

# Bakkemonterte solkraftverk i Norge – prosess og beste praksis



# Rapport

Denne rapporten er utarbeidet av en lang rekke fageksperter i Multiconsult på oppdrag fra Solenergiklyngen. I utarbeidelsen av rapporten ble en referansegruppe engasjert til å være delaktig i innhold og oppsett:

Multiconsult	Solenergiklyngen	European Energy.dk
COWI	Norconsult	Solgrid
BTG Solenergi	Trønderenergi	Solcellespesialisten
Kaupanger Hovedgård	Differ Group	Scatec
Fortum	Fred Olsen Renewables	Glint Solar
Energeia	Østfold Energi	Endra

Solenergiklyngen har bedt om innspill til denne første versjonen av rapporten fra Naturvernforbundet, Den Norske Turistforening og Bondelaget. Blant tilbakemeldingene kan nevnes følgende:

Naturvernforbundet tar opp viktigheten av et godt konsesjonssystem, konsekvensutredninger og god biologisk kartlegging av aktuelle områder. Naturvernforbundet er positive til hvordan konsekvensutredningen ble utført ved Norges første solkraftverk i Stor-Elvdal kommune (mai 2022). Organisasjonen tar også opp viktigheten av å kartlegge klima- og miljøeffekten gjennom solkraftparkens livsløp.

Den norske turistforening påpeker viktigheten av at representanter fra natur-, miljø- og friluftslivs-

organisasjoner blir hørt gjennom demokratiske prosesser. Blant punktene for tilbakemeldinger viser Turistforeningen også til en egen handlingsplan med mål for naturvennlig energiproduksjon, og en egen liste med områder de mener kvalifiserer til tidlig avslag på søknader om utbygging.

Bondelaget advarer i sin tilbakemelding mot å bygge solenergiparker på dyrket og dyrkbar jord, samt omdisponering av skogsarealer for å legge solkraftanlegg i disse arealene. Bondelaget ønsker i større grad en utnyttelse av allerede beslaglagt land (infrastruktur), og sambruk av feks. vindturbinparker, der arealer allerede er satt av til energiproduksjon.

Tilbakemeldingene fra disse organisasjonene kan leses i sin helhet på side 59.

**Oppdrag:** Bakkemonterte solkraftverk i Norge – prosess og beste praksis  
**Oppdragsgiver:** Solenergiklyngen  
**Kontaktperson:** Trine Kopstad Berentsen  
**Oppdragsleder:** Torje Evensen

**Utarbeidet av:** Torje Evensen, Bjørn Thorud, Jørn Stave, Kristine Lien Skog, Julie Sandnes Galaaen, Ingvild Sundal Smelvær, Randi Osen, Trine Riseth, Elsa Mathilde Buvik, Hilde Bruheim Johns-

borg, Vegard Willumsen, Trine Kopstad Berentsen, Lill-Torunn Kilde, Inger Strand

**Forsidesfoto:** europeanenergy.dk  
**Design:** Bly.as

## SAMMENDRAG

Storskala bakkemontert solkraft i Norge utgjør en hittil uutnyttet energiresurs som det siste året har blitt viet stor interesse fra flere aktører i kraftbransjen. Selv om bakkemonterte solkraftverk er ganske ukjent i Norge er teknologien godt kjent i våre naboland, og det er mye kompetanse og erfaring som kan hentes fra disse. Kunnskapen må imidlertid tilpasses norske forhold og denne rapporten er et førsteutkast til et rammeverk for både de som er aktive i bransjen og de som ønsker å tilegne seg mer kunnskap om bakkemonterte solkraftverk. Rapporten utgjør et startpunkt på en læringskurve i utvikling, hvor vi håper at flere vil bidra med kunnskap og erfaring. Innspill kan sendes til Solenergiklyngen på [input@solenergiklyngen.no](mailto:input@solenergiklyngen.no).

Sammenlignet med andre fornybare teknologier har storskala bakkemontert solkraft et særtrekk med tanke på fleksibilitet i plassering, og representerer små konsekvenser utover selve arealbruken og lokale virkninger. Dermed er tilgjengelige relevante arealer større enn for vind- og vannkraft, noe som gjør det desto viktigere å utrede og vurdere områder for å unngå konflikt med viktige naturverdier og andre prioriterte arealbruksformål. Bakkemontert solkraft bør i så liten grad som mulig kolliderer med fritids- og naturinteresser.

Bakkemontert solkraft er et «mildere» inngrep enn annen kraftteknologi i naturområder, men det legger like fullt beslag på arealer. Selv om teknologiene gjør det relativt enkelt å tilbakeføre områder til original tilstand etter anleggets levetid, vil et slikt kraftverk legge bånd på arealet i flere tiår. «Grå arealer» er identifisert som ønskede områder for utbygging, da disse ofte har små eller begrensede naturverdier og er dårlig egnet til andre formål. Eksempler på slike områder kan være nedlagte grustak, jordbruksarealer som er ute av drift, søppeldeponier, m.v. Europeiske solkraftverk er i stor grad bygget på lettere tilgjengelige, men også mer konfliktfylte områder, som landbruk og LNFR-områder. Dette er områder hvor det særlig bør vurderes tiltak for å begrense og kompensere for tap av natur og nytteverdi, men også disse områdene har potensiale hvis de riktige forhåndsreglene blir tatt.

Teknologiløsninger for bakkemonterte kraftverk har stort sett den samme utformingen fra areal til areal, hvor en fundamentering, gjerne pæler, slås ned i bakken og montasjesystem med solceller monteres opp på pælene. I Norge kan man få en god økning i produksjon ved å bruke tosidige paneler, som både produserer elektrisitet fra framsiden og fra reflektert lys på





Biloppstillingsplass utenfor Lyon i Frankrike, dekket av solcellepaneler. (Foto: Scatec)

baksiden. Teknologinisjen «Agrivoltaics» skiller seg litt fra øvrige montasjesystemer der man tilrettelegger for økt økonomisk utbytte fra jordbruksarealer ved å kombinere både kraft- og jordbruksproduksjon. «Agrivoltaics» kan være et godt alternativ uten å reservere hele området til kraftproduksjon.

NVE har utviklet en seks-trinns prosedyre som belyser prosessen og fremgangsmåten for å realisere et bakkemontert solkraftverk, inkludert prosjektutvikling, konsekvensutredning, konsesjons-søknad, høring, tiltak og oppfølging. I tillegg er det uttrykt et ønske fra NVE at det varsles forhåndsmelding på lik linje med andre «store» kraftprosjekt, noe som vi anser vil bli lovfestet.

Et viktig kriterie for bakkemonterte solkraftverk er tilgjengelig kapasitet i nettilknytningen. Derfor anbefales det å kontakte netteier så tidlig som mulig for å se på muligheten for å etablere et solkraftverk i det aktuelle området.

Økt mengde solenergi i kraftmiksen gir også økt forsyningsikkerhet med mulighet for å benytte seg av kortreist kraft og reduserte nettap, samt at produksjonen kan samkjøres med vind og vannkraft på en god måte, med økt produksjon på sommeren og i tørre år (årstider).

Etter hvert som den bakkemonterte solkraft-industrien i større grad utvikles i Norge vil det også etableres standarder, fremgangsmetoder og løsninger for norske områder. Her kan man dra lærdom fra eksisterende kunnskap og erfaring fra andre næringer til å sikre en sunn utvikling av dette nye segmentet i den norske kraftbalansen. Det er viktig å belyse ulemper så vel som fordeler, og gjøre nødvendige tiltak for å tilrettelegge bevaring av naturens og interessenters krav og ønsker. De følgende kapitlene kan fungere som et oppslagsverk eller en første veileder for hensyn, vurderinger og prosess for bakkemonterte solkraftverk i Norge.

# Innhold

1 Forord	6
2 Innledning	7
3 Miljøpåvirkning av bakkemonterte solkraftverk	9
3.1 Hensyn ved valg av areal	9
3.2 Hensyn ved bygging i naturområder og semi-naturlige områder	11
3.3 Hensyn ved bygging på jordbruksareal	15
3.4 LCA og klimapåvirkning	17
3.4.1 Klimapåvirkning knyttet til arealbruksendringer	20
3.4.2 Eksisterende dokumentasjon og analyser av klimapåvirkning gjennom livsløpet	21
3.4.3 Adressering av klimapåvirkning i prosjekter	23
3.4.4 EUs taksonomi	23
3.5 Gjenbruk og resirkulering	23
3.6 Oversikt over komponenter og miljøpåvirkning for en solcellemodul	25
4 KONSEJONER OG TILLATELSER	27
4.2 Anleggskonsesjon for solkraftverk og nettilknytning	27
4.2.1 Viktige momenter for å sikre en effektiv saksgang	30
4.3 Saksbehandlingsregler for annet lovverk	31
4.3.1 Plan- og bygningsloven: dispensasjon eller omregulering?	31
4.3.2 Omdisponering etter jordloven	32
4.3.3 Søknad om nydyrking	33
5 Nettilknytning	34
6 Teknologi for bakkemonterte solkraftverk	36
6.1 Fundamentering	36
6.2 Montasjesystemer	40
6.2.1 Fastmonterte systemer	40
6.2.2 Bevegelige systemer – Tracking	42
6.2.3 Agrivoltaics	44
6.3 Modulteknologi	46
6.4 Vekselrettere og transformatorer	47
6.5 Øvrige systemkomponenter	49
6.5.1 Kabler og kontakter	49
6.5.2 Drift og overvåkningssystemer	49
6.5.3 Måleutstyr og sensorer	50
6.5.4 Gjerder	52
7 Solkraftens rolle i det norske kraftsystemet	53
7.1 Solkraftens bidrag til energibalansen	53
8 Referanser	56

# 1 Forord

2022 har vært et gjennombrudd for solkraftens rolle i Norge. I en krevende tid med strømkrise og strømpriskrise har vi fått øynene opp for at solkraft kan bygges ut raskt og gi ny ren strøm.

Solkraften er kortreist kraft, der vi slipper å tape energi ved å frakte strømmen i kabler over store avstander. Dette øker forsyningsikkerheten vår her hjemme, samtidig som norsk solkraft også kan bidra til å erstatte kull- og gassbasert strømproduksjon i Europa.

Potensialet for solkraft i Norge er stort. På oppdrag fra Solenergiklyngen har Multiconsult regnet seg fram til at det tekniske potensialet ligger på 199 TWh, hvorav 66 TWh er på tak og vegger på bygg og 133 TWh er fra bakkemonterte anlegg. Til sammenligning får vi i dag 138 TWh årlig fra vannkraft.

Fortsatt er solmarkedet i Norge beskjedent, men i rask fart forover. Til nå har vi først og fremst bygget solkraftanlegg på eksisterende bygg, som boliger og næringsbygg. Det nye nå er at vi også ser framveksten av et nytt segment, nemlig bakkemonterte solkraftanlegg.

Over 130 partnere jobber sammen i Solenergiklyngen med forretnings- og kompetanseutvikling. Av disse er det flere enn ti selskaper som er mulige utviklere av bakkemonterte solkraftverk i Norge, og som har engasjert seg i utarbeidelsen av denne veilederen. Interessen viser at det er økonomisk lønnsomt å investere

i større solkraftverk i Norge. Dette vil kunne bidra til raskt å øke produksjonen av den fornybare energien fra sola her i Norge. Men det er viktig å komme riktig ut fra start. Utviklingen må skje i samsvar med de verdiene vi ønsker å ta vare på. Enten det gjelder natur- og friluftsliv, landbruk eller andre lokale interesser.

Denne rapporten er et startpunkt for å øke kunnskapen om bakkemonterte solkraftanlegg i Norge. Vi ønsker at rapporten også skal kunne fungere som en veileder, som revideres etter hvert som vi får erfaringer. Solenergiklyngen har definert mangel på kunnskap om solkraft som den viktigste flaskehalsen for vekst i solmarkedet i Norge. Vi håper denne rapporten vil bidra inn i arbeidet med å øke denne kunnskapen.

Arbeidet med veilederen er finansiert av partnerne selv og delfinansiert av Viken fylkeskommune, Oslo kommune og Arena Pro (det nasjonale klyngeprogrammet) i regi av Innovasjon Norge, Norges forskningsråd og Siva. Jeg ønsker også å anerkjenne det arbeidet som er gjort av teamet hos Multiconsult og i Solenergiklyngen. En stor takk også til referansegruppen bestående av partnere, samarbeidspartnere og eksterne.



**Trine Kopstad Berentsen**

Adm.dir.  
Solenergiklyngen

## 2 Innledning

En viktig egenskap for solceller er at de kan produsere elektrisk kraft så lenge de er eksponert for lys. Videre er virkningsgraden den samme enten det bygges et lite solcelleanlegg på en enebolig eller et stort bakkemontert solkraftverk. At solceller kan plasseres nær forbrukeren og på bygg er en viktig egenskap som bør utnyttes slik at det legges minst mulig press på naturen. Om det vil bli bygget nok solkraftverk på bygg til å dekke fremtidens kraftbehov og om det skjer raskt nok er imidlertid usikkert. I denne sammenhengen representerer derfor bakkemonterte solkraftverk en interessant mulighet.

- Bakkemonterte solkraftverk kan bygges ut enda raskere enn solkraftanlegg på bygg
- Bakkemonterte solkraftverk har lavere produksjonskostnader enn takmonterte solkraftverk
- Bakkemonterte solkraftverk har bedre lyseksponering og høyere ytelse enn takmonterte anlegg, og dersom det benyttes en tracker-løsning kan det produseres mer kraft på morgen og kveld.
- Med bakkemonterte solkraftverk kan tosidige solceller bidra til økt produksjon på vinterstid.
- Bakkemonterte solkraftverk har gode synergieffekter med vann- og vindkraft og såkalte «hybride» kraftverk (kombinasjonskraftverk) muliggjør bedre utnyttelse av kraftnettet.

Inntil nylig har det vært liten interesse for bakkemonterte solkraftverk i Norge, men i Danmark og Sverige er det allerede etablert flere kraftverk av denne typen. Høyere kraftpriser og relativt lave byggekostnader for bakkemonterte solkraftverk har imidlertid vekket interessen for slike anlegg i Norge. I løpet av 2022 forventes det at det første kommersielle kraftverket tilkobles nettet og flere aktører ønsker å etablere solkraftverk i Norge.

Teknologiene som er relevante for bakkemonterte solkraftverk i Norge vil fortrinnsvis komme fra utlandet. Erfaringen som er opparbeidet i våre naboland vil også være veldig nyttige, men bruken av teknologiene og utnyttelsen av erfaringene må tilpasses forholdene her til lands.

Andre land med lengre erfaring fra bakkemonterte solkraftverk kan fortelle om bedre biologisk mangfold, flere insekter og høy aksept hos befolkningen, men vil det samme

skje i Norge? Naturen i Norge og Danmark er ganske forskjellig så hva blir effekten her? Og hvordan skal vi velge å utforme solkraftverk i Norge og hvilke steder er best egnet? Hva skjer med viltet hvis vi setter opp gjerder rundt solparken? Hva blir påvirkningen av snø og hva koster det å drifte solkraftverk i Norge?

Denne rapporten tar sikte på å svare på noen av spørsmålene som oppstår rundt denne, for Norge, nye nisjen innen solkraft. I rapporten har vi forsøkt å samle mest mulig kunnskap som er relevant for solkraftverk i Norge, enten erfaringen er hentet fra arbeid med norske vindkraftverk eller solkraftverk i utlandet.

I rapporten er det lagt størst vekt på kapitlene som omhandler arealbruk, natur, miljø og konsesjonsprosess, da dette representerer nye elementer i forhold til solkraftverk på tak. Kapitlene som omhandler teknologi har ikke til hensikt å gi en dybdeforståelse for teknologiene, men snarere en oversikt som gjør det mulig å danne seg et bilde av aktuelle teknologier, deres hovedfunksjon, samt hvordan de eventuelt vil påvirke miljøet hvor de plasseres.

Rapporten er skrevet slik at den kan benyttes som et oppslagsverk hvor man kan finne svar på det man lurer på, men man må også gjerne

lese hele rapporten fra start til slutt. Oppgaven som ble tildelt oss og referansegruppa har vært å skrive en kortfattet rapport på et nivå som de fleste kan forstå. Hvert kapittel dekker over delvis store fagfelt hvor det er fullt mulig å gå enda mer i dybden enn det vi har gjort. Derfor har vi prøvd å oppgi flere kilder og referanser hvor man kan søke ytterligere informasjon hvis det er ønskelig.

Rapporten representerer en oppsummering av dagens kunnskapsnivå, og siden både teknologien og næringen er i rask utvikling kan det forventes at rapporten vil bli oppdatert etter hvert som det kommer nye teknologier og vi får mer erfaring fra bakkemonterte solkraftverk i Norge.



## 3 Miljøpåvirkning av bakkemonterte solkraftverk

### 3.1 Hensyn ved valg av areal

Miljøkonsekvensene av bakkemonterte solkraftverk blir i hovedsak bestemt av prosjektets **plassering og arealbeslag**. Det samme gjelder for så vidt også for andre typer fornybar energi, men det er et særtrekk ved solkraftanlegg at de er fleksible med hensyn til plassering. I motsetning til vannkraft og vindkraft, som kan påvirke miljø og natur i et større geografisk område, har solkraftanlegg i utgangspunktet færre konsekvenser utover selve arealbruken og andre mer lokale virkninger.<sup>1</sup> De visuelle virkningene er oftest også mer beskjedne enn for andre typer kraftverk (avhengig av topografi og vegetasjon). Det er imidlertid viktig å merke seg at miljøhensyn også omfatter arealene som eventuelt kreves for nettilknytning (kraftledning) og adkomstveier, og at disse kan medføre

vesentlige konsekvenser selv om de ikke blir spesielt omtalt i denne rapporten.

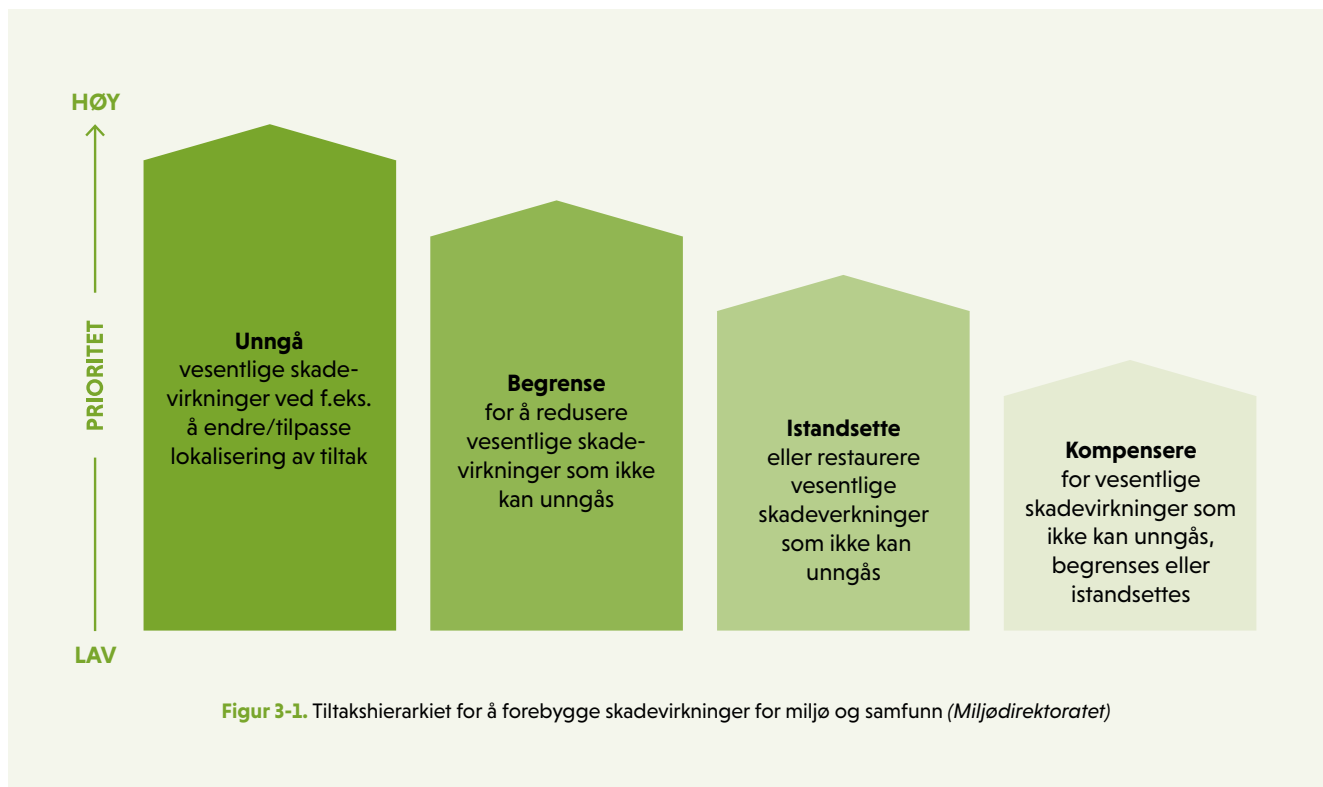
Det viktigste miljøtiltaket ved bygging av solenergianlegg er derfor å unngå arealer med viktige naturverdier eller andre prioriterte arealbruksformål.<sup>2</sup> Et annet viktig hensyn er å unngå arealer der det kreves store terreng-inngrep. Dette tilsvarer det første trinnet i tiltakshierarkiet: **unngå**, begrense, istandsette og kompensere. God praksis er derfor å gjennomføre en **risikovurdering** i tidlig fase for å finne egnede utbyggingsområder og kartlegge eventuelle konflikter med annen arealbruk eller viktige naturverdier.<sup>3</sup> Denne risikovurderingen kan med fordel skje i samråd med kommune, fagmyndigheter (for eksempel statsforvalter og fylkeskommune) samt berørte grunneiere eller andre relevante parter. Det vil være hensiktsmessig og kostnadsbesparende å gjøre dette før det igangsettes utarbeidelse av konsesjonssøknad og konsekvensutredning.

Arealene som først bør prioriteres og vurderes for utbygging av solkraftanlegg er «grå arealer» som for eksempel nedlagte industriområder, gamle skytefelt, forurensede områder, deponier, grustak og dagbrudd. Disse har typisk små eller begrensede naturverdier og er

<sup>1</sup> Vi ser her bort fra konsekvenser knyttet til utvinning av materialer, produksjon av solcellepaneler, transport av komponenter, klimagassutslipp fra arealbruken, m.m. Disse er omtalt i kapittel 3.4 og 3.5.

<sup>2</sup> Herunder verneområder, automatisk fredete kulturminner, prioriterte arter, utvalgte naturtyper, friluftslivsområder, spesielle landskap, m.m.

<sup>3</sup> Risikovurdering betyr i denne sammenheng en overordnet vurdering av sannsynlige miljøkonsekvenser for å finne ut om prosjektet bør flyttes til et annet sted eller utredes videre.



ofte ikke egnet til andre formål. Hvorvidt slike grå arealer er egnet til utbygging avhenger av flere hensyn, herunder størrelsen (som påvirker installert kapasitet og lønnsomhet) og lokalisering i forhold til ledig nettkapasitet (som må undersøkes hos det aktuelle nettselskapet). Typiske arealer som kan peke seg ut som egnet er gruveområder og veikanter, særlig langs motorveier.

De fleste arealene som så langt har blitt vurdert til bygging av solkraftverk i Norge, og som allerede er utbygget i andre land, ligger i naturområder eller på dyrket mark. Dette er arealer som er regulert til landbruks-, natur- og friluftsførmål samt reindrift (LNFR). Utbygging av disse arealene er oftest mer konfliktfylte, men ved å ta hensyn til natur og miljø, som beskrevet nedenfor, kan det imidlertid finnes akseptable utbyggingsløsninger også her.<sup>4</sup>

<sup>4</sup> Blant de minst konfliktfylte LNFR-arealene med hensyn til natur og miljø bør være plantefelt med fremmede treslag (for eksempel sitkagran).

### 3.2 Hensyn ved bygging i natur-områder og semi-naturlige områder

Naturmangfold og terreng blir i større grad berørt dersom det planlegges bygging av solkraftverk i utmark, områder som ikke er regulert til bebyggelse og anlegg, og som heller ikke er oppdyrket (se neste kapittel). Miljøkonsekvensene vil avhenge av naturverdiene i utbyggingsområdet, men tilpasninger kan likevel gjøres for å unngå, begrense, istandsette eller kompensere for tap av natur.<sup>5</sup> Detaljene ved dette må ta utgangspunkt i den innledende risikovurderingen (og senere i konsekvensutredningen). Nedenfor er det beskrevet noen vanlige hensyn og tiltak som kan være relevante for bakkemonterte solkraftanlegg.

Det bør nevnes at tilstrekkelig detaljering/ optimalisering i tidlig fase vil kunne forebygge endringer som krever nye søknader til NVE og andre myndigheter, f.eks. hvis anleggsarbeidene krever større arealer enn det som er avsatt i konsesjonen. Dette gjelder også for planlegging av nettilknytning og atkomstveier etter som disse kan medføre både konsekvenser for

miljø, naturressurser og samfunn og vesentlige kostnader for prosjektet.

Tilpasninger til terreng, landskap og andre miljøverdier i planområder

Visuelle virkninger vil trolig bli betraktet blant de viktigste miljøkonsekvensene av bakkemonterte solkraftanlegg i Norge. Dette gjelder særlig i områder nær bebyggelse, langs veier og turstier eller i andre tilrettelagte turområder. Landskapsestetiske hensyn bør derfor vies stor oppmerksomhet i alle prosjektfaser ved utvikling og etablering av solkraftanlegg.

Et solkraftprosjekt bør ha som mål at inngrepet skal være så **reversibelt og så lite synlig som mulig**, samtidig som arealbruken internt i planområdet **hensyntar viktige miljøverdier**. Det er her viktig å peke på at eventuelle terrenginngrep ikke er knyttet bare til selve solkraftanlegget, men i stor grad til hjelpeanlegg som veier, riggplasser og nettilknytning, og at de omfatter både midlertidige og permanente inngrep.

Risikovurdering og konsekvensutredning som inkluderer befaringer vil bidra til å kartlegge miljøverdier som bør **ivaretas gjennom detaljert planlegging av arealbruken** for å unngå direkte inngrep og skjemming av disse. Eksempler på slike verdier er verdifulle naturtyper inkludert semi-naturlige<sup>6</sup> naturtyper som naturbeitemark og kystlynghei, andre naturtyper som er sårbare for tekniske inngrep slik som myr, vassdrag og kantsoner langs vassdrag, viktige økologiske funksjonsområder,

<sup>5</sup> Merk at områder med inngrepsfri natur, INON, har en særskilt beskyttelse i forvaltningen. I skog kan det også være relevant å vurdere bonitet, selv om viktig naturmangfold også kan være knyttet til lavere boniteter (for eksempel kalkfuruskog).

<sup>6</sup> Semi-naturlige naturtyper er formet gjennom skjøtsel over lang tid. De er viktige for det biologiske mangfoldet i jordbrukslandskapet, men finnes også i urbane miljø, i heilandskapet langs kysten, i fjellet og i annen utmark.

“ Et solkraftprosjekt bør ha som mål at inngrepet skal være så reversibelt og så lite synlig som mulig.



Illustrasjon av et bakkemontert solkraftverk på Tanberghøgda i Hønefoss: Thomas Klevjer (2022)

kulturminner/kulturminnelokaliteter, spesielle landskapselementer, turstier m.m.

Plasseringen av solcellepanelene vil ha stor betydning også for det visuelle uttrykket. I kupert terreng kan man søke å plassere fundamentene for solcellepanelene i forsenkningene. Justerbare stolper i et mer tilfeldig utlegg/organisk mønster vil kunne danne reisverk for et

mer systematisert grid på selve panelene, med mulig forenkling av installasjon, ferdigstilling, istandsetting og drift.

De fleste solkraftanleggene i Norge vil trolig bli etablert i terreng som ikke krever store grunnarbeider. Det er likevel viktig å etterstrebe massebalanse for å redusere både visuelle virkninger og byggekostnader. Der dette er



relevant bør det utarbeides en samlet plan for både masseuttak, deponering og istandsetting etter anleggsarbeidene.

Vegetasjonsetableringen ved ferdigstilling av anleggene bør foregå etter prinsippet om **naturlig revegetering**. Fremmede arter må ikke innføres og spres. Revegetering gjøres ved at man tar vare på de vekstmassene man har, mellomlagrer de og legger de tilbake på ferdig arrondert toppfylling. Fyllingen skal før tilbakeføring av toppjord være metta, med gradvis avtagende fraksjoner, slik at den verdifulle vekstjorda ikke vaskes ned i fyllinga. Dette legger til rette for reetablering av stedeegne arter fra frø og rester av plantemateriale i vekstmassene og fra eksisterende vegetasjon i nærheten. Både avtaking, mellomlagring og tilbakeføring av masser må skje planmessig og på en slik måte at man ikke blander vekstmasser med undergrunnsmasser eller på annen måte ødelegger vekstjord og frøbank. For midlertidige inngrep vil det som regel være best å legge et beskyttende lag (duk, ris) over eksisterende markdekke og minimere inngrepsperioden for å sikre bedre og raskere vekst når det midlertidige objektet er fjernet.

Istandsetting av areal gjøres så naturlig som mulig ved å speile eksisterende terrengvariasjoner. Overgang mellom inngrep og eksisterende terreng skal være myke og gradvise. I områder hvor det ikke naturlig er plantevekst, slik som på fjell og stein, bør det ikke etableres vegetasjon. Det er god praksis å ta før-bilde av viktige kvaliteter for gjenskaping ved istandsetting, særlig der vannforekomster berøres. Det bør for øvrig sørges for god avstand mellom solcellepanelene og bakken sånn at vegetasjonen fortsatt kan vokse. Dette gjelder selvsagt også ved bygging på landbruksjord (se kapittel 3.3).

En vellykket istandsetting innebærer også forsvarlig opprydding av anlegget, inkludert av sprengstein der dette er relevant. Det må legges vekt på både å unngå spredning av sprengstein og annet avfall, og opprydding underveis i arbeidene slik at dette ikke spres eller gir omverdenen inntrykk av en uryddig anleggsplass. Opprydding i terrenget bør i utgangspunktet skje manuelt slik at dette arbeidet i seg selv ikke setter varige spor i terrenget.

### Inngjerding og viltpassasjer

De fleste solkraftverk vil bli inngjerdet som et sikkerhetstiltak for både mennesker og dyreliv.<sup>7</sup> Dette kan ha den fordel at forstyrrelser fra menneskelig aktivitet, husdyrbeite og annet blir vesentlig redusert, og dermed at naturmangfoldet i noen tilfeller kan ivaretas dersom arealene revegeteres og skjøttes på en god måte.<sup>8</sup> Inngjerding blir naturligvis også praktisert på solkraftanlegg med kombinert husdyrbeite (se neste kapittel om «agrovoltaics»<sup>9</sup>

<sup>7</sup> Sikkerhetstiltakene går begge veier, det vil si (i) sikre kraftverket mot mennesker og dyr, og (ii) sikre mennesker og dyr mot å bli skadet av kraftverket.

<sup>8</sup> Manglende beite kan også gi negative effekter på enkelte naturtyper.

<sup>9</sup> I tillegg til å holde beitedyrene innenfor anlegget, kan gjerder (av en viss høyde) også forhindre rovdyr.

Ulempen er imidlertid at inngjerdingen kan legge beslag på beiteområder for hjortevilt og annet dyreliv samt fungere som en barriere for vilttrekk. Det kan også være et hinder for rekreasjon og ferdsel, og således redusere tilgang til utmark slik vi har tradisjon for med allemannsretten.

**Viltpassasjer** må vurderes i tilfeller der dette er relevant (Råberg m.fl. 2021). Dette kan innebære å dele opp utbyggingsområdet i flere delområder med hvert sitt gjerde (og med store nok viltpassasjer mellom) eller å installere gjerder med midlertidige åpninger som kan benyttes i trekkseasonen (Paige 2012). Høyden og maskevidden på gjerder bør også vurderes med den hensikt enten å forhindre dyr i å forvile seg inn på kraftverket eller å tillate mindre dyr å bevege seg gjennom anlegget. Stedegne busker og trær langs inngjerdingen kan benyttes for å redusere innsyn samtidig som det kan fungere som leveområder for smådyr og fugl (Råberg m.fl. 2021).

### Tiltak for fugl

Det finnes flere eksempler på at fugler kan dra nytte av solkraftanlegg både til reirplasser og som leveområder (Råberg m.fl. 2021, Peschel m.fl. 2019, Montag m.fl. 2016, Feltwell 2013). Det er imidlertid også rapportert om risiko for **kollisjoner mellom fugl og solkraftverk** (Chock

m.fl. 2021, Visser m.fl. 2019, ANL & NREL 2015, Kagan m.fl. 2014). En hypotese er at fuglene tror solcelle-panelene er små innsjøer og derfor prøver å lande (Kagan m.fl. 2014, Chock m.fl. 2021). Selv om landingen ikke er fatal kan den føre til skader og påfølgende rovdyrangrep eller at større fugler ikke greier å lette igjen mellom solcellepanelene.

Så langt er det imidlertid ikke fremsatt dokumentasjon som bekrefter denne teorien eller som viser at kollisjonsrisiko er høyere enn for andre hindringer i terrenget. Med hensyn til solkraftanlegg er det trolig større risiko for kollisjon med kraftledninger og med netting-gjerder rundt anlegget.<sup>10</sup> Relevante tiltak for å begrense kollisjonsrisiko mellom fugl og kraftledninger er oppsummert av blant annet Bevanger (2011), mens kollisjoner med nettinggjerder (gjelder særlig hønsfugl) kan forhindres ved beplantning langs gjerdene eller ved bruk av farger. Beplantning bør skje med vekster som ikke vokser så høyt at de skygger for solcellepanelene. I de fleste tilfeller er trolig risikoen for kollisjoner med selve solcellepanelene såpass liten at det ikke er behov for ytterligere tiltak annet enn å unngå bygging i viktige fugleområder samt å tilpasse anleggsperioden slik at fugl ikke forstyrres i hekke-tiden.

<sup>10</sup> Kraftledninger utgjør også en risiko for elektrokusjon. Dette er blant annet omtalt av Bevanger (2011).

### 3.3 Hensyn ved bygging på jordbruksareal

Generelt vil tillatelse for bygging av solkraftverk på dyrka mark kun gis dersom konsekvensene for landbruksproduksjonen anses som liten, og dersom det er mulig å fjerne installasjonene etter at solenergiproduksjonen eventuelt vil opphøre. I fortsettelsen vil vi redegjøre for eksisterende kunnskap om etablering av solparker for dyrka mark. Vi viser også til kapittel 4.5 som beskriver særskilte tillatelser som kreves for bygging på dyrka mark.

Bruk av jordbruksland for kombinert matproduksjon og solenergiproduksjon kalles ofte «agroPV», «agrovoltaics» eller «agrivoltaics». Dette kan også omfatte husdyrbeite («rangevoltaics», jf. Willockx m.fl. 2020). Det er gjort mye forskning på hvordan bakkemonterte solkraftanlegg påvirker produktiviteten til ulike jordbruksarealer (Weselek m.fl. 2019), men det er foreløpig ikke publisert forskning på agrivoltaics under norske forhold.

Bakkemonterte solcellepaneler på dyrka mark innebærer at det blir mindre oppdyrket areal for landbruksproduksjon, samt at lysforholdene blir dårligere. Skyggeeffekten avhenger av hvorvidt solcelle-panelene er fastmonterte (og med hvilken helningsgrad) eller om de følger solens vandring gjennom dagen («solar tracking»). I tillegg har høyden over bakken og avstanden mellom radene av solcelle-paneler betydning for hvor mye lys som når bakken.

De første pilotforsøkene for agrivoltaics ble gjennomført i Frankrike og viste et begrenset avlingstap dersom solcellepanelene ble vinklet slik at tilstrekkelig med lys nådde bakken (Dupraz m.fl. 2011). Dette eksperimentet ble gjort på kornåkrer (durumhvete), som generelt er antatt å bli mest påvirket av skygge fra solcellepaneler (Weselek m.fl. 2019). Andre avlinger, særlig frukt, bær og bladrike grønnsaker ser ut til å klare seg bedre. Dette gjelder også gressdyrking og annen fôrproduksjon (Weselek m.fl. 2019).

Den generelle erfaringen fra agrivoltaics i andre land har vist at selv om avlingene kan forventes å bli noe lavere vil denne typen flerbruk på eksisterende landbruksarealer likevel bidra til bedre lønnsomhet. Blant de viktigste tiltakene som anbefales er å montere solcellepanelene i god høyde over bakkenivå og med tilstrekkelig avstand mellom radene slik at skyggeeffekten av panelene reduseres samt for å gi plass til landbruksmaskiner. I Kapittel 6.3 ser vi nærmere på solcelleteknologi som kan bidra til å løse noen av disse utfordringene.

Det gjenstår imidlertid mye forskning for å finne de beste løsningene, særlig under norske forhold. Dette gjelder både hvilke avlinger og driftsmåter som best kan tilpasses ulike typer bakkemonterte solkraftanlegg, men også mer spesifikke forhold som, for eksempel, hvordan å unngå avlingstap forårsaket av konsentrert regn-avrenning fra solcellepanelene.

Når det gjelder beitedyr er erfaringene så langt at sau og høns egner seg best i kombinasjon

med solkraftanlegg (BRE 2014). Større dyr som hest og kyr kan ødelegge festesystemene som solcelle-modulene er montert på (eller annen infrastruktur innenfor anlegget), mens griser og geiter kan skade strømkablene på bakken. Det er også en risiko for at geiter kan klatre opp på panelene og gjøre skade.

Blant alle typer flerbruk er sauebeite den vanligste arealbruken som kan kombineres med solenergi-anlegg. Et eksempel på dette er Statkrafts solenergi-park Lange Runde i Nederland som blir brukt som beitemark for sau. Solcellepanelene er bygget med god

avstand mellom radene for å sikre gode vekstvilkår for gresset, og kablene er spesielt sikret for å unngå at dyrene tygger på dem (Statkraft 2017).

Der det planlegges å ta i bruk naturområder for å etablere nye jordbruksarealer (nydyrking) og kombinere disse med solkraft, må disse arealene vurderes slik som beskrevet i kapittel 3.2, ettersom disse områdene kan ha stor verdi blant annet for naturmangfold. I slike tilfeller må det søkes om tillatelse for nydyrkingen (dette er nærmere beskrevet i kapittel 4.5.3).



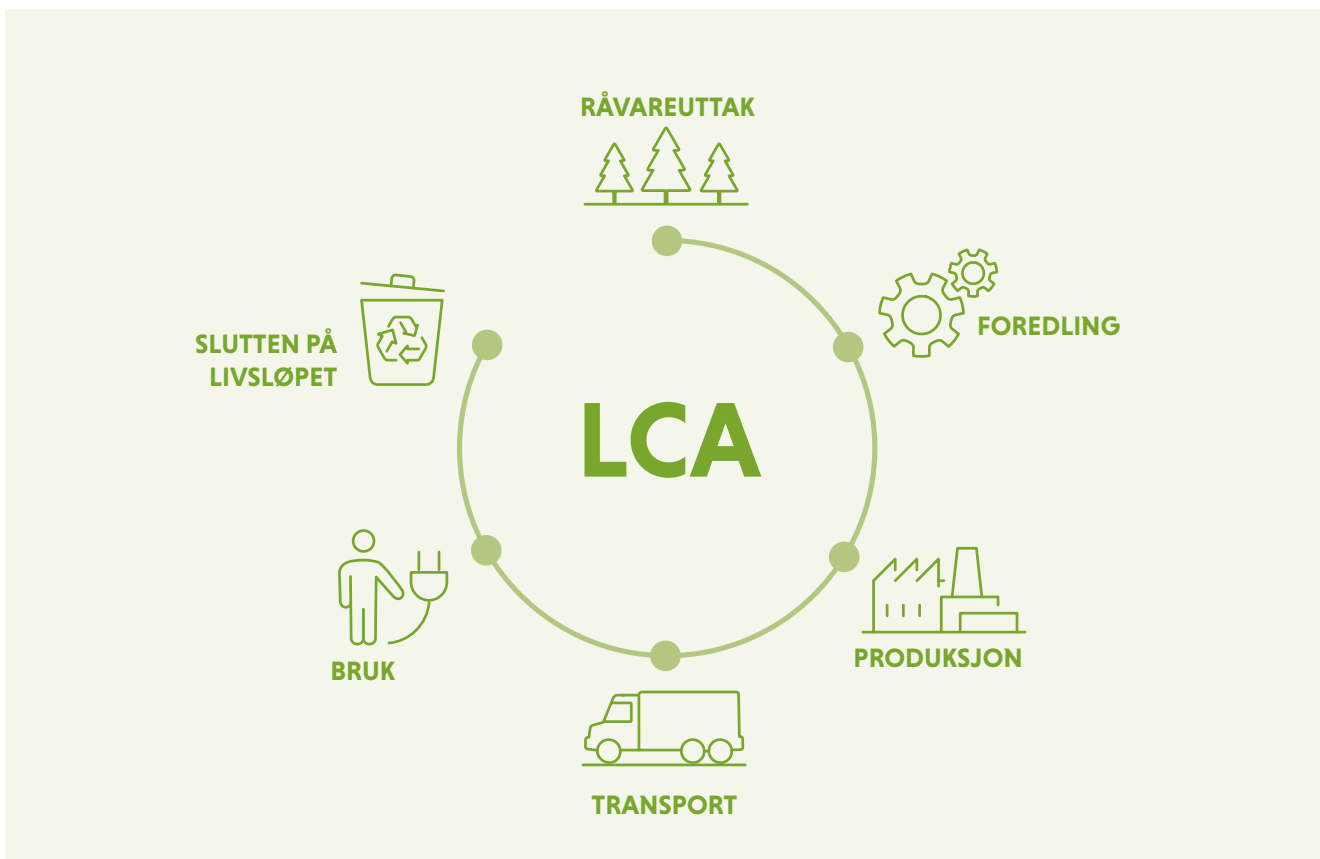
Eksempel på kuer på beite i kombinasjon med solkraftproduksjon. (Foto: next2sun)



### 3.4 LCA og klimapåvirkning

Solenergi er den rikeligste energikilden vi har på jorda, og elektrisitetsproduksjon fra fornybar energi som solenergi istedenfor fossile energibærere er én av nøklene til omstillingen til et mer klimavennlig samfunn. Det er likevel viktig å adressere den klima- og miljøpåvirkningen solkraftanlegg medfører, som til tross for å være betydelig mindre enn den fra fossil energi-produksjon, ikke kan neglisjeres.

For å vurdere den helhetlige klima- og miljøpåvirkningen til bakkemonterte solkraftverk i Norge bør de vurderes i et livsløpsperspektiv, dvs. inkludert råvareuttak, produksjon, drift og vedlikehold samt avhending ved slutten av levetiden. Dette kan gjøres ved hjelp av livsløpsanalyse (LCA), som er en metode for å vurdere de mulige miljøpåvirkningene til et produkt, en aktivitet eller et prosjekt i løpet av livsløpet fra råvareuttak til avhending. Livsløpsfasene i LCA er illustrert i **figur 3-2**.



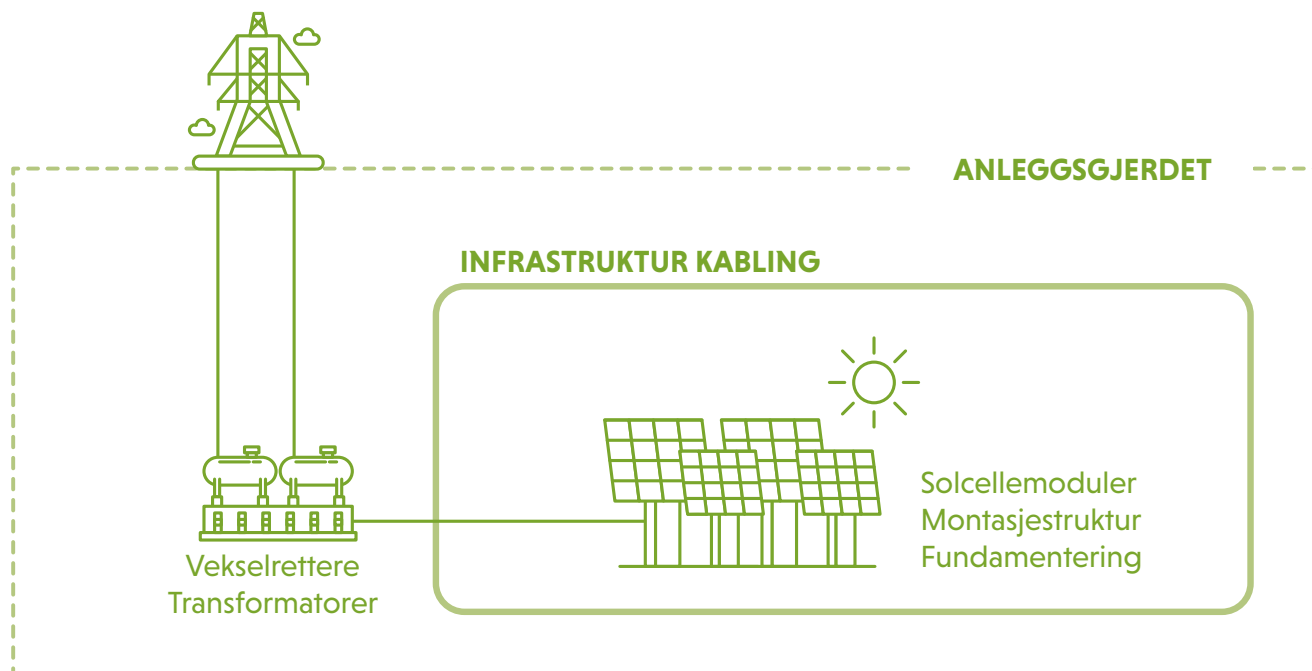
Figur 3-2. Livsløpsfasene i LCA (Multiconsult).

I dette kapittelet er klimapåvirkning vektlagt tyngst, men også andre miljøpåvirkningskategorier som forbruk av kritiske råmaterialer, og eventuelt innhold av helse- og miljøfarlige stoffer i solcellene, bør vurderes for å adressere den helhetlige miljøpåvirkningen knyttet til bakkemonterte solkraftverk i Norge.

Solcelleteknologi og gjenvinningsprosesser er under kontinuerlig utvikling, og klima- og miljøpåvirkning fra produksjon og slutten på livsløpet endres i takt med teknologien. Det bemerkes derfor at vurderingene i denne rapporten representerer dagens situasjon, mens utviklingen av solceller går raskt. Ny dokumentasjon og

forskning bør undersøkes og hensyntas etter hvert som utviklingen kommer lenger.

For en livsløpsanalyse av et bakkemontert solkraftverk er det naturlig å inkludere de innsatsfaktorene som bidrar til at anlegget skal oppfylle sin funksjon, som er å produsere elektrisitet. Det kan være naturlig å sette systemgrensen ved anleggsgjerdet. I tillegg til selve solcellemodulene forekommer klimagassutslipp knyttet til produksjon og utbygging av resten av kraftverket. Dette omfatter tilkobling til nettet, infrastruktur, fundamentering, kabling, montasjesystemer og vekselrettere, som illustrert i **figur 3-3** (Geografisk systemgrense).



**Figur 3-3.** Geografisk systemgrense (Forenklet oversikt over bestanddelene i et bakkemontert solkraftverk. Den stiplede linjen illustrerer anleggsgjerdet og også den anbefalte geografiske systemgrensen i livsløpsanalyser av bakkemonterte solkraftverk.)

Resten av anleggets livsløp bidrar også til klima- og miljøpåvirkning. Utbyggingen av anlegget påvirker klima og miljø på grunn av energiforbruk til anleggsarbeid, massehåndtering, montasje og transport, samt gjennom arealbruksendringer. I solkraftverkets driftsfase er klima- og miljøpåvirkning knyttet til utskifting av materialer og komponenter i løpet av kraftverkets levetid, samt vedlikehold av anlegget. Når solkraftverket når slutten av sin levetid forårsaker riving/demontering og avhending av materialer og komponenter ulike klima- og miljøpåvirkninger.

Analyser som er utført hittil viser at produksjonsfasen er den delen av et solcelleanleggs livsløp som bidrar mest til klimagassutslipp (Gibon et al 2017; Frischknecht & Krebs, 2021; EPD-Norge, n.d.).

Klimaeffekten til den produserte **solkraften i et samfunnsperspektiv** avhenger av hvilken elektrisitmiks solkraftverket inngår i, samt hvilke energikilder solenergien erstatter. Norge har allerede en svært høy andel fornybar energi i produksjonsmiksen hovedsakelig grunnet vannkraft, men er koblet sammen med Europa og eksporterer og importerer også elektrisitet til og fra ulike europeiske land. Elektrisitmiksen for nettverket Norge er koblet på inneholder fortsatt mye fossil elektrisitetsproduksjon, selv om utbygging av fornybar energi skjer over hele verden. Solkraft som produseres i Norge kan dermed **bidra til å erstatte fossil elektrisitetsproduksjon i Europa**. Fossil elektrisitetsproduksjon fra kilder som kull

og gass medfører generelt klimagassutslipp i en størrelsesorden på mange ganger utslippene til elektrisitetsproduksjon fra solkraft (1 kg CO<sub>2</sub>-ekv./kWh for kull, 0,5 kg CO<sub>2</sub>-ekv./kWh for gass og omtrent 9-14 g CO<sub>2</sub>-ekv./kWh for solkraft i følge NVE (NVE, 2022)). Å erstatte fossil kraft med solkraft vil derfor gi betydelige klimagassreduksjoner. I tillegg gir den pågående elektrifiseringen av samfunnet et økende behov for elektrisitet, og dette ekstra behovet bør dekkes av fornybare energikilder framfor fossile for å minimere klimagassutslippene.

Klima- og miljøpåvirkning for solkraftanlegg bør sammenlignes per produserte enhet (f.eks. kWh) for å sikre rettferdig sammenligning, samt hensynta ulike faktorer som spiller inn angående hvor mye elektrisitet som sendes ut i kraftnettet og kan nyttiggjøres. På denne måten blir den totale klima- og miljøpåvirkningen en funksjon av de totale klimagassutslippene og anleggets elektrisitetsproduksjon gjennom livsløpet. Anleggets totale elektrisitetsproduksjon påvirkes av virkningsgrad og levetid. En høyere virkningsgrad og/eller lenger levetid gir flere produserte kWh som utslippene over livsløpet kan fordeles over. For en bestemt solcellemodul er utslippene knyttet til produksjonen av modulen uavhengig av hvor den skal benyttes, men hvor mye elektrisitet solcellemodulen vil produsere over sitt livsløp og dermed hvor store produksjonsutslippene blir per produserte kWh avhenger av karakteristikk ved modulens driftsfase. Forholdene modulen er plassert i og hvordan den vedlikeholdes kan påvirke den faktiske levetiden og effektiviteten, og geografisk

plassering påvirker solinnstråling og dermed produksjon. I tillegg påvirker den geografiske plasseringen transportdistanser samt klimagassutslipp knyttet til arealbruksendringer. Det bør også bemerkes at den faktiske virkningsgraden og effektiviteten til solcellepanelene kan avvike fra designspesifikasjonene.

I tillegg til klimagassutslipp kan bakkemonterte solkraftverk ha en klimapåvirkning knyttet til endring av overflatealbedo, dvs. jordoverflatens evne til å reflektere solinnstråling (Store Norske Leksikon, 2021). Solceller er typisk mørke og dersom de erstatter lysere overflater som f.eks. gress vil jordoverflaten absorbere mer innstråling, hvilket bidrar til global oppvarming.

### 3.4.1 Klimapåvirkning knyttet til arealbruksendringer

Beslaglegging av landareal trekkes ofte fram som en ulempe med bakkemonterte solkraftverk, og er diskutert innledningsvis i dette kapitlet. Arealbruksendringer grunnet utbygning av bakkemonterte solkraftverk kan medføre klimapåvirkning på grunn av evnen biomasse har til å ta opp og lagre karbon. Dersom skog og/eller annen vegetasjon må fjernes for å bygge ut et solkraftverk, og den fjernede vegetasjonen brennes eller brytes ned på andre måter, slipper vegetasjonen ut karbonet som er lagret gjennom fotosyntesen. I tillegg medfører nedbrytning av vegetasjon at vegetasjonen ikke vil kunne ta opp nytt karbon i løpet av den perioden solkraftverket er i drift. Karbon lagres også i jord, og bearbeiding av jord kan øke nedbrytningen av det organiske materialet i jorda og dermed slippe ut karbon.

Skog og myr er de arealtypene som har de største karbonlagrene, og som det dermed er størst risiko for at medfører store utslipp av klimagasser ved endring. Disse bør derfor unngås og holdes tilstrekkelig avstand til ved utbygging av bakkemonterte solkraftverk. Det bør også vurderes i hvor stor grad arealet og karbonlagrene blir påvirket ved utbygning av solkraftverk. Eksempelvis vil hogging av skog for å frigjøre plass til å sette opp et solkraftverk garantert medføre klimagassutslipp. For utbygging av solkraftverk på beitemark, som ikke nødvendigvis medfører direkte fjerning av vegetasjon eller endring av jordsmonn, er det større usikkerhet i graden av nedbrytning av biomasse fra skyggelegging av marken. Som beskrevet tidligere i dette kapitlet er det mest fordelaktig å bygge på grå arealer uten biomasse, også i et klimaperspektiv. Tiltakene i tiltakshierarkiet illustrert i **figur 3-1** (Tiltakshierarkiet) kan også bidra til å minimere klimagassutslipp knyttet til arealbruksendring, men myr er vanskelig å sette tilbake til original tilstand når det gjelder karbonlager, og bør alltid unngås. **Miljødirektoratets verktøy for arealbruksendringer** kan benyttes til å undersøke klimagassutslippene en bestemt arealbruksendring medfører, avhengig av typen areal som endres (Miljødirektoratet, 2019).

I tillegg til den direkte miljø- og klimapåvirkningen beslaglegging av landareal medfører er det også slik at landareal er en begrenset ressurs på jorda. Ved å beslaglegge et areal til én funksjon (f.eks. solkraftverk) reduseres muligheten for å bruke arealet til andre funksjoner (f.eks. matproduksjon).



### 3.4.2 Eksisterende dokumentasjon og analyser av klimapåvirkning gjennom livsløpet

Det har de siste årene kommet flere EPDer (environmental product declaration, miljøvaredeklarasjoner) for solceller og komponenter som inngår i solceller på det norske markedet (EPD-Norge, n.d.). Fire EPDer tar for seg mono-krystallinske solcellemoduler, mens én gjelder tynnfilmmoduler med CdTe-teknologi. EPDene gjelder kun spesifikke moduler fra spesifikke produsenter, ikke generisk. De representerer derfor kun en mindre del av de ulike produktene som eksisterer på globalt nivå.

For alle EPDene er materialproduksjonsfasen den delen av livsløpet med høyest klimagassutslipp. Dette inkluderer både fremstilling av materialene, som utgjør en betydelig del av utslippene, og produksjon av selve solcellemodulene. Hvor solcellene produseres og dermed hvilken elektrisitetsmikse som benyttes i produksjonen har betydning for resultatene. Flere av EPDene gjelder solceller produsert i Asia, der elektrisitetsmiksen generelt har relativt høye klimagassutslipp. Klimagassutslipp fra transport fra produksjonslokasjonen til prosjektlokasjonen der solcellene skal benyttes avhenger også av plasseringer, men for alle EPDene er disse betydelig lavere enn produksjonsutslippene. For drift- og vedlikeholdsfasen samt slutten på livsløpet er beregningene i EPDene basert på antagelser, og de faktiske klimagassutslippene vil avhenge av faktorer som hvordan solcellene vedlikeholdes og hvordan de avhendes på slutten av levetiden.

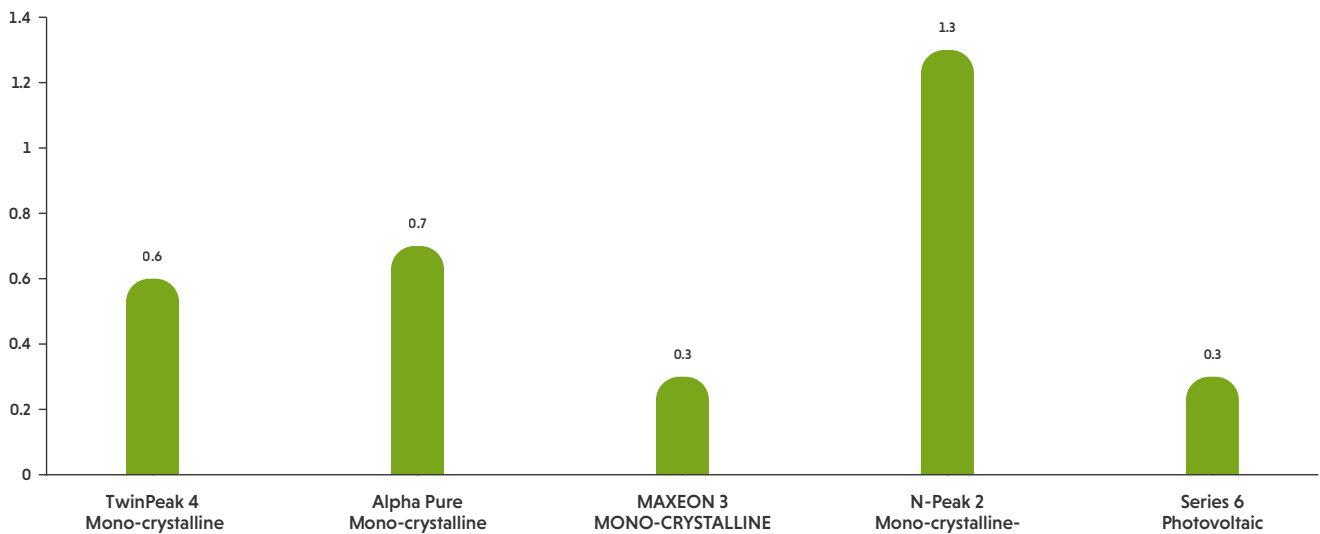
De beregnede produksjonsutslippene per Wp for de ulike EPDene på EPD-Norge er illustrert i **figur 3-2** (Livsløpsfasene i LCA).

Gibon m. fl. (2017) analyserte ulike teknologier for elektrisitetsproduksjon, blant annet ulike løsninger for solcelleanlegg. De fant at for bakkemonterte CIGS-anlegg (en type tynnfilm-anlegg) utgjorde modulproduksjonen den største delen av klimagassutslippene, etterfulgt av konstruksjonen og deretter vekselretterne. Ekstern kabling medførte også betydelige utslipp, mens drift og vedlikehold, bakkesystem og avhending utgjorde mindre deler av de totale klimagassutslippene.

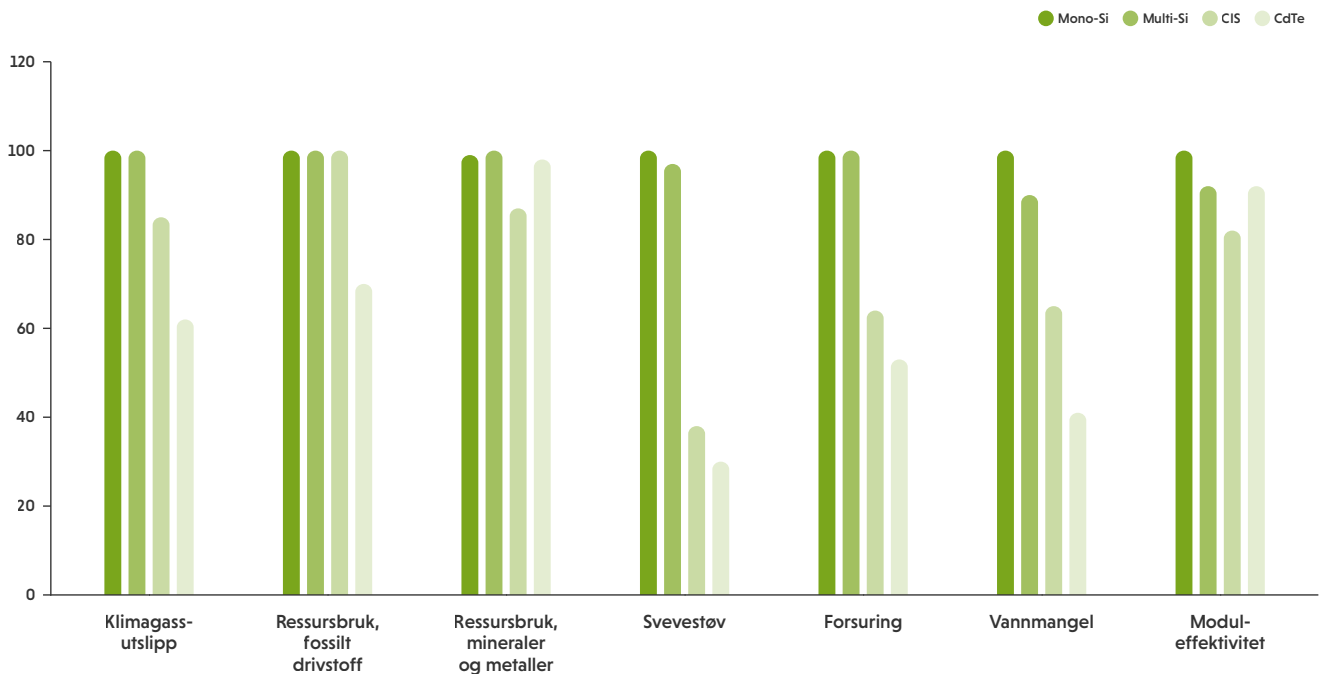
International Energy Agency (IEA) har gjennomført et arbeid rundt miljømessig bærekraft for solceller. Dette inkluderte blant annet en gjennomgang av livsløpsinventar og livsløpsanalyser for solceller (International Energy Agency, n.d.). Resultater for solcellesystemer i boligskala er presentert i et faktaark (Frischnecht & Krebs, 2021), og inkluderer solcellepanelene, kabling, montasjestruktur, vekselretter og systeminstallasjon for ulike teknologier. IEA har også utviklet et verktøy for å undersøke klimapåvirkning fra solcelleanlegg i ulike deler av verden (International Energy Agency, 2019).

**Graf 3-2** (Miljøpåvirkning) illustrerer hvordan de ulike teknologiene som er analysert av IEA presterer i forhold til hverandre innenfor ulike miljøpåvirkningskategorier. Hoveddelen av klimagassutslippene er knyttet til produksjonsfasen, og solcellepanelene er den største bidragsyteren etterfulgt av vekselretteren. Se faktaarket og dets dokumentasjon for detaljer rundt analysen.

Materialer som inngår i konstruksjoner og infrastruktur rundt solcellene er også sentrale for klimagassutslipp. Betong og stål er materialtyper som i stor grad benyttes og som i dag slipper ut store mengder klimagasser fra materialproduksjon.



Graf 3-1. Klimagassutslipp for produksjonsfasen (A1-A3) per Wp hentet fra følgende EPDer for solceller på EPD-Norge: NEPD-3421-2033-EN, NEPD-3420-2033-EN, NEPD-3087-1726-EN, NEPD-3422-2033-EN og NEPD-2993-1671-EN (EPD-Norge, n.d.).



Graf 3-2. Miljøpåvirkning over livsløpet for solcellesystem per kWh produsert i Europa. Verdier er illustrert relativt til hverandre innenfor hver kategori og hentet fra analyse utført av IEA (; (Frischknecht & Krebs, 2021).

### 3.4.3 Adressering av klimapåvirkning i prosjekter

Det anbefales å utføre klimagassberegninger og eventuelt helhetlige livsløpsanalyser med flere miljøpåvirkningskategorier for hvert enkelt anlegg for å kunne vurdere reell klima- og miljøpåvirkning knyttet til anlegget. I en slik vurdering bør alle innsatsfaktorene som beskrives i starten av kapittel 3.4 inkluderes, slik at alle materialer, komponenter og aktiviteter som er nødvendige for å produsere elektrisitet fra solkraftverket er omfattet. Den geografiske systemgrensen bør settes ved anleggsgjerdet og der kraftverket kobles til elektrisitetsnettet, som vist i **figur 3-3** (Geografisk systemgrense).

Ved å gjøre prosjektspesifikke analyser kan norske forhold og faktorer som varierer mellom ulike bakkemonterte solkraftverk i Norge, som arealtype, solinnstråling og transportdistanser, samt hvilke spesifikke produkter og leverandører som benyttes, tas med i vurderingen.

Det anbefales også å etterspørre EPDer for solcellemoduler og andre komponenter og materialer som inngår i anlegget. EPDer bør benyttes aktivt ved valg av produkt for å inkludere klima- og miljøpåvirkning som beslutningskriterium, og det bør forsøkes å velge produkter og materialer med lave klimagassutslipp. Som beskrevet tidligere finnes det allerede EPDer for enkelte solcelleprodukter, og for andre materialer med betydning for utslippene, som betong og stål, eksisterer det også et bredt utvalg av EPDer på markedet i dag. Etter valg av produkt kan en EPD benyttes

til å dokumentere klima- og miljøpåvirkningen knyttet til produktet som benyttes i anlegget.

### 3.4.4 EUs taksonomi

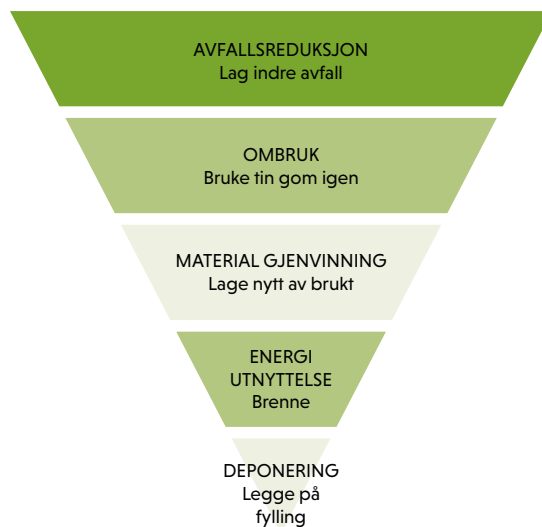
EUs taksonomi definerer ulike kriterier prosjekter må imøtekomme for å oppfylle de enkelte miljømålene definert i taksonomien, som igjen skal bidra til en bærekraftig omstilling. For solcelleanlegg stilles det ikke krav til en maksverdi for klimagassutslipp i et livsløpsperspektiv for å imøtekomme miljømål 1 (begrensning av klimaendringer), slik det gjøres for eksempelvis vannkraftanlegg (European Commission, n.d.).

### 3.5 Gjenbruk og resirkulering

Ved økt utbygging av solkraftverk vil også mengden komponenter fra solkraftverk som når slutten av sin levetid øke. Solceller inneholder verdifulle materialer og det er derfor viktig at materialene og komponentene håndteres på en hensiktsmessig måte når de tas ut av drift.

Avfallspyramiden i **figur 3-8** illustrerer prioriteringene i norsk avfallspolitikk og EUs rammedirektiv for avfall, og disse prioriteringene bør vektlegges også for bakkemonterte solkraftanlegg. Reduksjon av avfall har høyest prioritet, hvilket i denne konteksten kan bety å forlenge levetiden til solcellekraftverkene.

Figur 3-4. Avfallspyramiden  
(Store Norske Leksikon, 2022)



Ombbruk har nest høyeste prioritet. For å legge til rette for ombbruk av komponenter og materialer i bakkemonterte solkraftverk anbefales det å bruke bestandige, homogene materialer med lav kompleksitet der det er mulig, samt fleksible forbindelser slik at komponenter kan demonteres og tas fra hverandre uten å bli skadet. Det er også viktig å ha dokumentasjon for materialer og komponenter tilgjengelig til framtidig ombbruk. Ved å designe for demontering og ombbruk på denne måten tilrettelegger produsenter og leverandører for at avfallsmengdene kan minimeres og ressursene nyttiggjøres når kraftverket eller enkeltkomponenter når slutten av sin levetid.

Materialgjenvinning (resirkulering) har tredje høyeste prioritet. I en analyse av miljøpåvirkning

knyttet til resirkulering av solcellesystemer kom IEA fram til at klimagassutslippene fra resirkulering er betydelig lavere enn de for produksjonsfasen, og at klimapåvirkningen knyttet til resirkulering av materialene er betydelig lavere enn miljøpåvirkningen fra utvinning og produksjon av nye materialer (Stolz m.fl., 2017).

Stolz m. fl. (2017) har kartlagt dagens resirkuleringspraksis for ulike typer solcelleteknologi. I dag resirkuleres generelt krystallinske moduler i resirkuleringsanlegg for laminert glass, metall eller elektronisk avfall. Glass, aluminium og kobber gjenvinnes, mens celler og andre materialer som plast energigjenvinnes. Tynnfilmmoduler av CdTe resirkuleres i egne anlegg, og halvledere, glass og kobber gjenvinnes. Komoto m. fl. (2018) har også gjort en kartlegging av prosessene og metodene som benyttes for resirkulering av solcellesystemer i dag. Forfatterne bak rapporten bemerker at det er nødvendig med videre teknisk innovasjon for å utvikle resirkuleringsteknologier som kan gjenvinne alle de verdifulle materialene i solcellesystemene på en effektiv måte, og adresserer også utfordringer knyttet til dagens resirkulering.

Ved å benytte resirkulerte materialer i solcellepanelene og andre komponenter i solkraftverkene både nyttiggjøres brukte ressurser samt klimagassutslipp fra produksjon av nye materialer og komponenter unngås. Prinsippet «design for resirkulering» ligner på tankegangen for «design for ombbruk» beskrevet i forrige avsnitt, og handler hovedsakelig om å velge gode, resirkulerbare og robuste



materialer samt tilrettelegge for å kunne skille disse fra hverandre ved endt levetid. IEA har utviklet retningslinjer for design for resirkulering spesifikt for solceller, og oppsummerer disse som følger (Bilbao m.fl., 2021):

1. Varig identifikasjon av modulkonstruksjon og -sammensetning kan muliggjøre sikrere og mer effektive resirkuleringsprosesser.
2. «Backsheet composition/back cover/ Tedlar» har spesielt viktige implikasjoner for resirkulerbarhet.
3. Metallvalg kan ha betydelig innvirkning på resirkuleringsprosesser og -kostnader.
4. Minimering av bruk av innkapslingsmiddel eller bruk av reversible innkapslingsmidler kan tilrettelegge for demontering av solcellemoduler.
5. Reduksjon av antall og kompleksitet av modulmaterialer muliggjøre trade-offs relatert til resirkulerbarhet og økonomi.
6. Bruk av forskjellige tetningsmidler i aluminiumsrammen kan muliggjøre modul-separasjon uten komponenteskade.

I tillegg til resirkulering ved slutten av et solkraftverks levetid er det fordelaktig å utnytte avfallsstrømmer i produksjonsprosessen på en effektiv måte. ICARUS er et prosjekt som jobber med å resirkulere silisium fra solcelleproduk-

sjon og identifisere høykvalitets bruk av disse sekundære materialene (ICARUS, n.d.).

### **Solceller klassifiseres som EE-avfall i Norge**

(Norsk Gjenvinning, n.d.). Organisasjonen PV CYCLE er en avfallshåndteringspartner for hovedsakelig solcellepaneler og tilbyr løsninger for solcellemodulavfall, elektrisk og elektronisk avfall, batteriavfall, industrielt avfall og pakningsavfall (PV CYCLE, n.d.). Prosjekter bør undersøke tilgjengelige løsninger og vurdere muligheter for å ombruke og resirkulere solkraftverkkomponenter ved endt levetid, samt benytte ombrukte og resirkulerte materialer og komponenter i nye anlegg. Dette er sentralt for å bidra til miljømessig bærekraft og sirkulær økonomi også for bakkemonterte solkraftverk.

### **3.6 Oversikt over komponenter og miljøpåvirkning for en solcellemodul**

**Tabell 3-1** er utviklet av Solcellespesialisten og presenterer en oversikt over komponentene i en solcellemodul med tilhørende miljøpåvirkning i løpet av livsløpet.

Tabell 3-1. Oversikt over komponenter i en solcellemodul med tilhørende miljøpåvirkning (Solcellespesialisten).

Komponent	Materiale	Hoved- element	% av komponent	Kritisk ressurs	Miljø- påvirkning fra utvinning og produksjon	Miljø- påvirkning fra bruk	Miljø- påvirkning fra gjenvinning
Glass		Na <sub>2</sub> O·nSiO <sub>2</sub>	70 %	Potensielt	Middels	Lav	Lav
Aluminiums- ramme		AlMg <sub>3</sub>	10 %	Potensielt	Høy	Lav	Lav
Encapsulant	EVA	Ethylene- vinyl acetate Copolymer	10 %	Nei	Middels	Lav	Ikke gjennvinnbar i panelet p.t.
Solcelle		Silisium	3 %	Nei	Middels	Lav	Lav
		Kobber	2 %	Potensielt	Høy	Lav	Middels
		Aluminium	<1 %	Nei	-	-	-
		Tin	<1 %	Nei	Høy	Lav	-
Busbar		Kobber	<1 %	Nei	-	-	-
		Polyester	<1 %	Nei	-	-	-
		Tin	<1%	Nei	-	-	-
Backsheet	PET	Polyetylen- tereftalat	3 %	Nei	-	-	-
Junction box		Polykarbonat	1%	Nei	-	-	-
		Kobber	<1 %	Nei	-	-	-
		Silisium	<1%	Nei	-	-	-
Lodding		Sølv	<1%	Nei	-	-	-
		Tin	<1 %	Nei	-	-	-
		Bly*	<1 %	Må utfases fra sol	Høy	Høy	Høy
Annet			<1 %				

\*Det finnes noen blyfrie solcellemoduler på markedet, men mange inneholder fortsatt bly.

## 4 Konsesjoner og tillatelser

### 4.1 Omsetningskonsesjon

Alle kraftprodusenter med over 1 GWh i midlere årsproduksjon og som skal selge kraft på nettet må ha omsetningskonsesjon. Har eieren flere selskap må det sendes én søknad om omsetningskonsesjon for hvert selskap (organisasjonsnummer) som skal drive produksjon av elektrisitet. Dette er normalt sett ikke en omstendelig søknadsprosess og behandlingen av søknaden er rask – som regel maskinell. Det medfører imidlertid en plikt til å gjennomføre en årlig teknisk og økonomisk rapportering til NVE gjennom tjenesten Erapp.

Kraftprodusenter med under 1 GWh i midlere årsproduksjon behøver ikke omsetningskonsesjon. Dersom det er flere kraftverk i et organisasjonsnummer, må summen av midlere årsproduksjon for disse kraftverkene være under 1 GWh for at virksomheten skal slippe å søke om konsesjon. Dersom midlere årsproduksjon blir større enn 1 GWh i fremtiden, må produsenten ha omsetningskonsesjon.

### 4.2 Anleggskonsesjon for solkraftverk og nettilknytning

Bakkemonterte solkraftanlegg må ha anleggskonsesjon dersom utbygger eller det lokale nettselskapet må etablere høyspenningsanlegg (spenning over 1 kV) for å få kraften ut på nettet. Produksjonsanlegg med spenning på mer enn 1000 V vekselstrøm/1500 V likestrøm trenger konsesjon etter energiloven<sup>11</sup>. Det må utarbeides en konsesjonssøknad til NVE som behandler saken. OED er klageinstans på eventuell påklaging av NVEs vedtak (se kapittel 4.4 om konsesjonsprosessen).

Konsesjonspliktige anlegg behandles av NVE etter energiloven, og alle deler av tiltaket må beskrives i søknaden. Hovedregelen er at den som eier anlegget, også skal drive anlegget. Dersom «eier» og «driver» av et solkraftverk ikke er den samme, er det den som faktisk skal bygge og drive anlegget som skal søke konsesjon. En avtale mellom eier og driver bør i slike tilfelle omtales i konsesjonssøknaden.

Det er kraftutbygger som alltid har plikt til å bygge seg fram til et tilstrekkelig sterkt punkt i nettet. Alle selskaper med anleggskonsesjon for nettanlegg har plikt til å opplyse om deres nett og tilrettelegge for tilkobling til disse. Område-

<sup>11</sup> Energiloven § 3-1 og energilovforskriften § 3-1.

konsesjonæren har kun plikt til å bygge seg helt fram til nye utfaskunder, og har ikke plikt til å bygge nett fram til nye kraftprodusenter.

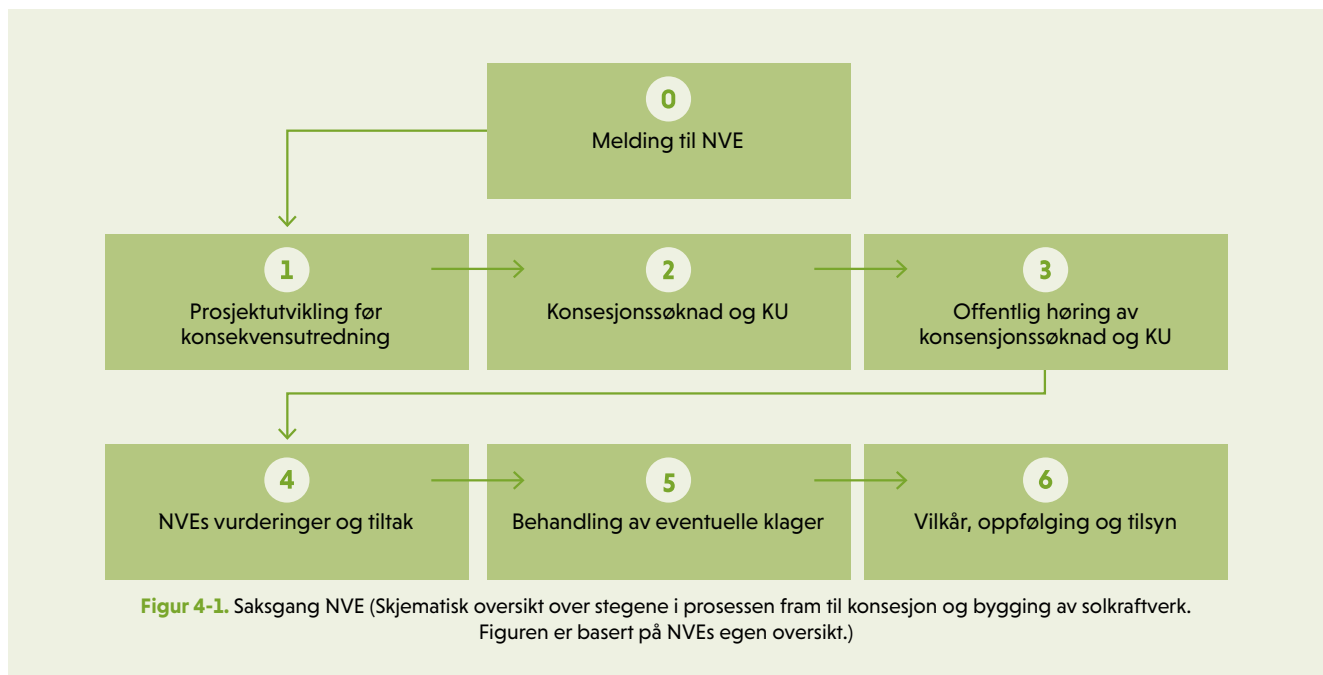
De som planlegger nye solkraftanlegg av en størrelse som tilsier behov for høyspenningsanlegg, bør **ta kontakt med områdekonsesjonær/nettselskap så tidlig som mulig** for å avklare forhold som gjelder nettilknytning. Det er flere muligheter for nettilknytning av et produksjonsanlegg, og dette vil være de vanlige:

1. Nettselskapet sørger for tilknytningen og kan legge til rette for dette gjennom områdekonsesjon (normalt sett nettilknytning < 22 kV, enkelte byområder < 132 kV). Da er det ikke behov for anleggskonsesjon for nettilknytning.
2. Nettselskapet sørger for tilknytning, men kan ikke gjøre det iht. områdekonsesjon. Da må nettselskapet (eller solkraftaktøren på vegne av nettselskapet) søke om anleggskonsesjon for nettilknytning.
3. Solkraftprodusenten ønsker selv å bygge, eie og drifte nettilknytningen. Det er også mulig, og da må produsenten selv søke om anleggskonsesjon for nettilknytning.

Der det søkes om konsesjon for overføringsanlegg tilknyttet søknad om kraftutbygging, bør søknadene sendes samtidig eller som én samlet søknad.

For nettilknytning av produksjonsanlegg, er det tilknytningsplikten etter energiloven § 3-4 a som gjelder. Dette innebærer at nettselskapene har en *plikt* til å legge til rette for tilknytning i deres nett, der det er mest rasjonelt å gjøre det. Merk at det ikke er en plikt til å bygge nett frem til solkraftverket. Hvis ikke områdekonsesjonær bygger seg frem til solkraftverket, må solkraftverket selv søke om nettilknytning frem til tilknytningspunktet i nettet.

Etter energilovforskriften § 3-1 tredje ledd er nye, lavspente fordelingsanlegg som leverer kraft mellom ulike aktører også konsesjonspliktige. Dette innebærer at **direkte ledninger fra kraftprodusent til nabobygg er konsesjonspliktige**. NVEs praksis er at det ikke gis egen konsesjon for slike anlegg, men at det er det lokale nettselskapet som skal bygge og drive dette nettet i medhold av områdekonsesjonen. Det gjelder et unntak fra konsesjonsplikten for lavspente fordelingsanlegg dersom hovedsikringskapasiteten ikke overstiger 200 A ved 3 faser og 230 V, jf. energilovforskriften § 3-1 fjerde ledd b. Dette er imidlertid et strengt avgrenset unntak.



Hovedtrekkene i saksgangen jf. **figur 4-1** er som følger:

- 0) Melding til NVE med arbeidsbeskrivelse av foreslåtte undersøkelser og utredninger fra tiltakshaver (ikke krav, men ønske fra NVE).
- 1) Tiltakshaver skisserer et potensielt prosjekt innenfor et geografisk område, avklarer grunneierforhold og varsler kommune og Statsforvalter.
- 2) Tiltakshaver utarbeider konsesjonssøknad og konsekvensutredning iht. NVEs krav og føringer (herunder også fra Miljødirektoratet m.fl. som NVE henviser til). Dersom tiltaket ikke er iht. gjeldende arealplan vil

det i tillegg enten kreves at kommunen gir dispensasjon eller utarbeider en egen reguleringsplan. Det kan også være nødvendig å søke om tillatelser/dispensasjoner etter annet lovverk, herunder kulturminneloven, samt ekspropriasjonsrett og forhåndstiltredelse. Det må redegjøres for dette i søknaden. Søknad og KU må også omfatte nettilknytning.

- 3) NVE sender søknad og KU på høring til relevante høringsparter inkl. Statsforvalter, fylkeskommune og kommune. Det blir ofte arrangert folkemøter i denne forbindelse. Tiltakshaver utarbeider skriftlig svar på de innkomne høringsuttalelsene. Der høringen avdekker at kunnskapsgrunnlaget ikke er tilstrekkelig til å fatte vedtak, kan NVE stille krav om tilleggsutredninger.<sup>12</sup>

<sup>12</sup> Denne risikoen for tiltakshaver kan reduseres ved utarbeidelse av melding og fastsettelse av konsekvensutredningsprogram selv om dette foreløpig ikke er påkrevd av NVE.

- 4) NVE skriver sin innstilling basert på en samlet vurdering av tiltakets positive og negative konsekvenser for miljø, naturressurser og samfunn. Både avslag og konsesjon kan påklages innen tre uker fra vedtaksdato. NVE vurderer da om klagen inneholder informasjon som kan gi grunnlag for å endre vedtaket. Dersom NVE velger å opprettholde vedtaket, vil klagen behandles av OED som kommer med endelig vedtak som ikke kan påklages.
- 5) Konsesjonen for tiltaket inneholder betingelser for bygging og drift av solkraftverket. Det vil sannsynligvis i de fleste tilfeller også bli stilt krav om utarbeidelse av detaljplan for anlegget som må godkjennes av NVE før byggestart, slik det ble gjort i konsesjonen i mai 2022 for Furuseth solkraftverk i Stor-Elvdal. Detaljplanen skal beskrive endelig utbyggingsplan, alle arealinngrep og hvordan landskap og miljø skal ivaretas i anleggs- og driftsfasen.

Det henvises til NVEs veiledningssider for solkraft<sup>13</sup> for en mer detaljert gjennomgang av de ulike stegene.

#### 4.2.1 Viktige momenter for å sikre en effektiv saksgang

Det må antas at NVE etter hvert som de mottar mange konsesjonssøknader vil komme til å prioritere saker for behandling slik det tidligere har blitt gjort bl.a. for vind- og vannkraftverk. Viktige momenter for å bli prioritert vil trolig være at:

1. Prosjektet er tilstrekkelig modnet til at det framstår som realistisk og byggbart dersom det får konsesjon.
2. Rettighetsforhold er avklart.
3. Det finnes tilstrekkelig med solressurser.
4. Solkraftverket er lokalisert nært kraftnett med tilstrekkelig kapasitet til å ta inn ny produksjon.
5. Solkraftverket bidrar til å forsyne lokalt/regionalt kraftbehov.
6. Det ikke er store konflikter med arter/områder/objekter med juridisk vern, slik som naturvernområder, utvalgte naturtyper, prioriterte arter og automatisk fredede kulturminner.
7. Det ikke er stor motstand fra berørt(e) kommune(r).

<sup>13</sup> <https://www.nve.no/konsesjon/konsesjonsbehandling-av-solkraftverk/>



I tillegg til de overnevnte punktene for å unngå å bli lavt prioritert, vil følgende kunne bidra til en effektiv saksbehandling og et tilstrekkelig underlag for å avdekke de faktiske konsekvensene av utbyggingen:

1. Søknad og KU er utarbeidet iht. NVEs krav (veiledningsmaterieil).
2. Det brukes tilstrekkelig med ressurser på teknisk planlegging og utredning, inkludert undersøkelser/kartlegginger i felt slik at krav om tilleggsutredninger unngås.
3. Lokale og regionale myndigheter samt andre viktige interessenter involveres fra et tidlig stadiet (gjærne også før planområde er identifisert) slik at de kan bidra med informasjon og gi innspill på hva som bør gjøres av utredninger og kartlegginger (tilsvarende en prosess med høring av melding og utredningsprogram).

Innholdet i søknaden og konsekvensutredningen må være tilgjengelig innholds- og språkmessig også for «folk flest» som kan bli berørt av tiltaket. Det bør derfor brukes ikke-teknisk språk der dette er mulig, spesielt i begrunnelsen for hvorfor det søkes konsesjon og hva de forventede konsekvensene for miljø, naturressurser og samfunn vil bli. Språket bør dessuten være ukomplisert og fritt for grammatiske feil. Kart,

tabeller og andre illustrasjoner må forklares, og navn som brukes i teksten må gjenfinnes i kartene og omvendt. Det er dessuten svært nyttig at tiltaket/tiltaksområdet tegnes inn på de ulike temakartene i konsekvensutredningen.

### 4.3 Saksbehandlingsregler for annet lovverk

Vi vil her omtale plan- og bygningsloven og jordloven, som viser seg å være sentrale for søknader om etablering av solkraftanlegg.

Tiltaket kan også kreve tillatelse etter annet lovverk. Dersom det er tilfelle, må det redegjøres for slike tillatelser i søknadene. Dette kan være krav etter kulturminneloven, vannressursloven/vannforskriften, forurensningsloven og naturmangfoldloven.

#### 4.3.1 Plan- og bygningsloven: dispensasjon eller omregulering?

Vilkårene for å gi dispensasjon fra arealplan etter Plan- og bygningsloven (pbl) er som en hovedregel til stede når det foreligger en endelig konsesjon etter energiloven, jf. Ot.prp. nr. 32 (2007–2008). Vilkårene for dispensasjon anses derfor som oppfylt når det er gitt en slik konsesjon. På tross av dette må kommunen vurdere om det skal gis dispensasjon, da loven benytter ordet «kan», jf. pbl § 19-2 første ledd. Denne vurderingen anses derfor som skjønnsmessig. Det er derfor lurt å søke dispensasjon etter at NVE har ferdigbehandlet konsesjons-søknaden.

Det er per i dag ikke reguleringsplikt for solkraftverk med konsesjon etter energiloven.<sup>14</sup>

<sup>14</sup> Plan og bygningslovens § 12-1 tredje ledd første punktum vil dermed ikke gjelde, jf. tredje ledd tredje punktum.

Kommunene kan dermed ikke pålegge tiltakshaver å utarbeide et planforslag. Tiltakshaver kan likevel utarbeide en slik reguleringsplan på eget initiativ, og dette er noe fagekspertene gjerne anbefaler. En reguleringsplan vil nemlig sikre en forsvarlig planavklaring og gjennomføring. Det kan være i utbyggers interesse, fordi en slik plan gir forutsigbarhet og en rettslig bindende avklaring for næringsvirksomheten. En reguleringsplan vil også forenkle videre prosess for etableringen, blant annet ved at de ulike interessene i området blir avklart i reguleringsvedtaket.

#### 4.3.2 Omdisponering etter jordloven

Omdisponering av dyrka og dyrkbar jord til produksjon av solkraft krever i utgangspunktet tillatelse etter jordloven § 9. Det tas stilling til hva som er ment med bestemmelsens første ledd første punktum som lyder: «Dyrka jord må ikke brukast til føremål som ikkje tek sikte på jordbruksproduksjon». Hvorvidt det kreves omdisponeringstillatelse, må vurderes i hvert enkelt tilfelle. Dersom tiltaket ikke er til hinder for jordbruksproduksjonen, vil det trolig anses at formålet jordbruksproduksjon er ivaretatt. Bruken er da ikke endret, ettersom jorda brukes fortsatt til jordbruksproduksjon.

Krav til omdisponering gjelder imidlertid ikke under noen gitte omstendigheter:

1. Dersom området er lagt ut til annet formål enn landbruk i bindende arealdel av kommuneplan.
2. Dersom området er definert som «bebyggelse og anlegg, eller landbruks-, natur-, og friluftsføremål samt reindrift der grunnutnyttinga er i samsvar med føresegner om spreidd utbygging som krev at det ligg føre reguleringsplan før deling og utbygging kan skje», jf. jordloven § 2 første ledd bokstav b.
3. For tiltak med konsesjon etter energiloven § 3-1, jf. jordlova § 2 tredje ledd.

Ettersom punkt 3 stort sett vil være gyldig for solenergianlegg, vil det dermed ikke være krav om omdisponering. Kommunen kan likevel bestemme i planen at jordloven § 9 skal gjelde, jf. jordloven § 2 annet ledd.

Dersom grunneier på en landbrukseiendom inngår en leieavtale med et firma som ønsker å plassere solcellepanel på en landbrukseiendom, kan også jordloven § 12 og konsesjonsloven komme til anvendelse.

### 4.3.3 Søknad om nydyrking

Dersom det er aktuelt å anlegge solkraftverket på landbruksareal som først skal nydyrkes, er det behov for å søke om godkjenning i kommunen. Med nydyrking menes fulldyrking og overflatedyrking av jord som ikke har vært benyttet til landbruksareal siste 30 år<sup>15</sup>.

Fulldyrka jord defineres som «jordbruksareal som er dyrka til vanlig pløyedybde, og kan benyttes til åkervekster eller til eng, og som kan fornyes ved pløying». Med overflatedyrka jord menes «jordbruksareal som for det meste er rydda og jevna i overflata, slik at maskinell høsting er mulig», jf. NIBIOs veileder. Det er med andre ord ikke hva arealet brukes til, men pløyedybden som er avgjørende.

Opparbeiding av innmarksbeite til overflatedyrka eller fulldyrka jordbruksareal vil derfor også være søknadspliktig dersom det tilrettelegges for muligheter for maskinell høsting. Opparbeiding av udyrka areal til innmarksbeite vil ikke være søknadspliktig, men her er det nødvendig å vurdere tiltaket etter naturmangfoldlovens §6. Det er forbud om nydyrking av myr, jf. forskrift om nydyrking § 5 A. Dersom tiltaket er i kantsonen mot vassdrag må det settes igjen en vegetasjonssone for å hindre avrenning og erosjon.

Det er som regel landbrukskontoret som behandler slike søknader. Det er standard skjema man kan benytte for slike søknader (se Landbruksdirektoratets hjemmesider). Søknaden må inneholde søknadsskjema, kart, plan for drenering og drift, samt en redegjørelse av hvilke fordeler et slikt tiltak vil ha for landbruksvirksomheten.

Det er også nødvendig å beskrive virkninger for landskapsbildet, naturmangfold og kulturminner, og en vurdering av om nydyrkings tiltaket bør konsekvensutredes. Dersom tiltaket anses å ha vesentlige konsekvenser for miljø og samfunn er det krav om konsekvensutredning. Det er strengere krav til konsekvensutredning for alle nydyrkingstiltak over 50 dekar. Her kommer kravene etter forskrift om konsekvensutredning til anvendelse. Utredningen må følge anerkjent metodikk og utføres av personer med relevant faglig kompetanse.

“ Dersom tiltaket anses å ha vesentlige konsekvenser for miljø og samfunn, er det krav om konsekvensutredning.

<sup>15</sup> Forskrift om nydyrking: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/1997-05-02-423>

## 5 Nettilknytning

**Alle som ønsker det skal ha mulighet til å koble seg til strømmettet i Norge**, men mangel på tilgjengelig kapasitet i eksisterende nett er i store deler av landet en utfordring. Dette er derfor det første som bør avklares ifm. nettilknytning. Det er viktig å kontakte lokal netteier tidlig i prosjektet for å avklare mulighetene for reservasjon av kapasitet, og de kan veilede på hvor det er gunstigst for solkraftverket å koble seg til. I Danmark er det utviklet et **kapasitetskart** som viser hvor det er tilgjengelig kapasitet i nettet, og som produsenter har hatt stor nytte av ved optimal plassering i tidligfase prosjekt. Dette jobbes det også med å utvikle i Norge, men det er ikke i mål p.t.

Dersom lokal netteier ikke har tilgjengelig kapasitet eller tilstrekkelig sterkt nett i området kan det bli behov for utbygging. Dette vil typisk ta et par år for distribusjonsnettet, mens det for regional- og transmisjonsnettet må søkes konsesjon og kan ta 4–5 år. Det er derfor viktig å kontakte nettselskapet så tidlig som mulig for å kartlegge den beste løsningen

og sette i gang med evt. utbedringer. Dersom nettet må forsterkes vil netteier kunne kreve **anleggsbidrag** for å dekke hele eller deler av kostnadene ved nye nettilknytninger eller ved forsterkning av nettet til eksisterende kunder. Dersom det må gjøres store investeringer kan det derfor bli kostbart for solparken.

Det finnes flere måter å koble seg til overføringsnettet på. Hva som vil være den beste måten vil variere og må vurderes for hvert tilfelle. Det er i hovedsak avhengig av størrelse på kraftverket og plassering. Generelt tilknyttes større kraftverk enten til en eksisterende nett-, transformator- eller koblingsstasjon, og dette må avklares med nettselskapet i god tid før utbygging. Dersom det er langt til nærmeste stasjon kan det opprettes en ny stasjon hvor eksisterende overføringslinje loopes innom (loop in loop out - LILO). Avgreninger er generelt utfordrende for driften av nettet, generelt med hensyn til feil, driftsforstyrrelser og revisjoner, og det er viktig for nettoperatorene at avgreninger skal ha fullverdige bryterfelt. T-avgreninger<sup>16</sup> er ikke ønsket av de fleste netteiere og bør helst unngås.

Hvilket spenningsnivå et solkraftverk bør tilknyttes avhenger igjen av størrelse på

<sup>16</sup> T-avgrening defineres som tilknytning til en hovedforbindelse hvor tilknytningspunktet ikke har fullverdige bryterfelt for alle avganger

kraftverket og av plassering ift. eksisterende overføringslinjer og stasjoner i nærheten. Mindre anlegg kobles helst til lavere spenning og større anlegg bør kobles inn på høyere spenninger. Det vil typisk være en grense på 10–15 MW ved tilkobling til distribusjonsnett (typisk 22 kV). Dersom kraftverket er større bør det tilknyttes regionalnettet, og er det i størrelsesordenen rundt 100 MW og oppover bør tilknytningspunktet ligge nærme transmisjonsnett.

Det stilles krav til **spenningskvaliteten** i nettet, og det er en øvre grense for hvor store overharmoniske spenninger og hvor store spenningsvariasjoner og spenningsprang som kan aksepteres. Påvirkningen fra solkraftverket vil være avhengig av hvor i nettet det tilknyttes, både med tanke på kortslutningsytelse og lengde på linjer og kabler. De fleste nettselskap i Norge har ikke tilstrekkelig erfaring og datagrunnlag enda for solkraft for å kunne gjøre disse vurderingene. Det er sannsynlig at det i mange tilfeller vil bli stilt krav om at det installeres **elkvalitetsinstrument** (Elspec), som for mange vindkraftverk, for å kunne overvåke spenningskvaliteten i nettet.

De største kostnadsdriverne for nettilknytning av solkraftverk vil være avstand til tilknytningspunkt, terreng, tilknyttet spenningsnivå, om eksisterende nett må utbedres (anleggsbidrag) og valgt teknologi (eks. luftledning vs. kabel). Jo lengre avstand til tilknytningspunktet, jo mer kostbart vil tilkoblingen som regel bli. Tilknyttet spenningsnivå vil også kunne påvirke kostnadene, da høyere spenningsnivå fører til mer kostbart utstyr.

# 6 Teknologi for bakkemonterte solkraftverk

Bakkemonterte solkraftverk medfører vanligvis skånsomme inngrep i naturen, men det er like fullt et naturinngrep med konsekvenser. Inngrepet det representerer, og betraktninger man må hensynta i valg av område og konsekvensutredning, har en forutsetning at man forstår kraftverkets komponenter og oppbygging. Dette kapitlet gjennomgår typiske metoder og teknologier som inngår i planleggingen, byggeprosessen og driften av et bakkemontert solkraftverk, fra fundamentering til kraftelektronikk.

## 6.1 Fundamentering

Fundamentering av solkraftverk er et viktig moment som ikke alltid er like enkelt å ta hensyn til i valg av område. I søken etter gode arealer brukes ofte åpne kart med god informasjon om alt fra kulturminner til spenningsnivå, men grunnforhold blir sjeldent beskrevet med mer enn få ord. I en tidlig fase av planleggingen til et bakkemontert solkraftverk vil det være viktig med en visuell inspeksjon eller bilder fra området for å oppnå et estimat på hva som kreves av fundamenteringsløsninger og geoteknisk undersøkelse.

Før man kan detaljplanlegge et solkraftverk vil det være nødvendig med geotekniske undersøkelser for å avdekke grunnforhold og jordsmonn. Dette er nødvendig i bestemmelsen av hvilken fundamenteringsløsning som er

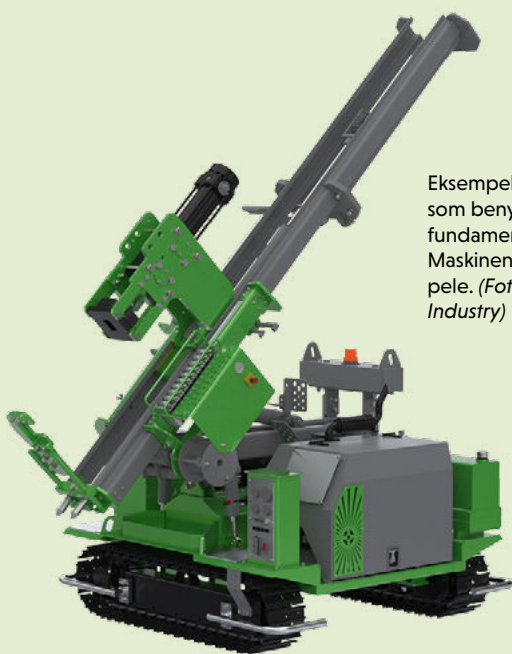
best egnet for området og lastberegninger for anlegget med tanke på vindkast og stabilitet. Valg av fundamenteringsløsning vil for en stor grad bestemme solkraftverkets reversibilitet, dvs. hvor enkelt det vil være å tilbakeføre arealet til original stand etter endt levetid. I Europa er pæling og jordskruer mye brukte teknikker, men disse teknikkene er mindre egnet for områder med mye stein og fjell som vi ofte har i Norge. Fordelen med pæling og jordskruer er lave kostnader og rask byggetid. I tillegg er løsningene nesten fullstendig reversible slik at tilbakeføring av området forenkles.

Den geotekniske undersøkelsen har som formål å fastslå hvor godt egnet et område er for solkraftverk, samt kostnader for fundamenteringsløsningen. Ved usikkerheter kan det være lurt å foreta denne befaringen tidlig i prosjektet. Undersøkelsen vil bestå av å kartlegge grunnforhold, jordsmonn og komposisjon for området og å utføre «pulling»-tester, hvor man driver en pæle ned i jorden og måler friksjonsmotstanden ved å trekke den opp igjen. Det er viktig at en slik undersøkelse er nøyaktig og dekker så mye av området som mulig for å minske risikoen for kostnadsdrivende hindringer i konstruksjonsfasen. For valg av område er det viktig å tenke på at tungt maskineri må ha tilgang og mulighet til å utføre fundamenteringsarbeidet som kreves.



### Jordskruer og pæling

Fundamenteringsløsninger er utviklet og tilbys kommersielt for ulike grunnforhold, hvorav den enkleste og billigste løsningen er metalliske jordskruer eller pæler som blir skrudd eller slått ned i jorden. Jordskruer kommer med ulik størrelse og plassering av gjenger, samt ulik lengde tilpasset etter motstandskraften for løft og sideveis bevegelse i underlaget. Der området tillater det, er det blitt mer og mer vanlig med automatisasjon i prosessen av å sette opp fundamentet. Dette gjøres av automatiserte boremaskiner med GPS koordinater på plasseringen av jordskruer, men landskapet må være lett tilgjengelig for tungt maskineri og ikke for kupert.



Eksempel på en pelemaskin som benyttes til peling av fundamenter i solkraftverk. Maskinen kan både bore og pele. (Foto: Mazaka Heavy Industry)

### Støpt fundament

For områder med lav integritet i jordsmonnet eller høye vindlaster kan det bli nødvendig å støpe et fundament for pælen, enten horisontalt eller vertikalt. Dette er en dyrere og mer tidkrevende prosess.

I tele kan det bli nødvendig å grave et større hull og støpe en rund form for ekstra stabilitet, dette reduserer faren for telehiv og skader eller produksjonstap fra bevegelser i strukturen. Alternativt kan de pæles ned til frostfritt jordsmonn.

Der det er mulig vil jordskruer være et foretrukket alternativ over støpt fundament, ikke bare på grunn av kostnader, men også med tanke på reversibiliteten til inngrepet.

### Ballasterte system

En annen form av fundamenteringsløsninger er ballasterte system. Dette forhindrer penetrasjon av underlaget og kan egne seg for eksempelvis deponier med et tynt beskyttende lag som ikke skal punkteres, eller øvrige områder som porøs fjellgrunn der det ikke er muligheter for andre løsninger. Ballasterte bakkemonterte solkraftverk minner mer om løsninger for solanlegg på flate tak og inkluderer fordelene av å være mer fleksibelt og reversibelt, med ingen eller lite inngrep i underlaget. Et slikt system vil derimot være mer kostbart enn jordskruer og pæler, men gjenbruk av materialer som erstatning for støpt ballast kan vurderes for å kutte kostnader og forbedre klimafotavtrykket til anlegget.



Eksempel på hvordan betong benyttes som ballast rundt pæler som står i jordsmonn med lav integritet. (Foto: Multiconsult)





Eksempel på ballastfundament, her gjenbrukes gamle jernbanesviller som ballast ved Glava Energy Center i Sverige. (Foto: Multiconsult)

### Nordisk topografi

Europeiske utbyggere av bakkemonterte kraftverk prioriterer i stor grad de mest gunstige forholdene for å presse ned tilpasning-, installasjon- og driftskostnader. Norske forhold ligger sjelden til rette for bruk av de tradisjonelle komponentene produsert for bakkemonterte solkraftverk, dog med unntak av kraftverk som kan plasseres på såkalte «grå arealer». Bart fjell, myrtungt landskap og kraftig kupert terreng skaper behov for spesialdesignede løsninger som driver kostnadene opp. Dette er design- og metodikkutfordringer som trolig vil komme frem etter hvert som den norske bakkemonterte solkraftindustrien trapper opp aktiviteten.

Etablering av solkraftanlegg i områder med bart fjell vil gjøre det nødvendig å utvikle kostnads- effektive fundamenteringsmetoder i samråd

med geoteknikkspertise og på bakgrunn av erfaringer fra vindkraftbransjen. Bolteteknikker fra ledningsmaster kan også tenkes å inneha smarte løsninger som kan adopteres for norske solkraftverk. I dag er det vanlig å enten bruke ballasterte systemer eller drille (flere) hull i berget for hver fundamenteringspåle, men muligheten for dette vil også være avhengig av porøsiteten i fjellet. Slike metoder for store anlegg vil fort bli kostnadsdrivende, og tradisjonelle betongfundamenter som ballast vil slå negativt ut både i et klimaperspektiv og material- og logistikkperspektiv.

Som nevnt i Kapittel 3.4 er det uaktuelt å bruke myrlandskap for bakkemonterte solkraftverk i Norge. Det finnes heller ingen kjente løsninger for fundamentering som ivaretar myra uten tørrlegging.

## 6.2 Montasjesystemer

Det finnes i hovedsak to ulike metoder for montasjesystem i et bakkemontert solkraftverk. Dette er enten helt fastmontert i område-spesifikk gunstig vinkel for strømproduksjon, eller ved hjelp av bevegelige «tracking» systemer som følger solens gang gjennom himmelen. Detaljdesignet av et solkraftverk er en optimaliseringsprosess som tar hensyn til de lokale forhold, ressursgrunnlag, økonomiske begrensninger, mekaniske begrensninger på montasjesystemet, samt forholdene som ligger til rette angående maksimal produksjon per panel eller maksimal produksjon per område.

Valget av montasjestruktur vil også være avhengig av ressursgrunnlaget og muligheten for inntjening ved salg av strøm for det valgte området. Der tracking-systemer vil gi høyere ytelse og høyere kraftproduksjon på morgen og kveld, vil de også ha en høyere installasjons- og vedlikeholdskostnad, og mulighetene for inntjening vil ikke i alle tilfeller nå opp til å erstatte denne økte kostnaden.

### 6.2.1 Fastmonterte systemer

Fastmonterte solkraftverk kommer i mange variasjoner og vil variere i forhold til antall paneler, landskap- eller portrettformat, antall fundamenteringspåler og vinkling av panelene. Et hovedtrekk er at montasjestrukturen blir valgt på en måte som optimaliserer den årlige energiproduksjonen fra anlegget, gitt en rekke områdespesifikke begrensninger. Alternativt orienteres solcellemodulene slik at de gir en

høy kraftproduksjon når kraftprisene er høye, eksempelvis på ettermiddagen. Generelt vil et montasjesystem med større og flere paneler i høyden øke den installerte kapasiteten per areal og dermed også den totale produksjonen. Dette vil ofte gå på bekostningen av den gjennomsnittlige ytelsen til det enkle panel og streng (elektrisk sammenkoblede paneler i serie eller parallell). For høyere Ground Coverage Ratio (GCR), et mål for hvor stor del av arealet som brukes til produksjon sett opp mot det totale arealet, brukes ofte landskapsformat med flere paneler i høyden.

Ved en av Nordens største solparker, Vandel III i Billund i Danmark, er 4–6 paneler i landskapsformat montert i høyden på en gammel rullebane. (Infranode, 2021) Et slikt montasjedesign med kort avstand mellom radene vil gi en høy GCR og høy total produksjon fra anlegget, men kan gå på bekostning av gjennomsnittlig ytelse på nordlige breddegrader. Fastmonterte paneler yter bedre ved å legge inn en økende sørlig vinkel jo lengre nord man befinner seg. Dette sikrer økt utnyttelse av solinnstrålingen gjennom dagen og året, også med lave vinkler på solinnstrålingen. Derimot vil en høyere vinkel på panelene og flere paneler i høyden også kaste en lengre skygge og muligens redusere ytelsen på radene som kommer bak. Skyggekastning på rader blir kompensert ved å beregne en viss avstand mellom radene (pitch) eller redusere vinkelen fra den best mulige for området breddegrad.

Områder som heller mot øst, sør eller vest kan benytte seg av terrengets naturlige helning og behøver ikke like stor avstand mellom radene. Et fastmontert system vil da kunne oppnå høyere GCR og produksjon uten at det går på bekostning av ytelsen til det enkelte panel eller streng. Begrensningen vil heller knytte seg til det faktiske montasjesystemet og tilgangen til området for maskineri og personell. Monteringsystemer masseproduseres i standardløsninger for å presse ned kostnadene og i databladet vil man ofte finne både maksimal

helning på terreng (øst-vest/nord-sør) og tilt på panel. Flere leverandører gir også muligheten for at man selv kan etterspørre høyere vinkler, men spesialdesignede løsninger kan øke prisen og spille inn på lønnsomheten til prosjektet.

For å estimere størrelsen på anlegget og avstanden mellom radene kan man bruke digitale verktøy med parametrisk søk eller definere et «worst case scenario», der man velger en dag og klokkeslett der solen står lavt og deretter beregner hvor lang skygge en rad vil kaste



Agua Fria var Scatecs første solkraftpark i Latin-Amerika, og ble bygget i Honduras i 2015. Anlegget produserer 97 GWh i året, og kan forsyne 80 000 husholdninger med strøm. (Foto: Scatec)

på dette tidspunktet. Bruker man dette som standard vil man forsikre seg om at ingen rader kaster skygge på øvrige panel så lenge solen står høyere på himmelen.

Fastmonterte systemer tilbyr en fleksibel løsning som kan brukes i de fleste områder og gir en lavere installasjonskostnad. I tillegg vil et slikt system, uten bevegelige deler, ha et lavt vedlikeholdsbehov.

### 6.2.2 Bevegelige systemer – Tracking

Et alternativ til fastmonterte montasjesystemer er en tracking-montasjestruktur. Disse følger solens gang gjennom dagen og året, ved bruk av en eller to akser. Den vanligste teknologien er Horizontal Single Axis Tracker (HSAT), montert med aksene i en nord-sør gående retning der panelene er lagt på en langsgående aksling som roterer fra øst til vest. Et slikt system vil oppnå høyere produksjon og ytelse ved å alltid rette panelene mot en produksjonsgunstig retning. For tracking-systemer på flat grunn vil dette bidra til å flate ut produksjonskurven med en produksjonstopp på morgenen og ettermiddagen, i motsetning til fastmonterte systemer som yter mest midt på dagen. Dette kan være gunstig for bakkemonterte solkraftverk som selger strøm direkte til nettet, da man ofte ser en formiddags- og ettermiddagstopp på kraftprisen.

Økningen i produksjonen fra et tracking-system kontra et fastmontert system vil variere med pitch, paneltype, refleksjon fra underlaget (albedo) og GCR. I en studie fra Danmark publisert av Riedel-Lyngskær m.fl., ble den

faktiske økningen i produksjon med og uten tracking-system analysert, hvor det ble rapportert en økning på 12,8 % for ensidige paneler montert i et trackingsystem. (Riedel-Lyngskær m.fl., 2021) Den samme studien viste også til en 16 % økning for tosidige paneler (bifacial), men da inkludert 3 m lengre avstand mellom radene for økt refleksjon. I Norge vil trolig refleksjon fra snø bidra til ytterligere økt kraftproduksjon for tosidige paneler, men det er foreløpig ikke publisert målinger på dette.

Den praktiske forskjellen mellom et tracking-system og et fastmontert system ligger i mulighetene for installasjonsområder, vedlikehold og fundamentering. Tracking-systemer er mindre egnet i kupert terreng, hvor man ønsker så få motorer som mulig for å presse ned kostnadene og vedlikeholdet. Normalt ligger maksimal helning mellom 15–20 % (Zimmermann, 2022; Soltec, 2022), men finnes også opp mot høyere vinkler (Ideematec L:TEC, 2022). Vedlikeholdskostnadene vil også øke sammenlignet med fastmonterte systemer, fordi mekaniske deler kan ha behov for tilsyn og utskifting gjennom levetiden.

Det er ønskelig med så lite inngrep som mulig i naturen og jordsmonnet også ved bruk av tracking-systemer. Monopæler som montasjefundament kan derfor være et fornuftig valg, både i forhold til materialet og kostnadene. Men dette stiller større krav til underlaget og solid fundamentering. Både på grunn av tilleggsvekt fra aksling og motor, men også grunnet økt vindlast fra endringer i vinkel på panelene.



Tracking-systemer tilbyr en løsning for økt ytelse på samme areal, men med tilhørende økte kostnader for installasjon og vedlikehold. Under planlegging av et solkraftverk med bruk av tracking-system vil det være en fordel med sterkere involvering av leverandører og deres syn på området og mulighetene som kan tilbys. Bilde nedenfor viser det bakkemonterte kraftverket med tracking-system ved Romerike Avfallshåndtering.

“ Den praktiske forskjellen mellom et tracking-system og et fastmontert system ligger i mulighetene for installasjons-områder, vedlikehold og fundamentering.



ROAF solpark. (Solcellespesialisten 2022)

### 6.2.3 Agrivoltaics

En egen nisje innen bakkemonterte solkraftverk omhandler samlokasjon mellom jordbruk og kraftproduksjon. Dette er en hybridløsning som har muligheten til å øke verdien til et område ved å tilrettelegge for parallell drift.

For kombinasjonsdrift med beitedyr eller jordbruk vil det være tilleggsfaktorer for montasjesystem som spiller inn. Avstanden mellom radene må være bred nok til å la jordbruksmaskiner fritt drive normal drift, gårdspersonale til å fritt foreta manuelt arbeid med avlingen under sesongen, forhindre produksjonsdempende skyggekasting eller tilstrekkelig høyde på montasjestruktur til at dyr ikke kan skade panelene. En slik samlokasjon på et område kan utføres med enten fastmonterte eller tracking-systemer, men innebærer også egne løsninger av montasjedesign tilpasset jordbruket som drives på området. Dette innebærer vertikale monterte paneler monterte med avstand som tillater jordbruksmaskiner tilgang (Next2sun, 2022) eller en «drivhusløsning» for dyrking av bær og frukter (BayWa r.e., 2022).

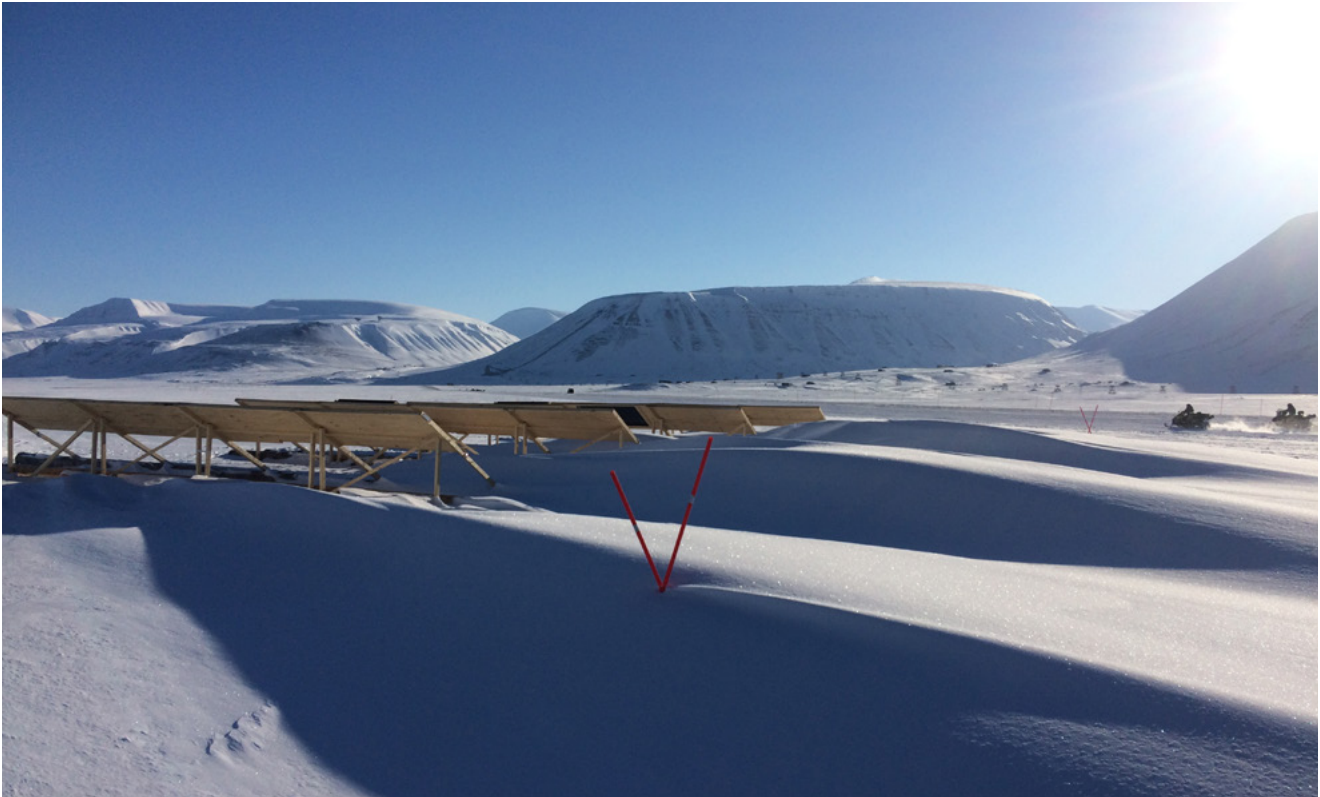
Slike hybridløsninger har også vist økt produksjon for noen vekstsorter (Gorijan, 2022; Perna, 2020), men det er enda ikke utforsket for norske forhold. Dette særområdet av bakkemonterte solkraftverk beskrives videre i kapittel 3.3.

Bildet nedenfor viser ett eksempel på montasjesystem for agrivoltaics.



Next2Sun vertikale stativer med tosidige solceller.  
(Foto: Next2Sun GmbH)





I områder som er utsatt for snøfokk må solkraftverket designes annerledes for å hindre akkumulering av snø i solkraftverket. Her illustrert ved testriggen til UNIS/NMBU i Adventdalen på Svalbard. (Foto: Multiconsult)

### Særnorske/nordiske tilfeller

Flere produsenter av montasjestrukturer tilbyr fleksible løsninger for å overkomme lett kupert terreng, men hvis mulig vil det ofte bli foreslått å flate ut terrenget på forhånd, både for effektivisering og automasjon av fundamentering, men også for standardisering av montasjepåler. Dette kan ikke anbefales på store områder grunnet det natur- og miljømessige fotavtrykket en slik utbedring vil tilsvare. I Norge vil de mest gunstige forhold for montasje og fundamentering ofte tilsvare jordbruk og beitemark, som kan være aktuelt for solkraft hensyntatt spesielle vilkår (Kapittel 3).

Kraftig snøfall kan by på problemer i enkelte områder og bør kompenseres med å øke høyden på installasjonen tilsvarende slik at snøen

kan skli av modulene uten at akkumulert snø på bakken skygger for solcellene. Tester fra snøtunge områder i USA (Hayibo m.fl., 2022) viser resultater på at tosidige paneler i bakkemonterte solkraftverk vil smelte snø som akkumuleres raskere enn ensidige paneler. Et montasjesystem med ekstra høyde, tilpasset tosidige paneler, kan sørge for å utnytte solinnstrålingen bedre gjennom året, øke fortjenesten ved økt produksjon i vintermånedene med høye kraftpriser og økt generell produksjon fra baksiden med reflektert lys. Noen produsenter av moderne tracking-systemer kan inkludere sensorer som registrerer akkumulert snø på panelene og lar dette skli av ved å rotere til maksimal helning (Ideematec, 2021). For slike systemer vil det være spesielt viktig med tilstrekkelig høyde for å hindre rotasjon inn i avkastet snø som ligger under panelraden.

Snøfyking kan også by på et problem i utsatte områder, hvor hensyn bør tas for å hindre at snøen fanges og bygges opp. Solkraftverk viser lignende egenskaper som snøgjerd, men tilpasninger på pitch, høyde, orientering og helning kan tilpasses for å bedre kontrollere oppbyggingen av snø mellom radene (Frimannslund, 2021).

### 6.3 Modulteknologi

Solcellemoduler er en teknologi med hyppige forbedringer innen virkningsgrad, teknologi og kostnader. Gjennomsnittlige kommersielle solcellemoduler har hatt en økning i virkningsgrad de siste ti årene fra 15 % til over 20 %, i et marked dominert av silisium-baserte moduler med 95 % av verdensproduksjonen. Andre teknologier slik som perovskitt, CIGS og CdTe er også på god vei til å ta igjen mye av forspranget. Sistnevnte hadde en økning fra 9 % til 19 % virkningsgrad i samme tidsrom som den gjennomsnittlige kommersielle modul. (Fraunhofer Institute for Solar Energy, 2022)

Den vanligste silisiumbaserte teknologien i dag er mono-krystallinske solceller, som vil si at hver enkelt celle er skjært ut av en enkelt krystall. Forbedringer i teknologi og produksjonsmetode har ført til stadig større kapasitet per modul, og tosidige moduler som man ofte ser i bakkemonterte solkraftverk, kan komme opp i over 600 W per enhet. En slik modul vil normalt måle rundt 2,5–3 m<sup>2</sup> og konverterer solinnstråling til elektrisitet både på fremsiden og fra reflektert lys på baksiden, noe man kan dra

stor nytte av i Norge utover våren, når solen går høyere på himmelen og snøen fortsatt ligger.

En interessant mulighet for spesielt agrivoltaics er en modulløsning som blir brukt for bygg, tak og rekkverk, hvor det er behov for å slippe inn mer dagslys. Semi-transparente solcellemoduler har mellomrom mellom hver celle for å la noe lys slippe fritt gjennom. Mellomrommet kan tenkes å designes for å la vekster få nok lys gjennom dagen til å vokse som tilnærmet normalt og dermed øke mulighetene for flerbuk av jordbruksområder.

Likestrømsystemet i et bakkemontert solkraftverk er definert som lavspenning og spenningsnivået til moduler leverer ikke høye spenninger i seg selv, slik som den nye norske REC Alpha pure som ligger rundt 50 V (REC, 2022). Men modulene er ofte koblet slik at systemspenningen blir 1000 V eller 1500 V. Disse er deretter koblet til en desentralisert eller sentral vekselretter som omformer likestrømmen.



Tosidige «bifacial» solcellemoduler ved Asko i Vestby, Norge. (Foto: FUSen)

#### 6.4 Vekselrettere og transformatorer

Vekselretteren har som hovedoppgave å omforme likestrømmen som kommer fra solcellene til vekselstrøm som kan sendes ut til forbrukerne over kraftnettet. I Norge har vi to ulike typer vekselstrømnett, TN og IT, og vekselretteren må være designet for det nettet hvor det skal tilkobles.

Som bindeledd mellom solceller og kraftnett har vekselretteren også mange andre funksjoner som skal bidra til effektiv drift av solkraftverket og kraftnettet:

- Vekselretteren skal drifte solkraftanlegget med høyest mulig virkningsgrad og dette gjøres med en såkalt MPPT – Maximum Power Point Tracker som sørger for at solcellene produserer ved det strøm/spenningsnivået som gir høyest effekt.

- Vekselretteren skal samle inn driftsinformasjon fra solkraftverket slik at denne kan analyseres i drift- og overvåkningssystemet.
- Vekselretteren skal sørge for at forskriftskravene til strømkvalitet er oppfylt. Det vil si at spenningen hverken skal være for lav eller for høy og at frekvensen skal være riktig.
  - Ved for høy spenning vil vekselretteren koble seg av nettet. Alternativt kan kraftproduksjonen fra solcellene strupes slik at solkraftverket kun eksporterer den mengden kraft som nettet klarer å motta.
  - Ved for høy frekvens vil vekselretteren begynne å strupe kraftproduksjonen etter en på forhånd definert rampe slik at strupingen øker med tiltagende frekvens. Ved veldig høye frekvenser vil vekselretteren stoppe kraftproduksjonen helt.
  - Ved for lav spenning og frekvens vil vekselretteren koble seg fra nettet. Det er imidlertid mulig å overstyre vekselretteren til å levere kraft selv ved lav spenning og frekvens, slik at solkraftverket kan bidra i en såkalt «black-start», det vil si gjenoppretting av kraftnettet etter et strømutfall.
- Vekselretteren kan levere reaktiv effekt dersom nødvendig. I store anlegg kan dette styres dynamisk, mens det i mindre anlegg ofte settes en fast verdi for mengden reaktiv effekt som skal leveres.

En vekselretter leverer lavspent vekselstrøm, men for å levere denne kraften ut på nettet fra et stort solkraftverk må spenningsnivået heves til den lokale nettspenningen. Dette gjøres i en transformator som øker spenningsnivået til riktig spenningsnivå. Spesifikasjon av transformatoren må skje i samarbeid med den lokale netteieren.



Mer informasjon om vekselrettere og deres påvirkning på kraftnettet kan man finne på nettsidene til IEA PVPS Task 14 – Grid Integration: <https://iea-pvps.org/research-tasks/solar-pv-in-100-res-power-system/>



## 6.5 Øvrige systemkomponenter

Hovedkomponentene i et solkraftverk er solcellemoduler, vekselretter og montasjestativ. Øvrige systemkomponenter som er nødvendige for kraftverkets funksjonalitet omtales gjerne som BoS – «Balance of System». I det følgende vil det bli gitt en kort omtale av noen av BoS-komponentene for et bakkemontert solkraftverk.

### 6.5.1 Kabler og kontakter

For hver streng med solcellemoduler kreves to likestrømskabler frem til vekselretteren eller koblingsboksen. I et solkraftverk kan det derfor medgå mange kilometer med likestrømskabler. Disse kablene er enledere og får normalt dimensjonert tverrsnittet for minimum tap. Et tverrsnitt på 6 mm<sup>2</sup> er normalt. Kablene må tåle å være utsatt for vær og vind gjennom hele anleggets levetid, og det finnes egne IEC-standarder som disse kablene må oppfylle.

Relativt stort tverrsnitt og stor bestandighet mot UV-stråling og fukt gjør at disse kablene er relativt kostbare. I design av solkraftverk legges det derfor vekt på et elektrisk design hvor koblingsbokser og vekselrettere plasseres slik at total kabellengde reduseres til et minimum. Slik kan både kostnader til innkjøp av materialer og arbeidstid holdes på lavest mulig nivå.

Likestrømskablene kobles inn på strengene med en kontakt av samme type som den vi finner på solcellemodulen. Slike kontakter er normalt av typen MC-4 og de skal krympes på solcellekablene med et spesialverktøy.

Kontaktene og tilkoblingen av kontaktene utgjør et mulig svakt punkt og det er derfor viktig at dette gjøres riktig. Kontaktene som benyttes skal være av samme type og produsent som den som benyttes på solcellemodulene. Dette for å være helt sikker på at kontaktene har god elektrisk kontakt samt for å hindre korrosjon som følge av fuktinntrengning. Dårlig elektrisk kontakt vil over tid medføre varmeutvikling og i verste fall være årsak til en brann.

Alle kabler må fikseres enten i rør eller stripses fast i konstruksjonen slik at de ligger fast uavhengig av været. Kontakter skal videre stripses fast slik at de tillater noe termisk bevegelse som følge av varme og kulde, og de skal plasseres slik at de blir minst mulig utsatt for fukt. Likestrømskabler fra koblingsbokser føres normalt under bakken i trekkerør frem til vekselretteren. Det samme gjelder AC-kabler fra distribuerte vekselrettere.

Relevante standarder:

- EN 50618 – elektriske kabler for fotovoltaiske systemer
- IEC 62093 – Balance of system components for photovoltaic systems – design qualifications natural environments.

### 6.5.2 Drift og overvåkningssystemer

Drift og overvåkningssystemer kan leveres som en del av programvaren i vekselretteren eller via en profesjonell tredjepart. Hensikten med systemene er å kontrollere at solkraftverket til enhver tid yter på sitt beste i forhold til forhold

dene. Systemet skal varsle om typiske driftsforstyrrelser slik at disse også kan rettes opp.

Eksempler på slike kan være:

- Feil på vekselrettere som fører til redusert effekt eller utfall
- Feil forårsaket av nettet som krever manuell omstart
- Skygge som følge av rusk og skitt på paneler
- For lav kraftproduksjon i forhold til solinnstråling
- For trackere: Feil på trackemotor

Overvåkningssystemet skal også gjerne ha et system for oppfølging av feilretting og rapportering. Noen mer avanserte systemer har også innebygget varsling av behov for preventivt vedlikehold. Avhengig av tilknytingsavtale til nett kan det også være behov for å styre vekselrettere slik at de i perioder leverer en større grad av reaktiv effekt iht. krav/etterspørsel fra netteier. Dette må kunne styres av drifts og overvåkningssystemet og i noen tilfeller kan nettselskapet be om tilgang til denne funksjonaliteten.

### 6.5.3 Måleutstyr og sensorer

For effektiv og best mulig drift og oppfølging av et solkraftverk er det viktig å kjenne til lokalt vær. En værstasjon med måleutstyr for solinnstråling, vind, temperatur og evt. snøforhold inngår derfor ofte som den del av BoS. Sensorer for solinnstråling, temperatur og vind er

normalt de viktigste da disse måleparametrene kan benyttes til å kontrollere anleggets faktiske produksjon i forhold til optimal produksjon under de gitte forholdene. Snøsensorer er nødvendige for at disse beregningene skal bli riktige også på vinteren, men de vil også være nødvendige dersom anleggseier har behov for å forutsi produksjonen. Noen trackerleverandører hevder også at deres trackere kan tiltes slik at snøen sklir av trackeren hvor denne funksjonaliteten benytter snøsensorer. Ellers vil måleutstyret fra værstasjonen benyttes til periodevis rapportering og evt. beregning av uteblitt kraftproduksjon



Eksempel på en målestasjon for temperatur og solinnstråling. Stasjonen på bildet er plassert i besøksanlegget til Glava Energy Center i Sverige. (Foto: Multiconsult)

Figuren på forrige side viser værstasjonen i Glava Energy Center. Denne stasjonen er utstyrt med høykvalitetssensorer i form av fire stk. pyranometer som måler hhv, diffus innstråling, global horisontal innstråling, global innstråling i 30 og 40 graders vinkel mot sør. Direkte innstråling måles av et pyrheliometer som er montert på trackeren på toppen av plattformen. Målestasjonen som er vist på bildet gjør målinger med svært høy nøyaktighet og målingene benyttes til FoU-aktiviteter. Det

vil som regel ikke være nødvendig med slike målestasjoner i bakkemonterte solkraftverk, med mindre man ønsker svært høy målenøyaktighet, for eksempel i forbindelse med produksjonsgarantier.

De aller fleste bakkemonterte solkraftverk krever veldig lite tilsyn og derfor er det ikke behov for daglig tilstedeværelse. Sensorer som registrerer innbrudd og uønsket aktivitet i solkraftverket kan derfor være en fordel dersom anlegget ligger i et område hvor det kan være utsatt for innbrudd. Erfaringsmessig er det særlig tyverier av solcellemoduler og kabler som er utsatt.

I områder med mye støv og hvor solcellene dermed kan være utsatt for såkalt «soiling», dvs. at støv og skitt reduserer solkraftverkets ytelse, kan det være lurt med tidvis vask av solcellemodulene. Vask av solcellemoduler har imidlertid en kostnad og for å identifisere riktig tidspunkt eller støvnivå for at vasking av solcellemodulene er lønnsomt kan man benytte en egen sensor. Det finnes mange løsninger for denne typen målinger og figuren nedenfor viser en løsning fra Kipp&Zonen ved navn «DustIQ».



Støvmålingssensoren «DustIQ» installert i et solcellekraftverk. Sensoren monteres sammen med solcellemodulene og det kan benyttes flere sensorer slik at støvdistribusjonen i solkraftverket kan identifiseres. (Kilde: <https://www.kippzonen.com/Product/419/DustIQ-Soiling-Monitoring-System#.YrDpX75Bz-h>)

#### 6.5.4 Gjerder

Likestrømssystemet i et solkraftverk er alltid under 1500 V (DC) og dermed er det klassifisert som lavspent, men det betyr ikke at spenningsnivået er ufarlig. I tillegg kan det være deler av anlegget som er klassifisert som høyspent og derfor blir bakkemonterte solkraftverk omkranset av et gjerde. Gjerdet skal i første rekke hindre uvedkommende i å ta seg inn på området, slik at de unngår å skade seg selv eller utstyret i kraftverket. Gjerdet skal også hindre tyverier.

Det er foreløpig uklart om inngjerding av solkraftverk er et lovpålagt krav i Norge, men beste praksis i andre europeiske land er å gjerde inn kraftverket. Inngjerding kan imidlertid komme i konflikt med rett til fri ferdsel og dette kan skape konflikt der solkraftverk legges til områder hvor folk er vant til å ferdes fritt. Inngjerding kan også komme i konflikt med dyreliv. For småvilt kan dette løses ved at det etableres områder i gjerdet hvor småviltet kan bevege seg inn og ut under gjerdet. Storvilt som elg, hjort og rådyr er normalt ikke ønskelig å få inn på området da dette er dyr som både kan skade seg selv og utstyret.

“ Beste praksis i andre europeiske land er å gjerde inn kraftverket.

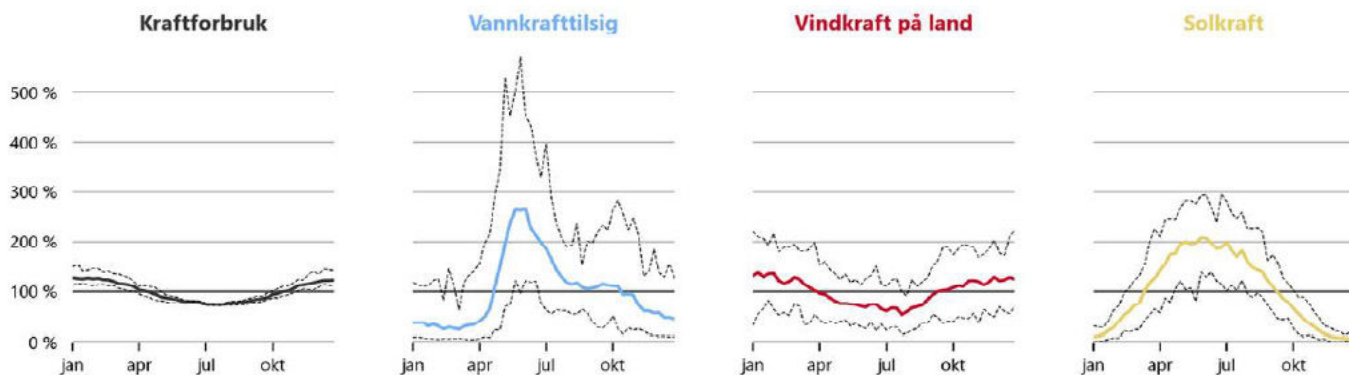
# 7 Solkraftens rolle i det norske kraftsystemet

## 7.1 Solkraftens bidrag til energibalansen

Solkraft er en variabel energikilde hvor energi-produksjonen er avhengig av solinnstrålingen. Solceller kan ikke produsere høyere effekt enn solinnstrålingen tillater, men effekten kan reguleres ned dersom det er nødvendig. Produksjonsegenskapene til solkraftanlegg har således flere likhetstrekk med elvekraftverk og vindkraftverk. Det er derfor fornuftig å se på samspillet mellom solkraft og andre energikilder for å sikre effekt- og energibalansen. Sesongprofiler relativt til gjennomsnittet for forbruk, vanntil-sig, vindkraft og solkraft i perioden 1979–2019 er vist i **figur 7-1** (Sesongvariasjon). De stiplede linjene viser historisk maks- og minimumsnivå. Det er videre sammenheng mellom de ulike fornybare ressursene, slik at et år med tørt vær sammenfaller med et solrikt år.

Solkraft kan også bidra positivt i samspillet med vindkraft. Vindkraften har som regel en produksjonsprofil med høyere produksjon i vinterhalvåret enn i sommerhalvåret, mens sole-nergiproduksjonen er høyest i sommerhalvåret. I perioder der samme værtype preger store deler av Nord-Europa vil vindfattige perioder typisk føre til høyere etterspørsel etter annen type kraftproduksjon som solkraft (NVE, 2022). Høytrykk gir lite nedbør og lite eller ingen vind, samt mindre skyer og dermed høyere solkraft-produksjon. På den måten kan solkraft bidra positivt i samspill med vindkraft.

Samspillet mellom sol- og vindkraft er ikke kartlagt for Norge, men dette er gjort for Tyskland som presentert i figuren nedenfor fra «Energy-Charts» (ISE, 2022). I figuren er total sol- og vindkraftproduksjon for hele Tyskland plottet for



**Graf 7-1:** Sesongvariasjon (Sesongprofiler for forbruk, tilslag, vindkraft og solkraft i forhold til gjennomsnittet, samt observert historisk maks- og minimumsnivå i perioden 1979-2019. De striplede linjene viser historisk maks- og minimumsnivå i samme periode. (NVE, 2022)



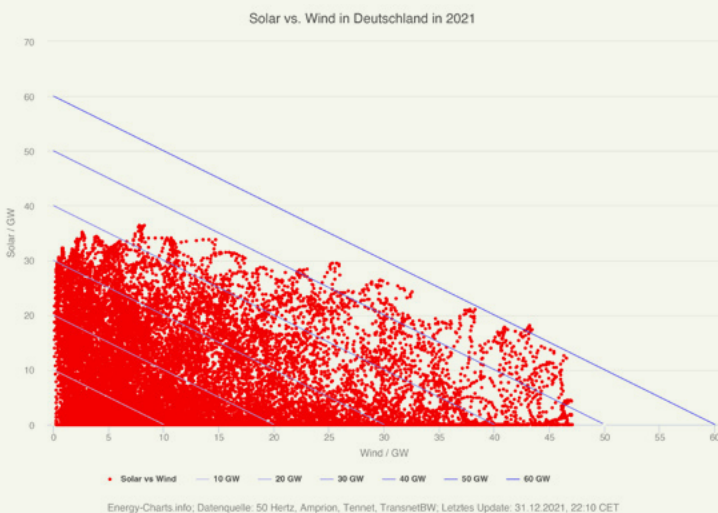
hvert femtende minutt gjennom et helt år. Hvert punkt representerer hhv. solkraftproduksjon (y-aksen) og vindkraftproduksjon (x-aksen). I figuren ser man at det er høy tetthet blant målepunktene tettere mot y-aksen (lite vindkraft) og dette illustrerer at det ofte er mye solkraft når det er lite vindkraft. Det er videre høy tetthet langs med x-aksen (lite solkraft) og dette viser at det ofte er mye vind når det er lite solkraft. Figuren viser også at sol- og vindkraft sjelden har høy kraftproduksjon samtidig. Selv om figuren viser forholdene for Tyskland kan man anta at de samme premissene vil gjelde for Norge.

Solkraft bidrar lite til å dekke effekttoppene på vinteren, men vil likevel ha et positivt bidrag

i flere tilfeller. De kaldeste dagene sammenfaller ofte med mindre tilsig av vann og vind enn gjennomsnittet mens det er mer sol enn normalen på disse dagene. Bakkemonterte solkraftverk med tosidige solceller vil også derfor bidra med god kraftproduksjon på kalde vinterdager, selv om det vil være relativt til den svake vintersola.

Fram mot 2030 vil den nordiske effekt-situasjonen bli strammere. Effektbehovet og tilgjengelig produksjonskapasitet er ujevnt fordelt over landet. NO1 og delvis NO3 kjennetegnes av lav tilgjengelig produksjonseffekt, mens områdene NO4, NO5 og NO2 forventes å ha nok produksjonseffekt til å dekke effektbehovet de neste årene (NVE, 2022). Utbygging av bakkemonterte solkraftverk i områder med energi- og effektbehov kan imidlertid avhjelpe situasjonen. Solkraftverk er ikke like stedbundne som vind- og vannkraftverk og de kan derfor også plasseres nært tilknytningspunkt i kraftnettet hvor det er behov for mer kraftproduksjon slik at nettet utnyttes bedre.

Forskningsmiljøene har jobbet med energisystemer i mange år og jobber kontinuerlig med mulighetsrommet som ligger i samspillet mellom sol, vann, vind, forbruk og andre kilder. Sol og vind vil med årene ta over mer og mer av kraftproduksjonen og systemoperatørene jobber kontinuerlig med å drifte, bygge og planlegge kraftnettet mot en slik overgang.



**Graf 7-2:** Samlet sol- og vindproduksjon i Tyskland 2021

Samlet sol- og vindkraftproduksjon i Tyskland for hvert 15. minutt i 2021. Hvert punkt representerer aktuell solkraftproduksjon (y-aksen) og vindkraftproduksjon (x-aksen). Som det fremgår av figuren er det ofte mye solkraft når det er lite vind og motsatt. ([Fraunhofer ISE](#))

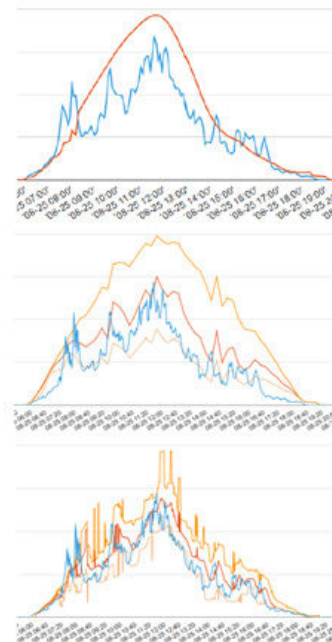
Solkraftproduksjon er variabel, men den er samtidig relativt forutsigbar. Forutsigbarhet er viktig for drift av kraftnettet og det bidrar til å senke driftskostnadene. Forutsigbarheten gjør at planlegging av kraftsystemet enklere og det reduserer behovet for effektreserver som gjerne er mer kostbart å aktivere.

**Prediksjonsteknikker for solkraft** har vært på markedet i godt over 10 år, men det har foreløpig vært lite behov for dette i Norge. Med en voksende andel solkraft kan man imidlertid forvente at det vil bli et økende behov for slike analyser i Norge.

Som det fremgår av figuren nedenfor er det tre ulike teknikker som benyttes for prediksjon for tre ulike tidshorisonter:

- Dager: Meteorologiske varsler benyttes for å predikere solkraftproduksjonen opp til ti dager frem i tid.
- Timer: Satellittmålinger benyttes for å predikere solkraftproduksjonen opp til seks timer frem i tid.
- Minutter: Himmelkamera benyttes for å predikere solkraftproduksjonen opp til 60 minutter frem i tid.

Målinger med værvarsel og satellitt er godt egnet for produksjonspredikering for større områder som for eksempel et prisområde, mens metoden med himmelkamera knyttes til enkelte solkraftverk og den er spesielt godt egnet for off-grid systemer.



**Graf 7-3:** Prediksjonsprodukter

Eksempel på prediksjonsprodukter for solkraft fra selskapet SteadySun. Ulike teknikker benyttes for å predikere kraftproduksjonen de neste fem minuttene og opp til ti dager frem i tid. (SteadySun)



## 8 Referanser

---

ANL & NREL (Argonne National Laboratory & National Renewable Energy Laboratory). (2015). A review of avian monitoring and mitigation information at existing utility-scale solar facilities. Report prepared for US Department of Energy, SunShot Initiation and Office of Energy Efficiency & Renewable Energy.

---

Bevanger, K. (2011). Kraftledninger og fugl. Oppsummering av generelle og nettspesifikke problemstillinger. NINA Rapport 674. 60 s.

---

Gla Bilbao, J. I., Heath, G., Norgren, A., Lunardi, M. M., Carpenter, A. & Corkish, R. (2021). PV Module Design for Recycling, International Energy Agency (IEA) PVPS Task 12, Report T12-23:2021. ISBN 978-3-907281-27-7. ss

---

BRE (2014). Agricultural good practice guidance for solar farms. Ed. J. Scurlock.

---

Chock, R.Y., Clucas, B., Peterson, E.K., Blackwell, B., Blumstein, D.T., Church, K., Fernández-Juricic, E., Francescoli, G., Greggor, A.L., Kemp, P., Pinho, G.M., Sanzenbacher, P.M., Schulte, B.A. & Toni, P. (2021). Evaluating potential effects of solar power facilities on wildlife from an animal behavior perspective. USDA National Wildlife Research Center - Staff Publications. 2403.

---

Dupraz, C., Marrou, H., Talbot, G., Dufour, L., Nogier, A. & Ferard, Y. (2011). Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimising land use: Towards new agrivoltaic schemes. Renewable Energy 36(10): 2725–2732.

---

Glas EPD-Norge (n.d.). Solcellepaneler og komponenter. Besøkt 02.06.22. Tilgjengelig fra: <https://www.epd-norge.no/solcellepaneler-og-komponenter/category552.html>

---

European Commission (n.d.). EU Taxonomy Compass. Electricity generation using solar photovoltaic technology. Besøkt 02.06.22. Tilgjengelig fra: [https://ec.europa.eu/sustainable-finance-taxonomy/activities/activity\\_en.htm?reference=4.1](https://ec.europa.eu/sustainable-finance-taxonomy/activities/activity_en.htm?reference=4.1)

---

Frischknecht, R & Krebs, L. (2021). Environmental life cycle assessment of electricity from PV systems. PV Power Systems Task 12. International Energy Agency.

---

ICARUS (n.d.). Besøkt 02.06.22. Tilgjengelig fra: <https://www.icarus.eu.com/>

---

International Energy Agency (n.d.). PV Sustainability Activities. Besøkt 02.06.22. Tilgjengelig fra: <https://iea-pvps.org/research-tasks/pv-sustainability/>

---

International Energy Agency (2019). Environmental performance tool for PV systems. Besøkt 02.06.22. Tilgjengelig fra: [http://viewer.webservice-energy.org/envi-pv\\_v2.0/](http://viewer.webservice-energy.org/envi-pv_v2.0/)

---

Kagan, R.A., Viner, T.C., Trail, P.W. & Espinoza, E.O. (2014). Avian Mortality at Solar Energy Facilities in Southern California: A Preliminary Analysis, National Fish and Wildlife Forensics Laboratory. April 2014.

---

Komoto, K., Lee, J.-S., Chang, J., Ravikumar, D., Sinha, P., Wade, A. & Heath, G. (2018). End-of-Life Management of Photovoltaic Panels: Trends in PV Module Recycling Technologies, IEA PVPS Task 12, International Energy Agency Power Systems Programme, Report IEA-PVPS T12-10:2018.

---

---

Miljødirektoratet (2019). Arealbruksendringer. Tilgjengelig fra: <https://www.miljodirektoratet.no/tjenester/klimagassutslipp-kommuner/beregne-effekt-av-ulike-klimatiltak/>

---

Miljødirektoratet (2020). Konsekvensutredninger for klima og miljø. Veileder M-1941. Tilgjengelig fra: <https://www.miljodirektoratet.no/konsekvensutredninger>

---

Miljødirektoratet (2022). Forebygge skadevirkninger for miljø og samfunn. Lastet ned 16. mai 2022. <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/overvaking-arealplanlegging/arealplanlegging/konsekvensutredninger/ny-finne-gode-miljolosninger/forebygge-skadevirkninger-for-miljo-og-samfunn/>

---

Montag, H., Parker, G., & Clarkson, T. (2016). The effects of solar farms on local biodiversity: a comparative study. Clarkson and Woods & Wychwood Biodiversity.

---

Norsk Gjenvinning (n.d.). EE-avfall. Besøkt 02.06.22. Tilgjengelig fra: <https://www.norskgjenvinning.no/tjenester/avfallstyper/ee-avfall/>

---

Paige, C. (2012). A Landowner's Guide to Wildlife Friendly Fences. Second Edition. Private Land Technical Assistance Program, Montana Fish, Wildlife & Parks, Helena, MT.

---

PV CYCLE (n.d.). Besøkt 02.06.22. Tilgjengelig fra: <https://pvcycle.org/>

---

Råberg, T., van Noord, M., Björnsson L.H., Pettersson, I. & Zinko, U. (2021). Solcellsparker, biologisk mangfold och ekosystemtjänster – Påverkan och möjligheter för multifunktioner. RISE Rapport 2021:52, ISBN 978-91-89385-93-1, RISE Research Institutes of Sweden.

---

Statkraft (2017). People & Power. Nr. 2, 2017, side 6-11.

---

Stolz, P., Frischknecht, R., Wambach, K., Sinha, P. & Heath, G. (2017). Life Cycle Assessment of Current Photovoltaic Module Recycling, IEA PVPS Task 12, International Energy Agency Power Systems Programme, Report IEA-PVPS T12-13:2018.

---

Store Norske Leksikon (2021). Albedoeffekt. Besøkt 07.06.22. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/albedoeffekt>

---

Vegdirektoratet (2021). Håndbok V712 Konsekvensanalyser. Utarbeidet 2018. Oppdatert 2021.

---

Visser, E., Perold, V., Ralston-Paton, S., Cardenal, A. C., & Ryan, P. G. (2019). Assessing the Impacts of a Utility-Scale Photovoltaic Solar Energy Facility on Birds in the Northern Cape, South Africa. Renewable Energy, 133, 1285-1294.

---

Weselek, A., Ehmann, A., Zikeli, S., Lewandowski, I., Schindele, S. & Högy, P. (2019). Agrophotovoltaic systems: applications, challenges, and opportunities. A review. Agronomy for Sustainable Development 39(4): 1-20.

---

Willockx, B., Herteleer, B., Ronsijn, B., Uytterhaegen, B. & Cappelle, J. (2020). A Standardized Classification and Performance Indicators of Agrivoltaic Systems. EU PVSEC Proceedings.

---

Peschel, R., Peschel, T., Marchand, M., & Hauke, J. (2019). Solar parks-profits for bio-diversity. Association of Energy Market Innovators.

---

---

Gibon, T., Arvesen, A., & Hertwich, E. G. (2017). Life cycle assessment demonstrates environmental co-benefits and trade-offs of low-carbon electricity supply options. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76, 1283-1290.

---

Feltwell, J. 2013. Are photovoltaic solar arrays an influencing factor in avian mortality? *The Newsletter of the Kent Field Club*. 77 pp. 18-27.

---

BayWa r.e. (2022). Hentet fra <https://www.baywa-re.com/en/cases/emea/solar-installations-bear-fruit-for-netherlands-agri-pv>

---

Fraunhofer Institute for Solar Energy. (2022). Photovoltaics report.

---

Frimannslund, I. m. (2021). Polar solar power plants – Investigating the potential and the. Elsevier Solar Energy.

---

Gorijan, m. (2022). Progress and challenges of crop production and electricity generation in agrivoltaic systems using semi-transparent photovoltaic technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112126>

---

Hayibo m.fl. (2022). Monofacial vs bifacial solar photovoltaic systems in snowy environments. *Renewable Energy*.

---

Ideematec. (2021, 11). Hentet Accessed 06.2022 fra <https://www.ideematec.com/news/2021/ideematec-launches-1p-tracker-solution>

---

Infranode. (2021). Hentet fra <https://infranode.eu/investments/vandel-iii/>

---

Next2sun. (2022). Hentet fra <https://www.next2sun.de/en/homepage/>

---

NVE. (2022, 04 07). NVE. Hentet fra Klima: <https://www.nve.no/energi/energisystem/vindkraft/kunnskapsgrunnlag-om-virkninger-av-vindkraft-paa-land/klima/>

---

Perna, m. (2020). Design Considerations for Agrophotovoltaic Systems: Maintaining PV Area with Increased Crop Yield. doi:10.1109/PVSC40753.2019.8981324

---

REC. (2022). Alpha pure r-series, technical specifications. Hentet fra <https://www.recgroup.com/en/alpha>

---

Riedel-Lyngskær m.fl. (2021). Value of bifacial photovoltaics used with highly reflective ground materials on single-axis trackers and fixed-tilt systems: a Danish case study.

---

IET Renewable Power Generation. doi:10.1049/iet-rpg.2020.0580

---

Soltec. (2022, Accessed 06.2022). Technical datasheet SF7 Single-Axis Tracker. Hentet fra <https://soltec.com/wp-content/uploads/2021/02/Datasheet-SF7.V7.pdf>

---

Zimmermann. (2022, Accessed 06.2022). Data sheet ZIM Track - Single axis tracker. Hentet fra <https://pv-tracker.de/wp-content/uploads/sites/7/2021/06/ZIM-Track-Data-Sheet.pdf>

---

# Innspill

Solenergiklyngen har bedt om innspill til denne første versjonen av rapporten fra Naturvernforbundet, Den Norske Turistforening og Bondelaget.

Dette er viktige tilbakemeldinger vi tar med oss i det videre arbeidet med å utvikle veileder for beste praksis for bakkemonterte solkraftverk i Norge.



## Naturvernforbundet

- Plassering og arealbeslag er svært viktig. Rapporten tar opp naturbeslag til infrastruktur som veier og nett, men adresserer det ikke videre i rapporten. Dette må ikke under vurderes. Dersom en velger å legge solkraftanleggene langt fra infrastruktur, kan disse inngrepene bli store.

- Dere utelater myrområder som aktuell lokasjon, men ikke andre områder med viktige naturverdier.

- Naturvernforbundet tenker at vi har et så stort potensial for sol på bygg og gråarealer at det bør benyttes før vi eventuelt går løs på naturområder. Lønnsomhet er et tema, og for at et anlegg skal være lønnsomt bør det være stort, og er det stort så legger det beslag på store områder. Det er en utfordring.

- Det er avgjørende med god biologisk kartlegging før plassering bestemmes.

- Det bør være krav til melding og konsekvensutredningsprogram.

- Det er fint at rapporten tar opp hvordan godt arbeid med melding og utredningsprogram kan gi mindre problemer seinere i prosessen. Vi er opptatt av tidlig involvering og grundige utredninger. Snarveier frarådes. Vi har jobbet mye for å bedre konsesjonssystemet for fornybar energi, og har nylig sett på dette sammen med NHO og KS, som er relevant for rapporten. Dere kan lese mer om det her: <https://naturvernforbundet.no/nyheter/felles-for-slag-til-forbedring-av-konsesjonsprosesser-for-fornybar-energi-article43417-165.html>

- Teknologiene vil fortrinnsvis komme fra utlandet. Det betyr at klima- og miljøeffekten gjennom livsløpet blir viktig for å bedømme i hvilken grad bakkemonterte solkraftverk gir reduksjon av klimagassutslipp. Bruk av fornybar energi eller fossil energi er viktig for klimaeffekten. Fint at rapporten har med en diskusjon av klimagassutslipp og miljøpåvirkning gjennom livsløpet.

- Kraftproduksjon er kvotepliktig og inngår i EU ETS. Det er ikke åpenbart at solkraft som produseres i Norge vil bidra til å erstatte fossil elektrisitetsproduksjon i Europa.

- Fint at rapporten har en gjennomgang av hva som bør gjøres med solkraftverk etter sin levetid basert på avfallspyramiden.

- I omtalen av solkraftens rolle (kap. 7) bør det omtales nærmere hvordan solkraft kan bidra til batterilading og produksjon av hydrogen.

## Den Norske Turistforening

Den Norske Turistforening set pris på moglegheita til å komme med innspel til rapporten om konsekvensar og retningslinjer for solkraft på bakken. Det er samtidig uheldig at vi ikkje fekk betre tid til å setje oss inn i rapporten og kome med våre synspunkt. Vi merkar oss at referansegruppa ikkje har representantar frå natur, miljø eller friluftslivsorganisasjonar. Det meiner vi er uheldig ettersom dei vesentlegaste konsekvensane ved solkraft på bakken kjem til å råke nettopp desse interessene.

På bakgrunn av vår gjennomlesing vil vi likevel kome med nokre innspel, men med atterhald om at desse ikkje er uttømande, og at og DNT sin tilnærming og DNT sin politikk til solkraft på bakken er under utvikling då dette er ein relativt ny kommersiell kraftkjelde i Noreg.

### Generelle innspel

DNT sitt arbeid med energipolitikk er forankra i vår føremålsparagraf:

*DNT skal arbeide for et enkelt, aktivt, allsidig og naturvennlig friluftsliv og for sikring av friluftslivets natur- og kulturgrunnlag.*

I tillegg så har vi ein handlingsplan med eigne mål for naturvenleg energiproduksjon der vårt hovudmål er å *hindre energiutbygging i intakt og sårbar natur og redusere påverknaden på viktige natur- og friluftslivsverdier frå produksjon og overføring av energi*. Dette vil også gjelde utvinning av solkraft frå bakkeanlegg.

Vidare så meiner vi at overordna politikk for alle konsesjonspliktige energisaker bør legge til grunn eit prinsipp om minst mogleg naturinngrep og miljøbelastning per produserte kWh. I høve utvikling og revisjon av regelverk knytt til fornybar energi og nettutbygging så meiner vi at naturen må tilleggas meir vekt og få eit betre rettsvern. Vidare så bør miljømyndighetene få større ansvar for utgreiing og kvalitetssikring av det miljøfaglege arbeidet, som utgreiingsprogram og konsekvensutgreiingar. Det er også avgjerande at slike saker sikrar opne demokratiske prosessar og gode rutinar for medverknad. Det gjeld og utvikling av rettleiarar og nytt regelverk. Vi meiner dette samla sett vil bidra til å dempe konfliktnivå, redusere tidsbruk, og betre tilliten og kvaliteten til både konsesjonsprosessen og sluttresultatet.

### Innspel til kapitel 3 Miljøpåverknad av bakkemontert solkraft

**Adkomst/anleggsvegar:** Vi merker oss at Multiconsult påpeiker at også nettutbygging og adkomstvegar/anleggsvegar kan medføre vesentlege naturinngrep, utan at dette er

vidare vurdert i rapporten. DNT deler synet om at dette ofte inneber store konsekvensar for natur og miljø, og vi saknar ei heilskapleg tilnærming kor særleg adkomst/anleggsvegar er inkludert i bestillinga og utgreiingane til Multiconsult, då desse er eit direkte resultat av same konsesjonssak som sjølve solanlegget. Eventuell nettutbygging vil bli handsama i eigen sak og vi ser det ikkje som like relevant å belyse problemstillingar til dette i denne samanhengen.

**Terrenginngrep:** Multiconsult tilrår å unngå store terrenginngrep (vår understreking). Dette meiner vi er eit unyansert vilkår, som opnar for stor grad av skjønnsvurdering. Mange små terrenginngrep kan og vere skadelege for natur og friluftslivsverdiar, og vi vil oppmode om å legge til grunn eit prinsipp om at solkraftanlegg på bakken ikkje skal medføre terrenginngrep av irreversibel karakter i det heile tatt i LNFR-område.

**Risikovurdering/kriterier for tidleg avslag:** DNT er positive til at det gjerast tidlege vurderingar av om område er eigna for lokalisering av solkraftanlegg, og vi meiner at ein del område bør medføre umiddelbar forkasting/avslag. For solkraft på bakken vil dette i stor grad samanfalle med det vi og andre miljø- og friluftslivsorganisasjonar meiner bør vere kriterier for tidleg avslag for vindkraft på land:

- store samanhengande naturområde med urørt preg
- nasjonalt og regionalt viktige friluftslivsområde
- landskap av nasjonal og vesentleg regional interesse
- område i randsona til verneområde
- område med over 20 % myr eller andre viktige naturtypar
- villreinområde
- område der raudlista artar blir skadelidande som følge av utbygginga
- område med konsentrert fugletrekk, samt viktige hekkeområder
- viktige område for samisk reindrift og kultur

I tillegg meiner vi at solkraft på bakken er ei ein særstilling då det kan byggast i område som allereie er nedbygd – såkalla grå areal, og at dette potensialet bør utnyttast maksimalt. Solkraft på bakken må derfor berre unntaksvis få løyve til å byggast i LNFR-areal, og då utan irreversible inngrep som støpte fundament, sprenging og fylling med meir.

**Grå areal.** Som nemnt er DNT positive til bruk av grå areal som ikkje er viktige for restaurering av sårbar natur. Vi meiner vidare at lokalisering i grå areal må vere ein føresetnad, og ikkje ein prioritering for utbygging av solkraft på bakken. Inngrepsfrie naturområde bør ikkje opnast for utbygging til dette føremålet då utbyggingspresset frå fornybar energi allereie er stort. Plantefelt som døme på aktuelle LNFR-areal er interessant, men det bør utgreiast nærare, og vi gjentar at det i så fall bør vere eit unntak heller enn ein standard.



**Inngjerding:** DNT vil gjere merksam på at inngjerding av store anleggsområde medfører fleire kjelder til konflikt som fragmentering av leveområde for artar, skadepotensiale på villtliv, barrierer for vilttrekk, og barrierer for friluftsliv. Desse konsekvensane vil sjølvstomt minimeras om anlegga lokaliserast på grå areal og ikkje i LNFR-areal. Likevel bør det lagast reglar for korridorar, tilsyn og overvaking med meir av anlegga, samt vilkår og garantiar for neddriving av gjerda og tilbakeføring av anlegga etter end driftstid.

#### **Innspel til kapitel 4 Konesjon og løyver**

**Melding og UP:** DNT støtter NVE i at det bør være krav om melding og utgreiingsprogram (UP) for alle konsesjonspliktige solkraftanlegg. Dette er vesentleg for å nå alle interessentar og få gjort greie for alle samfunnsomsyn som bør utgreiast. DNT meiner at dette vil styrke tilliten til systemet og bidra til å avdekke konfliktfylte og ressurskrevjande konsekvensar på eit tidleg tidspunkt. Noko som er til fordel for alle involverte aktørar på lengre sikt.

**Reguleringsplan:** DNT vil også oppmode om å legge til grunn ein praksis med å detaljregulere solkraftanlegga etter plan- og bygningslova. Dette meiner vi vil bidra til betre detaljering av anlegga i eit kjent format, og moglegheita for juridisk bindande vilkår og omsyn til natur- og miljø mellom anna.

## Norges Bondelag

Norges Bondelag mener dette er en god rapport som beskriver på en grundig måte mange av de problemstillinger som solcelleenergi vil møte dersom man flytter seg fra tak og veggflater ut i kultur og jordbrukslandskapet

Norges Bondelag har ingen motforestillinger om å fylle opp gamle grustak og søppelfyllinger med solcellepanel. Hva angår søppelfyllinger med matavfall vil vi anbefale at man også prøver å utnytte metangassen fra disse fyllingene i tillegg til å utvikle solenergi. Det er store energiresurser gjemt i mange av disse avfallsplassene.

Pandemi, krig i Europa sitt matkammer og radikale klimaendringer har økt søkelyset på jordbruk som en samfunnskritisk næring. Vi har siden 2. verdenskrig omdisponert over 1 million da. av den beste jorda til andre formål. **Dette kan ikke fortsette.** I tillegg til å styrke selvforsyningen av mat skal jordsmonnet også bli en resipient av atmosfærisk karbon i det grønne skiftet. Nærmere bestemt 0,5 millioner tonn CO<sub>2</sub> ekvivalenter avtalt i Norges Bondelag sin avtale med regjeringen. **Norges Bondelag vil derfor sterkt advare mot planene om bygge solenergiparker på dyrket og dyrkbar jord.** Det omdisponeres 3 – 4000 da med god jord hvert år, og i tillegg 50 000 da med skog. **Å omdisponere skog og legge ut store parker i skogarealene vil Norges Bondelag også advare sterkt mot.** Som i jordsmonnet er også skogen en stor binder av atmosfærisk karbon. I tillegg vil cellulose bli svært viktig som materiale i det grønne skiftet vi skal igjennom.

**Norges Bondelag vil anbefale at det utvikles en mer arealeffektiv politikk.** I det ligger at man først utnytter alle vegg og takflate som er egnet til solceller. Ifølge SSB kan det for landbrukets vedkommende dreie seg om 17 millioner m<sup>2</sup>. Vi må også utnytte allerede omdisponerte arealer som gårdsrom, idrettsplasser, parkeringsområder, og næringsarealer til fornybar energi fra sol og vind. Norges Bondelag mener at allerede utbygde vindturbinparker kan utnyttes til solenergi. Der er infrastrukturen med veier og nett på plass. Dette er store arealer allerede regulert til energiproduksjon. Disse arealene ligger i kystsonen og i høyereliggende områder. Med dobbeltvirkende roterende solceller kan det tas ut store energimengder i disse parkene.

Solenergiklyngens arbeid med veilederen er delfinansiert av Viken fylkeskommune, Oslo kommune og Arena Pro (det nasjonale klyngeprogrammet) i regi av Innovasjon Norge, Norges forskningsråd og Siva, i tillegg til partnerne i klyngen.



[www.solenergiklyngen.no](http://www.solenergiklyngen.no)