



Sveriges förnyelsebara energilandskap

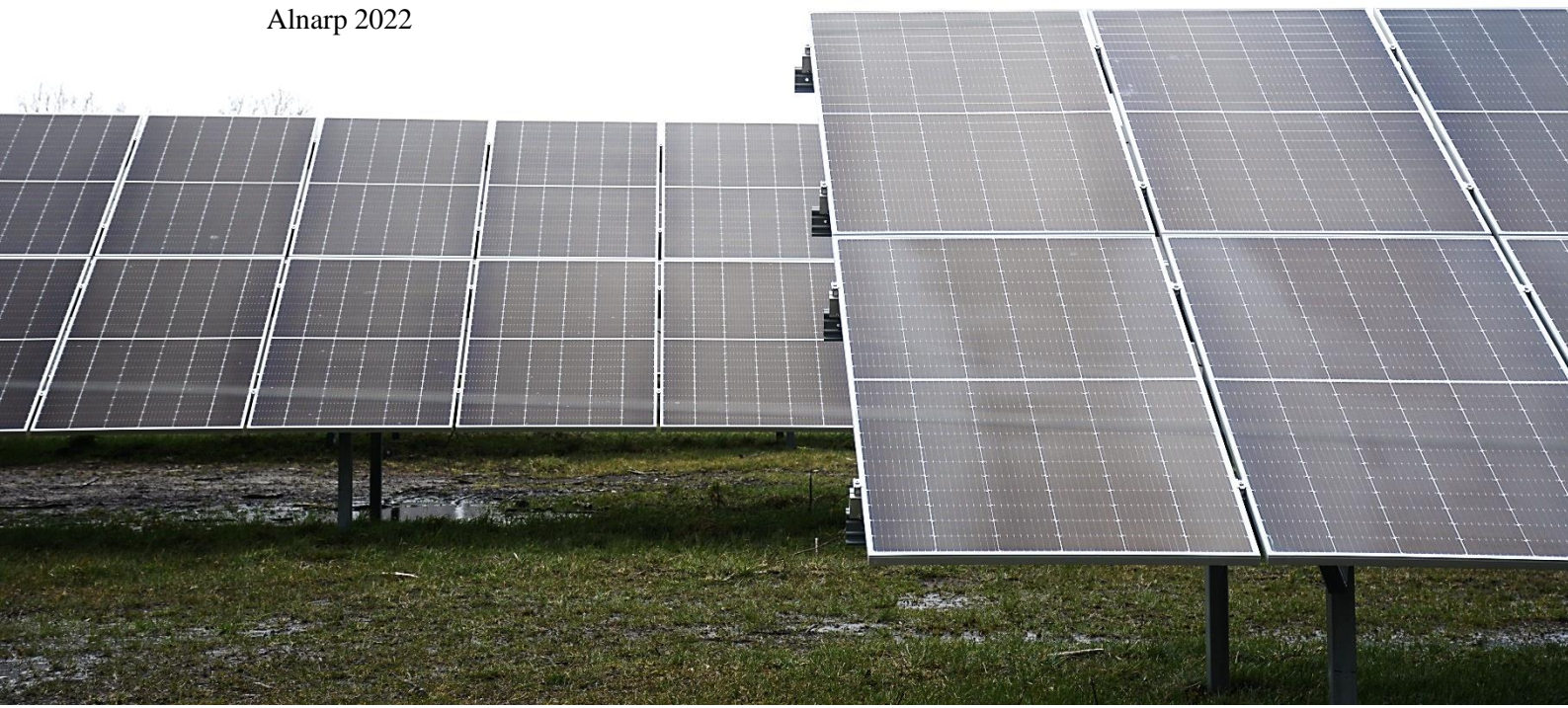
En kartläggning av den svenska solenergis och vindkraftens markanspråk

Sweden's Renewable Energyscapes- A Mapping of the Land Claim of Swedish Solar and Wind Power

Anna-Klara Norlin

Självständigt arbete • 30 hp
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning
Hållbar stadsutveckling, ledning, organisering och förvaltning - mastersprogram

Alnarp 2022



Sveriges förnyelsebara energilandskap-En kartläggning av den svenska solenergin och vindkraftens markanspråk

Sweden's Renewable Energyscapes- A Mapping of the Land Claim of Swedish Solar and Wind Power

Anna-Klara Norlin

Handledare: Anders Larsson, Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning, Alnarp
Bitr. handledare: Alexander Marek, tankesmedjan LABLAB, Stockholm
Examinator: Christine Haaland, Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning, Alnarp
Bitr. examinator: Lisa Norfall, Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning, Alnarp

Omfattning: 30 hp
Nivå & fördjupning: A2E
Kurstitel: Independent Project in Landscape Architecture
Kurskod: EX0859
Program: Hållbar stadsutveckling, ledning, organisering och förvaltning - masterprogram
Kursansvarig inst.: Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

Utgivningsort: Alnarp
Utgivningsår: 2022
Omslagsbild: Anna-Klara Norlin (2022)

Nyckelord: Energilandskap, Hållbar landskapsplanering, Solenergi, Vindkraft, Solceller, Vindkraftverk, Markanspråk, Marktäckedata, GIS, Geografiska informationssystem, Ekosystemtjänster.

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap
Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver godkänna publiceringen. Om du kryssar i **JA**, så kommer fulltexten (pdf-filen) och metadata bli synliga och sökbara på internet. Om du kryssar i **NEJ**, kommer endast metadata och sammanfattning bli synliga och sökbara. Fulltexten kommer dock i samband med att dokumentet laddas upp arkiveras digitalt.

Om ni är fler än en person som skrivit arbetet så gäller krysset för alla författare, ni behöver alltså vara överens. Läs om SLU:s publiceringsavtal här:

<https://www.slu.se/site/bibliotek/publicera-och-analysera/registrera-och-publicera/avtal-for-publicering/>.

JA, jag/vi ger härmed min/vår tillåtelse till att föreliggande arbete publiceras enligt SLU:s avtal om överlåtelse av rätt att publicera verk.

NEJ, jag/vi ger inte min/vår tillåtelse att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och sammanfattning blir synliga och sökbara.

Tack alla som hjälpt mig!

Mitt varmaste tack till alla de som hjälpt mig att slutföra den här uppsatsen, jag hade aldrig orkat utan er!

Jag vill rikta några speciella tack till de som varit mina mest stabila klippor:

Tack till mina handledare Anders och Alexander för handledning och värdefulla samtal,
och tack till Ebba för all feedback på kartorna.

Tack till Ukka och Eli för att ni lyssnat på mina oändliga utläggningar
och peppat mig när motivationen varit låg.

Slutligen, tack till Anders Svensson, utan dig hade jag inte varit hälften så klok som jag är idag.

Abstract

The global climate is changing. Thus, the global energy production system is facing an unavoidable and large-scale transition away from fossil fuels. In this transition, electrification and expansion of the production of energy from renewable sources will constitute central measures. However, due to the different spatial qualities of fossil fuels and renewable energy sources, this transition will result in the emergence of new types of so called *energyscapes*. For the Swedish energy system, the transition implies an extensive expansion of solar and wind power production. In order to ensure that this expansion will be as sustainable as possible, there is a need for a more in-depth understanding of the relationship between solar- and wind power and the development of landscapes, in particular from the perspective of land-use.

Within the sector of strategic planning, previous understanding of the land-claim of energy production has been dominated by abstract ideas of area and energy density. This thesis aims to contribute to a more landscape integrated understanding of the transition towards more renewable energy production by mapping Swedish solar- and wind power in relation to previous land use. The thesis further uses theoretical perspectives on *ecosystem services* and *sustainable renewable energyscapes* to analyze the results of the mapping and discuss the development of Swedish landscapes from a sustainability perspective. Lastly, the results of the mapping are used to create scenarios for future regional production of solar- and wind power. This is done with the purpose of further deepening the understanding of the relationship between solar- and wind power production and sustainable landscapes.

The result of the empirical research and the analysis indicates that solar and wind power production are at risk of dislocating other functions in the Swedish landscapes. The result points towards a trend where future renewable energyscapes, in similarity with traditional fossil energyscapes, are landscapes where energy production is dominant at the cost of other functions. Based on strategic documents on the future of electrification from the Swedish Energy Agency (2021a; 2021b), a tendency is identified where landscapes in the periphery become landscapes of energy production, whilst the consumption mainly takes place in urban landscapes. This means that access to a diversity of ecosystem services in peripheral landscapes is at risk of being diminished, whilst the yield of the energy production is accumulated elsewhere. This result indicates that the current development of solar- and wind power production in Sweden risks creating less sustainable landscapes, not at least regarding social sustainability. Conclusively, there is a need to understand the transition towards more sustainable energy systems not only as a question of optimal and efficient use of technologies. There is a need to understand the transition also from the vantage point of the local landscape and to critically discuss what constitutes acceptable levels of energy consumption in relation to what kind of landscapes we wish for in the future.

Sammanfattning

Det globala klimatet håller på att förändras, och den globala energiproduktionen står inför en oundviklig och omfattande omställning bort från fossila bränslen. I denna omställning kommer elektrifiering och en ökad produktion från förnyelsebara energikällor att utgöra centrala åtgärder. På grund av de fossila bränslenas och de förnyelsebara energikällornas skilda rumsliga egenskaper kommer denna omställning att innebära en framväxt av nya *energilandskap*. För det svenska energisystemet kommer omställningen att innebära en omfattande utbyggnad av produktionen av solenergi och vindkraft. För att denna utbyggnad ska bli så hållbar som möjligt krävs en fördjupad förståelse av relationen mellan solenergi, vindkraft och utvecklingen av landskap, inte minst sett till markanvändning.

Inom fältet fysisk planering har förståelse av energiproduktionens ytanspråk tidigare präglats av abstrakta idéer om area och energidensitet. Genom att kartlägga svensk solenergi och vindkraft utifrån tidigare markanvändning syftar denna uppsats till att bidra till en mer landskapsintegrerad förståelse för omställningen mot en mer förnyelsebar energiproduktion. Vidare använder uppsatsen teoretiska perspektiv på *ekosystemtjänster* och *förnyelsebara energilandskap* för att analysera resultatet kartläggningen och diskutera utvecklingen av svenska landskap utifrån ett hållbarhetsperspektiv. Slutligen används resultatet av kartläggningen för att skapa regionala scenarier för framtida produktion av solenergi och vindkraft. Detta görs i syfte att ytterligare fördjupa förståelsen för relationen mellan solenergin, vindkraften och hållbara landskap.

Resultatet av de empiriska undersökningarna och analysen indikerar att solenergi- och vindkraftsproduktionen riskerar att tränga ut andra funktioner i svenska landskap. Resultatet pekar på en möjlig trend där framtida förnyelsebara energilandskap, i likhet med traditionella fossila energilandskap, är landskap där energiproduktion dominerar på bekostnad av andra funktioner. Utifrån Energimyndighetens (2021a; 2021b) strategiska dokument för framtidens elektrifiering identifieras en tendens där perifera landskap blir energiproducerande landskap, medan konsumtionen i huvudsak sker i stadsnära landskap. Således riskerar tillgången på en mångfald av ekosystemtjänster i perifera landskap att försämrats, samtidigt som nyttan av energiproduktionen koncentreras någon annan stans. Detta resultat indikerar att den pågående utvecklingen av solenergi- och vindkraftsproduktion i Sverige riskerar att skapa mindre hållbara landskap, inte minst sett till social hållbarhet. Den slutsats som dras är därför att det finns ett behov av att förstå omställningen mot mer hållbara energisystem inte bara som en fråga om optimal och effektiv användning av teknologier. Det finns också ett behov av att förstå omställningen från det lokala landskapets perspektiv och att kritiskt diskutera vad som utgör acceptabla nivåer av energikonsumtion i relation till vilken typ av landskap vi vill ha i framtiden.

Innehållsförteckning

1. Inledning.....	10
1.1 Från fossila bränslen till förnyelsebara energikällor.....	10
1.2 Syfte och frågeställning.....	12
1.3 Avgränsning.....	13
1.4 Uppsatsens disposition.....	14
2. Bakgrund.....	15
2.1 Från lokalt decentraliserat till storskaligt centraliserat.....	15
2.2 Energimyndighetens scenarier för framtiden.....	19
3. Tidigare forskning & teoretiskt ramverk.....	23
3.1 Förnyelsebara energilandskap.....	23
3.2 Hållbar landskapsplanering.....	26
3.3 Ekosystemtjänster i landskapet.....	27
3.4 Hållbar utveckling av förnyelsebara energilandskap.....	29
4. Metod.....	31
4.1 Rumslig analys.....	31
4.2 Scenarier och research by design.....	41
5. Resultat och analys.....	47
5.1 Solenergi, vindkraft och marktäckedata.....	47
5.2 Solenergi, vindkraft och skyddade områden.....	60
5.3 Framtidens sol och vind i Stockholm.....	66
6. Diskussion.....	71
6.1 Solenergin och vindkraftens energilandskap.....	71
6.2 En hållbar utveckling av landskapen?.....	74
6.3 Framtidens energilandskap.....	75
6.5 Metodiskussion.....	77
7. Slutsats.....	78
7.1 Framtida forskning.....	79
Referenslista.....	80
Bilaga 1: Arbetsprocess solenergin och vindkraftens markanspråk.....	85
Bilaga 2: Arbetsprocess solenergi och områden med höga natur- och kulturvärden.....	86
Bilaga 3: Arbetsprocess vindkraft och områden med höga natur- och kulturvärden.....	87
Bilaga 4: Arbetsprocess placering av vindkraft Stockholms län.....	88

Bilder, tabeller & diagram

Bild 1: Karta över geografisk fördelning av markburna solcellsparker (≥ 1 MW) samt uppförda och nedmonterade vindkraftverk i Sverige. Skapad med data från Vindbrukskollen (2021) och Svensk solenergi (2021). Bakgrundsbild: Administrativa gränser från Lantmäteriet (2022) och *Administrative units* från Eurostat (2020).

Tabell 1: Framtida utbyggnad av vindkraft fördelat på län, baserat på ett elektricitetsbehov på 160 TWh/år och turbiner med en kapacitet på 6 MW. Baserad på data från Energimyndigheten (2021b:22) och SCB (2021a; 2021b).

Tabell 2: Sammanställning av granskade miljökonsekvensbeskrivningar med källhänvisningar.

Tabell 3: Generaliserade värden för ytanspråk för 6 MW vindkraftverk. Baserad på data från Boverket (2009) och inhämtade miljökonsekvensbeskrivningar (se tabell 2).

Diagram 1: Icke-proportionerlig gestaltning av markanspråket för en vindkraftsturbin. Egen framställning.

Tabell 4: Kategorier för marktäckedata, efter Naturvårdsverkets (2014) kodlista för vektordata. För analyserna i denna uppsats används kategorierna i den vänstra kolumnen.

Tabell 5: Sammanställning över områdestyper som inkluderas i analysen, kategoriserade efter "naturvärden" respektive "kulturvärden".

Tabell 6: Produktionsnivåer för vindkraft nationell respektive i Stockholms län för olika scenarier för framtida elektricitetsbehov. Baserad på data från Energimyndigheten, (2021a; 2021b).

Tabell 7: Sammanställning över markanvändningsskikt inkluderade multi-kriterie-analys på sannolika områden för vindkraftsetablering i Stockholms län, kategoriserade efter informationskategori.

Tabell 8: Nationella produktionsnivåer för solenergi för olika scenarier för framtida elektricitetsbehov. Baserad på data från Energimyndigheten, (2019; 2021a) och Svensk solenergi (2021; 2022).

Bild 2: Översiktsskarta över markburna solcellsparker (≥ 1 MW) samt uppförda och nedmonterade vindkraftverk i Sverige. Infällningar med detaljkartor över solcellsparker och vindkraftverks absoluta och funktionella markanspråk i relation till tidigare markanvändning. Skapad utifrån data från Vindbrukskollen (2021) och Svensk solenergi (2021) samt marktäckedata från Naturvårdsverket (2000). Bakgrundsbild: Administrativa gränser från Lantmäteriet (2022) och Administrative units från Eurostat (2020).

Bild 3: Karta över absolut markanspråk för Ekens solcellspark i Linköping, skapad utifrån data från Svensk Solenergi (2021). Bakgrundsbild: Ortofoto, 1m färg från Esri (2022).

Diagram 2: Markanspråk för Svenska solcellsparker (≥ 1 MW) fördelat på tidigare markanvändning, efter kategorier från Naturvårdsverket (2014). Baserad på data från Svensk solenergi (2021) och Naturvårdsverket (2000)

Tabell 9: Markanspråk för Svenska solcellsparker (≥ 1 MW) fördelat på tidigare markanvändning efter kategorisering av Naturvårdsverket (2014). Baserad på data från Svensk solenergi (2021) och Naturvårdsverket (2000).

Bild 4: Karta över absolut markanspråk för vindkraftspark på Näsudden, Gotland, skapad utifrån data från Vindbrukskollen (2021). Bakgrundsbild: Ortofoto, 1m färg från Esri (2022).

Diagram 3: Svensk vindkrafts absoluta markanspråk fördelat på tidigare markanvändning efter kategorisering av Naturvårdsverket (2014). Baserad på data från Vindbrukskollen (2021), Lantmäteriet (2020) och Naturvårdsverket (2000)

Tabell 10: Svensk vindkrafts absoluta markanspråk fördelat på tidigare markanvändning efter kategorisering av Naturvårdsverket (2014). Baserad på data från Boverket (2009), Vindbrukskollen (2021), Lantmäteriet (2020) och Naturvårdsverket (2000).

Bild 5: Karta över funktionellt- och absolut markanspråk för vindkraftspark på Näsudden, Gotland, skapad utifrån data från Vindbrukskollen (2021). Bakgrundsbild: Ortofoto, 1m färg från Esri (2022).

Diagram 4: Svensk vindkrafts funktionella markanspråk fördelat på tidigare markanvändning efter kategorisering av Naturvårdsverket (2014). Baserad på data från Boverket (2009), Vindbrukskollen (2021), Lantmäteriet (2020) och Naturvårdsverket (2000).

Tabell 11: Svensk vindkrafts funktionella markanspråk fördelat på tidigare markanvändning efter kategorisering av Naturvårdsverket (2014). Baserad på data från Boverket (2009), Vindbrukskollen (2021), Lantmäteriet (2020) och Naturvårdsverket (2000).

Tabell 12: Sammanställning av ekosystemtjänster relaterade till de markanvändningstyper som framkom i resultatet. Baserad på Naturvårdsverkets (2017) ekosystemförteckning.

Bild 6: Översiktskarta över markburna solcellsparker (≥ 1 MW), uppförda och nedmonterade vindkraftverk samt områden efter "höga kulturvärden" respektive "höga naturvärden". Infällningar med detaljkartor över solcellsparker och vindkraftverks markanspråk i relation till de kategoriserade områdena. Skapad utifrån data från Vindbrukskollen (2021), Svensk solenergi (2021), Naturvårdsverket (2017; 2020; 2021; 2022), Energimyndigheten (2021), Forsvarsmakten (2021) och Sametinget (2018). Bakgrundsbild: Administrativa gränser från Lantmäteriet (2022) och *Administrative units* från Eurostat (2020).

Tabell 13: Sammanställning över det av solcellsparkernas markanspråk som överlappar med områden med höga natur- respektive kulturvärden.

Bild 7: Karta över markanspråk för Ekens solcellspark i Linköping i relation till områden kategoriserade efter "höga naturvärden" respektive "höga kulturvärden", Skapad utifrån data från Vindbrukskollen (2021), Svensk solenergi (2021), Naturvårdsverket (2017; 2020; 2021; 2022), Energimyndigheten (2021), Forsvarsmakten (2021) och Sametinget (2018). Bakgrundsbild: Ortofoto, 1m färg från Esri (2022).

Tabell 14: Sammanställning över det av vindkraftparkernas markanspråk som överlappar med områden med höga natur- respektive kulturvärden.

Tabell 15: Scenarier produktionsnivåer för vindkraft på nationell skala samt i Stockholms län. Baserad på data från Energimyndigheten (2021a; 2021b).

Tabell 16: Scenarier för ytanspråk för den nationella produktionen av solenergi med markburna solcellsparker, skapad med data från Svensk Solenergi (2021) och SCB (2021b; 2022).

1. Inledning

1.1 Från fossila bränslen till förnyelsebara energikällor

Världen står inför omfattande förändringar. Inför klimattoppmötet COP26, som genomfördes i Glasgow under hösten 2021, gav FN:s klimatpanel IPCC ut sin sjätte rapport om den globala uppvärmningen och dess konsekvenser. Rapporten visade hur det internationella forskarsamhället med stor enighet menar att chanserna att begränsa den globala temperaturökningen till ett genomsnitt på 1,5 grader nu är mycket små. Existerande forskning indikerar vidare att vid ett värsta scenario, som kan förväntas vid ett totalt *business-as-usual*, går världen mot en temperaturhöjning på 5,7 grader innan år 2100. Det var över 3 miljoner år sedan en så hög medeltemperatur senast uppmättes. Med allra största sannolikhet skulle en sådan temperaturökning innebära förödande konsekvenser för biologisk mångfald och mänskligt liv världen över. Sådana konsekvenser blir redan idag, vid runt 1 graders uppvärmning, allt mer kännbara runt om i världen (IPCC, 2021). I mars 2022 utkom IPCC med en uppföljningsrapport, vilken behandlade konsekvenser, anpassning och sårbarhet i den globala uppvärmningens spår (IPCC, 2022). Uppföljningsrapporten betonade det ömsesidiga beroendet mellan klimatförhållanden, ekosystem och mänsklig välfärd. Faktorer som överexploatering av naturresurser och förlust av biologisk mångfald konstateras vara ömsesidigt förstärkande i relation till global uppvärmning, ökad sårbarhet och risk för mänskligheten (IPCC, 2022). Det är alltså ställt bortom allt rimligt tvivel att omfattande och snabba åtgärder måste genomföras för att bromsa den globala uppvärmningen.

En kraftig minskning av utsläpp av växthusgaser, inte minst koldioxid och metan, anses utgöra bland de viktigaste åtgärderna för att begränsa temperaturhöjningen (IEA, 2021a; 2021b; IPCC, 2021). Om den globala uppvärmningen ska begränsas kommer energi i form av elektricitet från förnyelsebara källor, såsom vindkraft, solkraft och vattenkraft, att behöva utgöra en allt större del av den globala energikonsumtionen under de kommande decennierna. En sådan omställning, från en fossil- till en förnyelsebar energiproduktion, kommer innebära sociala, politiska och ekonomiska förändringar, men även omfattande förändringar av landskap över hela världen.

Historiskt har energiproduktion stått i nära förbindelse med markanvändning. Produktion och extraktion av energirika råvaror har omformat landskap, samtidigt som tillgång på energi varit avgörande för både utbyggnad av samhällsstruktur och mänsklig välfärd (Scheidel & Sorman, 2012; Sijmons, 2014; Hubert & McCarthy, 2017). Sedan den industriella utvecklingen tog fart i slutet på 1700-talet har omfattande teknologiska framsteg skett, vilket såväl möjliggjorts av som vidare gynnat utvinningen av fossila bränslen. Möjligheten att extrahera och förflytta fossila bränslen, jämfört med vattenkraft som tidigare dominerade energiförsörjningen, bidrog på sikt till framväxten av ett globalt transportsystem. Det globala transportsystemet har i sin tur möjliggjort ett globalt produktionssystem, som karaktäriseras av en separation mellan produktionslandskap och konsumtionslandskap (Bridge et al, 2013; Scognamiglio, 2016). I synnerhet i rikare regioner i Europa och andra delar av västvärlden har denna separation

inneburit att energiproduktionens påverkan på fysiska landskap har osynliggjorts, eftersom de har kunnat förskjutas till globalt sett mer perifera landskap (Selman, 2012; Sijmons, 2014; Scognamiglio, 2016). Möjligheten att förflytta fossila bränslen, tillsammans med bränslenas höga energitäthet och koncentrerade utvinning, har alltså möjliggjort avgränsade och perifera *energilandskap*.

När världen nu står inför en omställning till mer förnyelsebar och elektricitetsburen energianvändning innebär det inte enbart en teknologisk omställning, utan i allra högsta grad även en rumslig omstrukturering av energiproduktionen (Bridge et al, 2013; Sijmons, 2014; Hubert & McCarthy, 2017). Under kommande decennier kommer det att krävas en kraftig utbyggnad av infrastruktur för produktion, konstruktion, transmission, lagring och underhåll av förnyelsebara produktionsanläggningar. Förnyelsebara energikällor är i regel mer utspridda och i större utsträckning förlagda ovan jord, jämfört med fossila bränslen. Därför kommer sannolikt större landytor att krävas för en mer förnyelsebar energiproduktion (Scheidel & Sorman, 2012; Sijmons, 2014; Hubert & McCarthy, 2017; Picchi et al, 2019). Solenergi och vindkraft är de två förnyelsebara energislag som har störst produktionspotential i relation till sitt ytanspråk (Hubert & McCarthy, 2017; Capellano-Pérez et al, 2017) och de antas därför utgöra viktiga källor i framtidens energisystem.

1.1.1 Den svenska energiomställningen

Svensk energipolitik och strategisk utveckling av energisystemet styrs av övergripande europeiska målsättningar om netto-noll koldioxidutsläpp till år 2045. Som ett steg i att förverkliga dessa mål har majoriteten av de svenska riksdagspartierna enats om delmålet *100 % förnyelsebar elproduktion till 2040* (Energimyndigheten, 2018; Energimyndigheten, 2019; Naturvårdsverket, 2021). Tack vare goda förutsättningar för vattenkraft har den svenska energi- och elproduktionen traditionellt dominerats av förnyelsebara energislag. Sedan 2006 har även vindkraften kommit att utgöra en allt större del av den svenska energimixen, och idag står den för 17 % av all producerad elektricitet i landet (Ek et al, 2013; SCB, 2021a; SCB, 2021b). Även solenergi blir allt vanligare som energislag, men även om den svenska solenergiproduktionen har vuxit explosionsartat sedan 2011 utgör idag fortfarande bara runt 1 % av den totala elproduktionen (SCB, 2021b).

Trots Sveriges höga andel förnyelsebara energiproduktion kommer omställningen av energiproduktionen innebära en omfattande omstrukturering av även det svenska energisystemet. Innan år 2045 kommer i princip hela det svenska beståndet av energiinfrastruktur att ha uppnått sin förväntade livslängd och således behöva ersättas. För vindkraftssektorn innebär detta att samtliga av de drygt 4300 vindkraftverk som var uppförda i slutet av år 2021 kommer behöva nedmonteras (Energimyndigheten, 2021c). Dessutom ska den svenska kärnkraftsproduktionen antingen fasas ut eller förnyas, samtidigt som tillstånden för i princip all befintlig vattenkraft ska omprövas efter modern miljölågstiftning (Energimyndigheten, 2021c; Regeringsbeslut M2019/01769). Detta generationsskifte av infrastrukturen förväntas sammanfalla med en kraftig ökad efterfrågan på elektricitet, till följd av transport- och industrisektorn omställning från fossila bränslen (Energimyndigheten, 2018; 2021b). Inom en snar framtid kommer det alltså inte bara behövas en omställning av den

svenska fossila energisektorn, utan även omfattande nyetableringar och ombyggnationer inom den förnyelsebara sektorn. Det är en omställning som kommer att ta markyta och landskap i anspråk.

I Sverige finns redan idag stora konflikter rörande markanvändning, inte minst i relation till etablering av vindkraft (Darpö, 2020b; 2020a). I norra Sverige står konflikten mellan å ena sidan exploaterande aktiviteter, som skogsbruk och energiframställning, och å andra sidan bevarande av värdefulla naturmiljöer och traditionella näringar, inte minst renskötsel (Svensson et al, 2020). I södra Sverige är konflikten mellan å ena sidan expansion av urbana områden och etablering av energiproduktion, och å andra sidan bevarande av nationellt viktig jordbruksmark (Ljungström & Svensson, 2021). Samtidigt råder det en brist på studier som på nationell nivå undersöker vindkraften och solenergens aggregerade påverkan på den svenska markanvändningen (Energimyndigheten, 2021a). Detta skapar spänningar mellan å ena sidan kommunala och regionala markanvändningsintressen och å andra sidan nationella mål för energiproduktion, och lokal skepsis mot etablering av storskalig energiinfrastruktur växer runtom i landet (Darpö, 2020a; 2020b).

Under de senaste decennierna har principer för utformning av *hållbara förnyelsebara energilandskap* börjat utvecklas, framför allt inom landskapsarkitekturen (se exempelvis Stremke, 2010; Sijmons, 2014; Pasqualetti & Stremke, 2018; Picchi et al, 2019). I dagsläget finns det dock få studier som undersöker hur sådana principer kan tillämpas i en svensk kontext, för att gynna en hållbar omställning till förnyelsebar energiproduktion. En ekologiskt och socialt hållbar omställning av energiproduktionen kräver att avvägningar mellan nationella och lokala intressen gällande markanvändning präglas av transparens och tydlighet, både vad det gäller påverkan på miljö och kulturella värden (Darpö, 2020a). För att undvika att omställningen resulterar i nya ohållbara strukturer finns därför ett behov av att förstå de sociala och ekologiska konsekvenserna av svensk förnyelsebar energiproduktion. Vidare måste en sådan förståelse vara förankrad i de specifika landskap där produktionen sker och kommer att ske (se Stremke & Koh, 2010; Selman, 2012). Ett sådant landskapsintegrerat perspektiv är avgörande för att omställningen mot en mer klimatmässigt hållbar energiproduktion också ska bli ekologiskt och socialt hållbart.

1.2 Syfte och frågeställning

Uppsatsens syfte är att bidra till en fördjupad förståelse för konsekvenserna av den svenska energiomställningen ur ett landskapsperspektiv. Utifrån principer om *hållbara förnyelsebara energilandskap* kopplas solenergin och vindkraftens markanspråk samman med påverkan på lokala landskap. Detta görs genom tre huvudsakliga metoder: kartläggning av solenergin och vindkraftens samtida markanspråk, utformning av exemplifierande scenarier över möjliga framtida energilandskap samt kvalitativ analys över respektive energislags påverkan på hållbar utveckling av landskap. Följande frågeställningar besvaras:

1. Hur har etableringen av storskalig solenergi- och landbaserad vindkraftsproduktion påverkat svensk markanvändning?
2. Hur kan framtidens energilandskap komma att se ut i Stockholms län?
3. Hur kan såväl samtida som framtida förnyelsebara energiproduktion förstås utifrån principer för *hållbara förnyelsebara energilandskap*?

1.3 Avgränsning

Arbetet syftar till att undersöka samtida och framtida svenska energilandskap utifrån förändrad markanvändning, ekosystemtjänster och principer för hållbar landskapsplanering. Uppsatsen omfattar således varken takburna solceller eller havsbaserad vindkraft, då de i strikt mening inte har något markanspråk. Den förändrade markanvändningen kartläggs baserat på Naturvårdsverkets (2014) data-set *Svensk marktäckedata* (MTD), vilket består av markanvändningsdata insamlad med satellit mellan år 1999 och år 2001. Även om detta data-set inte utgör en verklig baslinje för svensk markanvändning innan introduktionen av modern solenergi- och vindkraftsproduktion anses det vara en godtagbar referenspunkt för uppsatsen, då inga solcellsparker och endast omkring 500 vindkraftverk uppfördes innan år 2001 (SCB, 2022).

Eftersom kraftledningar i regel inte inkluderas i miljökonsekvensbeskrivningar för solcellsparker och vindkraftverk är inte heller deras markanspråk inkluderat i analyserna, med hänsyn till uppsatsens omfattning. Kartläggningen av energiproduktionens markanspråk är vidare begränsad till driftskedet och de stadier som rör *extrahering* och *framställning* av energi (se Pasqualetti & Stremke, 2018:98). Det markanspråk som krävs för råvaror och produktion av infrastruktur beaktas alltså inte i den här uppsatsen. Slutsatser som dras om den svenska solenergin och vindkraftens markanspråk måste därför förstås som gällande för endast en del av energiproduktionens totala markanspråk ur ett livscykelperspektiv (se Schiedel & Sorman, 2012; Roos 2021). På liknande sätt utgör de energinivåer som uppsatsen utgår från endast efterfrågan på *elektricitet*, vilket utgör endast en tredjedel av Sveriges totala energibehov (SCB, 2022). Därför måste de slutsatser som dras också förstås som gällande för enbart en andel av den totala landyta som tas i anspråk för att tillgodose det svenska energibehovet.

Scenarierna för framtida regional sol- och vindkraftsproduktion är baserade på Energimyndighetens (2019; 2021a; 2021b) projektioner för framtida nationellt behov av elektricitet. Med hänsyn till uppsatsens omfattning har Stockholms län valts ut som en exemplifierande region, mot bakgrund av dess höga befolkningstäthet, höga energi- och elektricitetsbehov och låga samtida produktionsnivåer (Energimyndigheten, 2021b; SCB, 2021). Stockholms län är idag den region som har den högsta elektricitetskonsumtionen i landet, samtidigt som framtida produktion av vindkraft förväntas bli bland de lägsta (Energimyndigheten, 2021a, SCB, 2021). Således utgör Stockholms framtida energilandskap en intressant utgångspunkt utifrån principer om lokal förankring av försörjning och vidare om hållbara förnyelsebara energilandskap.

1.4 Uppsatsens disposition

Uppsatsen utgörs av sju avsnitt, inklusive detta inledande avsnitt. Avsnitt 2 består av en redogörelse för bakgrunden till den svenska solenergin och vindkraftens utveckling, samt ett urval av strategiska dokument från Energimyndigheten. Därefter följer ett avsnitt (3) som redogör för tidigare forskning på hållbara landskap och förnyelsebara energilandskap inom disciplinen landskapsarkitektur. I samma avsnitt redogörs även för uppsatsens teoretiska ramverk. I efterföljande avsnitt (4) beskrivs uppsatsens metod. I avsnitt 5 sammanfattas och analyseras uppsatsens resultat, för att sedan diskuteras i avsnitt 6. I det avslutande avsnittet (7) sammanfattas uppsatsens slutsatser och behovet av framtida forskning inom fältet diskuteras. Därefter följer bilagor.

2. Bakgrund

Avsnittet presenterar bakgrunden till utvecklingen av solenergi och vindkraft, såväl ur internationell som svensk kontext. Avslutningsvis sammanfattas en rad rapporter från Energimyndigheten (2018; 2019; 2021a; 2021b), vilka är av betydelse för den svenska solenergin och vindkraftens utveckling.

2.1 Från lokalt decentraliserat till storskaligt centraliserat

Historiskt har samhällets energiförbrukning och landskapets fysiska utformning stått i nära förbindelse. Energi krävs för att omforma landskapet och landskapet omformas vid energiutvinning. Samtidigt avgör tillgången på energi både form på och rumslig fördelning av samhällsfunktioner, inte minst transportnätverk (Bridge et al, 2013; Sijmons, 2014). Sedan slutet av 1700-talet har en allt större del av den globala energiproduktion kommit från fossila bränslen, vilket format det globala ekonomiska systemet såväl som lokala landskap världen över (Bridge et al, 2013; Sijmons, 2014; Huber & McCarthy, 2017). Tillgången på fossila bränslen, i kombination med bränslenas fysiska och rumsliga egenskaper, har möjliggjort en separation mellan platser för produktion och konsumtion. Fossila bränslen, liksom bioenergi, utgörs av så kallade *primära* energikällor, vilka kan extraheras och direkt omvandlas till energi genom förbränning. Dessutom har de fossila bränslena historiskt varit koncentrerade i underjordiska lager samtidigt som de varit relativt enkla att förflytta (Bridge et al, 2013).

Under 1970- och 1980-talet i centrala och norra Europa inleddes ett skifte bort från en fossilt dominerad energiproduktion (Roos, 2021). En mängd globala drivkrafter, såsom geo-politisk instabilitet, omfattande oljekris, upprättandet av internationella klimatavtal och växande folklig opinion mot kärnkraft, gjorde att många staters intresse för förnyelsebara energikällor ökade (Nadai & van der Horst, 2010; Frantál et al, 2014, Sijmons, 2014). I synnerhet solenergi (i form av fotovoltaiska solceller) och vindkraft kom tidigt att betraktas som hållbara och demokratiska alternativ till fossila bränslen (Roos, 2021). Under 1970-talet bestod utbyggnaden av förnyelsebar energiproduktion främst av vindkraft, och den drevs av småskaliga och decentraliserade initiativ, i synnerhet i Danmark och Tyskland. När den europeiska utbyggnaden av vindkraft under 2000-talet blev allt mer omfattande, bland annat till följd av statliga subventioner, började större aktörer att etablera sig på marknaden. Samtidigt började vindkraften möta på lokalt motstånd och ifrågasättas ur hållbarhetssynpunkt (Nadai & van der Horst, 2010; Frantál et al, 2014; Anshelm & Simon, 2016). Å ena sidan fanns statliga och strategiska viljor att minska oljeberoende och möta globala klimatpolitiska avtal, och å andra sidan fanns lokala viljor till självbestämmande och bevarande av landskap (Nadai & van der Horst, 2010; Lauf et al, 2019). I jämförelse med fossila bränslen är förnyelsebara energikällor mer invävda i landskapet, svårare att lagra och förflytta och kräver annan typ av infrastruktur för att omvandlas till användbar form (Sijmons, 2014; Picchi et al, 2019). De förnyelsebara energikällorna är också mer utspridda och har en lägre *energidensitet*, alltså lägre produktionskapacitet per kvadratmeter, samtidigt som de i högre utsträckning utvinns ovan mark (Scheidel & Sorman, 2012; Capellán-Pérez et al, 2017; Pasqualetti & Stremke, 2018).

Sammantaget innebär detta att förnyelsebar energiproduktion tenderar att ha större och mer utspridda markanspråk i relation till fossila källor, och en annan typ av påverkan på de landskap där de utvinns (Huber & McCarthy, 2017). Således började det under 2000-talet att uppstå konflikter kring utbyggnaden av vindkraft.

I början av 2000-talet utgjorde solceller, i relation till vindkraften, en dyr teknologi, vilket länge begränsade dess utbyggnad till mindre decentraliserade anläggningar. Mellan år 2000 och 2018 skedde dock en kraftig prissänkning, i samband att allt större del av produktionen koncentrerades i Kina. Kinas, i relation till Europas, svaga miljölagstiftning och billiga arbetskraft har möjliggjort kraftigt sänkta priser på teknologin, vilket gjort solceller tillgängliga för fler aktörer (Roos, 2021). Till följd av den ökade tillgängligheten har det idag börjat växa fram stora solcellsparkar runt om i världen, initierade av större aktörer, inte minst i Tyskland, Kina och sol-utsatta områden i globala syd (Roddis et al, 2020; Roos, 2021). Forskning på lokal acceptans för solcellsparkar har hittills varit begränsad, men internationella studier visar på tendenser mot en framväxt av liknande konflikter som de rörande etablering av vindkraft (Scognamiglio, 2016; Roos, 2021; van de Ven et al, 2021). Det begynnande motståndet mot solceller under de senaste åren har framför allt berört markburna solcellsparkar. I likhet med motståndet mot vindkraft är protesterna relaterat till parkernas markanspråk och lokal oro för att förändrade landskap ska få negativa konsekvenser, inte minst för biologisk mångfald (Roddis et al, 2020; Oudes & Stremke, 2021).

Sammanfattningsvis har utbyggnaden av solenergi- och vindkraftsproduktion i centrala och norra Europa hittills präglats av en utveckling från småskalig och decentraliserad produktion mot mer storskalig och centraliserad. Den tidiga moderna utbyggnaden som skedde under 1970- och 1980-talet var småskalig och starkt förknippad med hållbarhet, medan den utbyggnad som skett sedan millennieskiftet kommit att koncentreras hos ett färre antal stora kommersiella aktörer. Samtidigt har utbyggnadstakten ökat kraftigt på många platser runtom i världen, och solcellsparkernas och vindkraftverkens mer påtagliga närvaro i landskapen har förändrat synen på teknologierna som självklart hållbara. Idag, liksom under 70- och 80-talet, befinner sig världen återigen i ett läge av förhöjd geopolitisk osäkerhet, vilket påverkar internationell handel med energi. Samtidigt blir effekterna av global uppvärmning allt mer påtagliga (IPCC, 2021). Även om den globala energisektorns framtid är oviss kommer utbyggnadstakten för solenergi och vindkraft sannolikt att vara fortsatt hög, med ökat markanspråk och lokalt motstånd som möjliga konsekvenser.

2.1.1 Solenergi och vindkraft i Sverige

Den svenska utbyggnaden av solenergi- och vindkraftsproduktion följer i stort samma mönster som i andra delar av Europa. Liksom i länder som Tyskland och Danmark utgjordes den tidiga svenska utbyggnaden av förnyelsebar energiproduktion främst av decentraliserad vindkraft (Ek et al, 2013; Anshelm & Simons, 2016). Efter 1980 års folkomröstning om kärnkraft, och efterföljande beslut om utfasning, gjordes en rad statliga utredningar i syfte att gynna utbyggnaden av vindkraft. I Sverige har vindkraft strategiskt prioriterats högre än solenergin, främst mot bakgrund av nationellt sett bättre förhållanden för vind än, men även kostnadsmässiga fördelar (Siyal et al, 2015; Anshelm & Simons, 2016; Capéllan-Pérez et al,

2017). Utbyggnaden tog dock verklig fart först efter att statliga vindkraftssubventioner i form av så kallade *gröna certifikat* infördes år 2006 (Anshelm & Simons, 2016). Precis som i många andra europeiska länder har den svenska vindkraften under de senaste decennierna kommit att domineras allt mer av större aktörer. Trots subventioner och en större närvaro av stora aktörer inom sektorn så har den svenska vindkraften en lägre utbyggnadstakt än många andra europeiska länder (Siyal et al, 2015). Idag finns det drygt 4 300 uppförda vindkraftverk i Sverige (Vindbrukskollen, 2021), vilka producerar runt 17 % av den svenska elförbrukningen (SCB, 2021b), alltså 23–25,5 TWh årligen. Elförbrukningen utgör i sin tur runt en tredjedel av Sveriges totala energibehov (SCB, 2022). Merparten av den installerade effekten är placerad i Västernorrlands län och Norrbottens län (se bild 1), och Piteå är den enskilda kommunen med högst vindkraftsproduktion i landet (9 %) (Energimyndigheten, 2021c).

Liksom i andra delar av världen så var den svenska produktionen av solenergi marginell fram till år 2011 (Energimyndigheten, 2021d; SCB, 2022). Sedan priset på solceller sjunkit har den svenska produktionen vuxit explosionsartat, och idag utgör solenergiproduktionen runt 1 % av den totala elproduktionen, det vill säga runt 1,5 TWh årligen. Det finns över 92 300 nätanslutna solcellsanläggningar runtom i landet (Energimyndigheten, 2021d; Svensk Solenergi, 2022), och enligt branschorganisationen Svensk Solenergi (2022) utgörs idag runt 52 % av den installerade effekten av markburna solcellsparker, varav majoriteten är placerade söder om Uppsala (se bild 1).

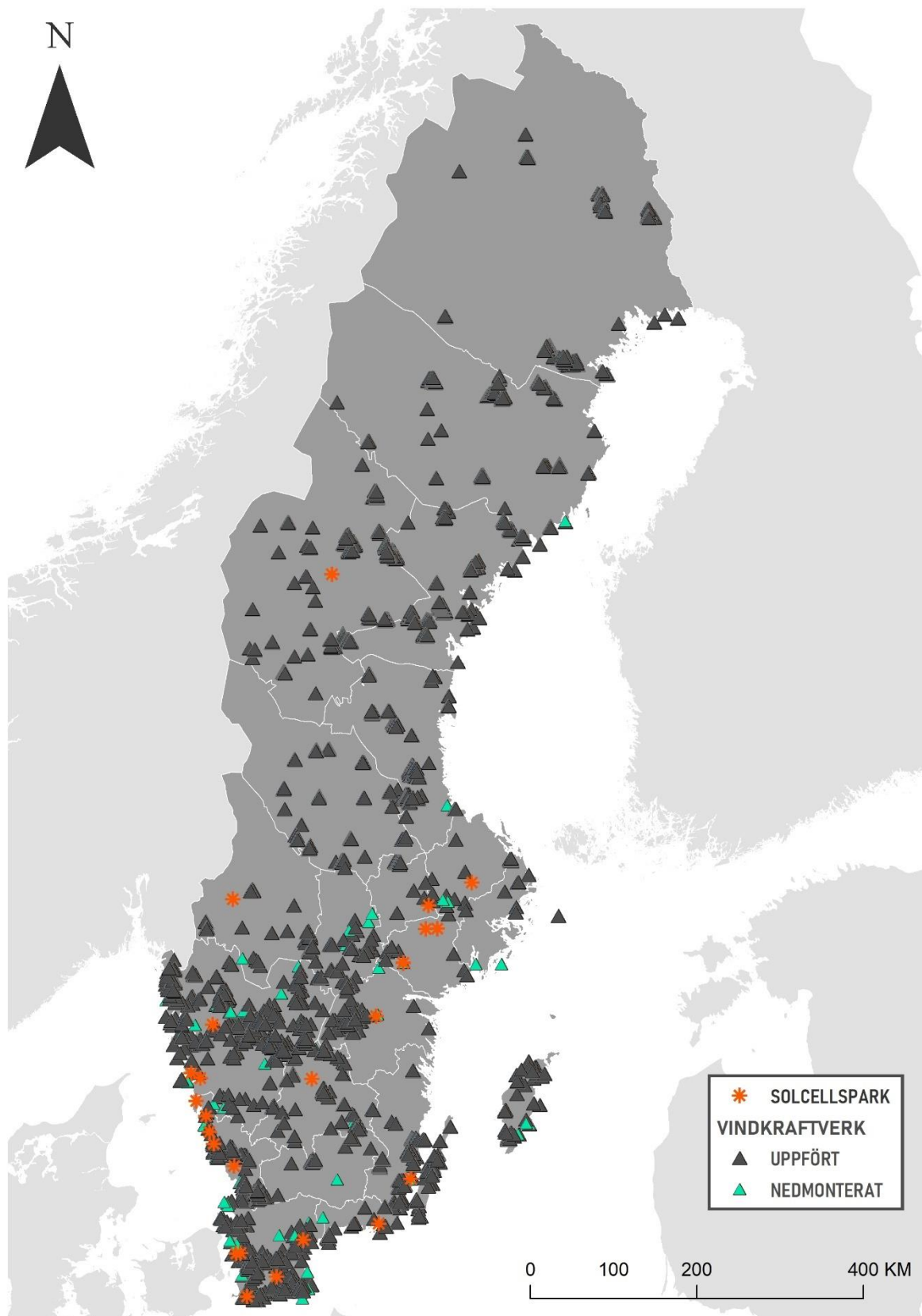


Bild 1: Karta över geografisk fördelning av markburna solcellsparker (≥ 1 MW) samt uppförda och nedmonterade vindkraftverk i Sverige. Skapad med data från Vindbrukskollen (2021) och Svensk solenergi (2021). Bakgrundsbild: Administrativa gränser från Lantmäteriet (2022) och Administrative units från Eurostat (2020).

Under de kommande decennierna förväntas det ske en omfattande utbyggnad av förnyelsebar energiproduktion i Sverige. Idag drivs denna utbyggnad av ett övergripande klimatpolitiskt mål om netto-noll koldioxidutsläpp till år 2045, med ett tillhörande delmål om *100 % förnyelsebar elproduktion till 2040* (Energimyndigheten, 2018; Energimyndigheten, 2020; Naturvårdsverket, 2021). Tillsammans med 16 miljö kvalitetsmål samt mål om energimässig försörjningstrygghet utgör målet om netto-noll koldioxidutsläpp grunden för Sveriges *Mål för energipolitiken*. Energimyndigheten är den svenska myndighet som är ansvarig för förvaltning av det svenska energisystemet, och i deras regeringsuppdrag ingår det att arbeta mot såväl nationella energipolitiska mål som Sveriges miljö- och klimatpolitiska mål (SFS 2014:520).

2.2 Energimyndighetens scenarier för framtiden

Mot bakgrund sitt regeringsuppdrag har Energimyndighetens tagit fram en rad vägledande rapporter gällande omställningen av det svenska energisystemet: *Vägen till ett 100 procent förnybart elsystem* (2018), *100 procent förnybar el; Delrapport 2: Scenarier, vägval och utmaningar* (2019); *Framtidens elektrifierade samhälle- Analys för en hållbar elektrifiering* (2021a) samt; *Nationell strategi för en hållbar vindkraft* (2021b). Dessa rapporter behandlar olika aspekter av omställningen utifrån vad Energimyndigheten anser vara en sannolik utveckling av energiproduktionen och efterfrågan på elektricitet. Till följd av en ökad elektrifiering av industri- och transportsektorn förväntas en allt större andel av Sveriges energibehov bäras av elektricitet. Energimyndigheten (2021a) menar dock att det är svårt att förutspå precisa nivåer för framtidens elektricitetsbehov, mot bakgrund av de senaste årens elektricitetskrävande satsningar från företag som North Volt, LKAB och Facebook. Idag står förbrukningen av elektricitet för runt en tredjedel av Sveriges totala energiförbrukning. Under de senaste 30 åren har elanvändningen legat relativt stabilt på en årsförbrukning på mellan 140 och 150 TWh, inklusive export, varav merparten förbrukats i bostäder och inom servicesektorn (Energimyndigheten, 2019; SCB 2022). Med hänsyn till industrins elektrifiering och klimatpolitiska mål uppskattar myndigheten själva att det nationella behovet av elektricitet uppgå till 234 TWh år 2050. Denna uppskattning är lägre än uppskattningar från andra aktörer inom sektorn, såsom det statliga affärsverket Svenska Kraftnät och branschorganisationen Energiföretagen, vilka båda räknar med en nivå runt 300 TWh redan år 2045 (Energimyndigheten, 2021a).

För att möta framtidens elektricitetsbehov på ett hållbart sätt menar Energimyndigheten (2021a) att Sveriges framtida elproduktion bör innehålla en stor andel vindkraft och vattenkraft, med mindre delar solenergi och kraftvärme från biobränslen. Vid ett elektricitetsbehov på 234 TWh bör framtida nivåer för solenergiproduktion bör ligga runt 11 TWh, vilket Energimyndigheten anser vara en tillräckligt låg nivå för att produktionen helt ska utgöras av takburna paneler (Energimyndigheten 2019; 2021a). I samma scenario uppskattas vindkraftsproduktionen uppgå till 125 TWh årligen, varav 105 TWh landbaserad vindkraft och 20 TWh havsbaserad vindkraft (Energimyndigheten 2021a). Oberoende av exakta nivåer för Sveriges framtida elektricitetsbehov kommer det krävas omfattande nyetablering av infrastruktur, inte minst för vindkraft. Utöver en ren expansion av produktionen kommer dessutom ett stort generationsskifte behöva ske, till följd av att majoriteten av de befintliga

elektricitetsproducerande anläggningarna kommer nå sin förväntade livslängd innan år 2045 (Energimyndigheten, 2018:3,10). Högst sannolikt kommer detta innebära ett ökat ianspråktagande av mark, inte minst i norra Sverige, med risk för konflikter med rådande markanvändning. Faktorer som teknologisk utveckling och geografisk placering förväntas därför bli avgörande för vilken miljömässig och social påverkan som omställningen till en mer elektricitetsburen och förnyelsebar energiproduktion får (Energimyndigheten, 2021a; 2021b).

Till följd av utfasningen av den fossila energiproduktionen och möjlig utfasning av kärnkraft förväntas den svenska elproduktionen även att i högre utsträckning fluktuera över tid, såväl på dygnsbasis som säsongsbasis. För en trygg elförsörjning och balans i systemet krävs en produktion som är jämnt fördelad mellan regioner, såväl som en utbyggnad av infrastruktur för överföring och lagring (Energimyndigheten, 2019). För att möta behovet av en geografiskt jämn fördelning av vindkraften har Energimyndigheten (2021b) tagit fram ett strategiskt förslag över antalet turbiner som behöver uppföras i varje län (se *Framtida förhållanden* i tabell 1). Fördelningen är baserad på elektricitetsbehov, befolkningsmängd och landyta, och utgår från myndighetens egna prognoser för elektricitetsbehov, det vill säga 234 TWh årligen år 2050 (Energimyndigheten, 2021a). I dagsläget är fördelningen mellan produktion och konsumtion av elektricitet ojämnt fördelad mellan de svenska länen, vilket framgår i tabell 1. Storstadsregionerna står för en stor del av konsumtionen, men en låg andel av produktionen, medan i synnerhet de nordsvenska länen producerar mer elektricitet än vad de konsumerar. Till följd av att en del av industrisektorns elektrifieringsprojekt, såsom LKAB:s fossilfria stål och etableringen av batterifabriken North Volt, är placerade i norra Sverige, kan en viss balansering komma att ske i framtiden, till följd av ett ökat elektricitetsbehov i norra Sverige (Energimyndigheten, 2021a). Ett sådant ökat behov skulle dock innebära följdverkningar med stora markanspråk, såväl i form av infrastruktur för överföring och lagring. Utifrån ett markanvändningsperspektiv riskerar detta att utgöra ett problem i framtiden. Energimyndigheten (2021b) uppskattar nämligen att det råder regionala underskott av områden med möjlighet till samexistens mellan vindkraft och existerande aktiviteter, i synnerhet i nordligaste Sverige, men även i landets mest sydliga delar.

Tabell 1: Framtida utbyggnad av vindkraft fördelat på län, baserat på ett elektricitetsbehov på 160 TWh/år och turbiner med en kapacitet på 6 MW. Baserad på data från Energimyndigheten (2021b:22) och SCB (2021a; 2021b).

Län	Samtida förhållanden		Framtida förhållanden	
	Elkonsumtion (TWh) år 2020	Elproduktion (TWh) år 2020	Årsproduktion vindkraft år 2045 (TWh)	Antal turbiner
Stockholms län	19,4	1,5	2	95
Uppsala län	3,1	-	2,5	119
Södermanlands län	3,2	0,3	2	95
Östergötlands län	6,1	1,6	2,5	119
Jönköpings län	4,3	1,5	3	143
Kronobergs län	1,9	0,5	2	95
Kalmar län	3,4	10,1	3	143
Gotlands län	0,9	0,5	1	48
Blekinge län	2,1	0,6	0,5	24
Skåne län	12,5	2,7	2,5	119
Hallands län	4,75 (2019)	19,6	2	95
Västra Götalands län	17,8	5,7	7,5	357
Värmlands län	5,5	4,2	5	238
Örebro län	3,8	1,5	2,5	119
Västmanland län	2,7	0,6	2	95
Dalarnas län	6,1	5,65	7,5	357
Gävleborgs län	5	5,9	7,5	357
Västernorrlands län	9,4	19,2	7,5	357
Jämtlands län	1,75 (2018)	17	7,5	357
Västerbottens län	4,1	17,05	7,5	357
Norrbottnens län	8,3	20	10	476
Riks totalt	126, 35 TWh	159, 8 TWh	87,5 TWh	4 165 turbiner

2.2.1 Områdesskydd, solenergi och vindkraft

Geografisk placering av infrastruktur för energiproduktion utgör en komplex fråga, inte minst ur hållbarhetssynpunkt. Energimyndigheten (2021a) menar att solcellernas främsta miljöpåverkan sker i tillverkningsstadiet, vilken i regel är förlagd utanför Sveriges gränser, och att endast mindre påverkan sker under drift. Således antas solceller utgöra en relativt hållbar teknologi, och således krävs i regel inte att miljökonsekvensbeskrivningar upprättas innan etablering. Internationell forskning pekar på hur etablering av markburna solcellsparker tenderar att ta jordbruksmark i anspråk, då dessa ytor ofta är platta och solutsatta (Scognamiglio, 2016; van de Ven et al, 2021).

I Sverige regleras tillstånd för etablering av storskaliga vindturbiner (på över 120 m) främst av bestämmelser i Miljöbalken. Under de senaste åren har höjden på de svenska turbinerna ökat kraftigt, liksom kapaciteten eller *effekten*, och idag söks främst tillstånd för turbiner med en höjd på minst 200 m och med en effekt på 6 MW (Darpö, 2020a). Valet av geografisk placering begränsas framför allt av krav på hänsyn till skyddsområden samt säkerhetsavstånd till bebyggelse och annan infrastruktur. De huvudsakliga skyddsområdena utgörs av europeiska Natura2000-områden, svenska natur- och kulturresevat och biotopskydd, strandskyddsområden samt Försvarsmaktens stoppområden för vindkraft och hög infrastruktur (Siyal et al, 2015). Utöver dessa mer strikta områdesskydd finns även en rad områden som är utpekade som av intresse för nationellt betydelsefulla aktiviteter. Dessa aktiviteter inkluderar såväl naturskydd, rennärning och friluftsliv som energiproduktion, och inom dessa områden ska verksamhet med negativ påverkan på de nationella intressena förhindras. Olika intresseområden kan överlappa varandra, och inte sällan överlappar områden med höga biologiska värden, både skyddade och icke-skyddade, och områden med goda vindförhållanden, i synnerhet i den svenska fjällkedjan, i skogsområden och längs med kusterna (Siyal et al, 2015; Svensson et al, 2020). Detta innebär i praktiken att avvägningar mellan olika intressen görs vid varje enskild tillståndsprövning för vindkraft (Darpö, 2020b; Svensson et al, 2020). Bestämmelser om säkerhetsavstånd till bostäder och transportinfrastruktur görs främst med hänsyn till störande faktorer som buller och skuggning (Energimyndigheten 2021a), men även mot bakgrund av risk för att lösa delar slungas iväg från turbinerna (Boverket, 2009). Till följd av den skiftesreform som ägde rum under 1800-talet i Sverige så är bebyggelse mer utspridd i landskapen jämfört med i många andra europeiska länder, vilket bidrar till att försvåra placeringen av turbiner (Siyal et al, 2015).

I Sverige finns även ett kommunalt veto som innebär att kommuner kan neka tillstånd för nyetablering eller tillståndsändringar, exempelvis gällande höjd och mängd turbiner, med hänsyn till lokala intressen för markanvändning. Den kommunala veto-rätten är dock begränsad i områden utpekade som nationella intresseområden för energiproduktion (Darpö, 2020a). Jan Darpö, professor emeritus i miljörett vid Uppsala universitet, påvisar i en studie över ansökningar om nyetablering och ändring av tillstånd mellan 2014 och 2018 att de främsta skälen till avslag utgörs av just det kommunala vetot, följt av områdesbestämmelser gällande artskydd samt försvarets stoppområden. Sammantaget innebär de många områdesskydden och bestämmelserna att uppförande av vindkraftverk i Sverige är en relativt komplex fråga, vilket inte sällan ses som en förklaring till den relativt sett långsamma utbyggnadstakten.

3. Tidigare forskning & teoretiskt ramverk

I avsnittet presenteras tidigare forskning relaterat till hållbar utveckling av förnyelsebara energilandskap, främst från fältet landskapsarkitektur. De huvudsakliga koncept som presenteras (*hållbara landskap, förnyelsebara energilandskap och ekosystemtjänster*) fyller även funktionen som uppsatsens teoretiska ramverk och används för fördjupad analys av resultatet i uppsatsens diskussionsavsnitt.

3.1 Förnyelsebara energilandskap

Under 1990-talet bidrog globala drivkrafter för energiomställning och växande motstånd mot utbyggnad av vindkraft till att frågan om *energimedveten* planering av landskap aktualiserades inom landskapsarkitekturen. Frågor rörande utformning av energiproduktion hade dominerats av ingenjörer, och den rumsliga aspekten hade i regel varit begränsad till en abstrakt förståelse av ytbehov för olika energislag (Stremke & Koh, 2010). Landskapsarkitekturens främsta roll vid planering av energiproduktion hade kretsats kring val av växter för biobränsleproduktion och utformning av ”grå” energiinfrastruktur med syfte att minimera estetiskt negativa effekter (Stremke, 2010; Zeunert, 2017). När konflikt uppstod mellan statligt subventionerad vindkraftsutbyggnad och lokalt självbestämmande synliggjordes behovet av mer rumsligt medveten planering, för att värna sociala och ekologiska strukturer i landskapet (Nadai & van der Horst, 2010; Frantál et al, 2014; Anshelm & Simon, 2016; Lauf et al, 2019). Landskapsarkitekturen, både som forskningsfält och praktik, började då intressera sig för den förnyelsebara energiproduktionens påverkan på landskapet, och frågan om hur landskapsarkitektur kan bidra till en mer ekologiskt och socialt *hållbar* omställning av energiproduktionen kom att bli central.

Med inspiration från landskapsekologin kom en hållbar och energimedveten planering att inom landskapsarkitekturen förstås både som att minska samhällets behov av energi och att minska energiutvinningens negativa påverkan på landskapet (Stremke, 2010). Begreppet *energilandskap*, som sedan länge använts inom fältet som fysik och biologisk kemi, började användas inom fältet som ett sätt att förankra energiplaneringen i det specifika landskapet och på så sätt bryta med rådande fokus på abstrakt yta (Scognamiglio, 2016). Begreppet energilandskap syftar traditionellt på ett landskap vars karaktär starkt präglas av energiproduktion (Frantál et al, 2011), exempelvis i form av kolgruvor eller dammar för vattenkraft. Begreppet följer samma logik som landskapskonventionens vanligt förekommande definition av landskap som *ett område, såsom det uppfattas av människor, vars karaktär är resultatet av handling och interaktion mellan naturliga och mänskliga faktorer* (Europeiska landskapskonventionen, citerad i Picchi et al, 2019:241). I relation till förnyelsebar energi har begreppet energilandskap dock kommit att omdefinieras. Energilandskap kan också förstås som ett teoretiskt perspektiv att betrakta landskap utifrån, där landskapets energitillgångar förstås

som ett av många samexisterande lager i landskapet (Frantal et al, 2011; Stremke, citerad i Picchi et al, 2019). Denna förändring av begreppet kan härledas till hur förnyelsebar energiproduktion i högre utsträckning tenderar att vara *supplementär* och utgöras av kompletterande infrastrukturer, jämfört med den koncentrerade och intensiva fossila energiproduktion (Picchi et al, 2019). Solenergin *förnyelsebara energilandskap* syftar således inte bara på hur landskapet omformas i direkt anslutning till solcellen i sig. Begreppet synliggör också hur tillgång på sol formar fördelningen av infrastruktur för produktion, transport, lagring och överföring, och hur detta vidare formar landskapet som helhet (Pasqualetti & Stremke, 2018). Begreppet *förnyelsebara energilandskap* möjliggör därmed en mer integrerad förståelse av effekterna av förnyelsebar energiproduktion som innefattar såväl mer tekniska ingenjörsperspektiv som förståelse för landskaps specifika egenskaper, och hur de samverkar med ekologiska- och kulturella värden (Sijmons, 2014; Scognamiglio, 2016).

3.1.1 Typologi för energilandskap

Olika typer av energiproduktion påverkar landskap olika, såväl socialt som rumsligt, och genererar således olika typer av energilandskap. Pasqualetti och Stremke (2018) har utvecklat en typologi för att kartlägga och beskriva olika energislags egenskaper utifrån hur de påverkar landskap. De utgår från tre kvalifikationer:

1. en *innehållsmässig kvalifikation* där energislagen placerar in sig på en skala av låg till hög energidensitet.
2. en *rumslig kvalifikation* över graden av dominans i landskapet, där energislagen placerar in sig på en skala från komponent till entitet.
3. en *tidsmässig kvalifikation*, där energislagen placeras på en skala från dynamisk till permanent, i relation till möjligheten för återställning efter att energiproduktionen upphört.

Som tidigare konstaterats utgör solcellsparker och vindkraftverk i en svensk kontext relativt högproducerande förnyelsebara energislag. Givet att energiproduktion är en nödvändig del av en samhällsstruktur kan således solenergin och vindkraften förstås som fördelaktiga i relation till många andra förnyelsebara energislag, då de kräver mindre yta. Solceller anses vara det förnyelsebara energislag som, sett till produktionsstadiet, har högst *energidensitet*, vilken dock varierar med placering utifrån skuggning, riktning mot solen samt breddgrader och vinkel på solinstrålning (Capellano-Pérez et al, 2017). I en svensk kontext får solcellsparker en lägre energidensitet ju längre norrut de placeras. På liknande sätt har vindkraften en högre energidensitet i områden med goda vindförhållanden (Energimyndigheten, 2021a; 2021b). Solenergin och vindkraftens energidensitet är alltså en fråga om landskapsspecifik placering, där mer optimala placeringar resulterar i en högre energidensitet och således också ett lägre markanspråk (ibid.).

Vad Pasqualetti och Stremke (2018) definierar som energislagens rumsliga kvalifikationer är relaterat till Sijmons (2014) kategorisering av energiproduktions markanspråk i *absolut-* och *funktionellt markanspråk*. Sijmons (2014) förstår den yta som ligger i direkt anslutning till den energiproducerande infrastrukturen och i princip totalt ockuperas av den som det *absoluta markanspråket*. Den yta som krävs för energislagens funktion (exempelvis avståndet mellan

vindkraftsturbinerna) men som inte direkt upptas av infrastrukturen kan definieras som dess *funktionella markanspråk*. Energislagens rumsliga kvalifikationer är avgörande för möjligheten till samexistens mellan energiproduktion och andra aktiviteter eller ekosystemtjänster i landskapet. Då markburna solceller placeras koncentrerat i täta rader, och kräver öppna och platta ytor med relativt låg växtlighet (Scognamiglio, 2016; van de Ven et al, 2021), blir de relativt dominerande på de platser där de etableras. Enligt Pasqualetti och Stremkes typologi kan solcellsparkernas sägas utgöra *entiteter* i landskapet, med en koncentrerad men relativt utträngande effekt, även om viss möjlighet till odling, betande djur eller koldioxidinlagrande aktiviteter fortfarande finns. Utifrån Sijmons (2014) begrepp kan solcellsparkerna därför sägas ha enbart ett absolut markanspråk.

I motsats till solcellsparken kan vindkraftsparken sägas utgöras av *komponenter* i landskapet, med en låg grad av påverkan mellan turbinerna och goda möjligheter till kombinerad markanvändning. Utifrån detta perspektiv kan vindkraftens funktionella markanspråk definieras, det vill säga den buffertyta som krävs kring en turbin eller en vindkraftspark för dess funktion, men där markanvändningen inte påverkas så kraftigt (se Sijmons, 2014). Om varje turbin istället förstås som en energiproducerande enhet kan även de förstås som entiteter i landskapet, med kraftig och koncentrerad påverkan. Utifrån varje enskild turbin kan alltså även ett absolut markanspråk för vindkraften definieras. Förståelsen av energiinfrastrukturens rumsliga kvalifikationer är alltså inte bara en fråga om utformning utan också om skala för analys. I syfte att förstå energiproduktionens påverkan på landskapet är en förståelse utifrån flera skalor, det vill säga utifrån såväl absolut som funktionellt markanspråk, viktigt.

Energiinfrastrukturens permanens, det som Pasqualetti och Stremke (2018) kallar för tidsmässiga kvalifikationer, är också avgörande för vilken påverkan energiproduktionen får på landskapet. Solceller är utformade i moduler, vilket innebär att de utgörs av enheter som placeras "ovanpå" marken. Därmed finns goda förutsättningar för återupptagande av tidigare markanvändning efter avslutad produktion. Solcellspanelerna i sig kan således utgöra en *dynamisk* infrastruktur. Inom vindkraftens absoluta markanspråk kan turbinerna temporära egenskap definieras som *permanent*, då det absoluta markanspråket till stor del utgörs av hårdlagda ytor. I dag är det praxis att lämna kvar betongfundamenten i marken efter att turbinerna monterats ner, på grund av de höga kostnader och risk för omfattande miljöpåverkan (Energimyndigheten, 2016). Efter avveckling av vindkraftsproduktion finns därför begränsade möjligheter att återuppta tidigare markanvändning, inte minst gällande jordbruksmark (Ljungström & Svensson, 2021). Gemensamt för såväl solenergiproduktion som vindkraftsproduktion är också att de kräver kompletterande infrastruktur, såsom vägar för etablering och underhåll samt dragning av kraftledningar. Dessa kompletterande strukturer tenderar att även de ha relativt permanenta egenskaper med långtgående inverkan på markanvändning. Då solcellsparken utgörs av moduler är de flexibla i sin placering vilket begränsar behovet av kompletterande infrastruktur i anslutning till parkerna (Sijmon, 2014; Roos, 2021; van de Ven et al, 2021).

3.2 Hållbar landskapsplanering

Idag kan i princip all strategisk planering sägas vara präglad av ett *hållbarhetsparadigm*, där idén om att skapa över tid oändligt hållbara och ständigt bättre samhällssystem utgör den centrala målsättningen (Wu, 2013). Begreppet *hållbar utveckling* fick sin samtida status i samband med utgivningen av rapporten *Vår gemensamma framtid* av den så kallade Brundtlandkommissionen år 1987. I rapporten definieras begreppet som en samhällelig utveckling som “(...) säkerställer att den tillfredsställer dagens behov utan att äventyra kommande generationers möjligheter att tillfredsställa sina behov” (Världskommissionen för miljö och utveckling, 1987:16). Rapportens definition har legat till grund för den idag vanligt förekommande definitionen av hållbar utveckling som en långsiktigt bärkraftig ekologisk-, social och ekonomisk utveckling (Du Pisani, 2006). I relation till såväl andra forskningsfält som andra planeringspraktiker var landskapsarkitekturen sen med att anamma hållbarhetsbegreppet (Benson & Roe, 2001). Landskapsarkitekturen, framför allt som praktik, har traditionellt utgått från principer om ekologiskt och socialt välbefinnande, och således uppfattade begreppet under en period som något överflödigt (ibid.). En av de teoretiker som under de senaste decennierna trots detta har bidragit till att etablera hållbarhetsbegreppet inom landskapsarkitekturen är den brittiska teoretikern Paul Selman. I sina teorier om *hållbar landskapsplanering* sammanför Selman (2012) hållbarhetsbegreppet med ett landskapsperspektiv och definierar hållbara landskap främst utifrån underkategorierna *ekologisk hållbarhet* och *social hållbarhet*. Selman (2012) menar att ett ekologiskt hållbart landskap är ett självreglerande landskap med hög mångfald och med en godtagbar nivå av risk, och att ett socialt hållbart landskap är ett landskap med en rättvis fördelning av risker och kvaliteter. I Selmans förståelse av hållbarhet är den ekonomiska dimensionen inkorporerad i den sociala, och ska förstås utifrån försörjningstrygghet på regional skala.

Genom att sammanföra landskapsperspektivet och hållbarhetsbegreppet så tillför Selman (2012) en platsmässig dimension till förståelsen av hållbar utveckling. Han menar att den samtida utvecklingen av landskap präglas av en ökad fränkoppling mellan människa och natur, stad och landsbygd, ekonomisk aktivitet och extrahering och av en intern fragmentering av habitat och ekosystem. I likhet med andra teoretiker (se exempelvis Bridge et al, 2013; Scognamiglio, 2016) förstår Selman (2012) fränkopplingen som relaterad till globala försörjningskedjor, vilka gjort samhällen beroende av en tillförsel av resurser från externa landskap, snarare än lokal produktion. Denna fränkoppling anser han skapar mono-funktionella och mindre hållbara landskap som på sikt blir mer sårbara och förlorar förmågan att lokalt tillhandahålla viktiga resurser och funktioner. En hållbar landskapsplanering bör därför verka för ökad social och materiell koppling till landskapet, genom mer lokala försörjningskedjor, och återkoppling mellan ekologiska och hydrologiska nätverk (ibid.). Selman (2012) menar att eftersom landskap är föränderliga och dynamiska utgörs hållbar utveckling inte av ett bestämt slutmål. Snarare bör ett landskaps hållbarhet förstås utifrån riktningen på dess utveckling, mot fränkoppling eller återkoppling, och om denna utveckling kan antas genererar en förhöjd eller minskad hållbarhet på lång sikt (se även Wu, 2013). För att en sådan värdering av riktningen på utveckling ska vara möjlig krävs både kvalitativ förståelse av specifika landskap och kvantifierbara indikatorer på återkoppling och hållbarhet.

3.3 Ekosystemtjänster i landskapet

Inom strategisk planering har begreppet ekosystemtjänster kommit att bli allt mer vanligen förekommande som verktyg för att kvantifiera förändring av landskap, inte minst i relation till förändrad markanvändning och hållbar utveckling. Ekosystemtjänster kan definieras som ett ekologisk-ekonomiskt begrepp som beskriver de nyttor ekosystemen tillhandahåller människor (de Groot et al, 2010). Begreppets ursprung kan härledas till 1970-talets ökade allmänna intresse för bevarande av biologiska system, vilket i sin tur var ett svar på en ökad folklig förståelse för miljöförstöring under 1960- och 70-talet (Du Pisani, 2006). Under 1990-talet blev konceptet mer vida använt inom forskning som ett försök att värdesätta även oexploaterad natur i en allt mer marknadsfokuserad samhällskontext (de Groot et al, 2010). År 2005 plockades begreppet upp av *Millennium Ecosystem Assessment*, vilket var ett internationellt initiativ som i likhet med FN:s klimatpanel sammanställde forskning över de globala ekosystemens tillstånd. Efter rapportens publicering började begreppet spridas snabbt inom strategisk planering, inte minst eftersom det möjliggjorde en standardisering och jämförelse av nytta mellan olika samhällsutvecklingsprojekt (de Groot et al, 2010). Under de senaste åren har begreppet också kommit att bli allt mer förekommande inom forskning på och planering av förnyelsebara energilandskap (Picchi et al, 2019). I samband med att begreppet etablerades inom planeringsfältet så kom det också att kritiserats, framför allt för sin människocentrerade och ekonomiska utgångspunkt (se Selman, 2012). Trots detta kan begreppet sägas ha bidragit till en förändrad syn på bevarande och restaurering inom samhällsplanering, vilket gjort att bevarande av naturmiljöer och landskap idag oftare betraktas som en förutsättning för utveckling, snarare än en motsättning (de Groot et al, 2010).

Den mest vanligen använda klassificeringen av ekosystemtjänster är den som etablerades 2005 av *Millennium Ecosystem Assessment*, vilken kategoriserar ekosystemens nyttor i de fyra huvudkategorierna *stödjande*, *reglerande*, *försörjande* och *kulturella* ekosystemtjänster (Naturvårdsverket, 2017:11). De stödjande ekosystemtjänsterna kan definieras som de biofysiska strukturer i landskapet som understödjer ekosystemens funktioner och möjliggör tillhandahållandet av de andra tre kategorierna av ekosystemtjänster (de Groot et al, 2010). Dessa utgörs exempelvis av fotosyntes och jordmänsbildning. Reglerande ekosystemtjänster utgörs av strukturer som reglerar ekosystemen, så som pollinering, kolinbindning och vattenrening. I en svensk kontext använder sig Naturvårdsverket (2017) av en omfattande förteckning över svenska ekosystemtjänster i vilken de kopplas till markanvändning. Naturvårdsverkets definition av ekosystemtjänster utgår från en internationell klassificering kallad *Common International Classification of Ecosystem Services* (CICES). Denna använder i huvudsak samma kategorier som *Millennium Ecosystem Assessment*, men betonar det hierarkiska förhållandet mellan tjänsterna, där de stödjande funktionerna förstås som förutsättningar för att andra nyttor ska skapas snarare än direkta nyttor i sig själva. Naturvårdsverket (u.å.b) menar att det i modern samhällsutveckling finns en tendens att prioritera försörjande ekosystemtjänster framför exempelvis stödjande eller kulturella. Detta då de försörjande ekosystemtjänsterna mer tydligt producerar nyttor som kan ha marknadsvärde, men också mer enkelt kan kartläggas utifrån markanvändning. Således krävs en strategisk planering för att skydda de värden som marknaden bortprioriterar (ibid.). I Naturvårdsverkets

(2017) egna förteckning inkluderas därför de stödjande funktionerna, i syfte att uppvärdera dem, men myndigheten betonar att dessa inte genererar nyttor i sig, utan utgör viktiga grundförutsättningar för andra ekosystemtjänster.

3.2.1 Kartläggning av ekosystemtjänster

Även om ekosystemtjänster som begrepp etablerats inom strategisk planering delvis på grund av sin standardiserande funktion så kvarstår idag centrala utmaningar i att kvantifiera kvalitativa och platsbundna värden och att jämföra mellan olika tjänster. För att kunna kartlägga tillgången på ekosystemtjänster i ett landskap krävs tillförlitliga indikatorer på tjänsten, vilket försvåras av de olika tjänsternas olika komplexitet. *Försörjande ekosystemtjänster* kan mer enkelt kartläggas utifrån markanvändning, medan *reglerande* och *stödjande ekosystemtjänster* kräver en mer kvalitativ förståelse av gröna och blåa strukturer i landskapet. *Kulturella ekosystemtjänster* kan i sin tur anses ännu mer komplexa, och kräver i regel lokalt förankrade perspektiv och deltagandeprocesser för att tillförlitligt kartläggas (Picchi et al, 2019). Detta är tydligt i Naturvårdsverkets (2017) ekosystemförteckning, där de försörjande tjänsterna (exempelvis produktion av trä, produktion av livsmedel och tillhandahållande av dricksvatten) och i viss mån reglerande tjänster (pollinering, översvämningsskydd) tydligt kan sammankopplas med olika typer av markanvändning och fysiska strukturer i landskapet. Stödjande- (exempelvis tillhandahållande av biologisk mångfald eller cirkulation av grundämnen) och kulturella tjänster (tillhandahållande av rekreativa friluftsområden eller kulturellt viktiga fjällmiljöer) kan i regel inte kopplas till en specifik typ av markanvändning. Snarare anses det finnas ett "*stort överlapp mellan områden av betydelse för biologisk mångfald och områden av betydelse för ekosystemtjänster*" (Naturvårdsverket, u.å.b) som gör det möjligt att använda områden med hög biologisk mångfald som indikatorer på tillgång på ekosystemtjänster. När områden tilldelas status som skyddsvärde eller på andra sätt betydelsefulla för biologisk mångfald har detta i regel gjorts till följd av empiriska observationer och platsbesök. Därför kan sådana områden förstås som landskaps-förankrade indikatorer på tillgång till ekosystemtjänster i ett landskap. Även om också detta förhållningssätt bör betraktas som en grov förenkling så är det att föredra framför en teori-baserad förståelse som grundar sig i generella principer och inte tar hänsyn till platsspecifika förhållanden eller variationer (de Groot et al, 2010).

Trots att ekosystemtjänster och biologiska värden i hög utsträckning finns i skyddade områden är skydd av specifika områden otillräckligt som enskild åtgärd för att skapa hållbara landskap (Selman, 2012). de Groot et al (2010) menar att försörjande ekosystemtjänster, som energi, material och matförsörjning, i regel kräver att ekosystem åtminstone tillfälligt störs. Samtidigt är dessa tjänster känsliga för överexploatering. Reglerande tjänster däremot, såsom pollinering, luft- och vattenrening, gynnas av mer icke-exploaterad natur. Kulturella ekosystemtjänster utgörs av ett samspel mellan natur och människa, och de växer i regel fram över lång tid. Därför missgynnas de snarare av förändringar än av exploatering, eftersom exploatering i sig kan utgöra en central del av kulturlandskapet (exempelvis i traditionella jordbruksområden). Därför, menar de Groot et al (2010) att det på regional nivå bör finnas en balans mellan exploaterade områden och icke-exploaterade områden om landskapen ska kunna tillhandahålla en mångfald

av viktiga tjänster. Ett vanligt förekommande sätt att teoretisera denna balans är utifrån *avvägningar* [trade-offs] mellan ekosystemtjänster.

3.2.2 Avvägningar mellan ekosystemtjänster

Avvägningar mellan ekosystemtjänster kan definieras som en ökad tillgång på en ekosystemtjänst till följd av minskad tillgång på en annan (Rodríguez et al, citerad i Picchi et al, 2019). Picchi et al (2019) menar att ur ett landskapsplaneringsperspektiv bör avvägningar mellan ekosystemtjänster förstås som resultatet av val mellan olika markanvändningar, förvaltningsalternativ eller scenarier. Avvägningen sker alltså inte enbart i det fysiska landskapet, utan också i den strategiska planeringen, i avvägningen mellan vilka landskapsfunktioner eller ekosystemtjänster som ska prioriteras. På ett liknande sätt betonar Naturvårdsverkets (2017) att det finns ytterligare dimensioner av komplexiteten gällande kartläggning av ekosystemtjänster. De menar att det är skillnad mellan ekosystemens *kapacitet*, deras *potential*, det faktiska *nyttjandet* och det samhällsliga *behovet* av ekosystemtjänster. Därför kan en förståelse av tillgången på ekosystemtjänster, i synnerhet utifrån ett hållbarhetsperspektiv, inte bara ta hänsyn till den nuvarande totala mängd ekosystemtjänster som ett landskap tillhandahåller. Förståelsen måste utgå från det nuvarande nyttjandets påverkan på ekosystemens framtida möjlighet att fortsätta tillhandahålla tjänster, såväl som människors faktiska möjlighet att tillgodogöra sig tjänsterna (ibid.).

Vid en analys av ett landskaps ekosystemtjänster måste därför ekosystemtjänsternas relation till varandra beaktas, såväl som deras geografiska fördelning och den sammantagna betydelsen för en långsiktigt hållbar utveckling av tillgången på ekosystemtjänster. Vidare kan perspektiv på avvägningar och tillgång till ekosystemtjänster i landskapet bidra till förståelse för varför lokalt motstånd mot etablering av förnyelsebar energiinfrastruktur uppstår. I linje med resultat från annan forskning (se t ex Roddis et al, 2020) menar Scognamiglio (2016) att lokal acceptans för nyetablering av förnyelsebar energiproduktion är sammanlänkad med lokal förlust av ekosystemtjänster (se även Picchi et al, 2019). Hon menar alltså att en förutsättning för lokal acceptans för etablering av infrastruktur för energiproduktion är att lokal förlust och ökad tillgång på ekosystemtjänster balanseras på ett sätt som förhindrar att den sammantagna nivån av välfärd i landskapet minskar.

3.4 Hållbar utveckling av förnyelsebara energilandskap

Sammanfattningsvis kan det sägas vara en komplex fråga att värdera hur hållbarheten i ett landskap påverkas när energiproduktion etableras. I den här uppsatsen kommer förändrad markanvändning användas som indikator på påverkan på tillgången på ekosystemtjänster i svenska landskap. Förändringen av tillgången på ekosystemtjänster kan i sin tur ses som en indikator för vilken riktning utvecklingen av landskap tar. Mot bakgrund av den teori som presenterats i detta avsnitt kan *hållbara förnyelsebara energilandskap* således definieras som energilandskap som utvecklas utifrån lokalt tillgängliga förnyelsebara energiresurser utan att det negativt påverkar värdefulla ekosystemtjänster (se även Scognamiglio, 2016). Utifrån detta perspektiv handlar en hållbar utformning av energilandskap om att lokalt öka nyttan, genom att etablera energiproduktion, och samtidigt minimera förlusterna. Konkret görs detta

genom att placeringen av infrastruktur anpassas efter landskapets befintliga strukturer och ekosystemtjänster (Siyal et al, 2015; Scognamiglio, 2016), och genom att se till att de nyttor som genererar kommer till godo lokalt (Darpö, 2020a).

4. Metod

I avsnittet beskrivs uppsatsens metoder för insamling av data och analys, samt arbetets övergripande process. Arbetet bygger på en metodkombination av kvantitativ och kvalitativ metod. Den kvantitativa metoden har utgjorts av en *rumslig analys*, med GIS som verktyg, vilken syftar till att besvara frågeställning 1: *Hur har etableringen av storskalig solenergi- och landbaserad vindkraftsproduktion påverkat svensk markanvändning?* Den rumsliga analysen har utgjorts av en kartläggning av den geografiska fördelningen av solenergi- och vindkraftsproduktion i Sverige, i relation till markanvändning och områden med höga natur- och kulturvärden. Med stöd av resultatet från den rumsliga analysen och värden från Energimyndighetens (2021b) rapport *Nationell strategi för hållbar vindkraft* har sedan scenarier för nationell och regional solenergi och vindkraftsproduktion utformats. Dessa scenarier har syftat till att besvara frågeställning 2: *Hur kan framtidens energilandskap komma att se ut i Stockholms län?* Slutligen har kartläggningen och scenarierna analyseras kvalitativt utifrån uppsatsens teoretiska ramverk, i syfte att besvara frågeställning 3: *Hur kan såväl samtida som framtida förnyelsebara energiproduktion förstås utifrån principer för hållbara förnyelsebara energilandskap?* En kritisk diskussion av resultatet utifrån validitet och reliabilitet återfinns i diskussionsn, i avsnitt 6.4.

För att säkra hög kvalitet i utformning av metod, analys och resultat har följande metodologiska litteratur använts: Denscombes (2018) *Forskningshandboken*; Longley et al:s (2011) *Geographic information systems and sciences*; Heywoods (2011) *An introduction to Geographical Information Systems*; samt Naturvårdsverkets (u.å.a) vägledning *Checklista för GIS-analyser*.

4.1 Rumslig analys

Rumslig analys är en geografisk metod, vanlig inom forskning relaterad till samhällsplanering, som används för att analysera företeelser utifrån lokalisering, utbredning och fördelning på jordytan. Geografiska informationssystem (härefter *GIS*) utgör ett systematiskt verktyg för att genomföra rumsliga analyser, men kräver kompletterande kvalitativ analys för att generera användbara och tillförlitliga resultat. GIS är främst ett kvantitativt verktyg som genererar strukturell förståelse av en eller flera företeelsers geografi, och är därför vissa brister gällande hänsyn till kvalitativa landskapsmässiga värden, som platsspecifika natur- och kulturförhållanden (Gren & Hallin, 2003). Longley et al (2011) beskriver GIS som ett verktyg för att organisera olika typer av *data* utifrån geografisk position, vilket kan ge upphov till ny *information*. För att denna information ska kunna tolkas och generera användbar *kunskap* måste den sammanföras med annan typ av mer kvalitativ information, som etablerad teori eller erfarenhet (Longley et al, 2011; Gren & Hallin, 2003). I den här uppsatsen har resultatet från den kvantitativa GIS-analysen därför sammanförts teoretiska perspektiv på solenergin och vindkraftens mer kvalitativa rumsliga egenskaper (se Sijmons, 2014; Pasqualetti & Stremke, 2018) och teorier om relationen mellan markanvändning och ekosystemtjänster (de Groot et al, 2010; Naturvårdsverket, 2017). Vidare har den kvantitativa kartläggningen kompletterats med

en mer kvalitativ GIS-metod, där multi-kriterie-analys har använts för att skapa scenarier för Stockholms läns framtida energilandskap. Genom att kombinera kvantitativa och kvalitativa metoder har således kunskap genererats som har använts för att besvara uppsatsens frågeställningar och möta dess syfte (se även Denscombe, 2018).

Såväl Longley et al (2011) som Heywood (2011) utgår från att GIS-modeller och kartor utgör förenklingar av verkliga, komplexa platser och fenomen, och att en absolut korrekt representation är omöjlig. Därför understryker de båda teoretikerna vikten av transparens gällande vilket urval, vilka andragande och vilka värden som en GIS-analys bygger på. Som en del av denna transparens krävs tydlighet över kvaliteten på den data som används, i synnerhet utifrån parametrar som korrekthet, precision, felmarginal och partiskhet (Heywood, 2011). I syfte att ha en hög transparens i detta arbete har detaljerade beskrivningar gjorts av varje delmoment i analysen. Processerna är beskrivna i flödesscheman som ligger som bilagor till denna uppsats. Bilaga 1 visar arbetsprocessen i GIS för kartläggningen av solenergin och vindkraftens markanspråk, utifrån marktäckedata från år 2000 (Naturvårdsverket, 2014). Bilaga 2 och 3 visar arbetsprocessen för kartläggning över hur solcellsproduktionens och vindkraftens markanspråk överlappar med områden med höga natur- eller kulturvärden. Bilaga 4 visar hur scenarierna för vindkraftsproduktion i Stockholms län togs fram, med avseende på av turbiner. På grund av bristande informationsunderlag bedömdes det inte som möjligt att ta fram sannolika scenarier för solenergiproduktion i Stockholms län. Därför utgörs scenarierna för framtidens markburna solenergiproduktion av beräkningar på sannolika nivåer för nationell framtida produktion. De olika produktionsnivåerna har visualiserats genom att placeras i Stockholms län, i syfte att ge kontext till ytanspråkets storlek. Dessa visualiseringar bygger dock inte på någon direkt GIS-analys, och därför beskrivs arbetsprocessen enbart i text, i avsnitt 4.3.3.

För att kartlägga solenergin och vindkraftens markanspråk utifrån tidigare markanvändning har följande steg genomförts:

1. en kartläggning av alla markburna solcellsparker med en installerad effekt på 1 MW eller mer, genom manuell digitalisering, utifrån position och geometri.
2. en uppskattning och digitalisering av vindkraftens ytanspråk genom buffert-analys, baserat på information från Vindbrukskollen (2021) miljökonsekvensbeskrivningar (se tabell 2) och Boverkets (2009) riktlinjer.
3. *intersect*-analyser, där solenergin och vindkraftens markanspråk har sammanförts med såväl marktäckedata som med data över områden med höga natur- och kulturvärden, med syfte att ta fram geografiskt överlappande områden.

4.1.1 Kartläggning av solcellsparkernas markanspråk

Solenergiproduktionens markanspråk har digitaliserats baserat på tre huvudsakliga källor: en webbaserad karta från Svensk Solenergi (2021) över alla kända svenska anläggningar med en installerad effekt på minst 210 kW; satellitbilder från Google Maps (2022) samt; satellitbilder från Esri (2022) tillgängliga i *World Imagery* i ArcGIS Pro. Mot bakgrund av uppsatsens begränsade omfång gjordes en avgränsning där enbart markbundna solcellsparker med en installerad effekt på 1 MW eller mer kartlades. Denna avgränsning resulterade i att 32

solcellsparker kartlades. Parkerna är markerade med ungefärliga geografiska positioner i Svensk Solenergis (2021) webbkarta, och dessa punkter har utgjort utgångspunkt för digitaliseringen. Genom att zooma in och leta runt i Google Maps och Esris satellitbilder digitaliserades mer exakta geografiska positioner samt utbredning och geometri. Trots en tidsmärkning på 2022 för bilderna i Google Maps saknades dock såväl hela parker som nyare utbyggnationer, framför allt från senare delen av 2021. Vid uppenbara sådana fall kompletterades satellitbilderna med fotografier från företag och nyhetsartiklar, för att hitta ungefärliga positioner och utbredningar. För de solcellsparker som krävde sådana kompletterande källor har dessa källor angivits i attributtabellerna i geodata-filerna. Upplösningen på Esris satellitbilder är på 1-2 m, beroende på geografiskt område. Således är precisionen i digitaliseringen hög för de parker som kunde lokaliseras genom satellitbilderna, men det finns en viss osäkerhet i data-setet i stort, eftersom det inte har varit möjligt att kontrollera hur väl digitaliseringen stämmer överens med parkernas faktiska positioner och utbredningar.

Energitäthet, sett till installerad effekt (vilken beräknas som $energitäthet = \frac{\text{installerad effekt}}{\text{yta (m}^2\text{)}}$) har beräknats utifrån de digitaliserade solcellsparkerna, vilket gav ett genomsnitt på 77,8 W/m². Eftersom några av anläggningarna fick avvikande hög eller låg täthet, sannolikt till följd av felaktigheter i digitalisering av utbredningen, räknades även medianen ut. Medianen fastställdes till 78,0 W/m², är det värde som använts, tillsammans med statistisk från Svensk Solenergi (2022), för att uppskatta det totala markanspråket för markburna solcellsparker. Vidare användes denna uppskattning för att beräkna hur stor andel av solenergiproduktionens totala markanspråk som faktiskt kartlagts i den rumsliga analysen, uppskattades till runt 12,6 %. Sammanfattningsvis utgörs alltså resultatet över solcellsparkernas markanspråk endast av en mindre del av det totala markanspråket för alla Sveriges markburna solcellsparker. Därför måste de slutsatser som dras gällande solenergis markanspråk förstås indikatorer snarare än som solenergiproduktionens faktiska markanspråk.

4.2.2 Kartläggning av vindkraftens markanspråk

Vindkraftens markanspråk kartlades genom en så kallad *buffert*-analys, vilken baserades på generaliserade mått för turbiners enskilda markanspråk. Turbinernas geografiska position bygger på data från webbkartan *Vindbrukskollen* och inhämtades i slutet på år 2021. Vindbrukskollen är ett webbaserat kartverktyg från Energimyndigheten och Sveriges Länsstyrelser där verksamhetsutövare loggar in och fyller i information om sina nedmonterade, befintliga och planerade vindkraftverk. Länsstyrelserna kan sedan uppdatera information om tillsyn och status i tillståndsprocessen. Enligt Vindbrukskollens (2020) handbok är det varje länsstyrelses ansvar att uppmana de verksamhetsutövare vars tillstånd de handlägger att registrera sin verksamhet i verktyget. Verksamhetsutövare registrerar respektive turbin med precisa geografiska koordinater, i SWEREFF99 TM-format, och således kan precisionen för den geografiska positionen antas vara relativt hög. Däremot finns risk för brister i data-setets täckning, då det är upp till varje enskild verksamhetsutövare att rapportera in sina turbiner. Enligt Energimyndighetens (2021e) egna statistik fanns det 4333 vindkraftverk med status ”uppförd” i slutet på år 2020. I Vindbrukskollens (2021) data-set finns 4372 vindkraftverk som

enligt attributtabellerna är uppförda innan år 2021. Således kan data-setet från Vindbrukskollen antas innehålla för många turbiner med status ”uppförd”, vilket kan bero på antingen på dubbelrapportering av uppförda turbiner eller bristfällig rapportering över vilka turbiner som nedmonterats. Således finns det sannolikt en viss felmarginal i resultatet relaterat till antalet vindkraftverk som inkluderats i analysen.

För att tillskriva respektive turbin en utbredning och ett markanspråk har så kallade *buffert*-operationer utförts. En *buffert*-operation innebär att GIS används för att rita upp sfärer med bestämda mått kring angivna punkter eller linjer, och genererar således en uppskattning av vindkraftens markanspråk. Metoden valdes mot bakgrund av den stora mängden vindkraftverk som omfattas av analysen, vilken gjorde det omöjligt att manuellt digitalisera varje enskild turbins markanspråk på samma sätt som solcellsparkerna kartlagts. På grund av svårigheter att hitta uppdaterade beskrivningar över tekniska standarder för vindkraftsturbiner så fastställdes värdena för *buffert*-analysen genom att sammanställa värden från 18 stycken miljökonsekvensbeskrivningar. Då enskilda länsstyrelser är ansvariga tillståndsmyndigheter för vindkraftverk, och då miljökonsekvensbeskrivningar i regel behöver begäras ut för varje enskilt projekt, baserades urvalet av granskade dokument främst på tillgänglighet. Miljökonsekvensbeskrivningar som kunde hittas online via Googles söktjänst valdes ut, med en strävan efter jämn geografisk fördelning utifrån elområde och en god spridning över tid. Detta semi-strategiska urval gjordes för att ta hänsyn till hur vindkraftens markanspråk varierar med tids-rumslig kontext. De miljökonsekvensbeskrivningar som valdes ut är författade mellan 2010 och 2020 för vindkraftsparker av varierande storlek (9-150 vindkraftverk) från samtliga elområden. För en närmare beskrivning av de granskade dokumenten, se tabell 2.

Tabell 2: Sammanställning av granskade miljökonsekvensbeskrivningar med källhänvisningar.

Elområde	Namn	Antal vindkraftverk	Hämtade mellan 2022-02-16 och 2022-02-18 från
Elområde 1	Lethirova (2011)	65	https://www.yumpu.com/sv/document/read/20116239/miljokonsekvensbeskrivning-o2
	Aldermyrberget (2015)	17	https://docplayer.se/9479355-Vindkraftspark-aldermyrberget-miljokonsekvensbeskrivning.html
	Käymävaara (2019)	58	https://group.vattenfall.com/se/siteassets/sverige/var-verksamhet/vindprojekt/kaymavaara/kaymavaara-mkb-2019.pdf
	Gädträskberget (2018)	6	https://docplayer.se/5439289-Miljokonsekvensbeskrivning-mkb.html
	Markbygdens vindkraftspark etapp 2 (2021)	440	https://docplayer.se/4124541-Markbygdens-vindkraftspark-etapp-2.html
Elområde 2	Hällbergets vindkraftspark (2014)	150	https://www.vasavind.se/files/other/pdf/Bilaga%20C-%20Milj%C3%B6konsekvensbeskrivning.pdf
	Åskälen Vindkraft (2017)	105	https://www.vasavind.se/files/other/pdf/MKB-Askalen-Osterasen_20110406_del%201.pdf
	Fjällboheden (2012)	10	https://docplayer.se/16706162-Miljokonsekvensbeskrivning-gruppstation-for-vindkraftverk-vid-fjallboheden-i-skelleftea-kommun-vasterbottens-lan-2012-12-19.html
	Gubbaberget (2012)	70	http://www.nordiskvindkraft.se/media/52467/2013-07-04_MKB%20Bilaga%201A%20Samrad_del%201.pdf
	Riberget (2011)	19	https://docplayer.se/12565652-Miljokonsekvensbeskrivning.html
Elområde 3	Vindpark Skäckarp (2020)	20	https://srenergy.se/app/uploads/2019/09/Bilaga-C.-TB.pdf
	Skansen (2020)	26	https://www.tekniskaverken.se/siteassets/tekniska-verken/om-oss/verksamheter/vindkraft/tillstandsansokan-skansen/miljokonsekvensbeskrivning-for-
	Tolvmansstegen (2011)	24	https://docplayer.se/9997349-Miljokonsekvensbeskrivning.html
	Brattön Sälelund (2010)	14	https://docplayer.se/13828038-Miljokonsekvensbeskrivning-bratton-salelund-uppforande-av-vindkraftverk-munkedals-kommun-pa-uppdrag-av-rabbalshede-kraft-ab-oktober-2010.html
	Vimmelstorp (2019)	9	https://meetings.hylte.se/welcome-sv/namnder-styrelser/samhallsbyggnadsnamnden/mote-2020-09-22/agenda/mkb-vimmelstorp.pdf?downloadMode=download
Elområde 4	Åby-Alebo och Kärnebo (2012)	69	file://storage-al.slu.se/student/\$/aain0010/Downloads/nanopdf.com_bilaga-c-mkb-del-1-statkraft-sdra-vindkraft-ab.pdf
	Hjulebergs vindkraftspark (2009)	22	https://docplayer.se/15053231-Hjulebergs-vindkraftpark-miljokonsekvensbeskrivning-miljokonsekvensbeskrivningen-samt-bilaga-1.html
	Kila (2020)	9	https://www.enbw.se/media/konzern/docs/energieerzeugung/windpark-kila/samradsunderlag-kila-vindpark.pdf

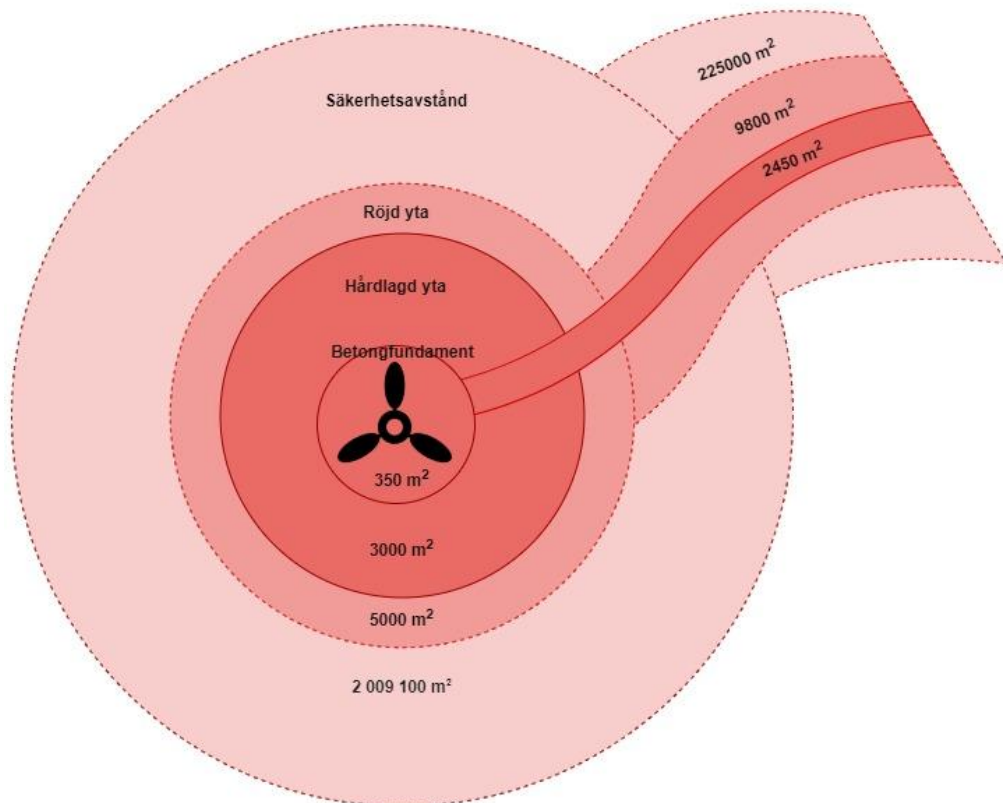
Utifrån informationen från miljökonsekvensbeskrivningarna och *Vindkraftshandboken* (Boverket, 2009) gjordes en uppskattning av ett genomsnittligt värde för turbinernas individuella markanspråk, beräknat på mått för fundament, hårdlagd uppställningsyta, röjd yta kring verken samt ett genomsnitt för yta för nyanlagd väg. På grund av att anläggning av kraftledningar i regel görs utifrån separata miljökonsekvensbeskrivningar, samt svårigheter att definiera ytanspråk för underjordiska kraftledningar, uteslöts kraftledningarnas markanspråk från analysen. Baserat på data från miljökonsekvensbeskrivningarna uppskattades måtten för vindkraftens ytanspråk utifrån två olika metodologiska tillvägagångssätt. För ytanspråk gällande *fundament, hårdlagd uppställningsyta, röjd yta kring verken* samt *bredd på nyanlagda vägar* tillämpades principen om datamättnad. Då måtten för de olika funktionernas ytanspråk visade sig vara relativt lika mellan olika projekt och över tid och rum användes helt enkelt de mest vanligen förekommande måtten. Eftersom samma mått återkom relativt tidigt, och inga

nya värden hittades för dessa ytanspråk, så antogs måtten också vara representativa för alla turbiner. Gällande *längden på nyanlagd väg* per vindkraftverk var beräkningarna i miljökonsekvensbeskrivningarna mer varierande. Det tycktes vara stor skillnad mellan behovet av nyanlagd väg, inte minst mellan projekt i elområde 1 och projekt i elområde 3 och 4. Eftersom urvalet av miljökonsekvensbeskrivningar var relativt litet kunde inte ett tillförlitligt mått fastställas per elområde. Istället beräknades den medianen för de värden på längd som angivits i varje miljökonsekvensbeskrivning, vilket gav 450 m per vindkraftverk. Denna beräkning kontrollerades genom en alternativ metod i GIS, med verktyget *Select by location*. Alla vägar som började inom en radie på 100 m från varje turbin, alltså i nära anslutning till turbinerna, antogs vara en väg anlagd specifikt för etablering och underhåll av vindkraftverket. Markanspråket för vägar baserat på den nationella medianen, och en vägbredd på 20 m, gav ett markanspråk för nyanlagd väg på 46 510 800 m². Beräkningar på markanspråket för nyanlagd väg baserat *Select by location* gav 46 387 906 m². Således kan medianen på 450 m nyanlagd väg per turbin anses relativt tillförlitligt, och det nationella markanspråket för nyanlagd väg för konstruktion och underhåll av vindkraftverk kan antas vara runt 46,5 km². Vid kartläggningen av vindkraftens markanspråk utifrån tidigare markanvändning användes de vägar som valts ut med *Select by location*-verktyget. De värden som använts för buffert-analysen och kartläggningen av vindkraftturbinernas markanspråk är sammanställda i tabell 3 och visualiserats grafiskt i diagram 1.

Tabell 3: Generaliserade värden för ytanspråk för 6 MW vindkraftverk. Baserat på data från Boverket (2009) och inhämtade miljökonsekvensbeskrivningar (se tabell 2).

	Infrastruktur	Ytanspråk
<i>Absolut markanspråk</i>	Fundament	350 m ²
	Uppläggnings- och logistikyta	3 000 m ²
	Total röjd yta runt verk	5 000 m ²
	Nyanlagd väg röjd yta (20 m bred)	9 800 m ²
	Nyanlagd väg hårdlagd yta (5 m bred)	2 450 m ²
	Total röjd yta (varav hårdlagd)	17 800 m ² (5800 m ²)
<i>Funktionellt markanspråk</i>	Säkerhetsavstånd till bostäder (800 m)	2 009 600 m ²
	Säkerhetsavstånd till vägar (250 m)	225 000 m ²
	Totalt funktionellt markanspråk	2 032 100 m ²

Diagram 1: Icke-proportionerlig gestaltning av markanspråket för en vindkraftsturbin. Egen framställning.



4.1.3 Intersect, marktäckedata och områden med höga natur- och kulturvärden

För att analysera vilken typ av tidigare markanvändning som solenergin och vindkraftens samtida markanspråk överlappar med så användes analysverktyget intersect [övers. korsas, korsa varandra]. Två *intersect*-analyser utfördes, och resultatet av de båda presenteras i avsnitt 5. *Resultat & analys*. De analyser som utfördes var:

1. *Intersect* mellan solenergens respektive vindkraftens markanspråk och tidigare markanvändning, baserat på Naturvårdsverkets (2014) marktäckedata från år 2000.
2. *Intersect* mellan solenergens respektive vindkraftens markanspråk och områden som i för denna analys kategoriserats som av höga natur- eller kulturvärden utifrån geodata hämtad främst från Naturvårdsverket (2017; 2020; 2021; 2022) och Skogsstyrelsen (2020).

Den första *intersect*-analysen använde resultatet av kartläggningen över energislagens markanspråk samt marktäckedata från Naturvårdsverket (2014), där energislagens markanspråk sammanfördes med Naturvårdsverkets data-set för att hitta geografiskt överlappande områden. Naturvårdsverkets data-set utgörs av polygoner med olika markanvändningstyper, vilka bygger

på raster över markanvändning som i sin tur bygger på satellitbilder från år 1999–2001. Datan är kategoriserad utifrån markanvändning baserat på en av Naturvårdsverket (2014) omarbetad version av EU:s klassificeringssystem CORINE. I CORINE är markanvändningen kategoriserad i tre nivåer, vilka redovisas i tabell 4. För analyserna i denna uppsats har kategorinivå 1 använts, med följande kategorier av markanvändning: *anlagda ytor; jordbruksmarker; skog; halvnaturlig mark; öppna våtmarker* samt; *vatten*. Eftersom verktyget *intersect* arbetar utifrån geografisk position så utgör precision i geografisk position en central faktor för validiteten i resultatet (Longley et al, 2011). Precisionen solenergin och vindkraftens geografiska positioner har diskuterats tidigare i detta avsnitt, och sammanfattningsvis är precisionen för de båda energislagen hög, men täckningen i data-seten bristfällig. Den geometriska upplösningen för Naturvårdsverkets (2014) marktäckedata varierar med markanvändningstyp. Baserat på principen om att ett data-sets upplösning, och alltså precisionen i analysen, bör definieras utifrån den grövsta upplösningen i data-seten (Naturvårdsverket, u.å.a) kan analysen utifrån marktäckedata sägas ha en precision på 140 m. Därmed finns det sannolikt viss felmarginal i resultatet över mängden yta som tagits i anspråk per marktypskategori. Dock är det möjligt att hävda att datan hämtats från tillförlitliga källor, främst myndigheter, och att således har bästa möjliga data har använts.

Tabell 4: Kategorier för marktäckedata, efter Naturvårdsverkets (2014) kodlista för vektordata. För analyserna i denna uppsats används kategorierna i den vänstra kolumnen.

Marktyp kategorinivå 1	Marktyp kategorinivå 2	Marktyp kategorinivå 3
Anlagda ytor	Stadsstruktur	Tät stadsstruktur
		Gles stadsstruktur
		Orter med mindre än 200 invånare
		Landortsbebyggelse med tomtmark av öppen karaktär
	Industri, handelsenheter, offentlig service, militära förläggningar och transportenheter	Industri, handelsenheter, offentlig service och militära förläggningar
		Väg- och järnvägsnät med kringområden
		Hamnområden
		Flygplats
	Gruvområden, deponier och byggplatser	Mineralextraktionsplatser
		Deponier
		Byggplatser
	Anlagda, ej jordbrukade, bevuxna områden	Urbana grönområden
		Idrotts- och rekreationsområden

<i>Jordbruksmarker</i>	Åkermark	Åkermark
	Permanenta grödor	Frukt- och bärödling
	Betesmarker	Betesmarker
<i>Skogsmark</i>	Skogar	Lövskog
		Barrskog
		Blandskog
<i>Halvnaturlig mark</i>	Busk- och/eller örtartade vegetationstyper	Naturligt gräsbevuxen mark
		Hedmark (utom gräshed)
		Övergångsstadium i skog-/buskmark
	Öppen mark med ingen eller sparsam vegetation	Stränder, sanddynor och sandslätter
		Berg i dagen och blockmark
		Områden med sparsam vegetation
		Brandfält
		Glaciärer och permanenta snöfält
<i>Öppna våtmarker</i>	Sötvattensvåtmarker	Limogena våtmarker
		Myrar
	Saltpåverkade våtmarker	Saltpåverkade våtmarker
<i>Vatten</i>	Inlandsvatten	Vattendrag
		Sjöar och dammar
	Marint vatten	Kustlagun
		Estuarier
	Kusthav och oceaner	

Den andra *intersect*-analysen genomfördes mellan respektive energislags kartlagda markanspråk och områden som i denna analys kategoriserats som av höga natur- och kulturvärden. Dessa områden inkluderades i analysen i syfte att fördjupa förståelsen för vilken inverkan respektive energislags markanspråk har på landskapet, i synnerhet i relation till biologisk mångfald och kulturella värden (se de Groot et al, 2010). Kategoriseringen baserades på data över områden som pekats ut som *Riksintresse för naturvård*; *Naturreservat*; *Natura2000-områden*; *Skogligt- och övrigt biotopskyddsområde*; *Nationalpark*; *Kulturresevat* eller; *Område av riksintresse för friluftsliv* av Naturvårdsverket (2017; 2020; 2021; 2022) och

Skogsstyrelsen (2020). Kategoriseringen av de olika områdena och källa för respektive data-set har redovisas i tabell 5. Då områden med höga naturvärden ofta även utgör kulturellt viktiga områden så är de två kategorierna *Områden med höga naturvärden* och *Områden med höga kulturvärden* både geografiskt och tematiskt överlappande.

Tabell 5: Sammanställning över områdestyper som inkluderas i analysen, kategoriserade efter "naturvärden" respektive "kulturvärden".

Typ av värde	Områdestyp	Källa
<i>Naturvärden</i>	Riksintresse för naturvård	Naturvårdsverket (u.å.)
	Naturreservat	Naturvårdsverket (2022)
	Natura 2000: Fågeldirektivet	Naturvårdsverket (2021)
	Natura 2000: Habitatdirektivet	Naturvårdsverket (2020)
	Skogligt biotopskyddsområde	Skogsstyrelsen (2020)
	Övrigt biotopskyddsområde	Naturvårdsverket (2020).
<i>Kulturvärden</i>	Nationalpark	Naturvårdsverket (2020)
	Kulturresevat	Naturvårdsverket (2020).
	Riksintresse friluftsliv	Naturvårdsverket (2017)

4.1.4 Analys av resultatet utifrån ekosystemtjänster

Resultatet av respektive *intersect*-operation har analyserats utifrån konceptet *ekosystemtjänster*. Detta har gjorts genom att sammanföra resultatet från den rumsliga analysen med Naturvårdsverkets (2017) förteckning över ekosystemtjänster utifrån markanvändningskategorier. Då ekosystemtjänster i regel uppstår till följd av komplexa mönster och samband i landskapet, i synnerhet gällande ekosystemtjänster knutna till biologiska- och kulturella värden (de Groot et al, 2010; Picchi et al, 2019), bör markanvändning förstås som indikatorer på *möjlig* närvaro av vissa typer av ekosystemtjänster i landskapet. Således måste också resultatet över solenergin och vindkraftens överlappande markanspråk förstås som en indikator på påverkan på ekosystemtjänster i landskapen, snarare än absolut säkerställd påverkan.

4.2 Scenarier för Stockholms län

I syfte att förstå riktningen på utvecklingen av Sveriges förnyelsebara energilandskap har scenarier för Stockholms län tagits fram. Dessa scenarier har baserats på värden från resultatet av kartläggningen av solenergin och vindkraftens markanspråk samt Energimyndighetens (2021a;2021b) strategiska dokument. Metoden är val med inspiration från Sijmons (2014) perspektiv på scenarier som verktyg för att fördjupa förståelsen för hur samtida policy-inriktningar kan materialiseras i framtiden, inte minst ur ett rumsligt perspektiv (Sijmons, 2014: 19, 70-85). Metoden innebär att ett eller flera möjliga scenarier konstrueras baserat på värden som extrapoleras utifrån en ram av grundantaganden. På grund av den här uppsatsens begränsade omfattning är mängden grundantaganden som scenarierna bygger på begränsade. Vidare måste scenarier alltid förstås utifrån att framtiden är oviss och att förutsägelser därför präglas av stor osäkerhet (ibid.). De scenarier som tagits fram för Stockholms län kan således inte betraktas som sannolika framtidsscenarioer, utan snarare som försök att skapa en uppfattning om hur rådande inriktning på utvecklingen av förnyelsebara landskap *kan* komma att forma framtida energilandskap. Formulering något annorlunda, med Sijmons (2014) ord, så ska scenarierna förstås som tankeväckande provokationer från framtiden.

I syfte att smälta av och skapa en uppfattning om vad framtidens ökade behov av elektricitet kan komma att få för betydelse för svensk markanvändning har tre scenarier för framtidens solenergi respektive vindkraft tagits fram. För scenarierna har Stockholms län använts som geografisk referens. Ramen för scenarierna utgjordes i huvudsak av projektioner för framtida elbehov och bestämmelser rörande placering av infrastruktur från Energimyndighetens rapporter *Framtidens elektrifierade samhälle* (2021a) och *Nationell strategi för en hållbar vindkraft* (2021b). Energimyndighetens projektioner kompletterades med extrapolering av resultatet från den rumsliga analysen över dagens markanspråk. På grund av olika god tillgång på information kunde scenarierna för solenergi och för vindkraft inte utformas på samma sätt. För vindkraftsscenarioerna innebar underlaget att scenarier för möjlig framtida fördelning av turbiner i Stockholms län kunde utformat genom en *multi-kriterie-analys*. För solenergiproduktionen fattades underlag för att kunna uppskatta framtida produktion på regional nivå. För att undvika allt för grova spekulationer gjordes därför avvägningen att istället göra scenarier för markburna solcellsparkers framtida nationella markanspråk. Detta markanspråk visualiserades sedan som en aggregerad yta, placerad i Stockholms län för att ge ytanspråkets storlek kontext.

4.2.1 Beräkning av framtida behov

Energimyndighetens (2021a) projektion för det nationella behovet av elektricitet år 2045 är 234 TWh. I rapporten *Framtidens elektrifierade samhälle* nämner Energimyndigheten (2021a:13) även två mer extrema projektioner, hämtade från det statliga affärsverket Svenska kraftnät (290 TWh) respektive branschorganisationen Energiföretagen (310 TWh). Dessa tre värden, alltså 234 TWh, 290 TWh och 310 TWh är de värden som scenarierna har baseras på. Värdena för hur stor andel av detta behov som ska utgöras av solenergi respektive vindkraft har baserats på Energimyndigheten (2021a) uppskattning av framtida fördelning mellan energislagen. Scenarierna har utgått från ett grundantagande om att all ökad produktion av elektricitet fördelas

på solenergi och landbaserad vindkraft. Detta antagande baseras på att den ökade elektrifieringen förväntas bäras av främst solenergi, vindkraft och kärnkraft, med bibehållna nivåer för vattenkraften i relation till dagens produktion (Energimyndigheten, 2021a). Mot bakgrund av det osäkra politiska läget för svensk kärnkraft, samt avgränsningarna i denna uppsats, har all ökning av elproduktion fördelats mellan solenergi och vindkraft.

I Energimyndighetens (2018; 2019) rapporter om en 100 % förnyelsebar produktion har myndigheten skissat upp ett flertal scenarier för fördelningen av elproduktionen mellan energislagen. I rapporterna konstaterar Energimyndigheten (2019) att förutsättningar för utbyggnad av vindkraft till havs är goda, men att de i nuläget begränsas av Försvarens intressen såväl som biologiska värden. Mot bakgrund av detta uppskattas den havsbaserade vindkraften i nuläget vara begränsad till en utbyggnad motsvarande en produktion på 20 TWh årligen (Energimyndigheten, 2021b:16). I rapporten *Framtidens elektrifierade samhälle - Analys för en hållbar elektrifiering* (Energimyndigheten, 2021a:36) uppskattar myndigheten att vid ett behov på 234 TWh ska vindkraften bära 125 TWh årligen år 2040, varav 105 TWh då kan antas bestå av landbaserad vindkraft. I samma scenario förväntas solenergiproduktionen uppgå till 11 TWh (Energimyndigheten, 2021a:37). Den totala produktionen från solenergi och vindkraft vid ett behov på 234 TWh beräknas därför utgöra 116 TWh, varav 91 % utgörs av vindkraft och 9 % av solenergi. Det är denna fördelning mellan solenergin och vindkraften som har använts för att beräkna hur ökade produktionsbehov fördelas i varje scenario.

4.2.2 Framtida vindkraft i Stockholms län

Beräkningarna på mängden vindkraft i Stockholms län har utgått från den regionala fördelning av produktion som Energimyndigheten presenterar i sin rapport *Nationell strategi för en hållbar vindkraft* (2021b). För att beräkna mängden vindkraft för varje scenario har en extrapolering gjorts utifrån fördelning av produktion mellan länen, där Stockholms län förväntas bära omkring 2,3 % av den nationella vindkraftsproduktionen. Extrapoleringen redovisas i tabell 6. Energimyndigheten (2021b) baserar sina beräkningar på vindkraftsturbiner med en installerad effekt på 6 MW, med en navdiameter på 210 m, och med en genomsnittlig årsproduktion på runt 0,021 TWh per turbin. Vindkraftverk kräver ett avstånd på 4–6 navdiametrar mellan turbinerna för att förhindra att de försämrar varandras produktion (Boverket, 2020). För framtidsscenarierna har ett generellt mått på 5 navdiameter därför använts, det vill säga 1050 m för turbiner med en effekt på 6 MW (Energimyndigheten, 2021b).

Tabell 6: Produktionsnivåer för vindkraft nationell respektive i Stockholms län för olika scenarier för framtida elektricitetsbehov. Baserad på data från Energimyndigheten, (2021a; 2021b).

Scenario (Totalt elbehov)	Årsproduktion landbaserad vindkraft	Antal turbiner Sverige	Produktion Stockholms län (TWh)	Antal turbiner Stockholm län
Energimyndigheten (234 TWh)	105	4998	2,4	114
Svenska Kraftnät (290 TWh)	155,96	7424	3,56	169
Energibranschen (310 TWh)	174,16	8290	3,98	189

Sannolika ytor för placering av vindkraftverk togs fram genom en så kallad *multi-kriterie-analys* med GIS. Multi-kriterie-analysen utformades med stöd av en liknande analys av Energimyndigheten (2021a). I Energimyndighetens analys kombineras markanvändning och bestämmelser relaterade till *naturvärden, kulturmiljö, försvarsintressen, närhet till infrastruktur* samt *vindförhållanden* för att ta fram mer och mindre lämpliga områden för ny vindkraft. För scenarierna till denna uppsats användes kriterier från samtliga av dessa kategorier, men långt färre parametrar inkluderas mot bakgrund av uppsatsens begränsade omfattning. Energimyndigheten utgår från 76 olika markanvändnings-skikt (Energimyndigheten, 2021a:25), medan den här analysen endast utgår från 20 skikt, vilka är av mer generell karaktär. Urvalet av kriteriet har gjorts med stöd av Energimyndighetens (2020; 2021a) hemsida *Vindförhållanden* samt rapporten *Nationell plan för hållbar vindkraft*, Försvarsmaktens (u.å.) skrivelse *PM-Vägledning för vindkraft* samt Boverkets (2020) vägledning *PBL Kunskapsbanken- En handbok om plan och bygglagen*. För en fullständig redogörelse av parametrarna samt dess teoretiska referenser, se tabell 7.

Tabell 7: Sammanställning över markanvändningsskikt inkluderade multi-kriterie-analys på sannolika områden för vindkraftsetablering i Stockholms län, kategoriserade efter informationskategori.

Kategori	Markanvändningsskikt	Källa geodata	Källa kriterier
Naturvärden	Områden av riksintresse för naturvård	Naturvårdsverket (2015)	Boverket (2020:128–133), Energimyndigheten (2021a:25–27)
	Natura2000-områden	Naturvårdsverket (2015)	Boverket (2020:128–133), Energimyndigheten (2021a:25–27)
	Naturreservat	Lantmäteriet (2022)	Boverket (2020:128–133), Energimyndigheten (2021a:25–27)
	Nationalpark	Naturvårdsverket (2020)	Energimyndigheten (2021a:25–27)
	Strandskydd (100 m)	Lantmäteriet (2022)	Energimyndigheten (2021a:25–27)
	Skogliga- och övriga biotopskyddsområden	Skogsstyrelsen (2020); Naturvårdsverket (2020)	Energimyndigheten (2021a:25–27)
Kulturmiljö	Områden av riksintresse för friluftsliv	Naturvårdsverket (2022)	Boverket (2020:128–133), Energimyndigheten (2021a:25–27)
	Kulturresevat	Naturvårdsverket (2015)	Boverket (2020:128–133), Energimyndigheten (2021a:25–27)
	Områden av riksintresse för rennäringen	Sametinget (2018)	Energimyndigheten (2021a:25–27)
Infrastruktur	Säkerhetsavstånd till vägar (250m)	Lantmäteriet (2022)	Energimyndigheten (2021a:25–27)
	Säkerhetsavstånd till bostäder (800m)	Lantmäteriet (2022)	Energimyndigheten (2021a:25–27)
Försvaret	Riksintresse på land	Försvarmakten (2021)	Försvarmakten (u.å: 5-7), Energimyndigheten (2021a:25-27)
	Område av betydelse på land	Försvarmakten (2021)	Försvarmakten (u.å: 5-7), Energimyndigheten (2021a:25-27)
	Stoppområde för vindkraft	Försvarmakten (2021)	Försvarmakten (u.å: 5-7), Energimyndigheten (2021a:25-27)

	Stoppområde för höga objekt	Försvarsmakten (2021)	Försvarsmakten (u.å: 5-7), Energimyndigheten (2021a:25-27)
	MSA-områden	Försvarsmakten (2021)	Försvarsmakten (u.å: 5-7), Energimyndigheten (2021a:25-27)
	Områden med särskilt behov av hinderfrihet	Försvarsmakten (2021)	Försvarsmakten (u.å: 5-7), Energimyndigheten (2021a:25-27)
	Påverkansområde: civil flygplats	Försvarsmakten (2021)	Försvarsmakten (u.å: 5-7), Energimyndigheten (2021a:25-27)
	Påverkansområde: väderradar	Försvarsmakten (2021)	Försvarsmakten (u.å: 5-7), Energimyndigheten (2021a:25-27)
Vindförhållanden	Områden med vind > 6,5 m/s	Energimyndigheten (2011)	Energimyndigheten (2020; 2021a:25-27)

Multi-kriterie-analysen för vindkraft genomfördes i följande steg:

1. Möjliga områden för placering togs fram genom att kombinera skikt som indikerar olämpliga områden.
2. Kvarvarande områden överlappades med områden med goda vindförhållanden (genomsnittlig vind på mer än 6,5 m/s). Lämpliga områden med god vind valdes ut.
3. Ett rutnät med punkter med ett mellanrum på 1050 m överlappades med de lämpliga områdena med god vind. Punkter som föll inom områdena extraheras.
4. Resultatet "städades" genom punkter som av slump fallit utanför områdena, men som inte var närmare andra punkter än 1050 m, placerades inom områdena.
5. Tre olika mängder av punkter togs fram för att motsvara respektive scenario.

Mängden vindkraftverk som kunde inrymmas på de ytor som kartlades som sannolika beräknas generera en produktion långt över de 2,3 % som Stockholms län förväntas bära. Således fanns en möjlighet att ta bort turbiner som låg längs med länsgränsen, för att förhindra negativ påverkan utanför analysområden. En viss centralisering gjordes också, mot bakgrund av en tanke om att minska behovet av utbyggnad av infrastruktur, i synnerhet vägar och kraftledningar. Därför togs också alla turbiner som placerats enskilt, med långa avstånd till andra turbiner, bort. Av samma anledning bortprioriterades turbiner förlagda på öar så långt det var möjligt. För samtliga scenarier placerades alltså alla turbiner i kluster, inom relativt lämpliga områden, med hänsyn till vindförhållanden, säkerhetsavstånd samt natur- och kulturvärden.

4.2.3 Nationellt behov av solenergi år 2045–2050

Det finns idag ingen nationell strategi för utbyggnaden av solenergiproduktion, och i nuläget har Stockholms län inte heller några storskaliga markbaserade solcellsparker. Dessa två faktorer medförde svårigheter i att konstruera en ram för scenarierna för framtidens solenergiproduktion i Stockholms län. Därför gjordes avvägningen att istället utforma scenarier för framtidens nationella produktion av solenergi. Även dessa beräkningar byggde på en extrapolering av Energimyndighetens (2021a) projektioner samt resultat från digitaliseringen av samtida solcellsparker och statistik från Svensk solenergi (2022). I Energimyndighetens scenario med ett behov på 234 TWh förväntas solenergiproduktionen stå för 11 TWh (Energimyndigheten, 2021a:37). Enligt Energimyndigheten kräver en produktion på 25 TWh solenergi en installerad effekt på 25–30 GW (Energimyndigheten, 2019:38). Detta innebär ett maximalt installationsbehov på 1,2 GW per producerad TWh. Baserat på resultatet från digitaliseringen av samtida solcellsparker har den svenska solenergiproduktionen en median-energidensitet, sett till installerad effekt, på 78 W/m². I dagsläget utgörs ungefär 52 % av den installerade effekten från nätanslutna solceller av markbruna solcellsparker (Svensk solenergi, 2021). Resultatet av extrapoleringen redovisas i tabell 8. För att möjliggöra en förståelse till storleken på det framtida markanspråket för markbaserade solcellsparker så visualiserades markanspråket genom att placeras i centralt i Stockholms län.

Tabell 8: Nationella produktionsnivåer för solenergi för olika scenarier för framtida elektricitetsbehov. Baserad på data från Energimyndigheten, (2019; 2021a) och Svensk solenergi (2021; 2022).

Scenario (Totalt elbehov)	Årsproduktion solceller	Installerad effekt solceller (1,2 GW/TWh)	Totalt ytbehov (78 W/m ²)	Ytbehov markbruna solcellsparker
Energimyndigheten (234 TWh)	11 TWh	13,2 GW	174,4 km ²	90,7 km ²
Svenska Kraftnät (290 TWh)	16 TWh	19,25 GW	254,2 km ²	132,2 km ²
Energibranschen (310 TWh)	17,8 TWh	21,4 GW	282,8 km ²	147 km ²

5. Resultat och analys

Inledningsvis presenterar detta avsnitt resultatet av den rumsliga analysen över den svenska solenergin och vindkraftens markanspråk och fördelningen av detta markanspråk på tidigare markanvändning. Vidare presenteras även resultatet av analysen över solenergin och vindkraftens rumsliga överlapp med områden med höga natur- och kulturvärden, där ett antal nedslag görs för mer detaljerad beskrivning. Därefter presenteras scenarier för framtida regional energiproduktion, med Stockholms län som exemplifierande fall. Avslutningsvis sammanfattas resultatet av analyserna.

5.1 Solenergi, vindkraft och marktäckedata

Resultatet av den rumsliga analysen visar att etableringen av storskaliga solcellsparker och landbaserad vindkraft sedan år 2000 främst har skett på mark som tidigare varit jordbruksmark och skogsmark. Storskaliga solcellsparker, med en installerad effekt på 1 MW eller mer, har främst placerats på mark som tidigare använts för jordbruk, i synnerhet åkermark och betesmarker. Den landbaserade vindkraften har främst placerats på mark som tidigare utgjorts av skogsmark, övervägande barrskog, men i hög utsträckning även på jordbruksmark, i form av åkermark, samt på så kallad halvnaturlig mark. Såväl solenergin som vindkraftens markanspråk har i viss utsträckning överlappat med områden med höga natur- och kulturvärden. De områden som har störst överlapp mellan energiproduktionens markanspråk och områden utpekade för sina höga värden utgörs främst av riksintresseområden för naturvård och/eller friluftsliv. Det förekommer även överlapp mellan energiproduktionens markanspråk och naturområden med starkare typ av skydd, främst naturreservat och Natura 2000-områden.

En sammanfattning av resultat av analysen över solcellsparkernas och vindkraftens markanspråk presenteras i bild 2. Denna bild föreställer en karta där samtliga storskaliga solcellsparker liksom samtliga vindkraftverk, med status *uppförd* eller *nedmonterad*, är markerade. I bilden presenteras även tre detaljbilder, från Gällivare, Linköping och Gotland, vilka visar exempel på markanspråk för solcellsparker och vindkraftverk. Energislagens markanspråk har kategoriserats efter Sijmons (2014) typologi: ett *absolut markanspråk* och ett *funktionellt markanspråk*. Inom det absoluta markanspråket upptas ytan mer eller mindre totalt av energiinfrastruktur (Sijmons, 2014), och möjligheten till annan markanvändning är kraftigt begränsad. Inom det funktionella markanspråket är kompletterande markanvändning bara delvis begränsad. I analysen har hela solcellsparkernas markanspråk samt den del av vindkraftens markanspråk som utgörs av hårdlagd och/eller röjd yta förstått som absolut. På detaljbilderna i bild 2 är dessa ytor markerade i rött. I denna analys är det alltså bara vindkraften som givits ett funktionellt markanspråk, vilket på detaljbilderna i bild 2 är visualiserat som överlappande cirklar inom vilka Naturvårdsverkets (2014) marktäckedata från år 2000 är synligt. En mer detaljerad beskrivning av analysens resultat följer nedan.

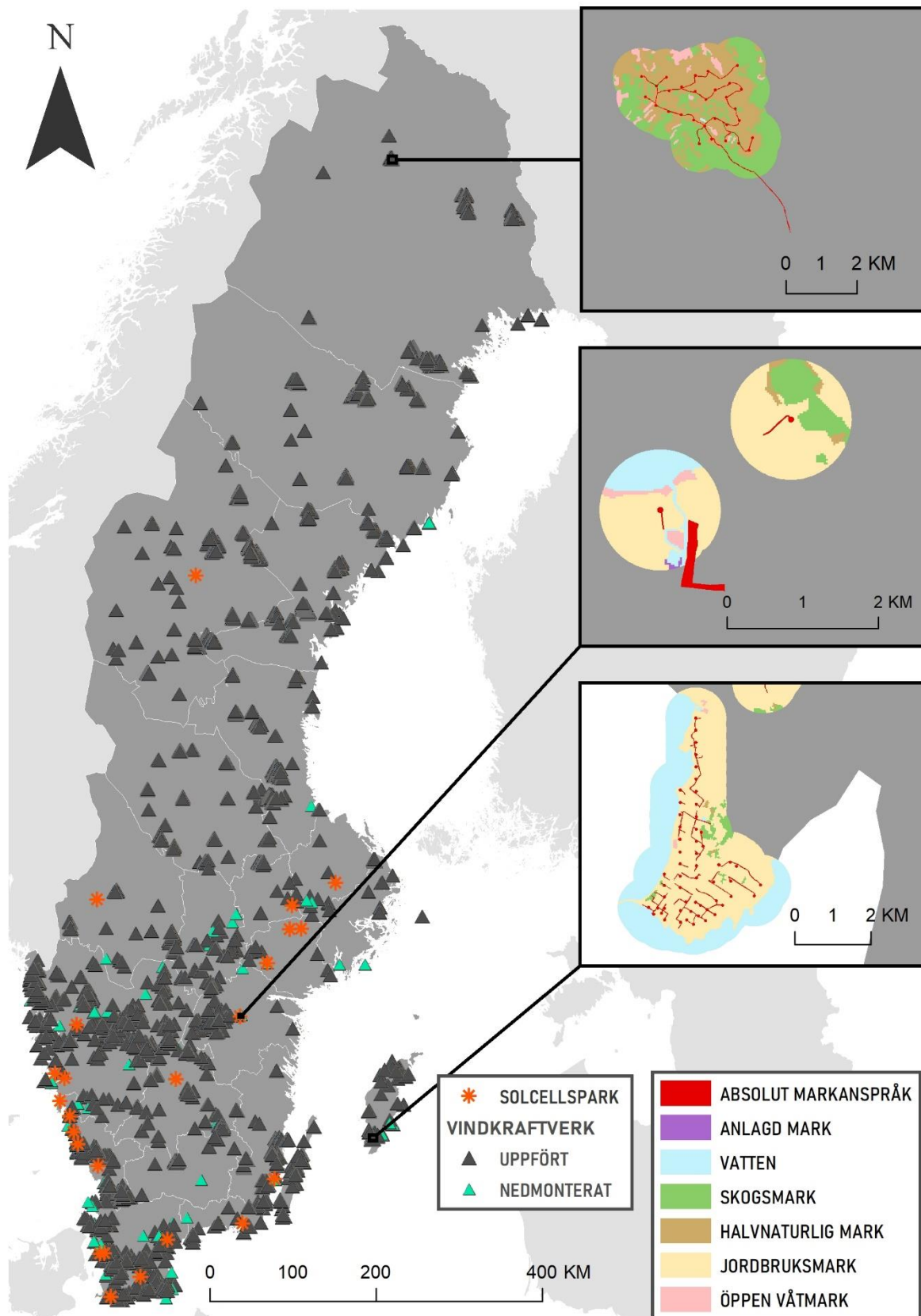


Bild 2: Översiktskarta över markburna solcellsparker (≥ 1 MW) samt uppförda och nedmonterade vindkraftverk i Sverige. Infällningar med detaljkartor över solcellsparker och vindkraftverks absoluta och funktionella markanspråk i relation till tidigare markanvändning. Skapad utifrån data från Vindbrukskollen (2021) och

5.1.1 Solcellsparkernas markanspråk

Vid slutet på år 2021 fanns 32 markburna solcellsparker i Sverige med en installerad effekt på 1 MW eller mer, varav den största utgjordes av solcellsparken i Sjöbo, med en installerad effekt på 18 MW. Resultatet av kartläggningen och den rumsliga analysen visar att dessa solcellsparker hade ett gemensamt markanspråk på 1 375 387 m² eller 1,375 km². Detta motsvarar en yta lika stor som 255 fotbollsplaner (med måtten 90 x 60 m), och all denna yta har i denna analys kategoriserats som ett absolut markanspråk (se Sijmons, 2014). En detaljbild på markanspråket för Ekens solcellspark i Linköping visas i bild 3.

Då majoriteten av Sveriges solcellsparker, markburna såväl som installerade på tak, har en effekt under 1 MW utgör detta markanspråk endast en mindre andel av den totala markyta som tas i anspråk för solenergiproduktion i Sverige idag. Det totala markanspråket för markburna solcellsparker kan uppskattas utifrån medianen för *energidentiteten*, i detta fall mängden installerad effekt i watt per m² i de kartlagda solcellsparkerna, samt statistik från Energimyndigheten (2021d) och branschorganisationen Svensk Solenergi (2022). Medianen för energidentiteten i solcellsparkerna har beräknats till 78 W/m². Enligt Energimyndigheten (2021d) hade Sverige år 2021 en total installerad effekt från nätanslutna solceller på 1 586 MW. Enligt Svensk solenergi (2022) utgörs 51,92 % av den effekten av markburna solceller, det vill säga 823.61 MW. Således bör det totala markanspråket för alla Sveriges markburna solcellsparker år 2021 vara omkring 10,88 km², vilket är en yta motsvarande 2 015 fotbollsplaner. Således motsvarar de solcellsparker som inkluderats i analysen runt 12,6 % av det totala markanspråket för Sveriges markburna solcellsparker.

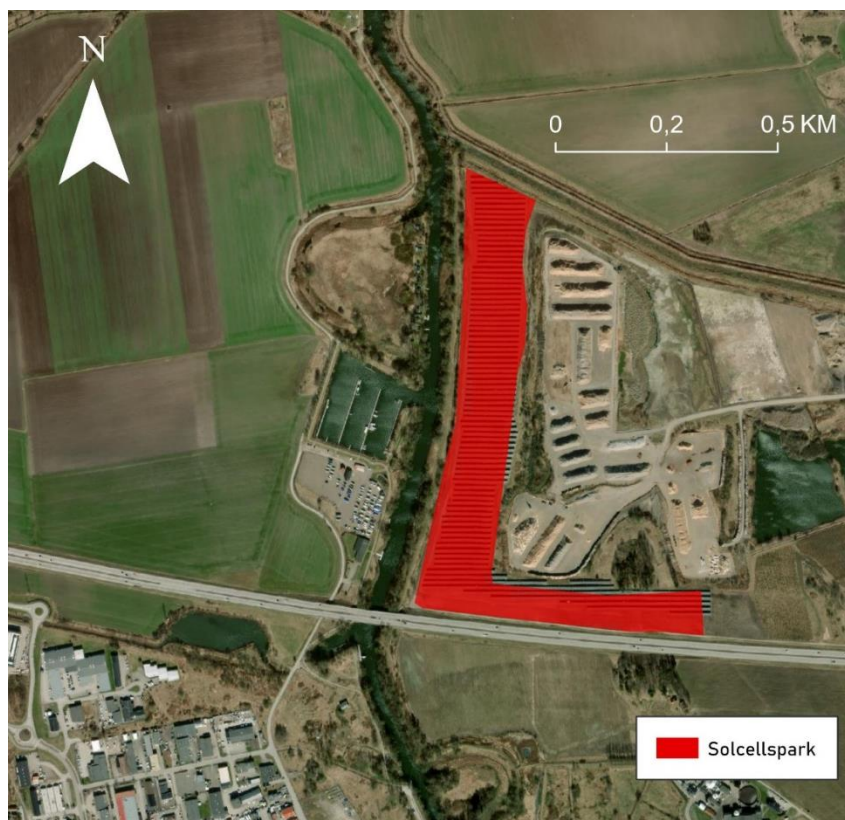
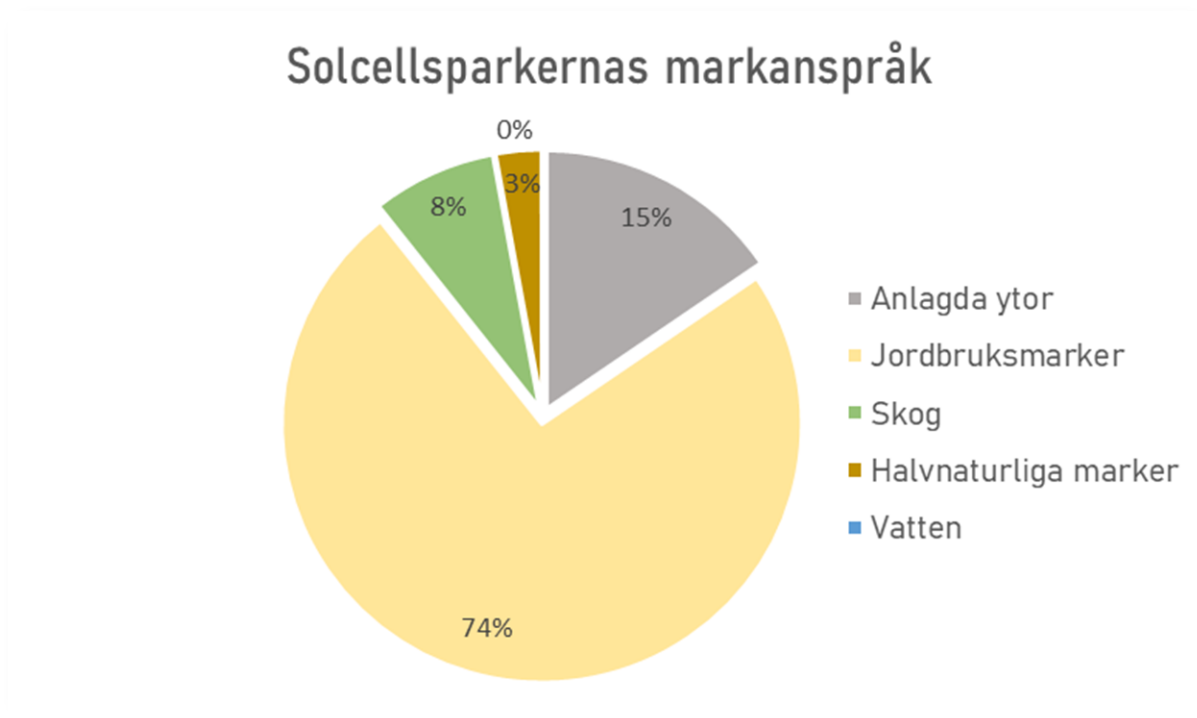


Bild 3: Karta över Ekens solcellspark i Linköping, skapad utifrån data från Svensk Solenergi (2021).
Bakgrundsbild: Ortofoto, 1m färg från Esri (2022).

Resultatet av analysen visar att den mark som tagits i anspråk för storskaliga markburna solcellsparkar tidigare främst utgjordes av jordbruksmark, specifikt av underkategorierna åkermark och betesmark (se diagram 2). Solcellsparkerna har i viss utsträckning även placerats på anlagd mark, specifikt följande underkategorier: *Industri, handelsenheter, offentlig service, militära förläggningar och transportenheter; Gruvområden, deponier och byggplatser; anlagda, ej jordbrukade, bevuxna områden.* För en fullständig redogörelse för fördelningen av solcellsparkernas markanspråk mellan de olika kategorierna för markanvändning se tabell 9. En marginell andel (0,02%) av solcellernas markanspråk utgörs enligt analysen av vattenyta. Detta resultat kan möjligen vara en effekt av felmarginal vid geokodning av solcellernas yta, alternativt av att aktuella vattendrags geografiska utbredning förändrats mellan år 2000 och idag.

Diagram 2: Markanspråk för Svenska solcellsparkers (≥ 1 MW) fördelat på tidigare markanvändning, efter kategorier från Naturvårdsverket (2014). Baserad på data från Svensk solenergi (2021) och Naturvårdsverket (2000).



Tabell 9: Markanspråk för Svenska solcellsparkers (≥ 1 MW) fördelat på tidigare markanvändning efter kategorisering av Naturvårdsverket (2014). Baserad på data från Svensk solenergi (2021) och Naturvårdsverket (2000).

Markanvändning kategori	Markanvändning underkategori	Area (m ²)	Area sum.
Anlagda ytor	Industri, handelsenheter mfl	84 427	212 529
	Gruvområden, deponier mfl	31 232	
	Anlagda, ej jordbrukade, bevuxna områden	96 870	
Jordbruksmarker	Åkermark	923 969	1 016 292
	Betesmark	92 322	
Skog	Lövskog	11 036	106 805
	Barrskog	64 166	
	Blandskog	31 603	
Halvnaturliga marker	Busk- och/eller örtartade vegetationstyper	39 421	39 421
Vatten	Inlandsvatten	342	342
Totalt		1 375 387	1 375 387

5.1.2 Vindkraftverkens markanspråk

Den svenska vindkraftens markanspråk är beräknat på det totala antalet vindkraftverk med status *uppförd* och *nedmonterad*, vilket utgjordes av 4 746 turbiner, varav 4 589 hade status *uppförda* i slutet på år 2021 (Vindbrukskollen, 2021). Resultatet av kartläggningen och den rumsliga analysen över vindkraftens markanspråk har kategoriserats i ett *absolut markanspråk* och ett *funktionellt markanspråk*. Vindkraftens absoluta markanspråk utgörs av turbinernas fundament, uppställningsytor, vägar som anlagts för etablering och underhåll samt kringliggande ytor som måste röjas för anläggning och drift. Eftersom vindkraftens markanspråk är beräknat på vindkraftverk både med status *uppförd* och *nedmonterad* omfattar det funktionella markanspråket en mindre del historisk påverkan som inte längre är gällande. På grund av rådande praxis om att lämna betongfundament i marken efter nedmontering av turbiner kan resultatet för det absoluta markanspråket antas vara mer korrekt, då påverkan inom det absoluta markanspråket kvarstår i viss utsträckning även om energiproduktionen upphör (Energimyndigheten, 2016; Ljungström & Svensson, 2021). Bild 4 visar en detaljbild från vindkraftsparken på Näsudden på Gotland, där det absoluta markanspråket är markerat i rött. Resultatet av den rumsliga analysen visar att det absoluta markanspråket för all svensk vindkraft, uppförd och nedmonterad, utgör en yta på 66 600 340 m² eller 66,6 km². Detta är en yta som motsvarar drygt 12 330 fotbollsplaner.

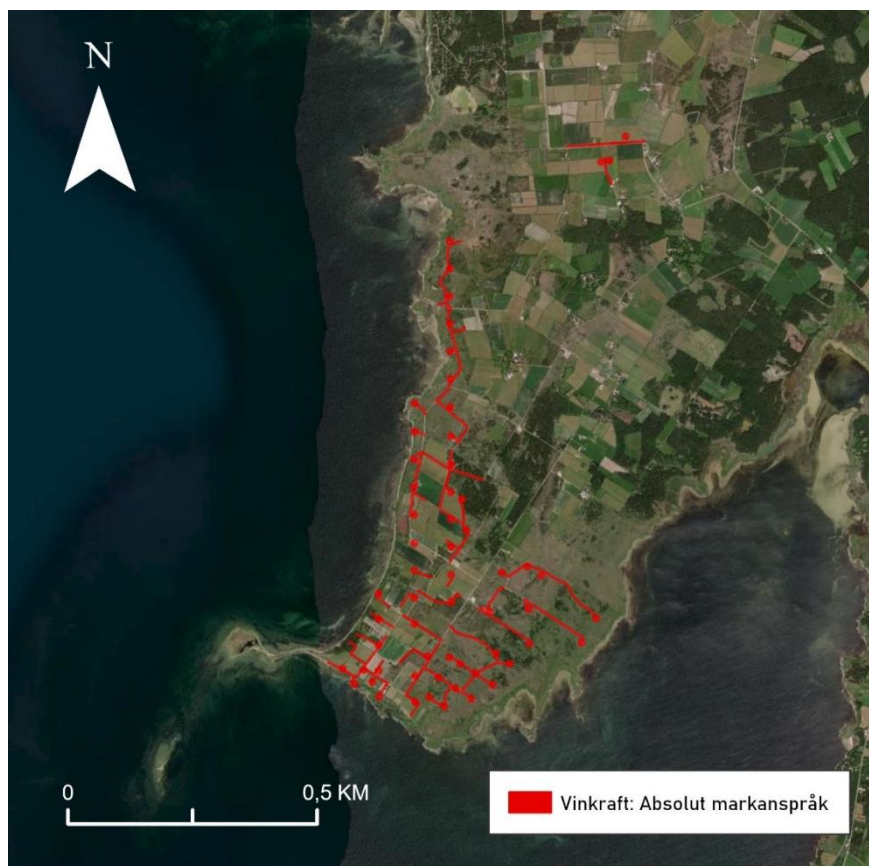
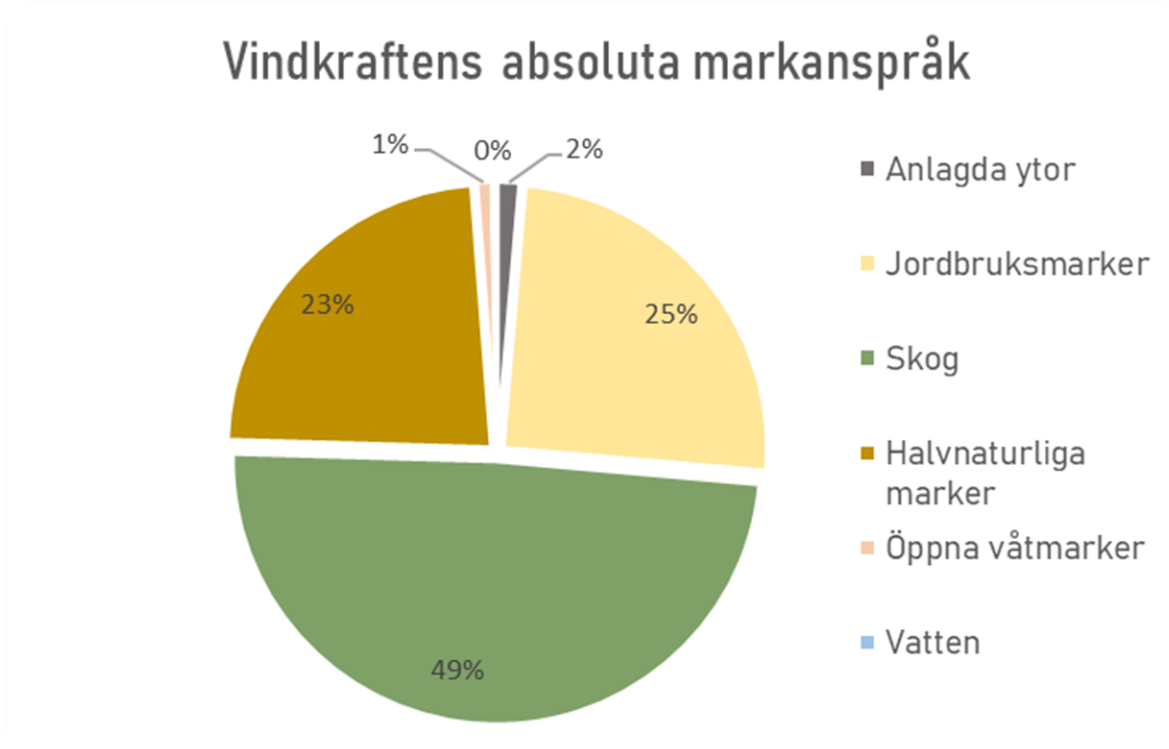


Bild 4: Karta över absolut markanspråk för vindkraftspark på Näsudden, Gotland, skapad utifrån data från Vindbrukskollen (2021). Bakgrundsbild: Ortofoto, 1m färg från Esri (2022).

Den markyta som tagits i anspråk av vindkraftens absoluta markanspråk utgjordes runt år 2000 tidigare främst av *skog*, följt av *jordbruksmark* och *halvnaturliga marker* (se diagram 3). *Barrskog* utgjorde den överlägset största underkategorin, följt av *busk- och/eller örtartade vegetationstyper* och *åkermark*. För en fullständig fördelning av markanspråket, se tabell 10.

Diagram 3: Svensk vindkrafts absoluta markanspråk fördelat på tidigare markanvändning efter kategorisering av Naturvårdsverket (2014). Baserad på data från Vindbrukskollen (2021), Lantmäteriet (2020) och Naturvårdsverket (2000).



Tabell 10: Svensk vindkrafts absoluta markanspråk fördelat på tidigare markanvändning efter kategorisering av Naturvårdsverket (2014). Baserad på data från Boverket (2009), Vindbrukskollen (2021), Lantmäteriet (2020) och Naturvårdsverket (2000).

Markanvändning kategori	Markanvändning underkategori	Area (m ²)	Area sum.
Anlagda ytor	Stadsstruktur	58 390	896 605
	Industri, handelsenheter m.fl.	436 322	
	Gruvområden, deponier m.fl.	298 326	
	Anlagda, ej jordbrukade, bevuxna områden	103 567	
Jordbruksmarker	Åkermark	14 632 670	49 355 798
	Permanenta grödor	11 938	
	Betesmark	2 036 314	
Skog	Lövskog	3 761 135	32 674 876
	Barrskog	24 961 657	
	Blandskog	3 952 083	
Halvnaturliga marker	Busk- och/eller örtartade vegetationstyper	14 758 807	15 543 728
	Öppen mark	784 921	
Öppna våtmarker	Sötvattensvåtmarker	611 119	611 119
Vatten	Inlandsvatten	69 803	193 090
	Marint vatten	123 287	
Totalt		66 600 340	66 600 340

För denna analys har vindkraftens funktionella markanspråk definierats utifrån behovet av ett säkerhetsavstånd på 800 m till närmaste bostadshus (Energimyndigheten, 2021a:25–27). Det funktionella markanspråket kan också förstås som det avstånd som krävs mellan turbinerna för att motverka att de påverkar varandras vindförhållanden (Sijmons, 2014), vilket varierar med höjd på turbinerna (Boverket, 2020). Behovet av avstånd mellan turbinerna är relevant för mängden vindkraftverk som kan placeras på en given yta. Då turbinerna i denna analys redan är utplacerade har det funktionella markanspråket istället definierats som de områden där vindkraften i viss mån begränsar vilken typ av annan markanvändning som är möjlig. Bild 5 visar en detaljbild från vindkraftsparken på Näsudden på Gotland, där det funktionella markanspråket är markerat i ljusare röd. Det funktionella markanspråket för svensk vindkraft har ett totalt markanspråk på 4 344 703 763 m² eller 4 344,7 km², vilket är en yta som motsvarar omkring 80 315 fotbollsplaner.

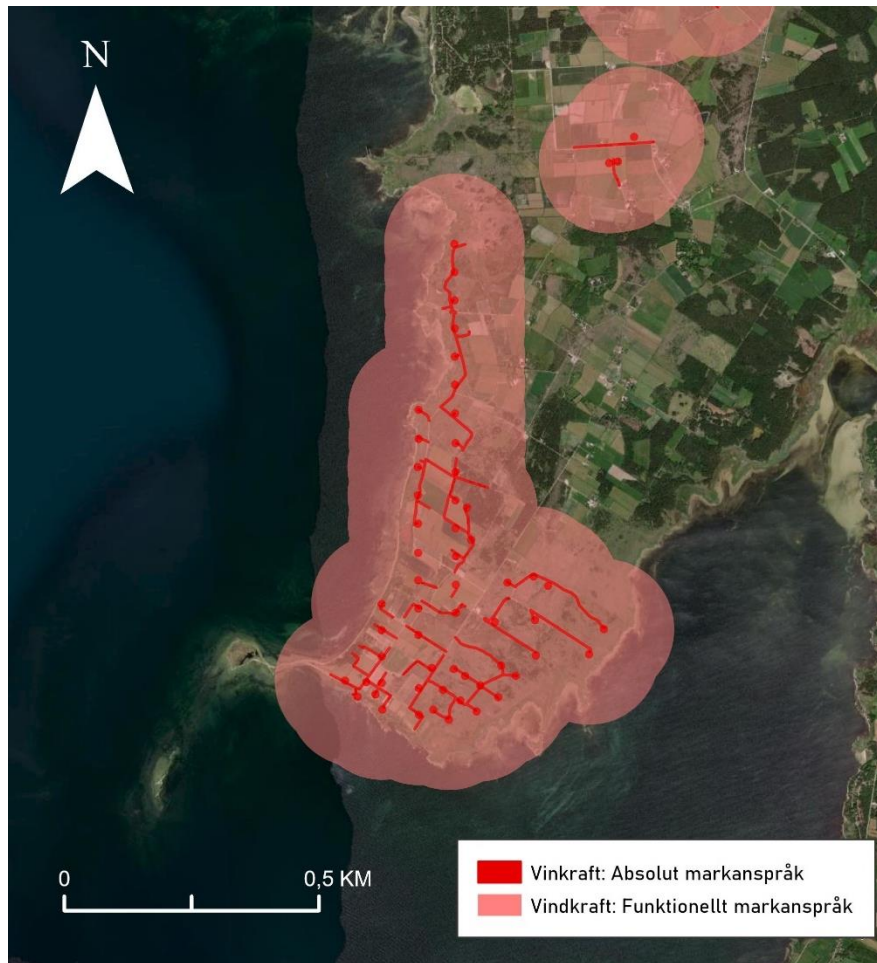
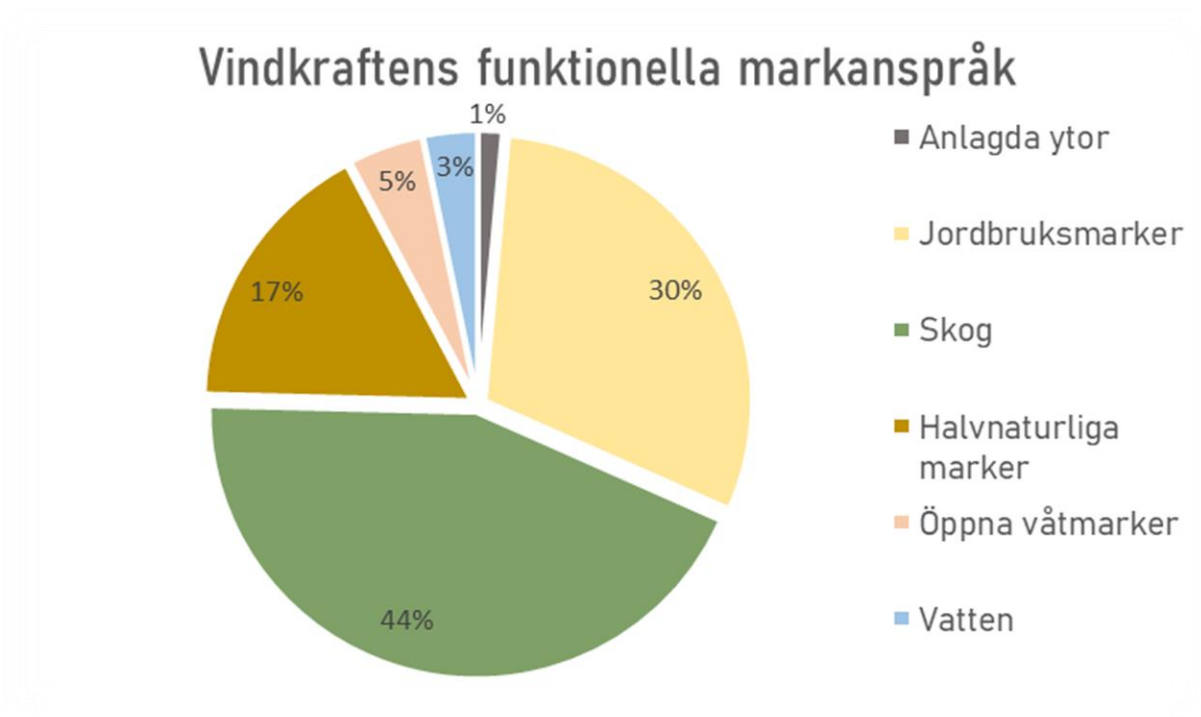


Bild 5: Karta över funktionellt- och absolut markanspråk för vindkraftspark på Näsudden, Gotland, skapad utifrån data från Vindbrukskollen (2021). Bakgrundsbild: Ortofoto, 1m färg från Esri (2022).

Den yta som tagits i anspråk av vindkraftens funktionella ytanspråk utgjordes år 2000 främst av markanvändning av kategorin *skog*, följt av *jordbruksmark* och *halvnaturliga marker* (se diagram 4). Även för det funktionella markanspråket utgör barrskog den främsta underkategorin, följt av åkermark och busk- och/eller örtartade vegetationstyper. I tabell 11 redovisas den fullständiga fördelningen mellan markanvändningstyper.

Diagram 4: Svensk vindkrafts funktionella markanspråk fördelat på tidigare markanvändning efter kategorisering av Naturvårdsverket (2014). Baserad på data från Boverket (2009), Vindbrukskollen (2021), Lantmäteriet (2020) och Naturvårdsverket (2000).



Tabell 11: Svensk vindkrafts funktionella markanspråk fördelat på tidigare markanvändning efter kategorisering av Naturvårdsverket (2014). Baserad på data från Boverket (2009), Vindbrukskollen (2021), Lantmäteriet (2020) och Naturvårdsverket (2000).

Markanvändning kategori	Markanvändning underkategori	Area (m ²)	Area sum.
Anlagda ytor	Stadsstruktur	15 476 173	61 581 234
	Industri, handelsenheter m.fl.	21 729 662	
	Gruvområden, deponier m.fl.	10 100 229	
	Anlagda, ej jordbrukade, bevuxna områden	1 4275 170	
Jordbruksmarker	Åkermark	1 185 776 761	1 313 745 056
	Permanenta grödor	1928 113	
	Betesmark	126 040 182	
Skog	Lövskog	221 218 867	1 900 510 930
	Barrskog	1 442 030 204	
	Blandskog	237 261 859	
Halvnaturliga marker	Busk- och/eller örtartade vegetationstyper	706 068 453	732 158 146
	Öppen mark	26 089 693	
Öppna våtmarker	Sötvattensvåtmarker	195 959 366	196 150 792
	Saltpåverkade våtmarker	191 427	
Vatten	Inlandsvatten	61 421 460	140 557 605
	Marint vatten	79 136 145	
Totalt		4 344 703 763	4 344 703 763

5.1.2 Markanspråk och ekosystemtjänster

Genom att sammanföra resultatet från kartläggningen av solenergin och vindkraftens markanspråk med Naturvårdsverkets (2017) ekosystemförteckning så kan resultatet av analysen sägas indikera att antal ekosystemtjänster påverkats. Den mark som tagits i anspråk för markburna solcellsparker och landbaserad vindkraft utgörs främst av skogsmark, i synnerhet barrskog, samt jordbruksmark, i synnerhet åkermark. Vid ianspråktagande av barrskog och åkermark, framför allt som absolut markanspråk, finns en risk för negativ påverkan på befintliga ekosystemtjänster i landskapen av samtliga kategorier, det vill säga stödjande, reglerande, försörjande och kulturella. Åkermark som marktyp är främst relaterat till försörjande ekosystemtjänster som *livsmedelsproduktion* och *energiproduktion*, men också till reglerande tjänster såsom *pollinering* och *fröspredning*, samt till den stödjande tjänsten *nedbrytning av biologiskt material*. Beroende av åkermarkens typ och användning är den också relaterat till kulturella ekosystemtjänster som *kulturarv*. Barrskog är i sin tur relaterat till försörjande tjänster som *livsmedelsproduktion*, i form av viltkött, bär och svamp, samt till *materialproduktion* och

energiproduktion relaterat till trä som råvara. Barrskog som markanvändning är också relaterat till en rad reglerande tjänster, som *luft- och vattenrening, erosionskontroll, koldioxidbindning* och *temperaturreglering*, såväl som stödjande tjänster i form av *nedbrytning av biologiska material*. Barrskog tillhandahåller också kulturella ekosystemtjänster som rekreativmiljöer, ett rikt djurliv och kulturarv (Naturvårdsverket, 2017). För en fullständig sammanställning över ekosystemtjänster relaterade till de marktyper som solenergin och vindkraften tagit i anspråk, se tabell 12.

Tabell 12: Sammanställning av ekosystemtjänster relaterade till de markanvändningstyper som framkom i resultatet. Baserad på Naturvårdsverkets (2017) ekosystemförteckning.

Markanvändning kategori	Markanvändning underkategori	Ekosystemtjänster
<i>Anlagda ytor</i>	Stadsstruktur	-
	Industri, handelsenheter m.fl.	-
	Gruvområden, deponier m.fl.	-
	Anlagda, ej jordbrukade, bevuxna områden	Reglerande: Luftrening från träd, visuell avskärmning, pollinering, fröspridning, vattenrening, koldioxidbindning, temperaturreglering Kulturella: Attraktiva rekreativmiljöer, kulturarv
<i>Jordbruksmarker</i>	Åkermark	Försörjande: Livsmedel (ex. spannmål). Reglerande: Pollinering, fröspridning Kulturella: Kulturarv Stödjande: Nedbrytning av biologiskt material
	Permanent grödor	Försörjande: Livsmedel (ex. frukt och grönsaker) Reglerande: Pollinering, fröspridning, temperaturreglering Kulturella: Kulturarv Stödjande: Nedbrytning av biologiskt material
	Betesmark	Försörjande: Livsmedel (ex. animaliska produkter) Reglerande: Pollinering, fröspridning, vattenrening Kulturella: Attraktiva rekreativmiljöer, varierande djurliv, kulturarv Stödjande: Nedbrytning av biologiskt material
<i>Skog</i>	Lövskog	Försörjande: livsmedel (ex. viltkött, bär, svamp), trämaterial Reglerande: luftrening från träd, erosionskontroll, skreddämpning, bullerdämpning, brandskydd, vattenrening, koldioxidbindning, temperaturreglering Kulturella: attraktiva rekreativmiljöer, varierande djurliv

		Stödjande: nedbrytning av biologiskt material
	Barrskog	Försörjande: livsmedel (ex. viltkött, bär, svamp), trämaterial Reglerande: luftrening från träd, erosionskontroll, skreddämpning, vattenrening, koldioxidbindning, temperaturreglering Kulturella: attraktiva rekreativmiljöer, varierande djurliv Stödjande: nedbrytning av biologiskt material
	Blandskog	Försörjande: livsmedel (ex. viltkött, bär, svamp), trämaterial Reglerande: luftrening från träd, erosionskontroll, skreddämpning, bullerdämpning, vattenrening, koldioxidbindning, temperaturreglering Kulturella: attraktiva rekreativmiljöer, varierande djurliv Stödjande: nedbrytning av biologiskt material
<i>Halvnaturliga marker</i>	Busk- och/eller örtartade vegetationstyper	Försörjande: livsmedel (ex. viltkött, bär, svamp), Reglerande: erosionskontroll, skreddämpning, bullerdämpning, vattenrening, koldioxidbindning Kulturella: varierande djurliv
	Öppen mark	Försörjande: livsmedel (ex. viltkött, bär, svamp)
<i>Öppna våtmarker</i>	Sötvattensvåtmarker	Reglerande: vattenreglering, brandskydd, vattenrening, koldioxidbindning, temperaturreglering Kulturella: attraktiva rekreativmiljöer, varierande djurliv
	Saltpåverkade våtmarker	Reglerande: vattenreglering, brandskydd, koldioxidbindning, temperaturreglering, varierande djurliv
<i>Vatten</i>	Inlandsvatten	Försörjande: livsmedel (ex fisk), dricksvatten, bevattning, Reglerande: vattenreglering, vattenrening, koldioxidbindning Kulturella: attraktiva rekreativmiljöer, varierande djurliv
	Marint vatten	Försörjande: livsmedel (ex. fisk), vatten för kylning till industri, koldioxidbindning Kulturella: attraktiva rekreativmiljöer, varierande djurliv

Utöver de ekosystemtjänster som finns listade i tabellen nämner Naturvårdverket (2017) även en rad tjänster, främst kulturella, som inte kan förknippas med någon specifik markanvändning.

I denna uppsats har områden med höga natur- eller kulturvärden istället antagits indikera dessa typer av tjänster, liksom tjänster relaterade till hög biologisk mångfald.

5.2 Solenergi, vindkraft och skyddade områden

Resultatet av analysen visar hur endast tre av de 32 solcellsparker som inkluderats i studien har ett markanspråk som överlappar med områden med höga natur- och kulturvärden. Vid närmare granskning kan markanspråket för endast två av dessa tre parker, *Ekens solcellspark* i Linköping och *Claro solcellspark* i Kungsbacka, antas ha någon betydande inverkan på de skyddade värdena i områdena. Totalt sett har 443 av alla vindkraftverk som någonsin uppförts i Sverige varit placerade inom områden med antingen höga natur- eller kulturvärden, vilket utgör drygt 9% av alla vindkraftverk som någonsin uppförts. Andelen av de studerade solcellsparkerna respektive andelen av de studerade vindkraftverken som har ett markanspråk som överlappar med dessa natur- och kulturområden är lika, båda runt 9 %. Däremot har vindkraften en större andel överlappande markyta, sett till den totala markytan som tas i anspråk av de respektive energislagen, baserat på de anläggningar som omfattas av studien. En sammanfattning av resultat av analysen över solcellsparkernas och vindkraftens överlappning med natur- och kulturområden visualiseras i bild 6. Nedan följer en mer detaljerad beskrivning av respektive energislags överlappande markanspråk, med nedslag i områden där det överlappande markanspråket varit speciellt stort.

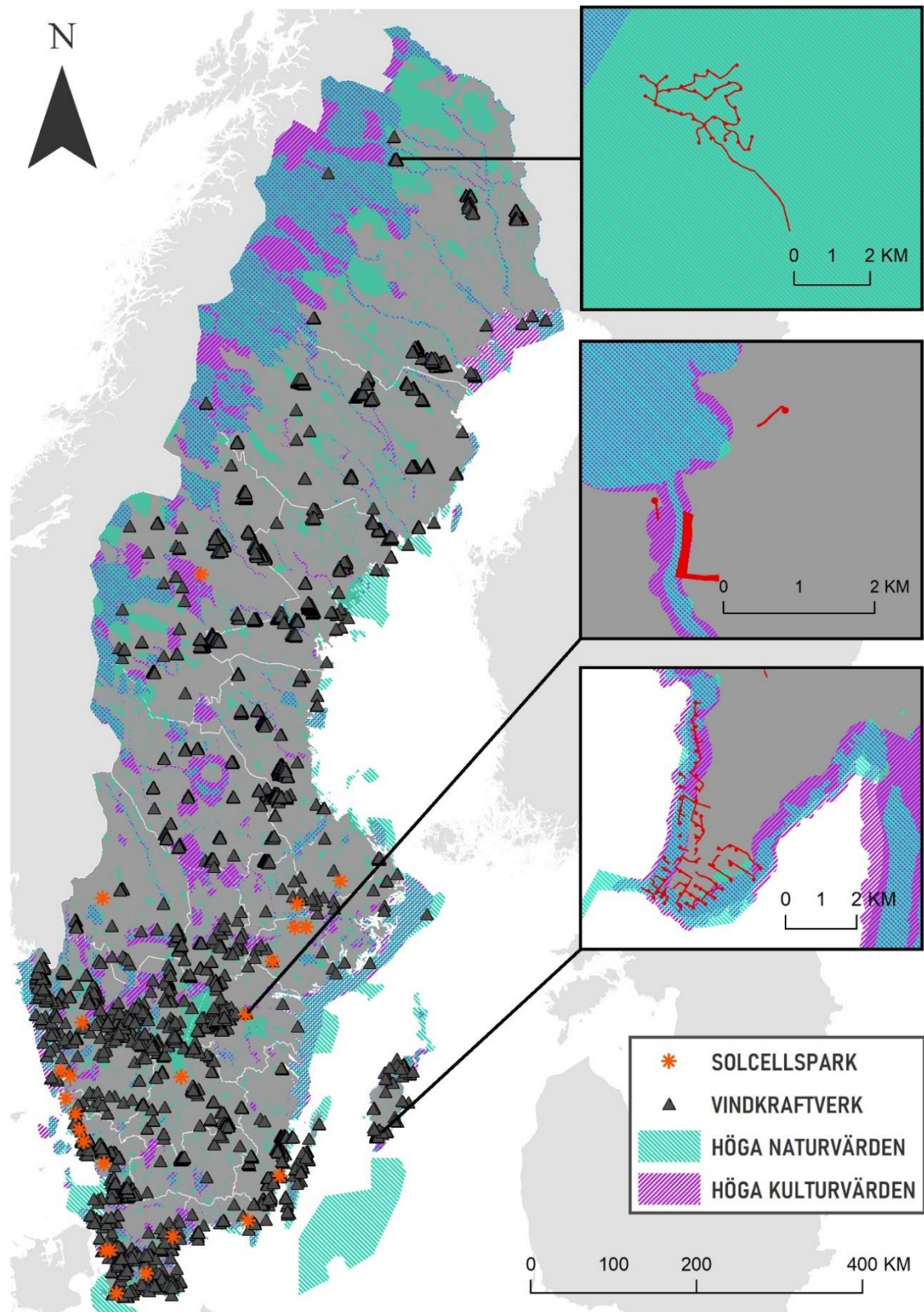


Bild 6: Översiktskarta över markburna solcellsparker (≥ 1 MW), uppförda och nedmonterade vindkraftverk samt områden efter "höga kulturvärden" respektive "höga naturvärden". Infällningar med detaljkartor över solcellsparker och vindkraftverks markanspråk i relation till de kategoriserade områdena. Skapad utifrån data från Vindbrukskollen (2021), Svensk solenergi (2021), Naturvårdsverket (2017; 2020; 2021; 2022), Energimyndigheten (2021), Försvarsmakten (2021) och Sametinget (2018). Bakgrundsbild: Administrativa gränser från Lantmäteriet (2022) och Administrative units från Eurostat (2020).

5.2.1 Solenergi och områden med höga natur- och kulturvärden

Av de 32 solcellsparkar som inkluderats i studien hade tre parker ett markanspråk som överlappar med områden med höga natur- eller kulturvärden. Dessa är *solcellsparken i Landskrona*, *Claro Energy solpark* i Kungsbacka och *Eken solcellspark* i Linköping. Det totala överlappande markanspråket för de studerade solcellsparkerna redovisas i tabell 13. En närmare undersökning visar att endast två av dessa tre solcellsparkar kan antas ha någon betydande påverkan på områdenas skyddsvärden: Claro Energy solpark och Eken solcellspark. Detta då solcellsparken i Landskrona endast överlappar marginellt med området Saxån-Braån, vilket är utpekade som riksintresse för naturvård mot bakgrund av höga naturvärden i vattendragen. I synnerhet utgör närvaron av de vattenlevande arterna havsöring, grönling och sandkrypare motiv till riksintresset (se attributtabell i data-set). Solcellsparken är runt 4000 m² och placerad till största del utanför intresseområdet, och markanvändningen utgjordes år 2000 främst av åkermark, med ett överlapp på endast 262 m². Således kan inte solcellsparken, åtminstone vid en översiktlig analys som denna, antas ha någon påverkan på områdets vattenlevande ekosystem. Därför är det möjligt att bortse från just solcellsparken i Landskronas överlapp med ett område med höga naturvärden.

Tabell 13: Sammanställning över det av solcellsparkernas markanspråk som överlappar med områden med höga natur- respektive kulturvärden.

Värdekategori	Skyddstyp	Area överlapp (m ²)
Naturvärden	Riksintresse för naturvård	28 714
Kulturvärden	Riksintresse för friluftsliv	115 192

De andra två solcellsparkerna, Eken solcellspark och Claro Energy solpark, kan däremot antas ha åtminstone viss inverkan på de överlappande områdenas skyddsvärden. Claro Energy solpark i Kungsbacka överlappar med området Särö skärgård-Vallda Sandö, vilket är utpekade som riksintresse för friluftsliv. Området är av riksintresse mot bakgrund av sina intresseväckande naturmiljöer, landskapsbild och kulturprägel. Området anses även vara gynnsamt för friluftslivet utifrån möjligheten att bedriva friluftaktiviteter, framför allt i relation till kustmiljöerna. Solcellsparken är drygt 13 000 m² och är placerad i riksintressets östra utkant, delvis utanför, med ett överlapp på 8 887 m². Analysen över markanspråk visar att marken som tagits i anspråk år 2000 utgjordes av åkermark. Eftersom parken är placerad relativt långt från kusten kan den inte antas ha någon betydande påverkan på kustmiljöerna och möjligheten till att bedriva friluftaktiviteter i området. Däremot är det möjligt att solcellsparken har viss inverkan på landskapsbild och naturmiljö, då det trots allt utgör en ny, grå infrastruktur i landskapet. För att få kunskap om solcellsparkens faktiska inverkan på lokala kulturvärden hade kompletterande efterforskningar krävts.

Eken solcellspark i Linköping ligger till större delen placerad inom området Stångåns vattensystem som är av riksintresse för friluftsliv. Solcellsparken, liksom riksintresseområdet, löper längs med vattendraget Stångån, som är en del av de två områden *Västra Roxen* och

Svartåmynningen och Kungsbro, vilka är utpekade som riksintresseområde för naturvård (se bild 7). Områdena är utpekade som intresseområde för naturvård mot bakgrund av hur de utgörs av naturbetesmarker samt häckningsområden för olika fågelarter, och är sammanhängande med Natura 2000-områden. Riksintresseområdet för friluftsliv, vilket är det som solcellsparken i huvudsak överlappar med, är utpekat med anledning av goda möjligheter till friluftsliv, berikande natur- och kulturmiljöer och sammanhängande gröna stråk. Solcellsparken har ett totalt markanspråk på 143 515 m² varav 28 452 m² överlappar med området av riksintresse för naturvård och 106 305 m² överlappar med området av riksintresse för friluftsliv. Det är möjligt att anta att solcellsparkens markanspråk har en inverkan främst på framkomligheten längs Stångåns östra sida, och således har viss påverkan på riksintresset för friluftsliv. Vidare kan den också antas ha inverkan på områdets egenskap som ett grönt stråk, givet att solcellsparken kräver att kringliggande vegetation hålls kort för att förhindra brandrisk och skuggning. Den mark som solcellsparken tagit i anspråk utgjordes år 2000 dock främst av åkermark, vilket indikerar att framkomligheten och möjligen också det gröna stråket redan sedan tidigare varit inskränkt. Solcellsparken är också förlagd mellan ett kraftvärmeverk och Stångån (se bild 7), och området kan således antas ha varit utsatt för viss påverkan sedan tidigare.

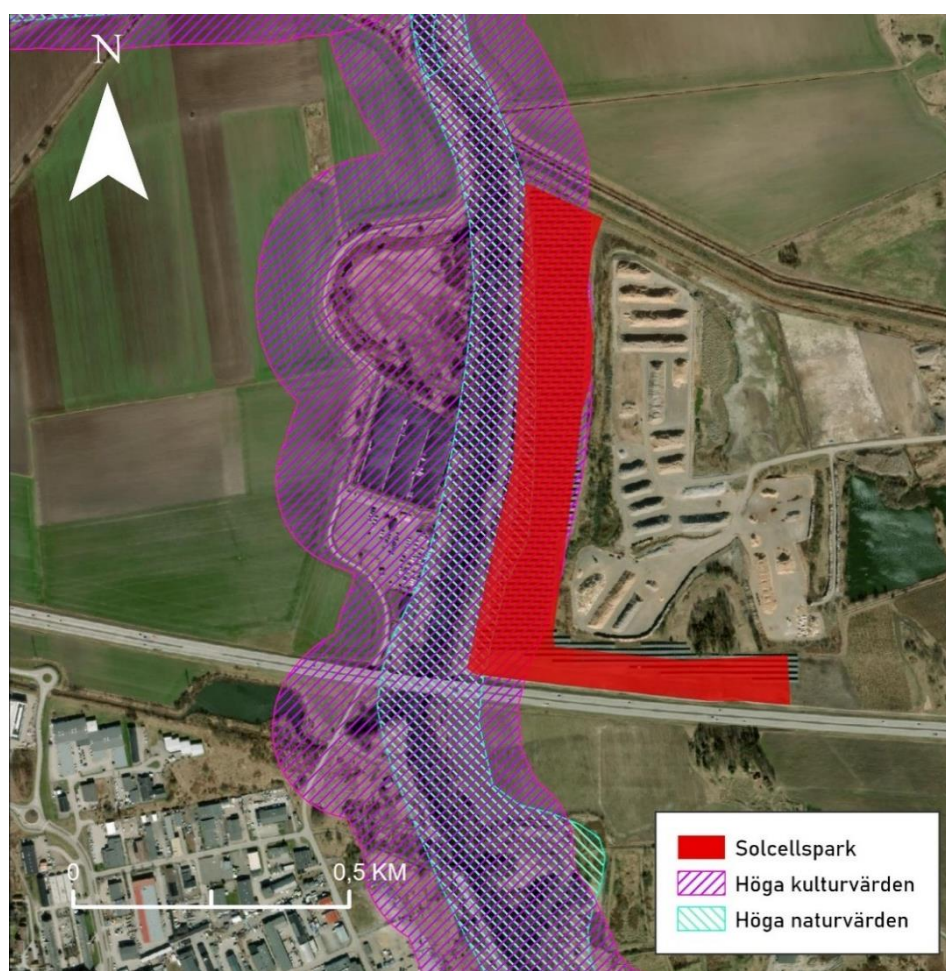


Bild 7: Karta över markanspråk för Ekens solcellspark i Linköping i relation till områden kategoriserade efter "höga kulturvärden" respektive "höga naturvärden", skapad utifrån data från Vindbrukskollen (2021), Svensk solenergi (2021), Naturvårdsverket (2017; 2020; 2021; 2022), Energimyndigheten (2021), Försvarsmakten (2021) och Sametinget (2018). Bakgrundsbild: Ortofoto, 1m färg från Esri (2022).

5.2.2 Vindkraft och områden med höga natur- och kulturvärden

Vindkraftens markanspråk har ett mer omfattande överlapp med områden med höga natur- och kulturvärden, i jämförelse med solcellsparkerna. Av vindkraftens totala funktionella markanspråk överlappar 448,9 km² med områden med höga naturvärden och 200,8 km² med områden med höga kulturvärden. Det absoluta markanspråket överlappar med runt 2,9 km² med områden med höga naturvärden och 2,6 km² med områden med höga kulturvärden. Sett till antalet turbiner har 325 av de 4746 vindkraftverk i Sverige, som någonsin varit uppförda, uppförts inom områden med höga naturvärden, respektive 194 inom områden med höga kulturvärden. Vissa områden med höga natur- respektive kulturvärden överlappar, och således har en del av vindkraftverken varit placerade inom områden med både höga natur- och kulturvärden. Totalt sett har 443 av alla vindkraftverk som någonsin uppförts i Sverige varit placerade inom områden med antingen höga natur eller kulturvärden, vilket utgör drygt 9% av alla turbiner. För en sammanställning av vindkraftens totala överlapp med områden med höga natur- och kulturvärden, se tabell 14.

Tabell 14: Sammanställning över det av vindkraftparkernas markanspråk som överlappar med områden med höga natur- respektive kulturvärden.

Värdekategori	Skyddstyp	Överlapp funktionellt markanspråk (m2)	Överlapp absolut markanspråk (m2)
Naturvärden	Riksintresse för naturvård	448 900 000	2 900 000
	Natura2000		
	Naturresevat		
Kulturvärden	Riksintresse för friluftsliv	200 800 000	2 600 000

Omvänt har 36 av totalt 21 078 områden med höga naturvärden påverkats av vindkraftsetablering, varav 21 är områden av riksintresse för naturvård, sex stycken är Natura2000-områden och tre är naturresevat. 45 av totalt 412 områden med höga kulturvärden har påverkats, varav samtliga utgörs av områden av riksintresse för friluftsliv. De områden som utgör störst överlappning mellan vindkraftens absoluta markanspråk och skyddade områden ligger inom Storblaiken-Lillblaiken i Storuman, Kaitum fjällurskog i Gällivare, södra Kilsbergen i Karlskoga samt på Näsudden på Gotland.

Storblaiken-Lillblaiken är ett område utpekade som riksintresse för naturvård som omger Blaikens naturresevat norr om Storuman i Västerbottens län. Inom riksintresseområdet är Blaiken vindkraftspark placerad, med 108 turbiner med en totalhöjd på 150 meter. Området är utpekade som av riksintresse för naturvård på grund av sina unika myrkomplex, sitt urskogslandskap och sina speciella geologiska förhållanden (se attributtabel). Det område som överlappas av vindkraftsparkens funktionella och absoluta markanspråk utgjordes år 2000 av hedmark, övrig myrmark, lövskog och barrskog. Vindkraftsparken ligger i direkt anslutning till

naturreservatet Blaiken, vilket är ett område som skyddas på grund av sina höga naturvärden sett till utsträckt, orörd urskog och komplexa orörda myr- och våtmarker (Länsstyrelsen Västerbotten, u.å.). Mot bakgrund av tidigare markanvändning och områdets skyddade värden, i synnerhet de komplexa myrmarkerna, finns det anledning att anta att de 108 vindkraftsturbinerna kan ha en negativ inverkan. Inom turbinernas absoluta markanspråk måste yta hårdläggas, betongfundament gjutas ner i marken och skog röjas, vilket innebär att de våtmarker och den skog som tas i anspråk och kommer vara svår att återställa efter avslutad produktion.

Kaitum fjällurskog är ett naturreservat och ett Natura2000-område som upprättats utifrån EU:s habitatdirektiv. Området är ett vidsträckt och orört område söder om Kiruna, i Norrbottens län. Inom naturreservatet och Natura2000-området är Sjisjka vindkraftspark placerad, med 30 stycken 130 m höga turbiner. Kaitum fjällurskog är ett område som framför allt präglas av urskogsaktig löv- och barrskog, myrmark och hedmark och som givits skyddsstatus i syfte att bevara habitat för viktiga arter och gynna biologisk mångfald. Området har också länge utgjort renbetesmarker, och landskapet präglas av en långtgående kontinuitet och frånvaro av exploatering (Länsstyrelsen i Norrbottens län, 2017). Etableringen av vindkraft inom detta område har sannolikt en negativ påverkan på de naturvärden som finns inom området, och sannolikt också någon typ av inverkan på Natura2000-områdets funktion som habitat, även om omfattningen är svår att avgöra utifrån den här typen av analys. Vidare kan även områdets status som renbetesmark och dess oexploaterade landskapskaraktär antas påverkas negativt.

Södra Kilsbergen i Karlskoga är ett område utpekat som av riksintresse för friluftsliv mot bakgrund av dess orörda och tysta natur i kombination med geografisk närhet till större samhällen. Området anses därmed utgöra en viktig plats för rekreation och naturupplevelser för såväl turister som befolkningen i städerna Degerfors, Karlskoga och Fjugesta (se attributtabell). Inom området ligger Kronobergets vindkraftspark med 16 stycken 185 m höga turbiner. Vindkraftsparkens funktionella och absoluta markanspråk utgjordes år 2000 av barrskog, hyggen, myrmark och sjöar. Då området är utpekat som riksintresse för friluftsliv mot bakgrund av sin orördhet och tystnad kan etableringen av vindkraft även här antas ha en negativ inverkan på områdets värden. Denna påverkan kan antas vara negativ inte minst för kulturella värden, då den riskerar att försämra kvaliteten på ett friluftsområde som är viktigt för ett flertal samhällen.

Näsudden på Gotland utgör såväl ett område med höga natur- och kulturvärden (se bild 8). Hela den gotländska kusten är utpekad som riksintresse för friluftsliv baserat på dess höga naturvärden, tysthet och ovanliga, orörda landskapsbild. Kuststräckan längs med Näsudden är också utpekad som riksintresse för naturvård på grund av dess stora sammanhängande strandängar med hög biologisk mångfald (se attributtabell). Delar av intresseområdet utgörs av Natura2000-område mot bakgrund av det rika fågellivet och områdets funktion som habitat för skyddsvärda arter (se attributtabell). Inom områdena av riksintresse för naturvård och friluftsliv är 36 vindkraftverk placerade, vilka utgör en del av en större vindkraftspark på totalt 56 turbiner med en totalhöjd på mellan 30 och 145 m. Vindkraftsparkens absoluta och totala markanspråk utgjordes år 2000 främst av betesmark, men även av mindre områden av barrskog, ungskog och myrmark. Även här kan etableringen av vindkraft antas ha en negativ påverkan på den orörda och ovanliga landskapsbilden, såväl som tystnaden, vilket vidare kan antas vara negativt för områdets kulturella värden i form av såväl landskapsbild som rekreationsområde.

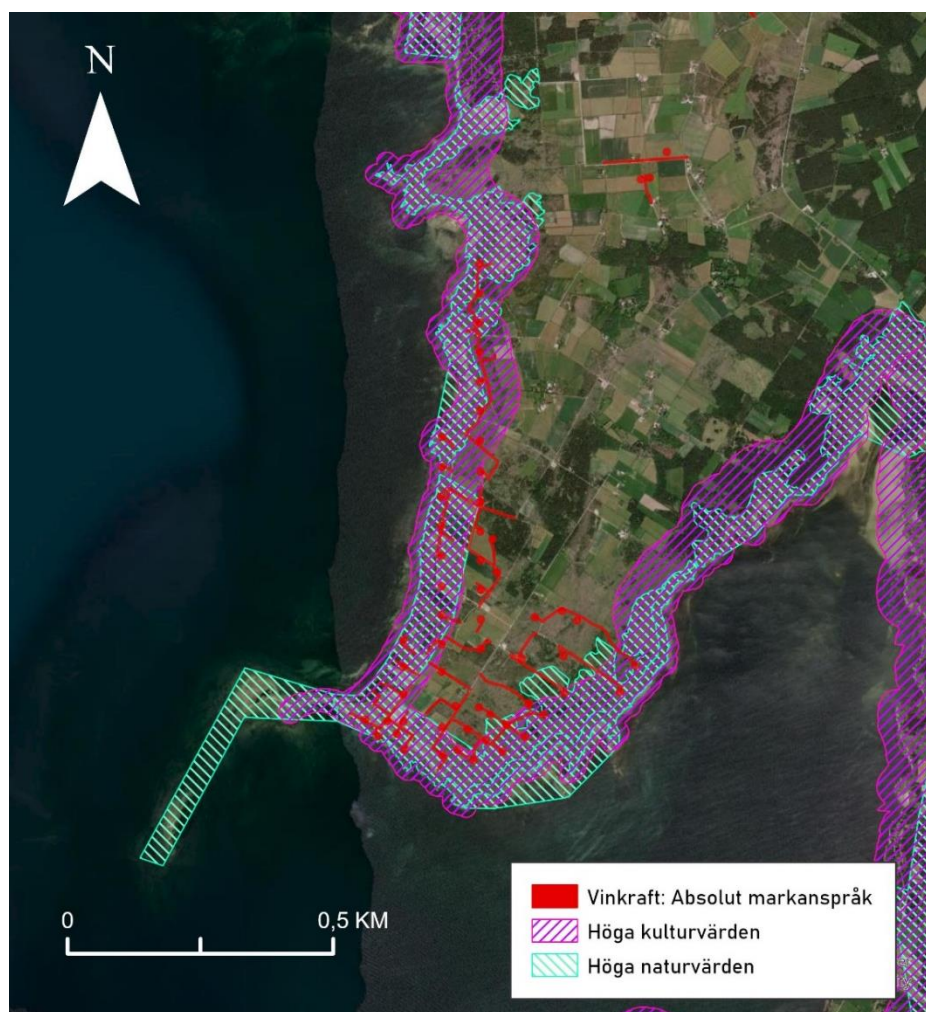


Bild 8: Karta över markanspråk för vindkraftspark på Näsudden, Gotland, i relation till områden kategoriserade efter "höga kulturvärden" respektive "höga naturvärden", skapad utifrån data från Vindbrukskollen (2021), Svensk solenergi (2021), Naturvårdsverket (2017; 2020; 2021; 2022), Energimyndigheten (2021), Försvarmakten (2021) och Sametinget (2018). Bakgrundsbild: Ortofoto, 1m färg från Esri (2022).

5.3 Framtidens sol och vind i Stockholm

Resultatet av beräkningarna för den framtida produktionen av vindkraft i Stockholm redovisas i tabell 15. Förutsatt att fördelningen av vindkraftsproduktionen mellan länen andelsmässigt följer Energimyndighetens (2021a) strategiska riktning, och att all ökning i produktion över 234 TWh årligen fördelas mellan solenergi och vindkraft, kommer mellan år 2045 och år 2050 krävas en utbyggnad på mellan 114 och 189 vindkraftverk i Stockholms län. Detta är att jämföra med dagens produktion, vilket utgörs av 25 turbiner. En sådan framtida produktion skulle innebära att Stockholm skulle bära 2,3 % av den nationella produktionen av vindkraft.

Tabell 15: Scenarier produktionsnivåer för vindkraft på nationell skala samt i Stockholms län. Baserad på data från Energimyndigheten (2021a; 2021b).

Scenario (Totalt elbehov)	Årsproduktion landbaserad vindkraft (TWh)	Antal turbiner Sverige	Produktion Stockholms län (TWh)	Antal turbiner Stockholm län
Energimyndigheten (200 TWh)	105	4998	2,4	114
Svenska Kraftnät (290 TWh)	155,96	7424	3,56	169
Energibranschen (310 TWh)	174,16	8290	3,98	189

Den multi-kriterie-analys som gjorts i denna studie, för att hitta möjliga placeringar för framtida vindkraftsproduktion, resulterade i att vindkraften i scenarierna främst upptar mark i form av skogsmark, följt av halvnaturlig mark och jordbruksmark. Dock innebär placeringarna inga inskränkningar på områden med höga natur- eller kulturvärden för något av scenarierna. Resultatet av placeringen av vindkraftverken för samtliga scenarier visualiseras i bild 9, tillsammans med placeringen av dagens vindkraftverk.

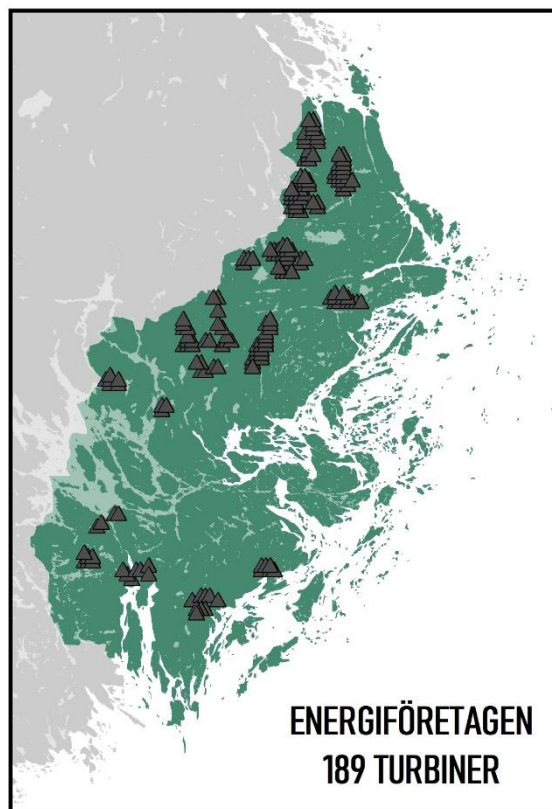
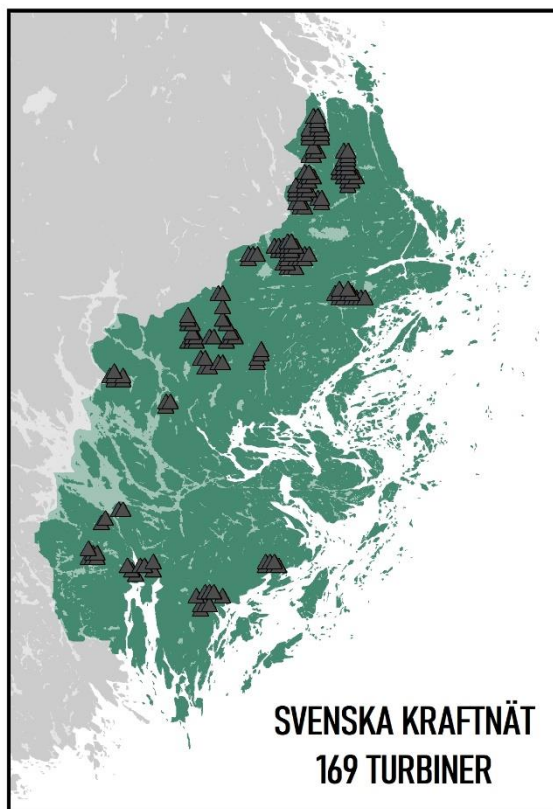
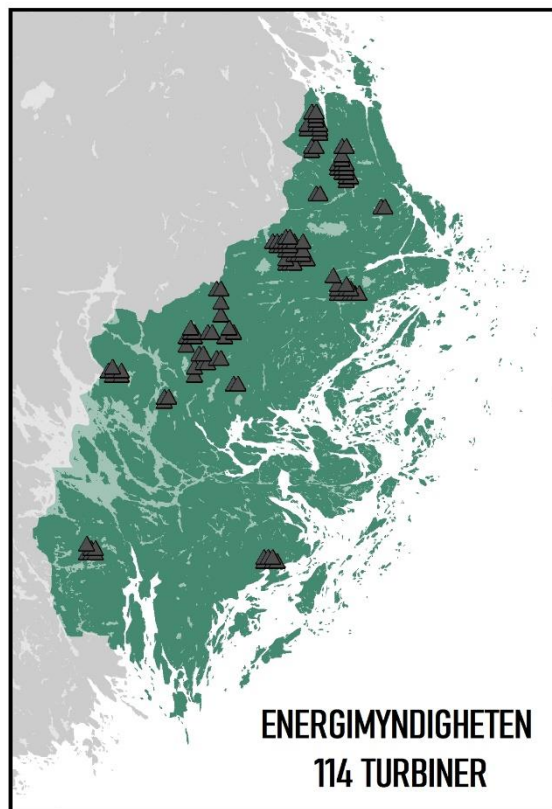


Bild 9: Kartor över scenarier för fördelning av vindkraftsturbiner i stockholmsregionen, skapade med data från Energimyndigheten (2021), Naturvårdsverket (2015; 2017; 2020), Energimyndigheten (2011), Lantmäteriet (2022) och Försvarsmakten (2021). Bakgrundsbild: Administrativa gränser från Lantmäteriet (2020).

5.3.1 Solcellsparkernas markanspråk 2040

Mot bakgrund av avsaknaden av samtida solenergiproduktion i Stockholms län och nationella riktlinjer för framtida utbyggnad av solenergi i länet har scenarierna för solenergiproduktionen istället gjorts på nationell nivå. För att ge en rumslig referens till omfattningen av ytanspråket har solkraftsproduktionens totala yta för varje scenario slagits samman och placerats i centrum av Stockholms län (se bild 10). Resultatet av analyserna visar att en yta på mellan 90,7 km² och 147 km² kommer krävas för framtidens markbaserade solenergiproduktion, givet att samtida fördelning mellan takburen och markburen produktion består (se Svensk Solenergi, 2021). I dagsläget uppskattas alltså Sveriges samlade nationella produktion av solenergi av markburna solcellsparker ha ett ytanspråk motsvarande knappt halva Lidingö (10,88 km²). För att möta framtida behov visar resultatet av denna analys att markburna solcellsparker kommer ha ett ytanspråk på mellan 90,7 km² och 147 km². För Energimyndighetens scenario (90,7 km²) utgör detta ett nationellt behov som motsvarar en yta lika stor som hela Lidingö, Djursholm, Danderyd, Nora, Djurgården, Östermalm och Södermalm. För Energiföretagens scenario (147 km²) motsvarar det en yta lika stor som hela Lidingö, Djursholm, Danderyd, Nora, Djurgården, Östermalm, Södermalm, Bogesund, Bromma och Sundbyberg. Utöver detta markanspråk tillkommer för varje scenario ett lika stort ytbehov för takburen solcellsproduktion. Beräkningarna för framtidens produktion presenteras i tabell 16.

Tabell 16: Scenarier för ytanspråk för den nationella produktionen av solenergi med markburna solcellsparker, skapad med data från Svensk Solenergi (2021) och SCB (2021b; 2022).

Scenario (Totalt elbehov)	Årsproduktion solceller	Installerad effekt solceller (1,2 GW/TWh)	Totalt ytbehov (78 W/m ²)	Ytbehov markburna solcellsparker
Energimyndigheten (234 TWh)	11 TWh	13,2 GW	174,4 km ²	90,7 km ²
Svenska Kraftnät (290 Twh)	16 TWh	19,25 GW	254,2 km ²	132,2 km ²
Energibranschen (310 TWh)	17,8 TWh	21,4 GW	282,8 km ²	147 km ²

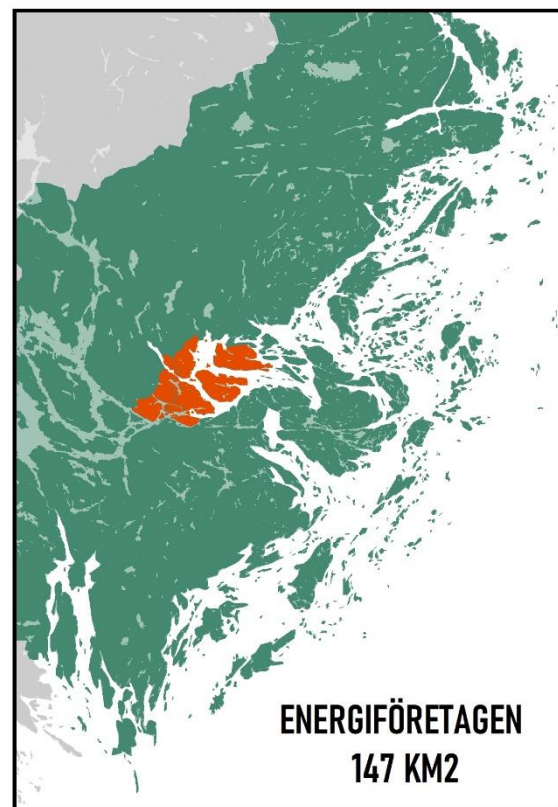
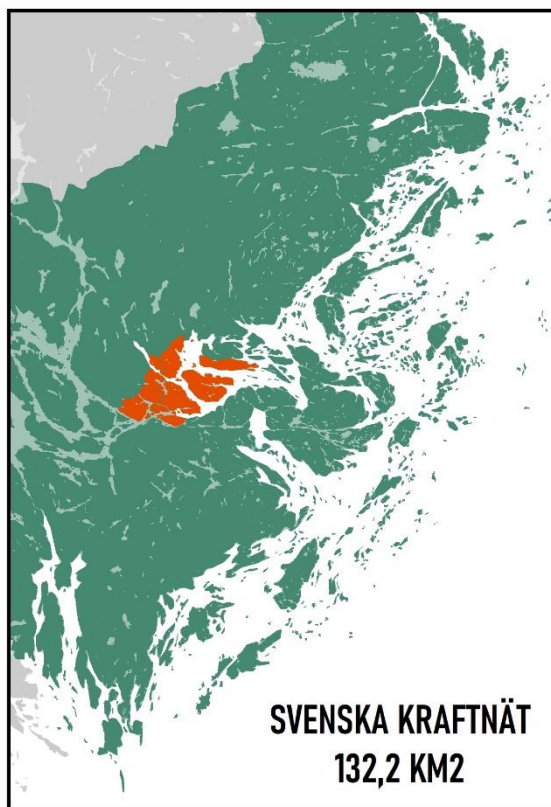
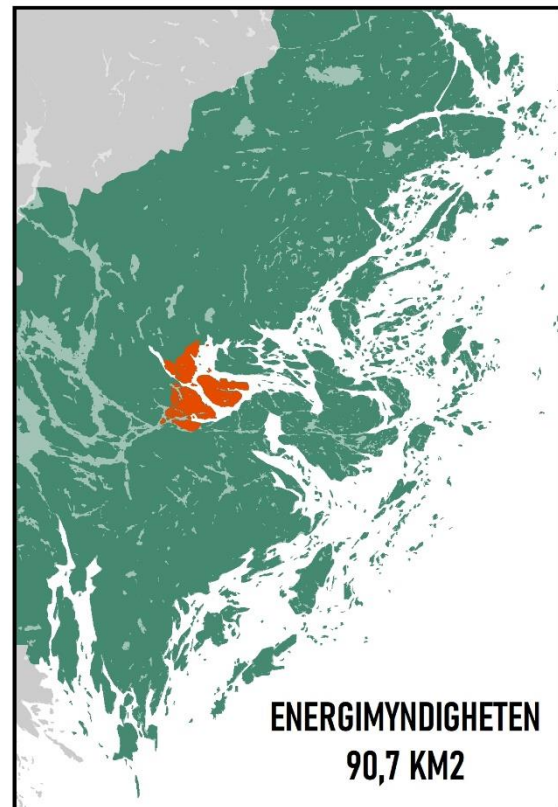


Bild 10: Kartor över scenarier för ytanspråk för den nationella produktionen av solenergi med markburna solcellsparker, skapad med data från Svensk Solenergi (2021) och SCB (2021b; 2022). Bakgrundsbild: Administrativa gränser från Lantmäteriet (2020).

6. Diskussion

Avsnittet diskuterar resultatet av analyserna utifrån uppsatsens teoretiska ramverk. Diskussionen berör främst förhållandet mellan solenergin och vindkraftens markanspråk, dess potentiella påverkan på ekosystemtjänster i landskapen och hur denna påverkan kan förstås utifrån principer för hållbara förnyelsebara energilandskap.

6.1 Solenergin och vindkraftens energilandskap

Resultatet av den rumsliga analysen av solenergin och vindkraftens samtida markanspråk visade på ett gemensamt *absolut markanspråk* på uppemot 80 km² och ett gemensamt totalt *funktionellt markanspråk* på omkring 4 355 km². Resultatet visar alltså att en yta motsvarande storleken på Malmö stads tätort idag är tagen i anspråk av energiinfrastruktur som kräver begränsad växtlighet och bitvis hårdlagda ytor. Utöver detta är ytterligare en yta motsvarande runt tio gånger storleken på Göteborg stad utsatt för störningar och säkerhetsrisker relaterade till vindkraftsproduktion, vilka bland annat begränsar möjligheten att nyttja ytan för bostäder (Energimyndigheten, 2021a:25–27). Den mängd förnyelsebar energi som produceras på detta markanspråk motsvarar runt 18 % av Sveriges årliga behov av elektricitet och ungefär 5,5 % av Sveriges totala energiomsättning (Energimyndigheten, 2021d; SCB, 2021b; SCB, 2022; Svensk Solenergi, 2022). Resultatet av den rumsliga analysen visar att det främst är skogsmark, i synnerhet barrskog, samt jordbruksmark, i synnerhet åkermark, som tagits i anspråk av infrastruktur för solenergi- och vindkraftsproduktion.

För att förstå resultatet i relation till ekosystemtjänster och en hållbar utveckling av svenska landskap krävs vidare förståelse för hur energiinfrastrukturen samverkar med de landskap där de etableras. Pasqualettis och Stremkes (2018) typologi över olika typer av energilandskap är ett sätt att närma sig en sådan förståelse på ett teoretiskt plan. Sett till solenergin och vindkraftens rumsliga egenskaper finns det en skillnad mellan hur etableringen av infrastruktur för respektive energislag påverkar lokal markanvändning. Således kan det även antas finnas skillnader mellan vilka typer av energilandskap de genererar, och vidare vilka betydelser energislagen får för hållbar utveckling av landskap. Utifrån Pasqualettis och Stremkes (2018) typologi kan solenergiproduktion antas ha en mindre omfattande påverkan på markanvändning jämfört med vindkraft. Solenergin har en relativt högre energidensitet och mer effektiv ytanvändning, vilket minskar det totala behovet av yta (Capellano-Pérez et al, 2017). Dessutom har den mer dynamiska temporära egenskaper, tack vare att den konstrueras i moduler, vilket gör att den enkel både att placera ut nära befintlig infrastruktur och avveckla. Därför kräver solenergiproduktion mindre kompletterande infrastruktur, samtidigt som det finns goda möjligheter att återuppta tidigare markanvändning efter avslutad produktion (se ex Sijmons, 2014). Dock har solenergin, liksom vindkraften, relativt dominerande egenskaper och således har de båda energislagen trots allt en påverkan på de landskap där de etableras. Därmed är frågan om en strategisk placering av infrastrukturen central för att minimera negativ påverkan samt optimera energiproduktionen och minska ytbehovet (Energimyndigheten, 2021b).

Strategisk placering som minimerar negativ påverkan på landskapet kräver djupgående kunskap om de specifika platser där infrastrukturen ska placeras, vilket inte är möjligt att inhämta för den här typen av generella och storskaliga studier. Om insikter från typologin över energislagens rumsliga egenskaper (Pasqualetti & Stremke, 2018) sammanförs med resultatet från kartläggningen över energiproduktionens markanspråk, om kvantitativ och kvalitativ kunskap kombineras (se Longley et al, 2011 m.fl), kan resultatet indikera vilken påverkan energislagen får på lokala landskap. Resultatet av kartläggningen visade på hur de kartlagda solcellsparkerna främst tagit i anspråk mark som tidigare använts för jordbruk, samt mindre andelar anlagd yta och skogsmark. Att det är främst jordbruksmark som tagits i anspråk kan förklaras åtminstone delvis utifrån hur jordbruksmarker ofta utgörs av öppna och solutsatta ytor i södra Sverige, vilket också utgör optimala placeringar för solcellsparkar. Med hänsyn till solcellsparkernas rumsliga egenskaper indikerar resultatet att den jordbruksmark som tagits i anspråk sannolikt inte längre används för jordbruk, på grund av solcellernas utträngande effekt. Det finns förvisso exempel på försök att kombinera solenergiproduktion och jordbruk (se Vetenskapsradion Klotet, 2021, 15 december), men idag är sådana praktiker fortfarande ovanliga. Dock är det, tack vare solcellernas dynamiska temporära egenskaper, sannolikt möjligt att återuppta jordbruket efter avslutad solenergiproduktion. Den mark som tagits i anspråk av vindkraftens absoluta markanspråk utgjordes till största del av skogsmark, men även till stor del av jordbruksmark och halvnaturlig mark. Sett till vindkraftens egenskaper kan den mark som tagits i anspråk antas ha röjts och delvis hårdlagts, och de typer av markanvändningar som tidigare fanns på platsen har sannolikt trängts bort. Därför kan etablering av vindkraft antas orsaka mer omfattande förändringar i skogslandskap, där högväxande vegetation måste avverkas, än i exempelvis jordbrukslandskap och andra områden med låg vegetation. Vidare har vindkraften också relativt permanenta rumsliga egenskaper, inte minst sett till att det idag är rådande praxis att låta betongfundament ligga kvar i marken efter att turbinerna avverkats (Energimyndigheten, 2016). Därför är det inte självklart att det är möjligt att återuppta tidigare markanvändning efter att turbinerna avvecklats, i synnerhet inte gällande jordbruksmark (Ljungström, & Svensson, Å, 2021). Sammanfattningsvis kan både solenergi- och vindkraftsproduktion antas orsaka förändrad markanvändning, i synnerhet inom sitt absoluta markanspråk. På grund av skillnader i strukturernas permanens kan solenergin dock antas ha mer tillfällig påverkan på det lokala landskapet, medan vindkraftens påverkan är mer långtgående.

6.1.1 Solenergin och vindkraftens påverkan på ekosystemtjänster

För att avgöra vilken betydelse den förändrade markanvändning som orsakas av solenergi- och vindkraftsproduktion har för en hållbar utveckling av landskap kan begreppet ekosystemtjänster användas. I denna uppsats har olika typer av markanvändning använts som indikatorer för tillgången på ekosystemtjänster i landskap, utifrån Naturvårdsverkets (2017) ekosystemtjänstförteckning. Utifrån den här uppsatsens avgränsningar och med hänsyn till såväl resultat som teoretiskt ramverk kan slutsatser främst dras gällande påverkan på ekosystemtjänster inom respektive energislags absoluta markanspråk. Inom det absoluta markanspråket har både solenergi- och vindkraftsproduktionen i dagsläget en ganska

utträngande effekt, vilket kan antas ha en negativ inverkan på tillgången på ekosystemtjänster. Dock kan solcellsparkernas påverkan generellt sett förstås som mer temporär än vindkraftens.

Resultatet från GIS-analysen visar att framför allt barrskog och åkermark tagits i anspråk, vilket innebär att ekosystemtjänster inom samtliga kategorier, alltså *försörjande*, *reglerande*, *kulturella* och *stödjande*, kan ha påverkats negativt. Enligt Naturvårdsverkets (2017) ekosystemtjänstförteckning är barrskog förknippat med ekosystemtjänster som produktion av livsmedel och materia, luft- och vattenrening, koldioxindinbindning, temperaturreglering, nedbrytning av biologiskt material och attraktiva rekreativmiljöer. Åkermark är förknippat med tjänster som produktion av livsmedel, pollinering och fröspridning, nedbrytning av biologiskt material och kulturarv. Enligt Naturvårdsverkets (2017) ekosystemtjänstförteckning huserar anlagda ytor i regel inte några ekosystemtjänster alls. I denna uppsats förstås dock förnyelsebar energiproduktion som en försörjande ekosystemtjänst (se Picchi et al, 2019), samtidigt som solcellsparkers och vindkraftverks absoluta markanspråk betraktas som anlagd yta. Vidare menar de Groot et al (2010) att exploaterade områden kan husera kulturella ekosystemtjänster, men påpekar att förändring av landskapet i regel är negativt för kulturella ekosystemtjänster. Sammantaget kan detta förstås som att solcellsparkers och vindkraftsturbiner utgör anlagda ytor, vilka genererar den försörjande ekosystemtjänsten förnyelsebar energi men sannolikt inte några andra ekosystemtjänster. Ekosystemtjänster är dock ofta ett resultat av komplexa strukturer i landskapet, såväl sociala som biologiska (de Groot et al, 2010; Picchi et al, 2019). Därför är det inte säkert att de befintliga ekosystemtjänsterna i ett landskap påverkas negativt på varje plats där solenergi- eller vindkraftsproduktion etableras. Däremot kan etableringen av solcellsparkers eller vindkraftsturbiner förstås som en indikator på att en avvägning har gjorts mellan existerande ekosystemtjänster i landskapet och förnyelsebar energiproduktion (se Picchi et al, 2018).

I synnerhet stödjande-, reglerande- och kulturella ekosystemtjänster är resultat av komplexa samspel i landskapet. Därför utgör markanvändning en otillräcklig indikator för kartläggning av dessa. Dock tenderar skyddade områden eller områden med hög biologisk mångfald att överlappa med områden med god tillgång på dessa ekosystemtjänster (se Naturvårdsverket, u.å.b; de Groot et al, 2010). Därför kan geografisk överlappning mellan energiinfrastrukturernas absoluta markanspråk och områden med höga natur- eller kulturvärden förstås som en kompletterande indikator på solenergin och vindkraftens påverkan på tillgång på ekosystemtjänster i landskapet. Kartläggningen av hur solenergin och vindkraftens markanspråk överlappade med områden med höga natur- eller kulturvärden visade att runt 2,93 km² av solenergin och vindkraftens absoluta markanspråk överlappade med områden med höga naturmässiga värden och omkring 2,71 km² överlappade med områden med höga kulturella värden. Inom detta markanspråk sannolikt skett en avvägning mellan förnyelsebar energiproduktion och de stödjande-, reglerande- och kulturella ekosystemtjänster som möjligen funnits på platsen.

Med hänsyn till svårigheterna att avgöra solenergin och vindkraftens faktiska påverkan på tillgången på ekosystemtjänster i enskilda landskap kan resultatet av kartläggningen ändå förstås som en indikation på hur energislagen påverkat svenska landskap under de senaste två decennierna. Utifrån uppsatsens teoretiska ramverk kan resultatet av kartläggningen förstås som en indikator på att etableringen av solenergi och vindkraft i viss mån undergräver lokala

landskaps förmåga att tillhandahålla stödjande-, reglerande- och kulturella ekosystemtjänster. Vidare tycks en omfattande avvägning också ske mellan olika försörjande ekosystemtjänster, specifikt livsmedels- och materialproduktion och förnyelsebar energiproduktion. Då de stödjande- och reglerande ekosystemtjänsterna utgör grundförutsättningar för försörjande ekosystemtjänster (Naturvårdsverket, 2017) riskerar etableringen av solenergi- och vindkraftsproduktion att både på kort och lång sikt undergräva landskapens förmågor att tillhandahålla andra försörjande ekosystemtjänster. Sammantaget kan en omfattande utbyggnad av solenergi- och vindkraftsproduktionen därför sägas innebära en risk för en minskad mångfald av ekosystemtjänster i landskapet.

6.2 En hållbar utveckling av landskapen?

En hållbar utveckling av svenska landskap förstås i denna uppsats som riktningen på utvecklingen, med hänsyn till en ökad eller minskad fränkoppling mellan strukturer inom landskapet. Som inledningsvis konstateras i denna uppsats så möjliggjorde fossila bränslen en geografisk separering av platser för produktion och platser för konsumtion (Bridge et al, 2013; Scognamiglio, 2016). Detta menar Selman (2012) har bidragit till en ohållbar fränkoppling av bland annat ekonomisk aktivitet och extrahering och skapat mono-funktionella landskap med låg förmåga att tillgodose sina invånare med essentiella ekosystemtjänster. En omställning mot mer förnyelsebar energiproduktion, vars källor är mer invävda i landskapet (Bridge et al, 2013), borde därför kunna öka återkopplingen och ha en positiv inverkan på landskapens utveckling. Resultaten i den här uppsatsen pekar dock på hur etablering av solenergi- och vindkraftsproduktion sannolikt sker på bekostnad av andra ekosystemtjänster i svenska landskap. Således finns en risk att landskapens förmåga att lokalt förse sina invånare med ekosystemtjänster riskerar att minska, i synnerhet i landskap med en hög etableringsgrad. Om den lokala självförsörjningsförmågan minskar ökar beroendet av tillförsel av tjänster från andra landskap, vilket kan förstås som att graden av fränkoppling ökar, åtminstone på nationell skala. Ur ett globalt perspektiv skulle återkopplingen kunna sägas öka, då de fossila bränslen som står för en stor del av den svenska energikonsumtionen importeras från landskap i andra länder. Omställningen mot en mer förnyelsebar energiproduktion kan därför förstås som att viss del av den negativa påverkan som fossil energiproduktion haft på externa landskap nu internaliseras och placeras i Sverige. En negativ utveckling för hållbarheten i svenska landskap är alltså inte synonymt med en negativ utveckling för den globala hållbarheten.

Naturvårdsverket (2017) menar att förståelsen av tillgången på ekosystemtjänster i ett landskap inte enbart kan utgå från den rådande kapaciteten, utan också måste förstås utifrån framtida potential. Utifrån detta perspektiv utgör etablering av vindkraftverk en speciellt negativ påverkan, sett till dess höga permanens, eftersom det på lång sikt hämmar landskapens möjlighet att tillhandahålla andra ekosystemtjänster. Etablering av energiinfrastruktur inom områden med höga naturvärden, i synnerhet områden med betydelse för biologisk mångfald, kan även det förstås som långsiktigt negativt för den långsiktiga kapaciteten. Detta då områden med hög biologisk mångfald tenderar att husera stödjande- och försörjande ekosystemtjänster, vilka utgör grundläggande förutsättningar för andra ekosystemtjänster (Naturvårdsverket, 2017). Förlust av stödjande- och försörjande tjänster undergräver på sikt således tillgången på

alla typer av ekosystemtjänster i landskapen. Resultatet av analysen indikerar alltså att på den mark som tagits i anspråk som absolut markanspråk för solenergi- och vindkraftsproduktion har en förändrad markanvändning skett, vilket kan förstås som att en avvägning har skett mellan en mångfald av olika ekosystemtjänster och den enskilda ekosystemtjänsten förnyelsebar energiproduktion. Om hållbar utveckling förstås som en process snarare än ett bestämt slutmål (se Selman, 2012) indikerar resultatet att utvecklingen av de svenska landskapen rör sig i en riktning mot mindre hållbarhet. Det tycks ske en förlust av lokalt tillgängliga ekosystemtjänster av alla typer till förmån för produktion av förnyelsebar energi, som inte alltid förbrukas lokalt.

6.3 Framtidens energilandskap

Sett till Energimyndighetens (2021a) fördelning av framtidens vindkraftsproduktion kommer påverkan från energiinfrastruktur på landskapens möjlighet att tillhandahålla ekosystemtjänster, och således också hållbar utveckling, vara geografiskt ojämnt fördelad. Vissa landskap riskerar att lida mer omfattande förluster än andra, på grund av högre exploateringsgrad, vilket får betydelse för lokal tillgång på andra ekosystemtjänster. Detta är vidare intressant sett till Selmans (2012) perspektiv på fränkoppling. En ökad tillgång på ekosystemtjänsten förnyelsebar energi i ett landskap med ett lågt energibehov, där energi således exporteras till andra landskap, kan antas generera åtminstone en upplevd förlust av lokala ekosystemtjänster. Detta är inte minst sant för ekosystemtjänster med hög lokal förankring, såsom kulturella tjänster. Scognamiglio (2016) menar att lokalt motstånd mot utbyggnaden av vindkraft, utifrån perspektiv på avvägningar mellan ekosystemtjänster, bör förstås som en konsekvens av en minskad total välfärd för lokalsamhället. När den förnyelsebara energiproduktionen koncentreras till ett fåtal landskap kommer de ekosystemtjänster som tidigare funnits i landskapen att påverkas. När dessa landskap då inte heller är de huvudsakliga mottagarna av elektricitetsproduktionen, eller för den delen de nyttor som kommer ur de industrier som framöver förväntas nyttja en stor del av elektriciteten, kommer de sannolikt uppleva en lokal välfärd förlust. I sin tur riskerar detta att generera lokalt motstånd (ibid.).

Mellan år 2045 och 2050 räknar olika tongivande instanser med en omfattande ökning av Sveriges nationella behov av elektricitet. Energimyndigheten (2021a) själva räknar med att framtidens solenergi ska producera 11 TWh och den havsbaserade och landbaserade vindkraften 125 TWh, vilket är en tiodubbling respektive en fyrdubbling av de nuvarande produktionsnivåerna. Svenska kraftnät respektive Energiföretagen räknar med ett betydligt större framtida behov av elektricitet. Givet att all ökning i elektricitetsbehovet över en nivå på 234 TWh/årligen fördelas på solenergin och vindkraften rör det sig nationellt sett om en utbyggnad på mellan 4998 och 8290 turbiner. Vad som vidare är anmärkningsvärt med detta resultat är att dessa produktionsnivåer enbart är baserade på en framtida efterfrågan av elektricitet, och alltså inte motsvarar det behov av elektricitet som krävs för att uppfylla Sveriges gällande energi- och klimatpolitiska mål (Energimyndigheten, 2021a:18).

De scenarier som tagits fram i denna uppsats visar hur en framtida installation av landbaserad vindkraft på mellan 105 och 181 turbiner kommer krävas för Stockholms län till år 2045, baserat på att länet förväntas bära 2,3 % av den nationella landbaserade vindkraften. Görs samma uppskattningar för Norrbottens län, vilket förväntas bära runt 11 % av den landbaserade

vindkraften, rör det sig om någonstans mellan 571 och 948 turbiner. Vid en första anblick låter detta som osannolika siffror, och det kanske det också är. Viktigt är dock att komma ihåg att solenergi och vindkraft i dagsläget anses vara bland de förnyelsebara energislagen med bäst potential i en svensk kontext (Energimyndigheten, 2019). Samtidigt råder ett högst osäkert läge för den svenska kärnkraftens utbyggnad och ett totalstopp för nyetablering av vattenkraft (Energimyndigheten, 2021a). Även om beräkningarna på framtida vindkraft i de två länen kan framstå som två lösryckta exempel kan de sägas påvisa en övergripande tendens i Energimyndighetens strategiska inriktning för utvecklingen av förnyelsebar energiproduktion. Dynamiken mellan södra och norra Sverige, där norra Sveriges landskap blir till platser för produktion och i synnerhet södra Sveriges centralorter blir till platser för konsumtion, där värde koncentreras, utgör utifrån Selmans (2012) principer en ohållbar struktur. Såväl landskap i norr som i söder blir beroende av extern tillförsel av tjänster och resurser för att kunna försörja sina invånare. Den befintliga strategiska inriktningen för omställning till en mer förnyelsebar energiproduktion följer denna dynamik, och kan således förstås som en ohållbar utveckling av landskapen ur såväl ett ekologiskt som socialt perspektiv. Den strategiska inriktningen utgör en ohållbar ekologisk utveckling eftersom den bygger ett system som kräver mer energi och resurser för transport och överföring av landskapens funktioner och tjänster. Inriktningen är även socialt ohållbar, då sådana transportberoende system inte bara är skörare utan också förskjuter nyttan av exploatering från de landskap som degraderas.

Om energilandskap i relation till förnyelsebar energi i modern tid kommit att förstås som ett av flera parallella lager av ett landskap (Stremke, citerad i Picchi et al, 2019), så är vi kanske åter på väg mot den mer traditionella betydelsen, där ett energilandskap är ett landskap dominerat och hårt präglad av energiproduktion. Denna tendens måste förstås i relation till hur vi i Sverige i stort varit förskonade från storskalig fossil energiutvinning, och således kunnat bevara våra nationella landskap tack vare att landskap i andra länder exploaterats. Således måste omställningen till en mer förnyelsebar energiproduktion också förstås som ett sätt för Sverige som nation att internalisera *delar av* miljöpåverkan som tidigare förskjutits, vilket självfallet har en positiv inverkan inte minst på hållbar utveckling utifrån ett klimatperspektiv och perspektiv på global rättvisa (se Energimyndigheten, 2021a). Utifrån en medvetenhet om detta finns det dock all anledning att ifrågasätta inriktningen på utvecklingen av förnyelsebar energiproduktion i Sverige idag. Som inledningsvis konstaterades innebär omställningen stora möjligheter att förändra rådande strukturer och bygga ett nytt, mer hållbart produktionssystem. I motsats till vad den här uppsatsen betraktar som rådande tendenser i utvecklingen så bör ett sådant system präglas av en återkoppling mellan samhälle och landskap, där energiutvinning och konsumtion måste komma närmare varandra. En sådan lokal förankring har potential att skapa en mer utbredd och levd förståelse för energiproduktionens effekter på landskapet och dess ekosystemtjänster, som i förlängningen skulle kunna öppna upp för diskussioner om vad vi vill att våra landskap och samhällen ska innehålla. I slutändan kräver en hållbar utveckling av förnyelsebara energilandskap kanske inte enbart teknologisk utveckling och metoder för att hitta en optimal placering av energiinfrastruktur. Om vi vill att våra svenska landskap ska kunna fortsätta att vara platser med storslagen natur och hög biologisk mångfald där vi kan ägna oss åt rekreation och kulturutövning så krävs kanske också ett kraftigt minskat nationellt behov av energi.

6.5 Metoddiskussion

Denna uppsats har i huvudsak använt sig av en kvantitativ metod, där statistik tagits fram för förändrad markanvändning, vilken sedan tolkats utifrån befintlig forskning och teori. Denna metod har medfört begränsningar i studiens möjligheter att dra tillförlitliga slutsatser om platsspecifika förhållanden och verklig förändring i landskapen. Uppsatsens resultat visar på generella förhållanden och kan peka på en möjlig riktning för utvecklingen av Sveriges framtida förnyelsebara energilandskap. För att mer specifika slutsatser ska kunna dras om såväl påverkan som framtida utveckling skulle en mer landskapsförankrad förståelse krävas, framför allt gällande solenergin och vindkraftens påverkan på naturmässiga och kulturella värden. För en sådan förankrad förståelse kan GIS som verktyg anses vara otillräckligt (se Longley et al, 2011). Kompletterande kvalitativa metoder hade krävts, så som platsbesök och intervjuer med människor med en mer långtgående relation till landskapen (se de Groot et al, 2010). Sett till de analyser som faktiskt gjorts kan resultaten dock betraktas som relativt tillförlitliga, tack vare att högkvalitativa data använts. För de data-set som utgjort GIS-analysernas kärna har kvalitet diskuterats med hög transparens. På grund av den stora mängd data-set som används har det dock inte varit möjligt att i detalj diskutera kvaliteten på all data, vilket medför brist i transparens och risk för felaktigheter i såväl resultat som analys. En ytterligare central källa till möjliga felaktigheter är grundantagandet att den markanvändningen på de platser där solenergi- och vindkraftsinfrastruktur placerats har varit den samma mellan år 2000 och tidpunkten för etablering av energiproduktion.

Kvaliteten i uppsatsens resultat har även påverkats av att avgränsningen av ämnet för undersökningen varit allt för omfattande. Såväl undersökningen av det samtida markanspråket som utformningen av scenarierna för framtida solenergi- och vindkraftsproduktion utgör relevanta forskningsområden i sig, som båda förtjänar vidare fördjupning. Konsekvensen av den för stora avgränsningen har framför allt blivit att framtidsscenierna för solenergiproduktion utformats på nationell skala, istället för regional. Detta har resulterat i en mindre begriplig bild av Sveriges framtida energilandskap. För ytterligare mer korrekta och användbara framtidsscenarioer skulle också fler förnyelsebara energislag behöva inkluderas, i syfte att skapa en mer nyanserad diskussion om möjliga framtider. Vidare hade även ett måluppfyllande scenario kunnat fylla en viktig funktion för att på djupet förstå vilken inverkan den svenska energiomställningen kan komma att ha på svenska landskap.

7. Slutsats

Den här uppsatsen har syftat till att bidra till en fördjupad förståelse för konsekvenserna av den svenska energiomställningen utifrån markanspråk och principer om *hållbara förnyelsebara energilandskap*. Detta har gjorts utifrån två metoder: en kartläggning av solenergin och vindkraftens samtida markanspråk, samt en utformning av exemplifierande scenarier över möjliga framtida energilandskap på regional skala. Resultatet av kartläggningen och scenarierna har vidare analyserats utifrån uppsatsens teoretiska ramverk, främst i relation till ekosystemtjänster och hållbar utveckling av landskap.

Resultatet av kartläggningen visar att den utbyggnad av solenergi och vindkraft som skett sedan år 2000 främst tagit jordbruksmark i anspråk, i form av åkermark, samt skogsmark, i form av barrskog. Vidare visar resultatet att det även finns en viss överlappning mellan solenergin och vindkraftens markanspråk och områden med höga natur- och kulturvärden, med en betydande påverkan åtminstone på vissa av dessa områden och dess skyddsvärden. De två energislagens markanspråk har förståtts som indikatorer på hur etableringen av energiproducerande infrastruktur påverkar landskapets förmåga att tillhandahålla ekosystemtjänster. Detta har vidare förståtts som en indikator på huruvida etableringen av energiinfrastruktur påverkar hållbar utveckling av svenska landskap. Slutsatsen är att på de platser där förnyelsebar infrastruktur etablerats har avvägningar skett mellan den enskilda försörjande tjänsten förnyelsebar energiproduktion och en mångfald av andra ekosystemtjänster, till fördel för energiproduktionen.

Utifrån Energimyndighetens (2018; 2019; 2021a; 2021b) strategiska dokument har exemplifierande regionala scenarier tagits fram för framtida solenergi- och vindkraftsproduktion i Stockholms län. Utifrån dessa scenarier kan slutsatsen dras att risken för minskad mångfald av ekosystemtjänster i vissa landskap, till följd av förändrad solenergin och vindkraftens markanspråk, kan förstärkas inom kommande decennier. Med hänsyn till såväl strategisk fördelning av framtida vindkraftsproduktion som samtida elektricitetsförbrukning i olika län dras även slutsatsen att det finns en risk för en utveckling där även förnyelsebar energiproduktion kommer generera traditionella energilandskap. I relation till förnyelsebar energi har begreppet energilandskap kommit att förstås som ett av många lager av landskapsstrukturer som parallellt existerar i ett landskap. Sett till framtida förväntade behov av elektricitetsproduktion, geografiskt ojämn fördelning och centralisering av produktionen finns en risk för en återgång till traditionella energilandskap, där energiproduktionen får en dominerande och utträngande effekt på andra strukturer och ekosystemtjänster i vissa landskap. Denna utveckling är i konflikt med vad som i denna uppsats definieras som hållbara förnyelsebara landskap, vilka präglas av en ökad återkoppling till det lokala (se Selman 2012). Snarare finns en risk för negativ inverkan på den hållbara utvecklingen, där lokal välfärd minskar i vissa landskap till följd av kritiska avvägningar mellan ekosystemtjänster. Mot bakgrund av tidigare forskning (se Scognamiglio, 2016) kan det således sägas finnas en risk att framtida utbyggnad av solenergi och vindkraft fortsätter att möta lokalt motstånd.

Trots dessa slutsatser om solenergi- och vindkraftsproduktionens negativa effekt på hållbar utveckling av svenska landskap är det viktigt att påpeka att omställningen till en förnyelsebar energiproduktion är att föredra i relation till fortsatt förbränning av fossila bränslen. Som inledningsvis konstaterades måste dock denna omställning utgå från en förståelse för betydelsen av elektricitetsproduktionens markanspråk för specifika landskap. Resultatet i denna uppsats indikerar att denna påverkan kan bli både omfattande och negativ sett till en hållbar utveckling av landskap. Därför är det kanske hög tid att inte bara ifrågasätta vilka energikällor som är godtagbara inom ramen för en hållbar utveckling av samhälle och landskap, utan också vad vi är beredda att offra för en fortsatt växande energikonsumtion.

7.1 Framtida forskning

Mot bakgrund av slutsatserna i denna uppsats finns det ett behov av att bedriva forskning som inte bara försöker hitta lösningar för att möta framtidens ökade elektricitetsbehov, utan också vågar ifrågasätta detta ökade behov utifrån perspektiv på en hållbar utveckling av landskap. En sådan forskning bör utgå från landskaps potential och långsiktiga kapacitet, i relation till sina lokala invånares behov, för att hitta godtagbara nivåer av energiproduktion som inte hotar andra essentiella värden i landskapet. Vidare måste sådan forskning utgå från ett livscykel-perspektiv på de olika energislagens behov av såväl resurser som markanspråk, och en förståelse för vilken påverkan som sker i de landskap där resurserna utvinns. Detta kommer vara centralt för att på en global nivå kunna driva omställningen till en förnyelsebar energiproduktion i en mer hållbar riktning.

Referenslista

- Anshelm, J. & Simon, H. (2016). Power production and environmental opinions – Environmentally motivated resistance to wind power in Sweden. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, volym 57, ss. 1545–1555. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.211>.
- Benson, J. & Roe, M. (2001). The scale and scope of landscape and sustainability. I Benson, J. & Roe, M. (Red.) *Landscape and sustainability*, ss.1–12. London: Spon Press.
- Boverket. (2009). *Vindkraftshandboken - Planering och prövning av vindkraftverk på land och i kustnära vattenområden*. Solna: Åtta.45 Tryckeri AB.
- Boverket. (2020). *PBL Kunskapsbanken- en handbok om plan- och bygglagen*. Hämtad 2022-03-23 från: <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/>.
- Bridge, G., Bouzarovski, S., Bradshaw, M. & Eyre, N. (2013). *Geographies of energy transition: Space, place and the low-carbon economy*. *Energy Policy*, volym 53, ss. 331–340. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2012.10.066>.
- Capellán-Pérez, I., de Castro, C. & Arto, I. (2017). Assessing vulnerabilities and limits in the transition to renewable energies: Land requirements under 100% solar energy scenarios. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, volym 77, ss.760–782. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.137>.
- Darpö, J. (2020a). *Should locals have a say when it's blowing? The influence of municipalities in permit procedures for windpower installations in Sweden and Norway*. Del av slutrapport för PROSPEC. Hämtad 2022-05-30 från: http://jandarpö.se/wp-content/uploads/2021/10/PROSPEC-Vk_JPM.pdf.
- Darpö, J. (2020b). *Hur många fick lov? Och varför fick de andra nobben? - Statistik och betraktelser över tillstånd till vindkraft på land och till havs*. Del av slutrapport för PROSPEC. Hämtad 2022-05-30 från: http://jandarpö.se/wp-content/uploads/2021/10/PROSPEC-Vk_JPM.pdf.
- de Groot, R.S., Alkemade, R., Braat, L., Hein, L. & Willemen, L. (2010). Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. *Ecological Complexity*, volym 7(3), ss. 260–272. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2009.10.006>.
- Denscombe, M. (2018). *Forskningshandboken- för småskaliga forskningsprojekt inom samhällsvetenskaperna*. Lund: Studentlitteratur AB.
- Du Pisani, J. A. (2006). Sustainable development – historical roots of the concept. *Environmental Sciences*, volym 3(2), ss. 83–96. DOI: 10.1080/15693430600688831
- Energimyndigheten. (2016). *Vägledning om nedmontering av vindkraftverk på land och till havs*. Bromma: Arkitektkopia AB.
- Energimyndigheten. (2018). *Vägen till ett 100 procent förnybart elsystem- Delrapport 1: Framtidens elsystem och Sveriges förutsättningar (ER 2018:16)*. Bromma: Arkitektkopia AB.
- Energimyndigheten. (2019). *100 procent förnybar el- Delrapport 2: Scenarier, vägval och utmaningar (ER 2019:06)*. Bromma: Arkitektkopia AB.

Energimyndigheten. (2020). *Vindförhållanden*. Hämtad 2022-03-23 från: <https://www.energimyndigheten.se/fornybart/vindkraft/vindlov/planering-och-tillstand/gardsverk/inledande-skede/vindforhallanden/>.

Energimyndigheten. (2021a). *Framtidens elektrifierade samhälle- Analys för en hållbar elektrifiering*. Bromma: Arkitektkopia AB.

Energimyndigheten. (2021b). *Nationell strategi för en hållbar vindkraft*. Bromma: Arkitektkopia AB.

Energimyndigheten. (2021c). *Energiläget 2021- en översikt*. Bromma: Arkitektkopia AB.

Energimyndigheten. (2021d). *Statistikdatabas- Nätanslutna solcellsanläggningar, antal och installerad effekt, fr.o.m. år 2016 -*. Hämtad 2022-04-13 från: https://pxexternal.energimyndigheten.se/pxweb/sv/N%c3%a4tanslutna%20solcellsanl%c3%a4ggningar/N%c3%a4tanslutna%20solcellsanl%c3%a4ggningar/EN0123_1.px/table/tableViewLayout2/?loadedQueryId=b932f71f-f45a-4e04-a3ad-7e7bc16f42ee&timeType=from&timeValue=0.

Energimyndigheten. (2021e). *Ny statistik över installerad vindkraft 2020*. Hämtad 2022-02-18 från: <https://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2021/ny-statistik-over-installerad-vindkraft-2020/>

Ek, K., Persson, L., Johansson, M. & Waldo, Å. (2013). Location of Swedish wind power—Random or not? A quantitative analysis of differences in installed wind power capacity across Swedish municipalities. *Energy Policy*, volym 58, ss.135-141. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.02.044>.

Frantal, B, Pasqualetti, M & van der Horst, D. (2014). New Trends and Challenges for Energy Geographies: Introduction to the special issue. *Moravian Geographical Reports*, volym 2(22), ss. 2-6. DOI: 10.2478/mgr-2014-0006.

Försvarsmakten. (u.å.). PM - *Vägledning vindkraft*. Hämtad 2022-03-23 från: <http://www.energimyndigheten.se/globalassets/fornybart/strategi-for-hallbar-vindkraftsutbyggnad/vagledning-om-forsvarsintressen-fran-forsvarsmakten.pdf>.

Gren, M. & Hallin, P. O. (2003). Introduktion. I Gren, M. & Hallin, P. O (Red.) *Kulturgeografi- en ämnesteoritisk introduktion*. Solna: Liber.

Heywood, I. (2011). *An introduction to Geographical Information Systems*. London: Pearson Education.

Hubert & McCarthy. (2017). Beyond the subterranean energy regime? Fuel, land use and the production of space. *Transactions of the institute of british geographers*, volym 42(2), ss.655-668. DOI: 10.1111/tran.12182.

Internationella energirådet (IEA). (2021a). *Net Zero by 2050 A Roadmap for the Global Energy Sector*. Paris: International Energy Agency.

IPCC. (2021). Summary for Policymakers. I *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. In Press.

IPCC. (2022). Summary for Policymakers. I *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. In Press.

Lauf, T., Ek, K., Gawel, E., Lehmann, P & Söderholm, P. (2019). The regional heterogeneity of wind power deployment: an empirical investigation of land-use policies in Germany and Sweden. *Journal of Environmental Planning and Management*, volym 63(4), ss.751-778. DOI: 10.1080/09640568.2019.1613221.

Ljungström, V. & Svensson, Å. (2021). *Exploatering av jordbruksmark 2016–2020*. Jönköping: Jordbruksverket.

Longely, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J. & Rhind, D. W. (2011). *Geographic information systems and sciences*. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.

Länsstyrelsen i Norrbottens län (2017). *Kaitum fjällurskog SE0820294 Bevarandeplan Natura2000-område*. ISSN: 0283-9636.

Länsstyrelsen Västerbotten. (u.å.). *Blaiken*. Hämtad 2022-05-03 från: <https://www.lansstyrelsen.se/vasterbotten/besoksmal/naturreservat/blaiken.html>.

Nadai, A. & van der Horst, D. (2010). Introduction: Landscapes of Energies. *Landscape Research*, volym 35 (2), ss.143–155. DOI: 10.1080/01426390903557543.

Naturvårdsverket. (u.å.a). *Geografisk information (GIS) i miljöbedömningar*. Hämtad 2022-06-09 från: <https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/miljobalken/geografisk-information-gis/>.

Naturvårdsverket. (u.å.-). *Sveriges klimatmål och klimatpolitiska ramverk*. Hämtad 2022-03-10 från: <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomställningen/.sveriges-klimatarbete/sveriges-klimatmal-och-klimatpolitiska-ramverk/>.

Naturvårdsverket. (u.å.b). Vad är ekosystemtjänster och varför behövs de?. Hämtad 2022-04-19 från: <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/mark-ochvattenanvandning/ekosystemtjanster/varfor-behovs-ekosystemtjanster/>.

Naturvårdsverket. (2014). *Svenska Marktäckedata- Produktbeskrivning*. Stockholm: Naturvårdsverket.

Naturvårdsverket. (2017). *Ekosystemtjänstförteckning med inventering av dataunderlag- för kartläggning av ekosystemtjänster och grön infrastruktur*. Bromma: Arkitektkopia AB.

Naturvårdsverket. (2021). *Sveriges miljömål- Utsläpp av växthusgaser till år 2045*. Hämtad 2022-01-20 från: <https://www.sverigesmiljomal.se/etappmalen/utslapp-av-vaxthusgaser-till-ar-2045/>.

Oudes, D. & Stremke, S. (2021). Next generation solar power plants? A comparative analysis of frontrunner solar landscapes in Europe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, volym 145, ss. 101-111. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111101>.

Pasqualetti & Stremke. (2018). Energy landscapes in a crowded world: A first typology of origins and expressions. *Energy Research & Social Science*, volym 36, ss.94-105. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2017.09.030>.

Picchi, P., van Lierop, M., Geneletti, D. & Stremke, S. (2019). Advancing the relationship between renewable energy and ecosystem services for landscape planning and design: A literature review. *Ecosystem Services*, volym 35, ss 241-259. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.12.010>.

Regeringskansliet. (u.å.). *Mål för energipolitiken*. Hämtad 2022-03-10 från: <https://www.regeringen.se/regeringens-politik/energi/mal-och-visioner-for-energi/>.

Regeringsbeslut M2019/01769. *Nationell plan för moderna miljövillkor*. Hämtad 2022-05-30 från: <https://www.havochvatten.se/arbete-i-vatten-och-energiproduktion/vattenkraftverk-och-dammar/nationell-plan-for-omprovning-av-vattenkraft/nationell-plan-for-omprovning-av-vattenkraft.html>.

Roddis, P., Roelich, K., Tran, K., Carver, S., Dallimer, M. & Ziv, G. What shapes community acceptance of large-scale solar farms? A case study of the UK's first 'nationally significant' solar farm. *Solar Energy*, volym 209, ss. 235-244. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.08.065>.

Roos, A. (2021). *Renewing power- Including global asymmetries within the system boundaries of solar photovoltaic technology*. Doctoral Dissertation. Faculty of Social Sciences: Lund University.

SCB. (2020). *Tillförsel och användning av el 2001-2020 (GWh)*. Hämtad 2022-04-13 från: <https://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/energi/tillforsel-och-anvandning-av-energi/arlign-energistatistik-el-gas-och-fjarrvarme/pong/tabell-och-diagram/tillforsel-och-anvandning-av-el-20012020-gwh/agneu>.

SCB. (2021a). *Slutanvändning (MWh), efter län och kommun, förbrukarkategori samt bränsletyp - År 2009 - 2020*. Hämtad 2022-05-23 från: https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START_EN_EN0203/SlutAnvSektor/.

SCB. (2021b). *Elproduktion och bränsleanvändning (MWh) efter region, bränsletyp och år*. Hämtad 2022-05-24 från: https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START_EN_EN0203/ProdbrEl/table/tableViewLayout1/.

SCB. (2022). *Elektricitet i Sverige*. Hämtad 2022-03-03 från: <https://www.scb.se/hitta-statistik/sverige-i-siffror/miljo/elektricitet-i-sverige/>.

Schiedel & Sorman. (2012). Energy transitions and the global land rush: Ultimate drivers and persistent consequences. *Global Environmental Change*, volym 22, ss.588-595. DOI:10.1016/j.gloenvcha.2011.12.005.

Scognamiglio, A. (2016). Photovoltaic landscapes: Design and assessment. A critical review for a new transdisciplinary design vision. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, volym 55, ss.629-661. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.072>.

Selman, P. (2012). *Sustainable Landscape Planning - the reconnection agenda*. London & New York: Routledge, Taylor & Francis Group.

SFS 2014:520. *Förordning med instruktion för Statens energimyndighet*. Stockholm: Infrastrukturdepartementet.

Sijmons, D. (2014). *Landscape and Energy: Designing Transition*. Rotterdam: nai010 Publishers.

Siyal, H. S., Mörtberg, U., Mentis, D., Welsch, M., Babelon, I. & Howells, M. (2015). Wind energy assessment considering geographic and environmental restrictions in Sweden: A GIS-based approach, *Energy*, volym 83, ss. 447-461. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.02.044>.

Svensk Solenergi. (2022). *Anläggningar över 1 MW*. Hämtad 2022-04-13 från: <https://svensksolenergi.se/om-solenergi/anlaggningar/solcellsparker/>.

Svensson, J., Neumann, W., Bjärstig, T., Zachrisson, A. & Thellbro, C. (2020). Landscape Approaches to Sustainability- Aspects of Conflict, Integration, and Synergy in National Public Land-Use Interests. *Sustainability*, volym 12, ss.5113. DOI:10.3390/su12125113.

Stremke, S. (2010). *Designing Sustainable Energy Landscapes Concepts, Principles and Procedures*. Doctoral Dissertation. Wageningen University.

Stremke, S. & Koh, J. (2010). Ecological concepts and strategies with relevance to energy-conscious spatial planning and design. *Environment and Planning B Planning and Design*. Volym 37, ss. 518-532. DOI: doi:10.1068/b35076.

van de Ven, J., Cappellan-Pérez, I., Arto, I., Cazcarro, I., de Castro, C., Pratel, P. & Gonzalez-Eguino, M. (2021). The potential land requirements and related land use change emissions of solar energy. *Nature*, volym 11(2907), ss. 1-12. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-82042-5>.

Vetenskapsradion Klotet. (2021, 15 december). Solenergi på frammarsch konkurrerar med odling av mat. *Sveriges Radio P1*. Hämtad 2022-08-23 från: <https://sverigesradio.se/avsnitt/solenergi-pa-frammarsch-konkurrerar-med-odling-av-mat>.

Vindbrukskollen (2020). *Vindbrukskollens användarhandbok*. Hämtad 2022-02-18 från: <https://www.energimyndigheten.se/fornybart/vindkraft/vindlov/vindbrukskollen/>

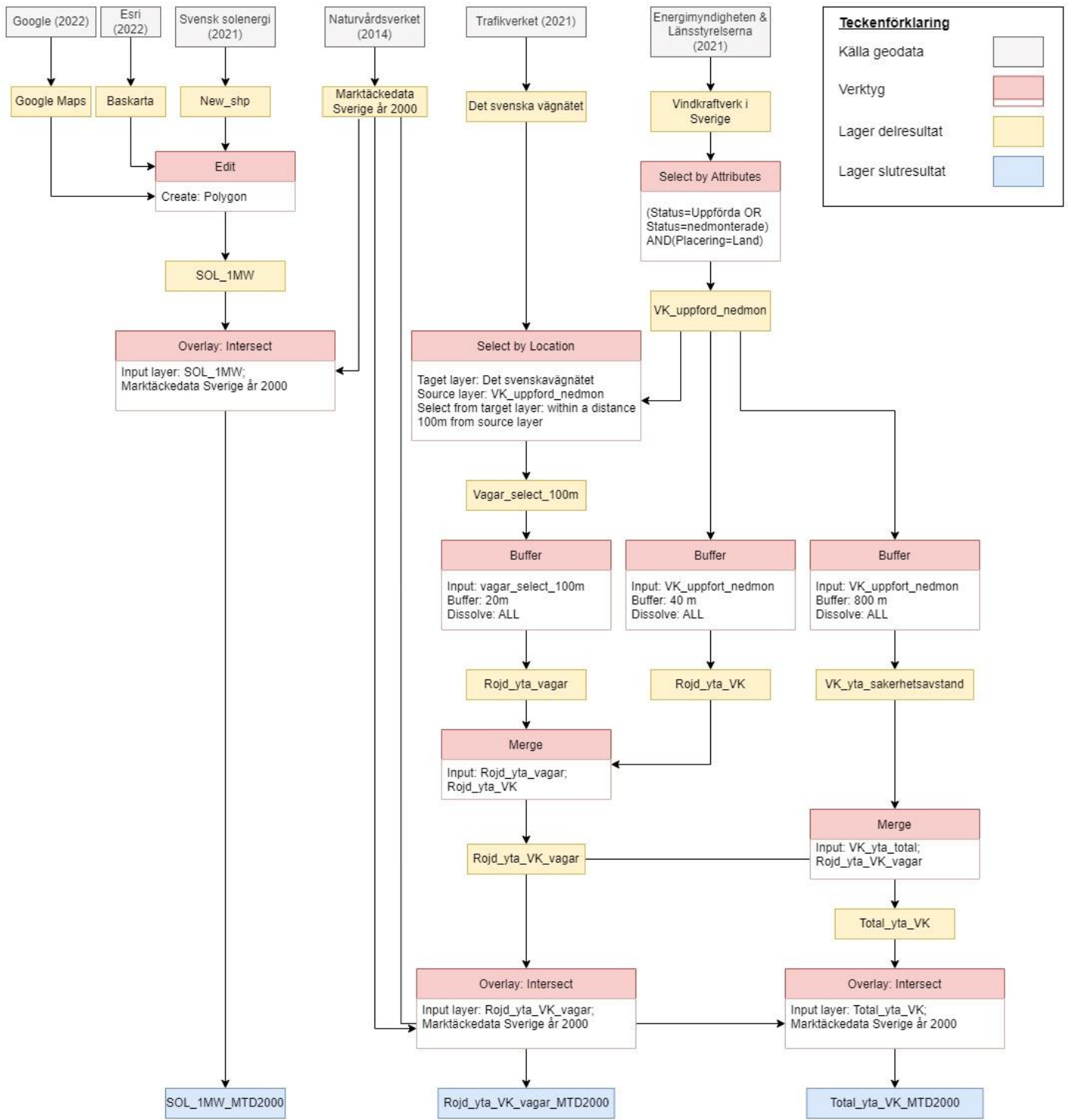
Vindbrukskollen. (2021). *Vindbrukskollen*. Hämtad 2022-05-30 från: <https://vbk.lansstyrelsen.se/>.

Världskommissionen för miljö och utveckling. (1987). *Our common future*. Oxford: Oxford University Press.

Wu, J. (2013). Landscape sustainability science: ecosystem services and human well-being in changing landscapes. *Landscape Ecol*, volym 28, ss. 999-1023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10980-013-9894-9>.

Zeunert, J. (2017). *Landscape architecture and Environmental sustainability: Creating Positive Change Through Design*. London: Bloomsbury Visual Arts.

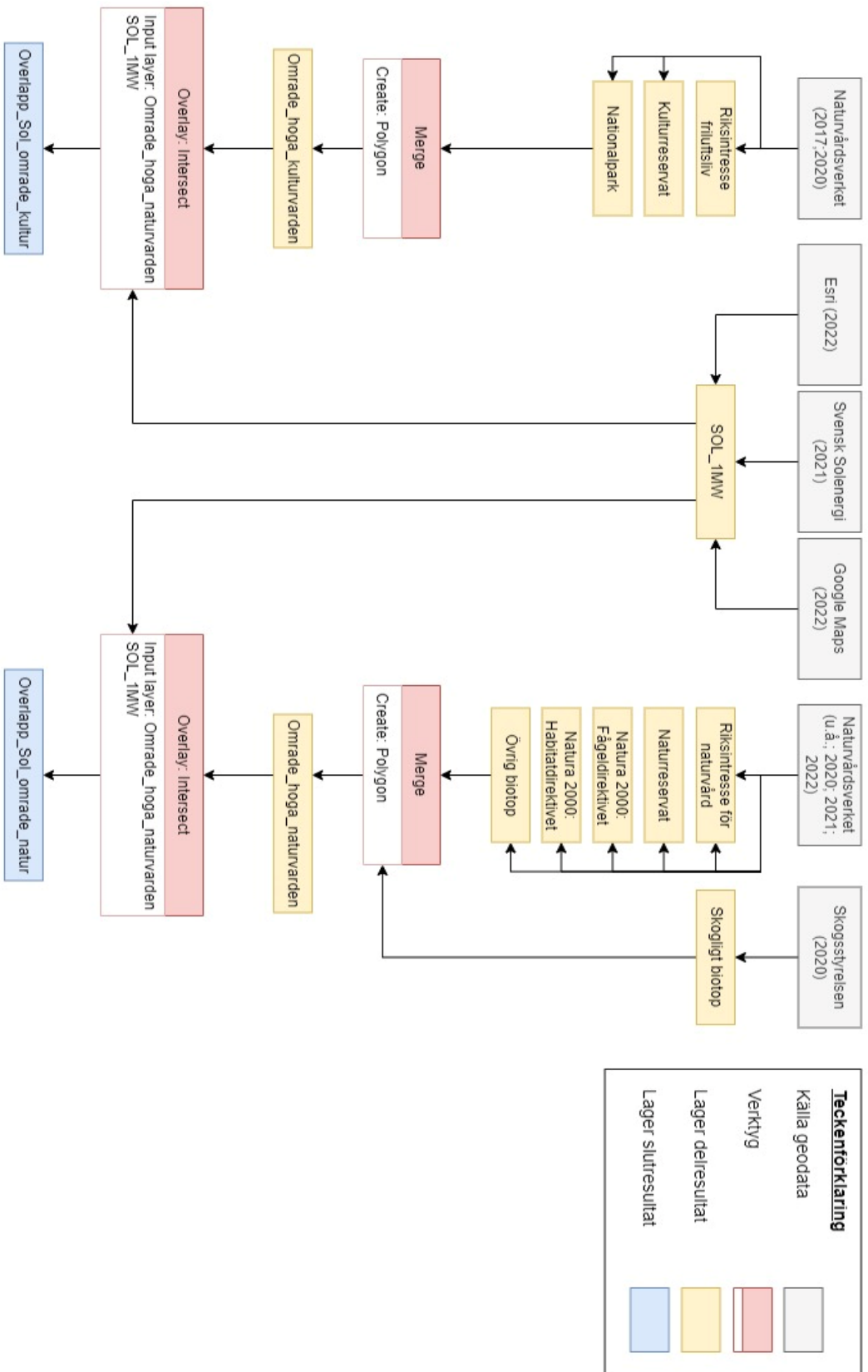
Bilaga 1: Arbetsprocess solenergin och vindkraftens markanspråk



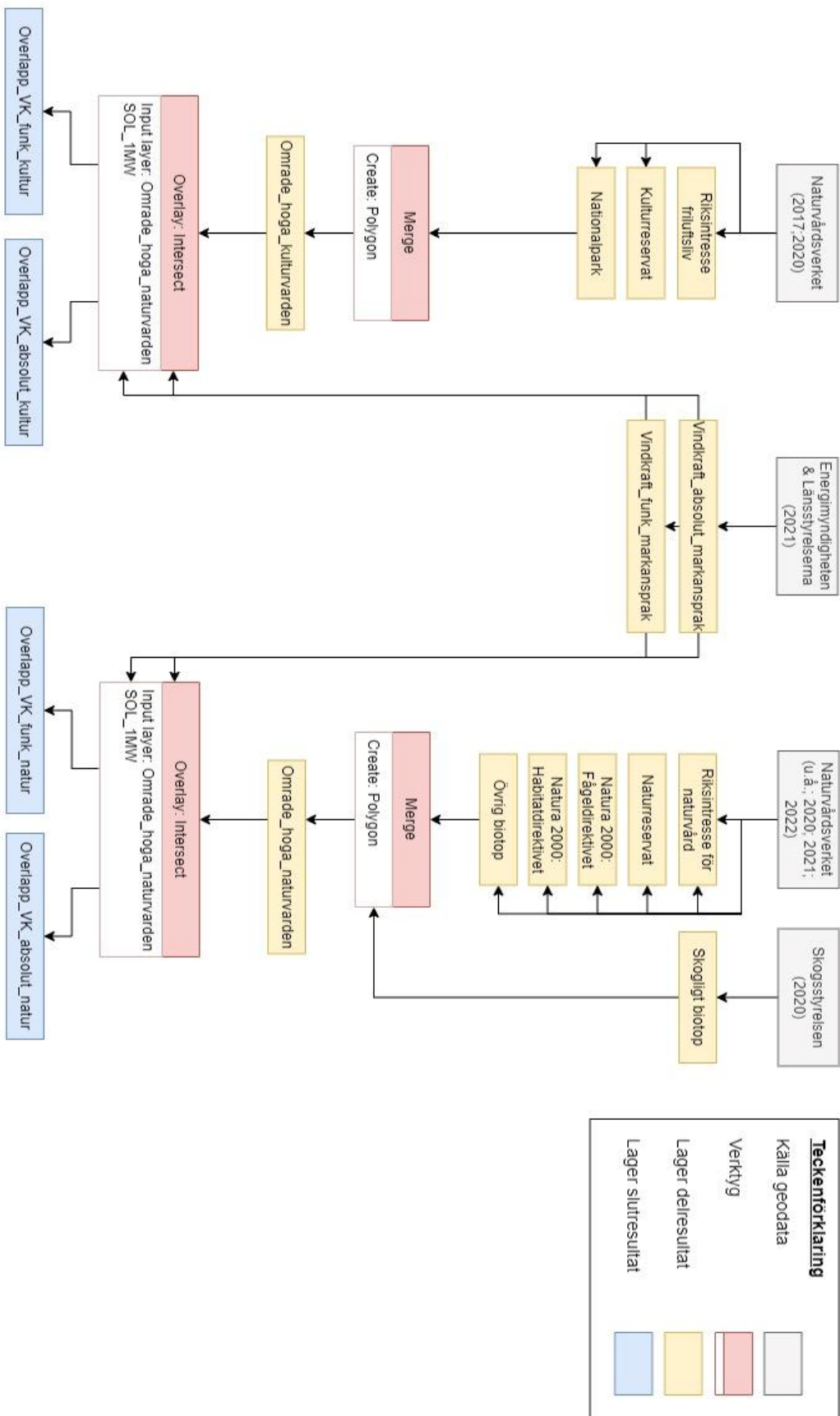
Teckenförklaring

Källa geodata	
Verktyg	
Lager delresultat	
Lager slutresultat	

Bilaga 2: Arbetsprocess solenergi och områden med höga natur- och kulturvärden



Bilaga 3: Arbetsprocess vindkraft och områden med höga natur- och kulturvärden



Bilaga 4: Arbetsprocess placering av vindkraft Stockholms län

