterier, återvinningskrav – procentsatser från forskningen går nog att få fram, design för återvinning. Best available per MWh.

Biodrivmedel:

- Ger en ökad möjlighet till inhemsk drivmedelsförsörjning, kan vara ett motiv (försörjningstrygghet), hållbarhetskriterier för biomassa. Kan man ställa krav på att det inte ska vara primär råvara? Risk för acceptanskonflikt, där biomassans ursprung spelar stor roll.

DRI-teknik

- Krav på att säkerställa förnybara bränslen. Strategi för vatten- och värmeeffektivitet. Ekonomisk kompensation för ex gruvor. BAT-tänk för lokal påverkan. Industrin emissionsdirektiv (som en del i BAT-tänket).
- Kräv mellanlager av järnsvampen som produceras. Ska finnas överkapacitet. Strategi för vattenresurshushållning. Kanske förbereda för att använda järnsvampen som en energiresurs?
- [allmänt om teknikspecifikt och problem med detta] Nya elektrolystekniker på gång. Kan innebära teknikutveckling som väsentligt förbättrar utbytet, dvs. tekniker som är mkt mer energieffektiva jmf dagens. Ställ krav på teknikutveckling.

Gruvor:

- Kanske kräva en dedikerad plan där man påvisar de negativa effekterna och hur kan man kompensera. Kan man flytta ett vackert fornminne till exempel? Bör också motivera varför behövs det jungfrulig brytning? Det måste man kunna visa. Cirkularitet är viktig.
- Man ska motivera utvinning av sina material utifrån ett BAT-tänk för ex batteritekniker. En BAT per MWh batteri som kopplar till miljöpåverkan. Kan peka på att metallen behövs för någon av de andra nyckelteknikerna?
- Man måste visa att det är av nationellt intresse att den här mängden kommer fram (en signifikant mängd av nationellt intresse).

Återvinning av plast

- Är kopplat till fossiloberoende och det är det som är kriteriet. Tidsperspektivet är medel till lång sikt.
- Bör beskriva kolcirkularitet och energieffektivisering, stadsnära bra. Ska vara krav på en energieffektiv struktur för att maximera energiutbytet, ex koppling till fjärrvärmenäten.
- CCS innebär att resursen ”försvinner” även om man tillverkar transportbränslen. Har också med cirkularitetsaspekten att göra.
- Om man använder biomassa ska det kanske beskrivas genom kaskadprincipen och man ska visa vilka alternativa användningsområden som finns för den resursen

Stationära batterier: behövs främst i energisystemet.

Gasturbiner: en strategisk placering utifrån ett elnätsperspektiv.

Ta med värmelager på listan? Kan vara svårt att få miljötillstånd för storskaliga värmelager?

Vätgas:

- Bra om man har plan för nätintegration istället för "närhet till elinfrastruktur". Till exempel via samråd med SvK och en DSO: "så här ska det gå till". Viktigt med en logistisk bedömning av närhet till industri, med lastbil eller annat. Kräver det extra resurser, t.ex. tillkommer energibehov pga logistiklösning? Undvik läckage för det är detsamma som energiförluster.
- Variationshantering bör fångas, ex via krav på överkapacitet. Beskriv vad som är BAT, inte bara ur resursperspektiv utan även möjlighet att variera.
- Någon typ av bedömning/krav på systemeffektivitet. Finns alternativ som är bättre? Ska vara bättre än ändra lösningar (direktelektrifiering). Krav på resurseffektivitet.
- Överkapacitet på elektrolysören, närhet till elnät, koppling till lager. BAT ska finnas på elektrolysören. Finns en konflikt mellan verkningsgrad och flexibilitet. BAT på verkningsrad innebär sämre flexibilitet – bättre då att ha lägre BAT på verkningsgrad och fokusera på flexibilitet. Lager, ev. någon viss nivå på detta, bör i alla fall göras en bedömning av det.
- För vätgasproduktion (som för DRI) bör särskilda krav ställas på plan för resurseffektivitet och användning av vatten/värme (och O2?).
- Viktigt att se till systemgräns för resurseffektivitet. En elektrolysör med lägre verkningsgrad och med överinvestering kan ge högre resurseffektivitet och vi också ser till möjligheten att tillvara på vindkraft och solel.
- Beskriv flexhanteringen. Viktigt att inte vara för snäv i tekniken. Inte bara vätgaslager utan flex kan också fås i andra typer av lager. Flexhantering i stort, inte bara en viss teknik.
- Överinvestering exempelvis för elektrolysörer – varför? Man bygger väl en sådan överkapacitet på ekonomiska grundvalar? Kan man kräva ngt som inte är företagsekonomiskt lönsamt?

APPENDIX B

I detta appendix återfinns en fördjupning av vårt resonemang för två nyckeltekniker inom nyckelområdet ”elförsörjning”, nämligen ny vindkraft och ny kärnkraft.

Vindkraft

Motiv

Vi bedömer att vindkraft är det enda kraftslag som på relativt kort tid kan leverera huvuddelen av de omfattande mängder el som kommer att efterfrågas på grund av ett växande elbehov inom framför allt industrin och transportsektorn. Detta gör vindkraften i sig till en nyckelteknik. Det beror inte minst på att ny vindkraft är mycket konkurrenskraftigt och där landbaserad vindkraft sannolikt är det billigaste kraftslaget att bygga för en investerare. Dessutom går det snabbt att bygga vindkraftparker om man bortser från tillståndsprocessen som i förekommande fall kan leda till betydande ledtider. Även nätförstärkningar kan i vissa fall vara nödvändiga vilka också tenderar att förlänga ledtiderna. Ytterligare ett motiv för vindkraften är det faktum att utsläppen av växthusgaser vid tillverkningen av vindkraftverk är relativt små (UNECE, 2021). Vid drift sker dessutom inga utsläpp alls. Eftersom den svenska elproduktionen är så gott som fri från utsläpp av växthusgaser så medför ny vindkraft ingen klimatnytta för svensk elproduktion. Däremot bidrar en svensk vindkraftutbyggnaden potentiellt till klimatnytta inom den nordeuropeiska elmarknaden där fossilandelen i kraftproduktionen sannolikt kommer att vara betydande under många år till. Vår syn på vindkraftutbyggnadens betydelse under kommande år delas av bland andra Energimyndigheten[24] (2021b), SOU 2021:53 och Fossilfritt Sverige[25] (2021). Bland annat pekas vindkraft ut som en viktig komponent i produktionskedjan för vätgas som bedöms vara avgörande för industrins utfasning av fossila bränslen.

Även Mark- och miljööverdomstolen (MÖD) har i domar gällande tillstånd till vindkraftsetablering uttalat att: ”Vindkraft som en förnyelsebar energiform syftar mot miljöbalkens mål i 1 kap § om hållbar utveckling”. ”Främjandet av produktion av förnyelsebara energikällor är viktigt för att nå de krav som ställs på Sverige med anledning av EU:s klimatåtagande och de nationella planeringsmålen för vindkraft som antagits av riksdagen”.

Risker och osäkerheter

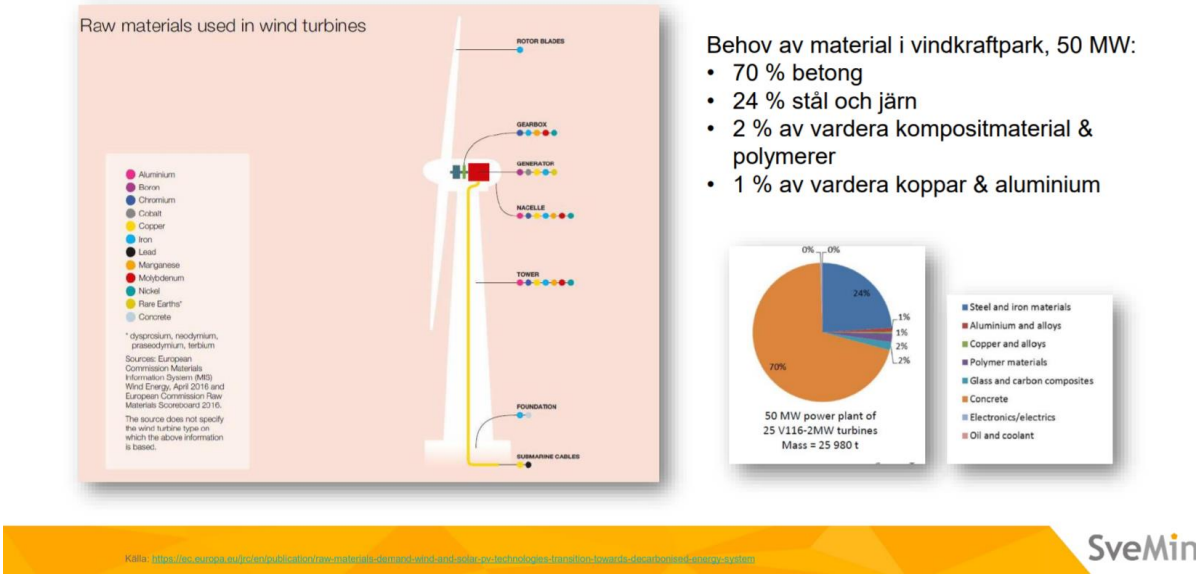
Vindkraften är framför allt en leverantör av elenergi, det vill säga MWh eller GWh. När det gäller effekttillgänglighet eller effektsäkerhet så finns det betydande osäkerheter på grund av väderberoendet i synnerhet om man tittat på enstaka kraftverk eller parker. Ansätter man ett systemperspektiv så beror det i hög grad på lokalisering av olika vindkraftverk och hur tillgången till vind ser ut på olika platser vid samma tidpunkt. Eftersom Sverige är ett stort och avlångt land så finns det variabilitetsdämpande mekanismer för vindkraft som helhet genom en jämnt fördelad lokalisering över landet. Men inte ens då kan man frikoppla sig från perioder

[24] Utredningen om långsiktiga scenarier över Sveriges energisystem visar att vindkraft kommer att vara avgörande för den svenska elförsörjningen efter år 2030.

[25] https://fossilfrittsverige.se/strategier/vatgas/

med (mycket) låg tillgång till vind eller perioder med mycket hög tillgång till vind. Bägge dessa perioder utsätter elsystemet för olika utmaningar och deras betydelse kommer att växa i omfattning i takt med att vindkraften byggs ut och annan mer planerbar kraftproduktion fasas ut (i Sverige och i resten av Nordeuropa). Det som är avgörande är dock inte i första hand lokaliseringen utan hur väl resten av systemet förmår att samverka med de växande volymerna av vindkraft. En kraftig utbyggnad av vindkraft kommer att innebära att behovet av olika reglerresurser kommer att öka vilket omfattar förändrade produktionssätt för den befintliga vattenkraften, ökat behov av en flexibel elanvändning, energilager och sannolikt spetslastproduktion som exempelvis gasturbiner. Effektvärdet för annan planerbar termisk eleffekt såsom kraftvärme och kärnkraft kommer också att öka under perioder med låg tillgång till vindkraft i synnerhet om dessa sammanfaller med hög efterfrågan på el. Under andra perioder med mycket god tillgång till vindkraft kommer dock de ekonomiska utmaningarna för dessa kraftslag att öka eftersom dessa perioder förknippas med (mycket) låga elpriser. Så som utvecklingen ser ut kommer dessa perioder att växa i omfattning och även uppträda vintertid. En lyckosam och omfattande expansion av vindkraft ställer alltså krav även på omgivande elsystem där inte minst ökad efterfrågeflexibilitet, energilager, förändrade produktionsmönster för annan kraftproduktion och en omfattande elnätsutbyggnad måste ske i samklang med vindkraftutbyggnaden. Vindkraftutbyggnaden måste också ske på ett sådant sätt att acceptansproblematiken, som i allra högsta grad är reell för vindkraftsetableringar, kan hanteras. Om allt detta inte sker i samklang så riskeras vindkraftutbyggnaden att inte leva upp till de förväntningar och förhoppningar som finns vilket i förlängningen kan det äventyra omställningen.

En avslutande reflektion kring vindkraft avser behovet av kritiska mineraler. I vindkraftverk är det ett flertal kritiska mineraler som används idag, se Figur . Detta är ett ständigt aktuellt tema vars betydelse kommer att öka i takt med en ökad global efterfrågan på vindkraftverk och annan utrustning som är knuten till eltillförsel och elanvändning (exempelvis elbilar) där detta är relevant. Det kopplar till såväl resursutnyttjning som till försörjningstrygghet om utvinningen av kritiska mineraler är knuten till ett fåtal platser och stater. Den ökande globala efterfrågan i kombination med ett begränsat utbud kan också komma att påverka den fram till dags dato gynnsamma kostnadsutvecklingen för inte bara vindkraft utan även annan förnybar elproduktion samt batteriteknik.



Figur B1 Bilden är hämtad från SveMin och visar behovet av råmaterial till vindkraft. Underlaget har SveMin hämtat från JRC (2020).

Förslag till kriterier

I detta avsnitt listar vi i punktform de förslag till kriterier som man kan överväga i en bedömning för vindkraft på land kopplad till avvägningsregeln (listan är ett utdrag ur tabellen om *Elförsörjning* i Appendix A).

- Yteffektivitet (låg miljöpåverkan per m^2 och/eller per MWh). Detta kriterium kan dock straffa ut framtida "lågvindsturbiner" som förmår att exploatera platser med sämre vindtillgång men som därför är mindre yteffektiva.[26]
- Inkopplingsnivå (inkoppling på hög spänning ger låga förluster i nätet)
- Gynnsamma vindlägen? Få lågvindsperioder främjar havsbaserad vindkraft?
- Närhet till elnätsinfrastruktur och annan nödvändig infrastruktur (vägar)?
  - Motiv: bra miljömässigt att infrastrukturen redan finns på plats
  - Bör krav på vägar vägas in i ett eventuellt kriterium om yteffektivitet?
- Närhet till slutanvändning. Detta underlättar flaskhalsproblematiken i eldistributionen som idag är reell på många håll i landet. Närhet till (utpekade) industrikluster och större elanvändning? Närhet till (utpekad) vätgasproduktion?

[26] Generellt kräver förnybar energi som vindkraft och solel mer infrastruktur och därmed en relativt större mängd mineraler än fossilbaserade energisystem. Detsamma gäller markyteeffektiviteten där förnybar energi relativt sett är mer ytintensiv än exempelvis naturgasbaserad energi (Berill m.fl., 2016).

  - Motiv: fördelaktigt att premiera närheten till slutanvändningen pga att det minskar överföringsförluster, främjar havsparker i södra Sverige. Ö-drift fördelaktigt för att man slipper bygga nätet, bidrar till försörjningstrygghet

- Ytterligare stödtjänster utöver de som redan är lagstadgade. Med stödtjänster avser vi i första hand frekvenshållning, spänningshållning och andra egenskaper (exempelvis återställande åtgärder efter avbrott eller störningar) som gör att elsystemet är robust och leveranssäkert
  - Motiv: "systemstabiliserande åtgärder" främjar att investerare tar ansvar för systemet…
  - Inte nödvändigtvis i anslutning till själva vindkraftverket (kan vara ineffektivt) men något som investeraren ska tillhandahålla eller säkerställa på annat håll
- Platser där man redan idag har tillstånd (som ej har utnyttjas pga villkor som måste uppdaterats, högre verk pga teknikutveckling sedan tillståndet gavs)
- Bör man överväga en viss effektstorlek för att motivera en avvägningsregel?
- Bör man göra en bedömning av en uppskattad elproduktion (kWh) under verkens livstid?
- Bedömning av klimatnyttan? (svårt eftersom det handlar om en systemanalys)

Kort om land- och havsbaserad vindkraft

Det finns ett antal fördelar med havsbaserad vindkraft jämfört med landbaserade installationer där den viktigaste kanske är en generellt sett större och jämnare elproduktion även om variabilitet är ett signifikant inslag ute till havs. Dessutom saknas viss acceptansproblematik som är förknippad med landbaserad vindkraft till havs. Å andra sidan finns andra potentiella konflikter som har med naturvärden, marint liv, fiske, sjöfart och Sveriges försvarsförmåga att göra. Behovet av koppar och sällsynta jordartsmetaller tycks också vara högre för havsbaserad vindkraft än för landbaserad dito (IEA, 2021). Havsmiljöer är känsliga och havsbaserad vindkraft påverkar närmiljön under såväl byggnation som drift.

Kärnkraft (ny)

Motiv

Den svenska kärnkraften har producerat el sedan de första reaktorerna togs i drift under 1970-talet och har under perioden mellan 1980-talet och 2010-talet betraktats som det "andra benet" i den svenska elförsörjningen. Tiderna förändras dock och 6 reaktorer har sedan dess stängts där den senaste i raden, Ringhals 1 stängde ner för gott vid årsskiftet 2020/2021. Även om kärnkraftens dominerande ställning inte är lika framträdande längre, har den en viktig betydelse i elförsörjningen och bidrar till utsläppsfri elproduktion, effekt med hög tillgänglighet och stödtjänster för stabilitet och driftsäkerhet i elsystemet. Planerbarhet, effektsäkerhet,

bidrag till stödtjänster i elsystemet samt potentialen att generera en väsentlig volym av elenergi utgör motiv för att vi listar även *ny* kärnkraft som en nyckelteknik i detta sammanhang. Dessutom är kärnkraftens utsläpp av växthusgaser generellt bland de allra lägsta av samtliga kraftslag i ett livscykelperspektiv (UNECE, 2021). Yteffektiviteten är sannolikt den högsta av samtliga kraftslag vilket också talar till dess fördel, liksom avsaknaden av miljöfarliga utsläpp till luft eller vatten.

Samtidigt som fördelarna är flera är vi naturligtvis också medvetna om att kärnkraften troligen är det mest kontroversiella kraftslaget av alla och att det finns en rad utmaningar. Vi tar upp några av dessa i nästa avsnitt.

Risker och osäkerheter

Nyinvesteringar i kärnkraft i västvärlden är behäftade med mycket höga kostnader och ständiga förseningar. Vanligen anges flera skäl till detta där kanske den bristande erfarenheten att bygga nya reaktorer anges som huvudskälet (sedan 1980-talet har ytterst få reaktorer byggts i västvärlden och så gott som samtliga projekt har plågats av stora förseningar och skenande kostnader). I vilken utsträckning man kan få ner dessa kostnader till den nivån som man exempelvis rapporterar i Asien eller Ryssland är helt avgörande för intresset hos olika investerar att ta sig an denna teknik. Dessutom spelar den politiska acceptansen en nyckelroll vilket kan förklara att man i Finland valt att gå vidare med en sjätte reaktor trots det osäkra kostnadsläget och trots den ytterst långa byggtiden för den pågående byggnationen av den femte reaktorn (Olkiluoto 3 som bedöms leverera el till nätet under första halvåret 2022). I Finland finns nämligen en klart större politisk uppbackning än i Sverige för kärnkraft sedan lång tid tillbaka.

En annan ekonomisk utmaning för ny kärnkraft är i vilken utsträckning den kommer att vara lönsam i ett system som utmärks av ett betydligt större inslag av variabel förnybar elproduktion. Även om man lyckas få ner kostnaden rejält för nybyggnation kommer kärnkraft alltid att karaktäriseras av höga kapitalkostnader och därför vara beroende av långa drifttider. Ett elsystem med en hög andel variabel förnybar elproduktion utmärks av perioder med mycket låga elpriser (och perioder med mycket höga elpriser). Ju större förekomst av perioder med mycket låga elpriser desto mer utmanande blir det att få lönsamhet i kapitalintensiv elproduktion som kärnkraft.

Förutom den ekonomiska och politiska risken som vi nämnt här så tillkommer ytterligare en rad utmaningar som är mer eller mindre välbekanta. Det handlar om avfallshanteringen och slutförvaret (där det fortfarande pågår en diskussion bland olika forskargrupper kring säkerheten) och säkerhetsaspekter vid drift. Även om allmänhetens inställning till kärnkraft har blivit mer positiv under senare år är andelen som vill satsa *mer* på kärnkraft (det vill säga bygga nya anläggningar) fortfarande klart mindre än den andel som vill satsa mer på någon av de förnybara kraftslagen.[27]

Sammanfattningsvis tror vi att utsikterna för ny kärnkraft är mycket begränsade under en överskådlig tid i Sverige bland annat på grund av de faktorer vi listat här ovan. Även om vi

[27] https://www.gu.se/sites/default/files/2021-04/6.%20%C3%85sikter%20om%20energi%20och%20k%C3%A4rnkraft%20-%20MEK%202020.pdf

kunna notera utspel och positiva nyheter kring exempelvis SMR-tekniken (small-modular reactors) och det nystartade svenska kompetenscentrumet för forskning och utveckling kring SMR-tekniken (ANItA: Akademiskt-industriellt kärntekniskt initiativ för att uppnå en framtida hållbar energiförsörjning)[28] så pekar det mesta på att detta ligger relativt långt bort för svenskt vidkommande. Till dags dato finns endast enstaka sådana reaktorer i drift och då utanför västvärlden. Dessutom har endast enstaka tillverkare i västvärlden alldeles nyligen fått sin tillverkningslicens. Mot denna bakgrund, och den politiska osäkerhet som präglat kärnkraften i Sverige, är det svårt att se en mer omfattande kommersialisering i Sverige före 2035. Icke desto mindre väljer vi att betrakta ny kärnkraft som en nyckelteknik i denna studie.

Förslag till kriterier

Ur ett framtida elsystemperspektiv kan det visa sig att mindre anläggningar är att föredra. Modularitet, mindre reaktorer är sannolikt bättre lämpade för det framtida elsystemet, dels med avseende på reglerförmåga (stäng av/starta enstaka block), dels med avseende på n-1-kriteriet för systemstabilitet, dels med avseende på oplanerad oh planerade stopp. Det finns också säkerhetsmässiga fördelar med mindre anläggningar eftersom dessa kräver mindre kylning och därmed också är mer lämpade för passiv kylning. Andra kriterier som man möjligen skulle kunna överväga men där vår kunskap är begränsad är kriterier kopplade till resursutnyttjande. Vissa tekniska lösningar inom generation 4-konceptet förlitar sig på så kallad ”breeding” vilket innebär ett mycket högt resursutnyttjande och en reducerad avfallsproblematik, inte minst med avseende på tidsdimensionen.

[28] https://www.energimyndigheten.se/forskning-och-innovation/forskning/omraden-for-forskning/kompetenscentrum-2022-2026/