



# Solkraftverk i Norge

Et perspektivnotat for bruk til samtaler om solkraftverk i Norge  
Juni 2023 | Viktor E Jakobsen



Solkraftverket «Drachtsterweg» bygget i 2020 av Energeia AS som også eier og driver solkraftverket i samdrift med innmarksbeite for sau.



BayWar.e., bringebærfarm i Babberich, Nederland.



Universitetet i Minnesota ved Dr. Brad Heins, solkraftverk med innmarksbeite for 300 melkekyr, USA.

Referansertil kilder/litteratur i tekst er markert med <sup>[tall]</sup>. Tallet referer til nummer i litteraturlisten. Litteraturlisten er alfabetisk sortert.

# Innhold

<b>UTGANGSPUNKT FOR ET PERSPEKTIVNOTAT</b>	4	<b>3. AREALBRUK OG KARBONAVTRYKK</b>	12
<hr/>		<hr/>	
<b>1. SOLENERGI I EN NORSK SAMMENHENG</b>	5	3.1 Norges forpliktelser og «LULUCF»	12
<hr/>		3.2 Norges brutto utslipp av klimagasser	12
1.1 Ressursgrunnlag for solenergi i Norge	5	3.3 Kraftproduksjon, klimagasser og import	12
1.2 Teknisk utforming og energieffektivitet	5	3.4 Reduksjon av utslipp ved elektrifisering	13
1.3 Energibalansen for et solkraftverk	5	3.5 Karbonavtrykket til solenergi	13
1.4 Solenergi er blitt mest kostnadseffektivt	6	3.6 Karbonavtrykk og teknisk utforming	14
1.5 Solenergis produksjonskostnad i Norge	6	3.7 Teknisk utforming og arealbruk	14
1.6 Energibalansen og elektrifisering	7	3.8 Helse, miljø og sikkerhet og inngjerding	14
1.7 Det tar kort tid å bygge solenergi	7	3.9 Norsk natur, arealbruk og CO <sub>2</sub> utslipp	14
1.8 Teknisk utforming har stor betydning for energikostnad og arealbruk	7	<hr/>	
<hr/>		<b>4. NOEN KONKLUSJONER OG REKKEFØLG EKONSEKVENSER</b>	17
<b>2. AGRIVOLTAICS – SAMDRIFT LANDBRUK OG KRAFTPRODUKSJON</b>	9	<hr/>	
<hr/>		4.1 Oppsummering av konklusjoner	17
2.1 EUs Klimalov og arealbehov for solenergi	9	4.2 Regulerbarhet og nettilknytning	17
2.2 Erfaring og forskning med Agrivoltaics	9	4.3 Arealeffektivitet for sol og vind i Norge	17
2.3 DIN 91434 – Agrivoltaisk sertifisering	10	4.4 Agrivoltaics og norsk landbruk	18
2.4 Illustrasjoner av teknisk utførelse iht. DIN 91434 for agrivoltaiske solarlegg	11	4.5 Resirkulering og arealrestaurering	19
<hr/>		4.6 Klimaavtrykk for Seval Skog	19
		<hr/>	
		<b>SOLRESSURSER I EUROPA</b>	22
		<hr/>	
		<b>KILDER OG LITTERATURREFERANSER</b>	23
		<hr/>	



# Utgangspunkt for et perspektivnotat

## Norge er i startgropen med solenergi

Norge er i startgropen med etablering av bakkemonterte solkraftverk som tilskudd til norsk energiforsyning. Planene har satt i gang en diskusjon om hva dette betyr for arealforvaltning, kraftforsyning og klima. Perspektivnotatet er vårt bidrag med fakta som belyser noen relevante temaer i samtaler om bygging av bakkemonterte solkraftverk i Norge.

## Solenergi er vårt daglige virke

Produksjon og salg av elektrisitet fra solenergi er vårt daglige virke. Energeia-gruppen har kjøpt, eiet, drevet, bygget og solgt solkraftverk i mer enn et tiår. På dette grunnlag har vi arbeidet med etablering av solkraftverk i Norge basert på en driftsmodell med samdrift av landbruk og kraftproduksjon på samme areal, såkalt «Agrivoltaics» siden 2020.

## Landbruk og solenergi på samme areal

Solkraftverk trenger areal. I mange land har dette ført til arealkonflikter, spesielt i forbindelse med bruk av landbruksareal for produksjon av fornybar energi. En løsning på arealkonflikten er Agrivoltaics. Samdriften har vist seg å ha positive effekter også for landbruk<sup>[4]</sup> [9]. Driftsformen brer derfor om seg internasjonalt; både samdrift med husdyr og produksjon av matvarer. Energeia eier i dag solkraftverk i samdrift med beite for småfe.

## Norge trenger mer elektrisitet

Norges energiforbruk per innbygger er høy i internasjonal sammenheng med 40 550 kWh, hvorav 25 363 kWh er elektrisitet<sup>[1][27]</sup>. Statnett anslår i 2023 at Norge går mot et kraftunderskudd, dvs. større forbruk enn produksjon<sup>[24]</sup>. Konsekvensen er økt import av elektrisitet og/eller behov for økt innenlandsk kraftproduksjon.

## Solenergi er blitt konkurransedyktig i Norge

Norge er et av de få industrialiserte land i dag hvor solenergi ikke bidrar nevneverdig til energiforsyningen. Internasjonalt er vi på en 68. plass med 320 MW<sub>pd</sub> installert per 2022 (98% på tak)<sup>[12]</sup>. Reduserte investerings- og driftskostnader for solenergi gjorde

at ikke-subsidiert kraftproduksjon fra solenergi ble konkurransedyktig i Norge i 2020, med en produksjonskostnad for elektrisitet under NOK 0,20 per kWh gitt riktig teknisk utforming.

## Solenergi kan bidra til kraftproduksjon raskt

Solenergi oppleves som nytt i Norge. I andre nord-europeiske land, med likt ressursgrunnlag, er solenergi blitt et viktig bidrag til energiforsyningen på kort tid. Et eksempel er Nederland hvor solenergis andel av kraftforsyning har gått fra 0% til 15% på 8 år. Tabellene under viser installert kapasitet og andel av kraftproduksjon i Nord-Europa i 2022.

### ANDEL SOLENERGI I KRAFTPRODUKSJON 2022

Land	MW	GWh	% Total
Tyskland	68 451	57 610	11,7 %
Nederland	17 966	17 680	14,9 %
Storbritannia	14 289	13 921	4,3 %
Danmark	3 940	2 176	6,4 %
Sverige	2 212	1 507	0,9 %
Finland	607	633	1,0 %
Norge	320	225	0,1 %

Kilde: IEA PVPS, IRENA, BP, Fraunhofer ISE.

## Norges første agrivoltaiske solkraftverk

Norges første større agrivoltaiske solkraftverk er i støpeskjeen. Gjøvik kommune og Energeia inngikk avtale i april 2021 om utvikling av «Seval Skog Solkraftverk og Innmarksbeite». Forhåndsmelding ble sendt NVE september 2021, konsesjonssøknad levert desember 2022, og i april 2023 bekreftet netteier kapasitet for «driftsmessig forsvarlig» innmating av elektrisitet i kraftnettet. Hvis NVE gir konsesjon i 2023 så kan byggestart og produksjon av fornybar elektrisitet fra Seval Skog starte i 2024.

# 1. Solenergi i en norsk sammenheng

Elektrisitet produsert av solkraftverk er et konkurransedyktig alternativ til ikke-subsidiert kraftproduksjon i Norge. Kapittelet plasserer solenergi i en norsk energisammenheng.

Olje- og energidepartementet konkluderer i NOU 2023:3 at Norge har behov for mer elektrisitet for å dekke innenlandsk energiforbruk. Økt behov for elektrisitet er bl.a. drevet frem av ønske om reduksjon i utslipp av drivhusgasser gjennom økt elektrifisering av energiforbruk [16]. Statnett utførte i 2019 en studie som anslo at økt elektrifisering av innenlandsk energiforbruk kan øke etterspørsel etter elektrisitet med 80 TWh tilsvarende 50% økning i kraftproduksjonen [25].

## 1.1 Ressursgrunnlag for solenergi i Norge

Norge har i utgangspunktet lavere ressursgrunnlag for solenergi (soltimer) grunnet geografisk plassering mot nord. Norge har imidlertid minst like store solressurser som områder i Nord-Europa som har installert betydelig kapasitet av solenergi. Et eksempel er den nordtyske provinsen Schleswig-Holstein som med lik solressurser som Oslofjord-området har installert 2 530 MW med solenergi ved utgangen av 2022.

### EKSEMPEL PÅ SOLRESSURSER I NORD-EUROPA

Lokasjon	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/kW
Tyskland 53,4°N (Kiel)	1 573	1 293
Nederland 53,1°N (Burgum)	1 591	1 315
Storbritannia 52,2°N (Cambridge)	1 637	1 335
Danmark 57,0°N (Ålborg)	1 599	1 318
Sverige 58,4°N (Linköping)	1 588	1 294
Finland 61,5°N (Åbo)	1 595	1 293
Norge 59,2°N (Sandefjord lufthavn)	1 684	1 380

Kilde: PVGIS Sarah2.

**Konklusjon:** Norge har tilstrekkelig med solressurser til å installere like mye solenergi som våre naboland i Nord-Europa.

## 1.2 Teknisk utforming og energieffektivitet

Teknisk utforming av et solenergianlegg bestemmer hvor mye elektrisitet et solcellepanel produserer «energieffektivitet». Et solcellepanel kan monteres på tak, på bakken, eller på en struktur som følger solens

gang over himmelen. På samme geografiske lokasjon vil forskjellig teknisk utforming kunne gi en forskjellig kraftproduksjon på opptil 100% fra det samme solcellepanelet [20].

Tabellen under viser forskjell i energieffektivitet fra det samme solcellepanelet basert på forskjellig teknisk utforming, på samme geografiske lokasjon.

### TEKNISK LØSNING OG KRAFTPRODUKSJON

Sandefjord	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/kW	Energi.eff.
Horisontalt plan	1 026	810	82 %
Hustak (22°)	1 224	986	100 %
Industrietak (30°)	1 267	1 023	104 %
Bakkeinstallasjon (45°)	1 297	1 052	107 %
Én-akseinstallasjon	1 725	1 417	144 %
To-akseinstallasjon	1 760	1 446	147 %
Én-akse bifacial	1 725	1 559	158 %
To-akse bifacial	1 760	1 591	161 %

Kilde: PVGIS Sarah2 & Norsk leverandør av takanlegg.

Noen solcellepaneler kan produsere elektrisitet fra refleksjon mottatt på baksiden, såkalt tosidige solcellepaneler («bifacial»). Dette krever at panelene er hevet opp fra overflaten de står på.

**Konklusjon:** Elektrisitetsproduksjonen fra et solcellepanel kan variere med 100% på samme lokasjon avhengig av teknisk utforming for et solanlegg.

## 1.3 Energibalansen for et solkraftverk

Et spørsmål som fremdeles stilles er om solenergi produserer mer energi enn energien som ble brukt til å produsere selve anlegget. Dette omtales som «Energy Pay-Back Time - EPBT».

IEA PVPS og andre institusjoner har i mer enn 15 år utført detaljerte beregninger av ressurs- og energiforbruk i produksjon av solcellepaneler og solkraftverk. Dette gjøres ved livsløpsanalyser (LCA). Livsløpsanalyser

gjennomføres iht. til Internasjonal Standard (ISO) 14040 og 14044. LCA inkluderer produksjonsprosessen for utstyret, bygging og bruk av anlegget, og resirkulering etter endt levetid.

I livsløpsanalysen av 2023 til det tyske forskningsinstituttet Fraunhofer ISE er energiforbruk for et solkraftanlegg (solcellepanel, systemkomponenter, transport og resirkulering og tap i elektrisitetsnett) vurdert til ca. 306 kWh/m<sup>2</sup> (1 530 kWh/kW)<sup>[8]</sup>. Beregningen i tabellen under er basert på solcellepaneler med effekt på 223,7 Wp per m<sup>2</sup>.

#### ENERGIBALANSEN FOR ET SOLANLEGG

EPBT i måneder	Sandefjord	Gjøvik
Hustak (22°)	19	22
Bakkeinstallasjon (45°)	17	20
Én-akse bifacial	12	14

Kilde: Fraunhofer ISE, 2023 & PVGIS Sarah2.

**Konklusjon:** Et solanlegg bruker 1 til 2 år i Norge på å produsere den samme mengden energi som ble brukt i produksjonen av solanlegget inkludert systemkomponenter, transport og resirkulering osv.

#### 1.4 Solenergi er blitt mest kostnadseffektivt

I 2020 ble elektrisitet fra solkraftverk den billigste måten å produsere elektrisitet på globalt. Årsaken er reduserte produksjonskostnader per m<sup>2</sup> solcellepanel og forbedret energieffektivitet per m<sup>2</sup> (evne til å konvertere sollys til elektrisitet). De beste vanlige solcellepanelene i dag konvertere 22 % av mottatt sollys til elektrisitet. Tekniske forbedringer vil fortsette i tiårene som kommer og gjøre solenergi enda mer konkurransedyktig.

Solenergi er blitt en viktig bidragsyter til kraftproduksjon i Tyskland og bidro med 57,6 TWh (11,7 %) av total kraftproduksjon i 2022. Ved årsslutt 2022 hadde Tyskland installert 133 677 MW<sub>p</sub> med sol- og vindenergi, hvorav 67 504 MW<sub>p</sub> var fordelt på 2 655 744 solenergi-anlegg<sup>[3]</sup>.

Fraunhofer ISE utfører med jevne mellomrom kalkylering av produksjonskostnadene for elektrisitet fra forskjellige energiteknologier<sup>[8]</sup>. Kalkylen omtales som en LCOE-analyse («levelized cost of energy»). I LCOE-kalkylen for ny kraftproduksjon i Tyskland i 2021 oppnådde solenergi lavest produksjonskostnad,

og var 20 % rimeligere enn vindenergi. Tabellen under viser resultatet fra beregning av livsløpskostnader for elektrisitet fra nye kraftanlegg i Tyskland i 2021.

#### PRODUKSJONSKOSTNAD FOR ELEKTRISITET 2021

LCOE Tyskland	EURc per kWh	
Bakkemonterte solkraftverk <sup>1)</sup>	3,12	5,70
Vindkraftverk på land	3,94	8,29
Store takmonterte solanlegg	4,63	9,78
Små takmonterte solanlegg	5,81	11,01
Vindkraftverk i sjø	7,23	12,13

Kilde: Fraunhofer ISE, 2023 & PVGIS Sarah2.

<sup>1)</sup> LCOE-beregningen over er basert på teknisk løsning med en fast bakkemontert struktur. Et solkraftverk med én-aksestruktur produserer ca. 25 % mer elektrisitet og får følgelig en produksjonskostnad for elektrisitet (LCOE) på EURc 2,21 per kWh, 44 % rimeligere enn vindenergi på land.

**Konklusjon:** Solenergi er den rimeligste måten å produsere elektrisitet på i Nord-Europa i dag. Bakkemonterte solkraftverk produserer elektrisitet 20 % til 40 % rimeligere enn vindkraftverk på land i Tyskland i 2021.

#### 1.5 Solenergis produksjonskostnad i Norge

Produksjonskostnaden for elektrisitet fra solenergi i Norge varierer i dag fra NOK 0,70 per kWh for et takanlegg ned mot NOK 0,16 per kWh for større bakke-montert solkraftverk.

#### SOLANLEGG I SANDEFJORD I 2023

	kWh/m <sup>2</sup>	NOK/kWh
Hustak (22°)	221	0,69
Industrietak (30°)	229	0,44
Fast bakkeinstallasjon (45°)	235	0,24
Én-akse bifacial	349	0,16

Kilde: PVGIS Sarah2.

Tabellen over viser kraftproduksjon og produksjonskostnaden for elektrisitet for fire forskjellige tekniske løsninger på samme geografiske lokasjon. Produksjonskostnaden er før subsidier og årlige kostnader for nettilknytning. Differansen skyldes forskjell i kraftproduksjon (energieffektivitet), samt at større solkraftverk koster mindre å bygge per kW enn et takmontert solkraftverk.

I 2023 er investeringskostnaden før subsidier for et takanlegg på bolighus ca. NOK 21 000 per kW, et større takanlegg på næringsbygg ca. NOK 12 000 per kW og et bakkemontert solkraftverk ca. NOK 6 400 per kW. Investeringskostnaden for et solkraftverk i Norge har økt 20% siden 2020 pga. svekkelsen av norske kroner mot Euro og US dollar. Det er rimelig å anta at investeringskostnaden for et solanlegg på hustak vil bli redusert når salgsvolumet i det norske markedet øker.

**Konklusjon:** Et bakkemontert solkraftverk med kostnadseffektiv teknisk utforming leverer elektrisitet med en produksjonskostnad per kWh som er 75% lavere enn et solanlegg montert på hustak i 2023.

### 1.6 Energibalansen og elektrifisering

Energibalansen til Norge i 2021 var produksjon av 2 486 TWh, import av 129 TWh, totalt 2 615 TWh med primærenergi, tilsvarende ca. 475 000 kWh per innbygger<sup>[27]</sup>. Norge eksporterte 2 281 TWh, i hovedsak i form av olje- og gassprodukter. Brutto eksport av elektrisitet var 25,8 TWh, tilsvarende 1,1% av Norges energiekspor.

Brutto innenlands energiforbruk i 2021 var 338 TWh og netto forbruk etter tap og omdannelse av energiprodukter var 223 TWh, tilsvarende ca. 40 550 kWh per innbygger. Norge produserte 157,1 TWh elektrisk kraft, eksporterte 25,8 TWh og importerte 8,2 TWh. Brutto forbruk av elektrisitet var 139,5 TWh, tilsvarende 62,5% av netto innenlandsk energiforbruk. I 2022 økte utvekslingskapasiteten av elektrisk kraft mellom Norge og utlandet til 8 970 MW, som gir et maksimalt årlig transportvolum av kraft på 78 TWh, tilsvarende 55% av brutto elektrisitetsforbruk.

Statnett anslår at Norge går mot et kraftunderskudd i 2027 (Sør-Norge i 2026)<sup>[24]</sup>. Uten vindkraft ville Norge allerede hatt kraftunderskudd. For å unngå et kraftunderskudd må innenlandsk kraftproduksjon økes med ca. 10 TWh de neste seks år. Uten økning i innenlandsk kraftproduksjon må Norge importere elektrisk kraft fra Danmark, Sverige, Tyskland, Nederland og Storbritannia som vi er tilknyttet via kabler.

Reduksjon av norske utslipp av klimagasser må bl.a. skje ved å erstatte fossile energikilder med elektrisitet. Statnetts beregninger at et slikt kildeskifte kan medføre økt norsk kraftforbruk med 30 til 50 TWh per år<sup>[25]</sup>. Nullutslipp i energisystemet vil kunne øke kraftbehovet med ytterligere 40 TWh.

**Konklusjon:** Hvis det er et ønske å unngå kraftunderskudd og samtidig redusere utslipp av klimagasser, må norsk kraftproduksjon økes med mellom 10 TWh og 50 TWh frem til 2030.

### 1.7 Det tar kort tid å bygge solenergi

Et stort bakkemontert solkraftverk med fast- eller én-aksestruktur tar én sesong å bygge. Spaden settes i jorden når tælen går i april/mai, og kraftverket kan levere elektrisitet i september. Et solanlegg på tak tar kun få dager å montere. Prosessene med å planlegge, få konsesjon og nettilknytning er det som tar lengst tid for å etablere et solkraftverk.

**Konklusjon:** Den raskeste måten å få betydelig volum, men ny kraftproduksjon til lav kostnad for elektrisitet produsert i Norge i dag, er bakkemonterte solkraftverk.

### 1.8 Teknisk utforming har stor betydning for energikostnad og arealbruk

Bygging av solenergi er den raskeste og mest kostnadseffektive veien frem til mer elektrisitet i Norge i overskuelig fremtid. Dette betinger imidlertid at solenergi etableres på en arealeffektiv, energieffektiv og kostnadseffektiv måte.

Energieffektiviteten bestemmes av valgt teknisk utforming (punkt 1.2). Kort oppsummert; jo mer elektrisitet et solcellepanel produserer, desto billigere blir energien. Investeringskostnaden for et bakkemontert solkraftverk utgjør 85% av produksjonskostnaden for elektrisitet, for solanlegg på hustak utgjør investeringskostnaden 96% av produksjonskostnaden. Årsaken til forskjellen er lavere kraftproduksjon per solcellepanel på hustak (ca. 50%) og høyere investeringskostnad per solcellepanel for takanlegg (ca. 220%).

Bygging av solanlegg er en dagligdags affære de fleste steder i verden og Norge kan lære av de erfaringer som våre naboer i Nord-Europa har gjort de siste tyve årene fra utbygging av solenergi. En erfaring er å tilstrebe utbygging av usubsidiert kraftproduksjon på en økonomisk forsvarlig og arealeffektiv måte. For de som skal investere i ikke-subsidiert kraftproduksjon er kostnad for produksjon av elektrisitet det viktigste beslutningskriteriet ved valg av teknisk utforming.

Som en illustrasjon kan vi beregne hvordan forskjellig teknisk utforming av et solanlegg påvirker arealeffektivitet og produksjonskostnad for elektrisitet på samme geografiske lokasjon i Norge.

Sandefjord har i norsk sammenheng en god solressurs med en årlig innstråling på 1 030 kWh/m<sup>2</sup> i horisontal-planet. Som tabellen i punkt 1.2 viser, er energieffektivitet 58 % høyere for en teknisk utforming hvor solcellepanelene følger solens gang enn for et hustak. Kostnad for elektrisitet (før nettkostnader) er 4 ganger høyere for solanlegg på hustak enn beste tekniske utforming.

Basert på en forventet langsiktig kraftpris på NOK 0,50 per kWh (kilde: NVE og Statnett) så vil investering i solanlegg på tak kun være relevant for produksjon av elektrisitet til eget forbruk.

Hvis Norge trenger 10 TWh elektrisitetsproduksjon de neste seks år for å unngå kraftunderskudd så kan vi sammenligne tre forskjellige tekniske løsninger for hvordan 10 TWh kan produseres med solenergi. Tabellen under viser hvor stort areal som må benyttes og kostnaden ved å produsere basert 10 TWh.

#### AREALBRUK OG KOSTNAD FOR 10 TWH MED SOLENERGI

Teknisk løsning	MW	km <sup>2</sup>	NOK/m
Hustak (22°)	10 142	45,3	6 911
Bakke installasjon (45°)	9 506	84,9	2 401
Én-akse bifacial	6 416	28,6	1 647

MW<sub>p</sub> er installert effekt solcellepaneler for å produsere 10 TWh, NOK/m er årlig produksjonskostnad for 10 TWh elektrisitet levert. Areal effektiviteten har følgende forutsetninger;

- Areal i km<sup>2</sup> er arealet solanleggene beslaglegger for å produsere 10 TWh årlig.
- Arealbruk for et takmontert solanlegg er lik 100 % av arealet til solcellepanelene.
- Arealbruk for et fast bakkemontert solkraftverk uten samdrift med landbruk, er lik 200 % av arealet til solcellepanelene.
- Arealbruk for én-akse følgestructur i samdrift med landbruk, er lik 100 % av arealet til solcellepanelene.

**Konklusjon:** Solkraftverk basert på teknisk utforming med én-akse følgestructur i samdrift med landbruk bruker 37 % mindre areal, og har en produksjonskostnad for elektrisitet som er 75 % lavere enn solanlegg på hustak.



## 2. Agrivoltaics – Samdrift landbruk og kraftproduksjon

Ideen om samdrift landbruk og solenergi på samme areal, har eksistert siden 1980-tallet<sup>[11]</sup>. De første agrivoltaiske anleggene ble etablert i Japan for mer enn 20 år siden, etterfulgt av bl.a. Tyskland og Frankrike. Japan startet støtteprogram for agrivoltaics i 2013 og har mer enn 2 000 anlegg i drift. Kina, Frankrike, USA og Korea har innført støtteprogrammer. Det er i dag mer enn 14 000 MW<sub>pd</sub> med samdriftsanlegg globalt.

### 2.1 EUs Klimalov og arealbehov for solenergi

29. juli 2021 trådte den Europeiske Klimaloven i kraft<sup>1)</sup>. EUs klimalov bestemmer at EU skal være klimanøytrale innen 2050. Som ledd i planen vil EU tredoble installert solenergi fra 209 GWp i 2022 til 600 GWp innen 2030<sup>2)</sup>. Målsettingen om økt solenergi øker arealbehovet til solenergi i Europa betydelig.

For å møte økt arealbehov, er det innført at alle nye næringsbygg over 250 m<sup>2</sup> areal skal installere solcellepaneler på taket fra 2026, alle eksisterende næringsbygg fra 2027, og alle nye bolighus fra 2029. EU innser imidlertid at solenergi på tak ikke er tilstrekkelig for å nå 600 GWp innen 2030 og skriver i strategien for solenergi; «Utility-scale solar installations will be crucial to replace fossil fuels at the required speed.»

Med dette som utgangspunkt konkluderer EU at; «Multiple use of space can contribute to mitigating land constraints linked to competition for space, including for environmental protection, agriculture and food security. In particular, under certain conditions, the agricultural use of land can be combined with solar generation in so-called agrivoltaics (Agri-PV). The two activities can establish synergies, whereby PV systems can contribute to crop protection and yield stabilization, with agriculture remaining the primary use of the land area.

Member States should consider incentives for the development of Agri-PV while designing their National

Strategic Plans for the Common Agricultural Policy, as well as their support frameworks for solar energy ...»

Samdrift av landbruk og solenergi på samme areal ansees som nøkkelfaktor for at EU skal nå sine klimamål og samtidig redusere arealbrukskonflikter i forbindelse med bakkemonterte solkraftverk.

### 2.2 Erfaring og forskning med Agrivoltaics

Mange land har etablert programmer for samdrift landbruk og solenergi, og høstet erfaringer fra både forskningsprosjekter og anlegg i ordinær drift<sup>[22]</sup>.

#### Matproduksjon og solenergi på samme areal

Tyskland startet forskningsprogrammer i 2014 med fokus på matvareproduksjon. Noen av forskningsresultatene kan kort oppsummeres som følger<sup>[9]</sup>:

- Redusert vanningsbehov (opptil 20%).
- Redusert jorderosjon pga. vind.
- Solenergistrukturen benyttes til beskyttelse mot insekter med redusert bruk av plantevernmidler.

#### Husdyr og solenergi på samme areal

Australia, USA, England, Nederland m.fl. utfører samdrift av beite for småfe og solenergi på samme areal, og har forsket på dette i mer enn et tiår. USA har også startet samdrift med storfe og solenergi. Resultatene fra kombinert beitedrift og solkraftverk er entydig positive mht. dyrevelferd. Husdyr opplever mindre varmessress pga. skygge fra solcellepanelene, med påfølgende redusert behov for vann og generelt større vektøkning<sup>[4]</sup>. Av sikkerhetshensyn må et solkraftverk

<sup>1)</sup> European Climate Law, Regulation (EU) 2021/1119 of the European Parliament and Council, establishing the framework for achieving climate neutrality and amending Regulations (EC) No 401/2009 and (EU) 2018/1999

<sup>2)</sup> Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, The European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions; «EU Solar Energy Strategy», Brussels, 18.5.2022.

gjerdes inn. Dette bidrar til å etablere et trygt beite for husdyr, noe som har medført redusert tap av husdyr på beite ift. tap på utmarksbeite.

USA har etablert en egen organisasjon for samdrift av småfe på innmarksbeite til solkraftverk; The American Solar Grazing Association (ASGA). ASGA bidrar aktivt til formidling av forskning og rådgivning til sine medlemmer.

### «Ecovoltaics» solkraftverk og biodiversitet

Press på økosystemer med tap av biodiversitet og arter er en vedvarende utfordring som konsekvens av menneskers omdannelse av natur. Erfaring viser at godt planlagte solkraftverk bidrar til vern av biomangfold og til etablering av biotoper som ivaretar biodiversitet. Med vegetasjonsplanlegging gjennom valg av riktig frøblanding for planter, vil et solkraftverk kunne etablere viktige biotoper for insekter, pollinatorer og småvilt, og dermed bidra til økologiske tjenester. Dette kalles «Ecovoltaics»<sup>[19][2]</sup>.

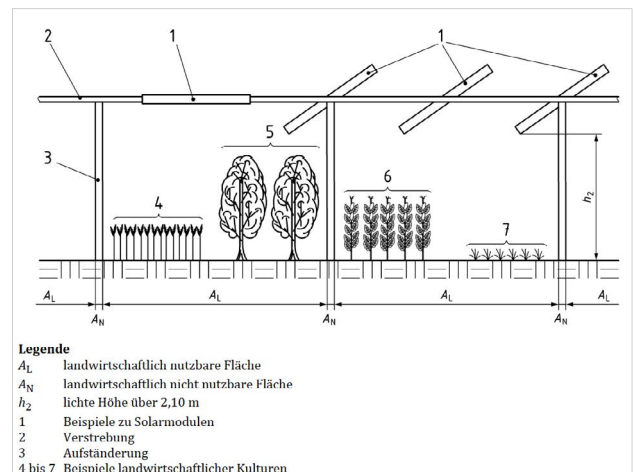
### 2.3 DIN 91434- Agrivoltaisk sertifisering

Samfunnets behov for å skifte ut bruk av fossil energi med fornybar energi og behovet for mer energi i fremtiden, gjør solenergi til en av de viktigste bidragsyterne til et slikt kildeskifte. Dette som følge av at solenergi er den mest kostnads- og klimaeffektive formen for energiproduksjon. Produksjon av solenergi skjer på overflater hvor solen skinner og skaper et arealbehov. Arealbehovet bør i minst mulig grad gå på bekostning av matvaresikkerhet, økonomi i landbruket, klima og miljø.

Arealbehovet for bakkemonterte solkraftverk kan skape arealbrukskonflikter. Samdrift landbruk og solenergi på samme areal har positive resultater for landbruksutbytte når solkraftverket er planlagt korrekt<sup>[9]</sup>. Samdriften med landbruk må imidlertid være reell. Tyske institusjoner, solindustri og andre relevante organisasjoner har derfor i felleskap utarbeidet en teknisk norm for hvordan et solkraftverk på landbruksareal skal utformes slik at samdriften er reell for at landbruksutbytte ikke blir skadelidende. Normen er utarbeidet med grunnlag i resultatene fra siste tiårs forskning på samdrift. Normen DIN SPEC 91434<sup>1)</sup> ble etablert i 2021. Den definerer de tekniske parameterne som må oppfylles for å sertifisere et solkraftverk som agrivoltaisk<sup>[5]</sup>. De viktigste tekniske kravene iht. DIN

91434 for agrivoltaisk sertifisering av et solanlegger kort oppsummert;

- Landbruksutbytte fra berørt areal skal ikke være lavere enn 66 % av normalen.
- På arealer som produserer mat skal solanleggets markavtrykk maksimalt være 10 % av totalareal.
- På arealer som produserer fôr eller benyttes til beite skal solanleggets markavtrykk maksimalt være 15 % av totalareal.



Kilde: Deutsches Institut für Normung

Solanleggets markavtrykk er definert som arealet AN i illustrasjonen over.

Etablering av en teknisk norm for sertifisering av et solkraftverk som «agrivoltaisk» er av reguleringsmessige hensyn. Både i EU og i Norge er det i utgangspunktet ikke lovmessig anledning til å benytte landbruksareal til annet enn landbruksvirksomhet. I Norge er dette bl.a. regulert gjennom Jordloven, Skogloven og i Plan- og bygningsloven. I de fleste land i EU, og i Norge, er bruk av landbruksareal strengt regulert. Landbruksarealer omfattet av konsesjonsplikt, økonomiske tilskuddsordninger, byggeforbud, bo- og driveplikt, og omregulering til andre formål er underlagt lovgivning knyttet til arealplanlegging. Lovene er etablert for å ivareta samfunnsmessige hensyn til matvaresikkerhet, økonomien i landbruket, naturforvaltning osv.

Ti år med forskning viser at samdrift av landbruk og solenergi på samme areal har en positiv virkning for både landbruksutbytte og energiproduksjon. Tyskland har derfor i 2023 endret lover for å tilrettelegge for etablering av samdrift landbruk og solenergi iht. DIN SPEC 91434. Loven for landbruksstilskudd er endret slik

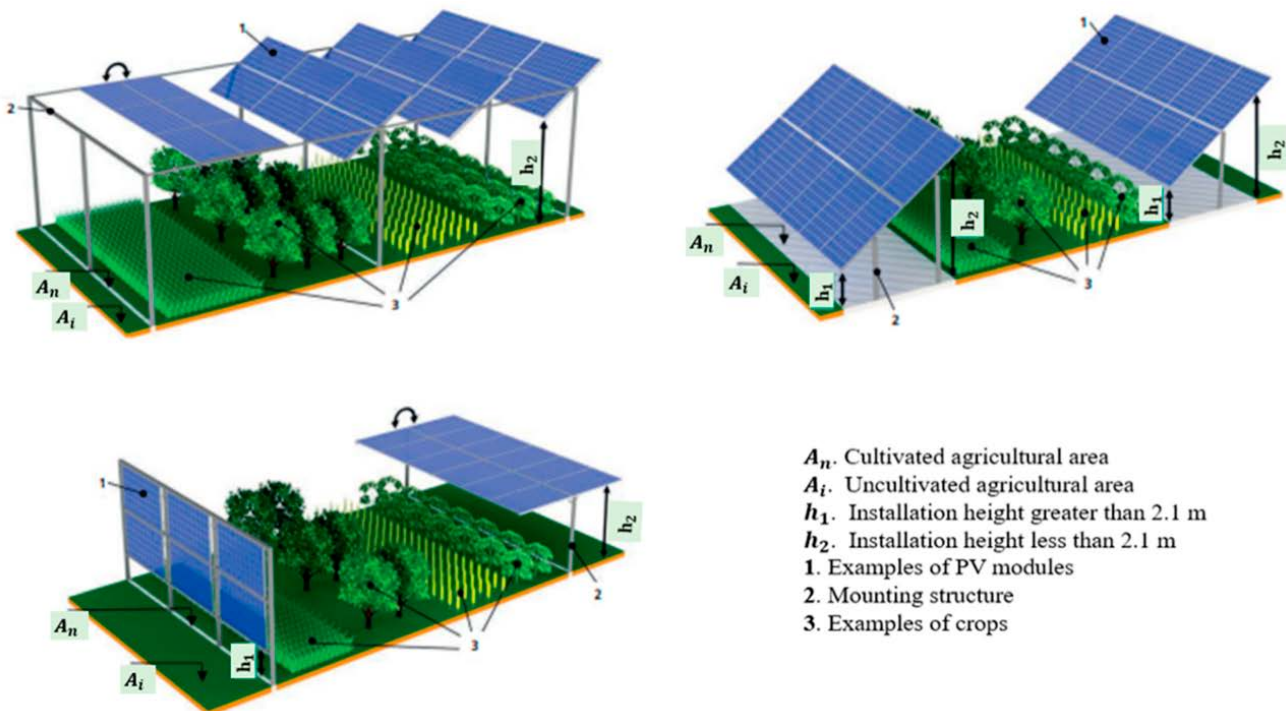
<sup>1)</sup> Deutsches Institut für Normung, DIN SPEC 91434-2021-05, «Agri-Photovoltaik-Anlagen, Anforderungen an die landwirtschaftliche Hauptnutzung».

at arealer med samdrift opprettholder rett til tilskudd hvis solarlegget er sertifisert iht. DIN 91434 (GAPDZV §12(5)). Plan- og bygningsloven (BauGB §35(1)) tillater solarlegg på landbruksjord gitt sertifisering som «agrivoltaisk».

Energiea fikk i 2022 avklart gjennom dialog med

Kommunal- og distriktsdepartementet og Landbruks- og matdepartementet at Jordloven §9 gir adgang til samdrift av solarlegg og landbruksvirksomhet på samme areal. Lovforståelsen ble bekreftet av Statsforvalteren i Innlandets vedtak 2. september 2022 om nydyrking på Seval Skog i forbindelse med prosjektet Seval Skog Solkraftverk og Innmarksbeite.

## 2.4 Illustrasjoner av teknisk utførelse iht. DIN 91434 for agrivoltaiske solarlegg



Kilde: Sarret.al.<sup>[21]</sup>

# 3. Arealbruk og karbonavtrykk

FN har fastsatt 17 bærekraftsmål med 169 delmål. Bærekraftsmålene er en global arbeidsplan for å utrydde fattigdom, bekjempe ulikhet og stoppe menneskeskapte klimaendringer innen 2030. Solbergregjeringen bestemte i 2021 at bærekraftsmålene skal være overbygning for Norges politikk nasjonalt og internasjonalt<sup>1)</sup>, en politikk videreført av Støreregjeringen. I siste statusrapport<sup>2)</sup> identifiserte regjeringen at «... den store utfordringen for Norge er å gjennomføre et grønt skifte, videreutvikle velferdssamfunnet, mestre demografiske og teknologiske endringer og samtidig redusere forurensing». Bruk av solenergi vil være et viktig bidrag for å nå bærekraftsmålene.

## 3.1 Norges forpliktelser og «LULUCF»

I forbindelse med møtet i Topplederforum for bærekraftsmålene 9. januar 2023, skrev KDD;

«I en global sammenligningskårer Norge godt på de fleste bærekraftsmålene. Men vi skårer dårlig på mål 12 om ansvarlig forbruk og produksjon og mål 13 om å bekjempe klimaendringene.»

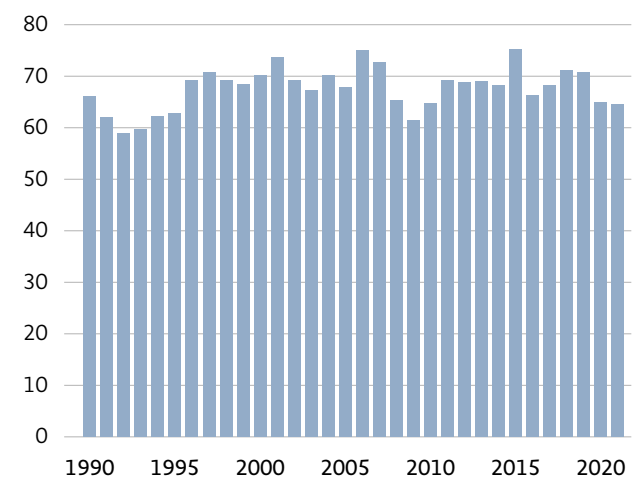
Norge har inngått en juridisk bindende avtale med EU om netto nullutslipp av klimagasser fra arealbruksendringer fra bl.a. skog i perioden 2021 til 2030. Selv om norsk skog årlig fanger brutto 25 millioner tonn med CO<sub>2ekv</sub> (NIBIO), så teller dette opptaket av CO<sub>2</sub> ikke med i grunnlaget for beregningene av Norges juridiske forpliktelser. Regelverket for beregning av utslipp fra arealbruksendringer kalles «LULUCF», kortform for «Land Use, Land Use Change and Forrestry».

## 3.2 Norges brutto utslipp av klimagasser

Når viser bort fra Norges eksport av 2 255 TWh med fossil energi, var Norges brutto utslipp av klimagasser til luft 64,5 millioner tonn CO<sub>2ekv</sub> i 2021. Dette var 4,6 % lavere enn gjennomsnittet siste 32 år. Norges utslipp av klimagasser har ligget på et stabilt nivå siden 1990 med et årlig gjennomsnittlig utslipp på 67,6 millioner tonn CO<sub>2ekv</sub><sup>[27]</sup>.

De største utslippsskildene i 2021 var utenriks sjøfart med 23 % (15mt), utvinning og transport av petroleumprodukter med 21 % (13,6mt) og Innenlandsk veitransport med 13,5 % (8,7mt) av utslippene.

NORSKE UTSLIPP TIL LUFT (CO<sub>2EKV</sub>)



Kilde: Statistisk Sentralbyrå, tabell09288.

Jordbruk stod for 7,7 % (4,9mt) av utslippene til luft, hvorav 6,9 % (4,4mt) var metan og nitrogenoksyd. Skogbruk stod for 0,1 % (0,06mt) av utslipp til luft, i hovedsak CO<sub>2</sub>.

## 3.3 Kraftproduksjon, klimagasser og import

Norge er blant de land som har lavest utslipp av klimagasser per kWh elektrisitet produsert. Underskudd i norsk kraftproduksjon med økt import av kraft vil medføre at karbonavtrykket (utslipp av CO<sub>2ekv</sub> til luft) for norsk elektrisitetsforbruk i realiteten vil øke.

Utslipp av klimagasser fra elektrisitetsproduksjon i Norge og landene vi utveksler kraft med, er vist i tabellen under (utvekslingskapasitet i MW). NVE sin årlige

<sup>1)</sup> Stortings Melding nr. 40 (2020-2021) «Norges handlingsplan for å nå bærekraftsmålene innen 2030».

<sup>2)</sup> Kommunal- og distriktsdepartementet, «Oppfølging av bærekraftsmåla i Noreg, Rapport frå Regjeringa til Stortinget i forslag til statsbudsjett for 2023», 6. oktober 2022

klimadeklarasjon for fysisk levert strøm i Norge ble i 2022 fastsatt til 19g CO<sub>2ekv</sub> per kWh<sup>1)</sup>.

#### OVERFØRINGSKAPASITET FOR KRAFT I 2023 (MW)

Land	Kapasitet	TWh	gCO <sub>2</sub> /kWh
Tyskland	1 400	494	385
Storbritannia	1 400	249	257
Sverige	3 600	162	45
Nederland	700	69	355
Danmark	1 700	34	181
Finland	120	74	131
Norge	8 920	154	19

Kilde: NVE, Statnett, EMBER, 2023.

### 3.4 Reduksjon av utslipp ved elektrifisering

Som ledd i å nå bærekraftsmålene har Norge valgt å vektlegge økt bruk av elektrisitet innenlands. Statnett har estimert at omfattende elektrifisering av innenlandsk energiforbruk kan redusere norske utslipp av klimagasser med ca. 25 millioner tonn CO<sub>2ekv</sub>, 11mt fra transportsektoren og 7mt fra olje- og gassutvinning<sup>[25]</sup>. Statnetts beregninger er at årlig forbruk av primærenergi kan reduseres fra 276 TWh til 222 TWh, ved reduksjon av fossilt energiforbruk på 94 TWh og økt elektrisitetsforbruk på 40 TWh. Reduksjonen på 54 TWh (19,6%) skyldes høyere energieffektivitet ved bruk av elektriske maskiner istedenfor forbrenningsmotorer. Konsekvensen av Statnetts estimat er at en elektrifisering reduserer utslipp av klimagasser med brutto 625g CO<sub>2ekv</sub> per kWh primærenergi forbrukt. Basert på NVEs klimadeklarasjon for fysisk levert strøm i 2022 på 19g CO<sub>2ekv</sub> per kWh blir netto reduksjon i utslipp av klimagasser ved elektrifisering 606g CO<sub>2ekv</sub> per kWh.

### 3.5 Karbonavtrykket til solenergi

I forbindelse med livsløpsanalyser (LCA) av energisystemer gjennomføres det beregning av energiteknologiers karbonavtrykk, dvs. utslipp av klimagasser uttrykt i CO<sub>2ekv</sub>. Beregningene inkluderer utslipp ved produksjon av energiutstyret, bruk av utstyret og resirkulering. De fleste rapporter som benyttes internasjonalt i dag (av FN, IPCC, IEA, NVE og andre) med beskrivelse av energiteknologiers karbonavtrykk benytter LCA beregninger basert på data fra 2011 og 2015. Vind- og solenergi har det siste tiåret hatt

produktivitetsforbedringer som gjør beregninger basert på 10 til 15 år gamle data utdaterte.

Ifølge IPCC (FN) har kull- og gasskraftverk et karbonavtrykk på hhv. 820g og 350g CO<sub>2ekv</sub> per kWh. IPCC antok i 2022 at vindkraftverk har et karbonavtrykk på 11g og 12g CO<sub>2ekv</sub> per kWh for hhv. vind på land og til havs med en varians fra 7g til 56g CO<sub>2ekv</sub> per kWh. Universitetet i Köln gjennomførte en litteraturstudie i 2020 av LCA-vurderinger for karbonavtrykk til vindkraftverk i Tyskland<sup>[14]</sup>. Studien viste at vindkraftverk på land har lavere karbonavtrykk enn vind til havs, og at karbonavtrykket på land varierer fra 7g til 45g CO<sub>2ekv</sub> per kWh, i hovedsak avhengig av kraftproduksjonen fra det enkelte anlegg.

Fraunhofer ISE oppdaterte i 2021 beregningen av LCA-karbonavtrykk for solcellepaneler laget av silisium, som utgjør 95% av installert solenergi globalt<sup>[7]</sup>. Konklusjonen er at produktivitetsforbedringer siden 2011 og 2015 har medført en reduksjon i karbonavtrykk på 75%. Tabellen under viser beregnet utslipp av klimagasser for et bakkemontert solanlegg basert på hvorvidt utstyret er produsert og transportert fra Kina eller i EU.

#### KARBONAVTRYKK ETTER PRODUKSJONSLAND

kg CO <sub>2</sub> per m <sup>2</sup> solanlegg	Kina	EU
Solcellepanel	76	56
Systemkomponenter	52	32
Totalt	127	88

Kilde: Fraunhofer ISE, 2021 & 2022.

Antall kilo CO<sub>2ekv</sub> per m<sup>2</sup> solcellepanel er det samlede utslippet av klimagasser i forbindelse med produksjon av utstyret (solcellepanel og støttesystemer), bygging og drift av solkraftverket og resirkuleringen av komponentene etter 30 år.

I likhet med vindkraftverk vil mengden elektrisitet produsert i levetiden påvirke et solanleggs karbonavtrykk mest. Et bakkemontert solkraftverk på solkysten i Spania produserer 1 760 kWh i året og har et karbonavtrykk fra 7,4g til 10,8g CO<sub>2ekv</sub> per kWh. Det samme solkraftverket montert i Danmark har et karbonavtrykk fra 12,6g til 18,2g CO<sub>2ekv</sub> per kWh pga. lavere solressurs og dermed redusert kraftproduksjon.

<sup>1)</sup> <https://www.nve.no/energi/energisystem/kraftproduksjon/hvor-kommer-stroemmen-fra/>



### 3.6 Karbonavtrykk og teknisk utforming

Valg av teknisk utforming av et solanlegg bestemmer produksjonskostnaden og karbonavtrykket for elektrisiteten som er levert fra et solanlegg. Basert på energieffektiviteten til et solanlegg i Sandefjord, som vist i punkt 1.2, kan vi beregne effekten valgt teknisk utforming har for karbonavtrykket per kWh elektrisitet produsert. Tabellen under viser beregnet utslipp av CO<sub>2ekv</sub> gjennom et livsløp for solanlegg i Sandefjord med forskjellig teknisk utforming.

#### KARBONAVTRYKK ETTER TEKNISK LØSNING

gCO <sub>2ekv</sub> /kWh	Kina	EU	% basis
Horisontalt plan	23,4	16,2	22 %
Hustak (22°)	19,2	13,3	-
Industrietak (30°)	18,5	12,8	-4 %
Bakkeinstallasjon (45°)	18,0	12,4	-6 %
Én-akseinstallasjon	13,4	9,2	-30 %
To-akseinstallasjon	13,1	9,1	-32 %
Én-akse bifacial	12,2	8,4	-37 %
To-akse bifacial	11,9	8,2	-38 %

Et solanlegg på et hustak vil ha 58 % større karbonavtrykk (13,3g CO<sub>2ekv</sub> mot 8,4g CO<sub>2ekv</sub>) enn et bakkemontert solkraftverk med én-akses følgestruktur. Basert på NVEs klimadeklarasjon 2022 for fysisk elektrisitet levert i Norge på 19g CO<sub>2ekv</sub> per kWh, så vil et én-akses bakkemontert solkraftverk redusere Norges klimagassutslipp per kWh elektrisitet fysisk levert.

**Konklusjon:** Jo mer elektrisitet et solcellepanel kan produsere, desto lavere er utslippet av CO<sub>2</sub> per kWh elektrisitet produsert.

### 3.7 Teknisk utforming og arealbruk

Når et bakkemontert solkraftverk bygges på jord fører det til at topplaget på arealet som benyttes «rives opp». Det øverste jordlaget blir i praksis «vendt» ved bruk av maskiner. «Jordvendingen» under bygging kan sammenlignes med overflatedyrking. Etter endt byggeperiode må overflatevegetasjon reetableres uavhengig av om det er planlagt samdrift med landbruk eller om solanlegget er eneste bruk av arealet.

Et solkraftverk må fundamenteres til grunnen for å motstå vindlast, og i områder med snø må strukturene heves tilstrekkelig for ikke å bli tildekket av snø i vintermånedene. På arealer med jord monteres et solkraftverk med pæler. Etter endt konsesjonstid kan arealet enkelt tilbakeføres til opprinnelig tilstand da

pælekonstruksjoner, kabler o.l. enkelt kan fjernes og ny vegetasjon som f.eks. produktiv skog kan plantes. Fjerningskostnadene for et bakkemontert solanlegg basert på pæler i jord utgjør 1 % til 3 % av total investering, og det er vanlig praksis å sette av midler for fjerning før anlegget skal tas ned.

Et solanlegg på fjell krever boring og forankring i fjellgrunn. Et solanlegg på asfalt krever solid fundamentering som bidrar til økte installasjonskostnader. Etablering av solanlegg på tak krever at takmembranen ikke punkteres, samt øker kravet til byggets brann-sikkerhet. Juridiske og økonomiske ansvarsforhold mht. brann og skade knyttet til solanlegg på tak, fører i mange tilfeller til at kun huseier kan eie solanlegget.

Fra et konstruksjonsmessig og økonomisk perspektiv er det best egnede arealet for bakkemonterte solkraftverk et flatt jorde hvor pæler monteres og fjernes uten evigvarende inngrep. I terreng med varierende høyder er strukturer som består av en rekke med enkeltstående pæler (som med en én-akses rotasjonsinstallasjon) den beste løsningen mht. arealinngrep.

### 3.8 Helse, miljø og sikkerhet og inngjerding

Et bakkemontert solanlegg er en teknisk installasjon med strømførende utstyr. Opphold på et solkraftverk kan medføre risiko for alvorlige skade og dødsfall på grunn av strømførende strukturer. Dette innebærer at et solkraftverk skal gjerdes inn, samt at personell som har adgang til solkraftverket må ha adekvat opplæring og sertifisering.

Andre forhold som hensyn til vilt, tyverisikring, krav fra forsikringsselskap osv. medfører at et solkraftverk må gjerdes inn og ikke er tilgjengelig for allmennheten.

### 3.9 Norsk natur, arealbruk og CO<sub>2</sub> utslipp Karbonlageret i norsk natur

Fastlands-Norge har et areal på 323 806 km<sup>2</sup>. Fjell og vidde utgjør 147 884 km<sup>2</sup> (45 %), skogen dekker 121 617 km<sup>2</sup> (38 %), jordbruksareal 11 219 km<sup>2</sup> (3,5 %) og bebygd areal 5 660 km<sup>2</sup> (1,7 %). Produktiv skog med aktiv skogsdrift er i 2021 anslått til 69 724 km<sup>2</sup> og jordbruksareal i drift til 9 845 km<sup>2</sup>.

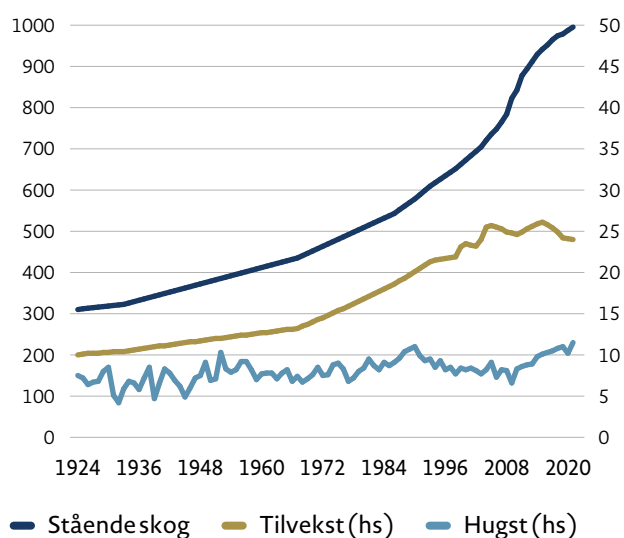
I en studie fra 2020 utført av Norsk Institutt for Naturforskning (NINA) er det estimert at Norges LNF-areal har lagret mellom 4,4 mrd og 10,6 mrd tonn karbon. 1 km<sup>2</sup> norsk skog inneholder i gjennomsnitt mellom 23 000 og 14 000 tonn med karbon.

NINA-studien estimerer at norsk skog fanger ca. 49g med karbon per m<sup>2</sup> per år. Studien referer også til forskning fra England som indikerer at gress fanger ca. 24g karbon per m<sup>2</sup> per år, samt at gress lagrer vesentlig mer karbon under bakken enn skog, da mye av karbonet skogen fanger er over bakken.

### Skogsdrift og karbonfangst

Den norske skogen har vokst fra 300 millioner m<sup>3</sup> til 1 mrd m<sup>3</sup> i løpet av de siste 100 år, mye som følge av skogplanting, gjødsling og redusert avvirkning. I samme periode er det høstet 790 millioner m<sup>3</sup> med tømmer og ved.

### VOLUM I NORSK SKOG (MILLIONER M<sup>3</sup>)

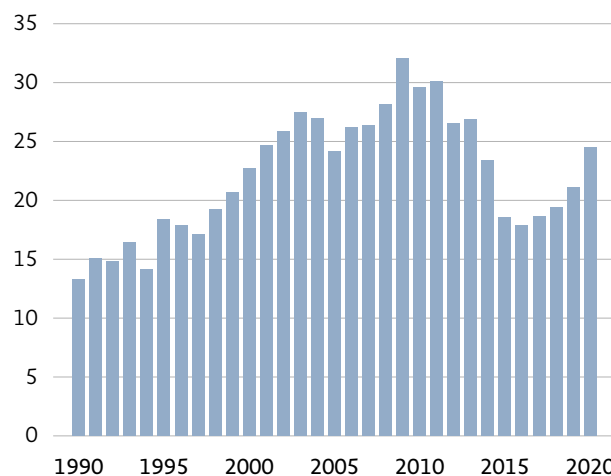


Kilde: SSB & NIBIO.

De siste 10 årene er det årlig høstet ca. 10,2 millioner m<sup>3</sup> skog og tilvekst av ny skog er beregnet til på 25 millioner m<sup>3</sup> i gjennomsnitt. Hogstmoden skog har ca. 30 m<sup>3</sup> med tømmer under bark per 1 dekar. Dette betyr at det årlige hogstarealet i Norge er på ca. 50 km<sup>2</sup> årlig, tilsvarende 0,07 % av arealet klassifisert som produktiv skog.

Netto tilvekst av skog medfører at skogen fungerer som en viktig kilde til å fange og binde CO<sub>2</sub> fra atmosfæren gjennom fotosyntese, noe som er basisen for LULUCF-regelverket. LULUCF tar imidlertid ikke hensyn til CO<sub>2</sub>-fangst som kommer fra naturlig tilvekst av skog. NIBOs landskogstaksering estimerer hvor mye karbon som fanges av skogen ved årlig naturlig tilvekst. I 2020 var estimatet at skogen fanget ca. 25 millioner tonn CO<sub>2ekv</sub>.

### CO<sub>2</sub> FANGET AV NORSK SKOG (MILLIONER TONN CO<sub>2</sub>)



Kilde: NIBIO.

Gressdekkede arealer fanger CO<sub>2</sub> og er et betydelig lager av karbon. LULUCF-regelverket vektlegger imidlertid ikke dette i CO<sub>2</sub>-regnskap. I forbindelse med innføring av årlig karbonregnskap i tråd med LULUCF-regelverket, så utføres det nå mye forskning nasjonalt og internasjonalt på beregning av karbonbalanser i natur.

Sverige har en betydelig skogbruksnæring og Sveriges landbruksuniversitet har begynt fysiske målinger av CO<sub>2</sub> i skogsareal for å bedre det vitenskapelige grunnlaget for beregning av CO<sub>2</sub>-regnskap ved arealinngrep. Noen av konklusjonene er at skogsarealer både fanger og slipper ut CO<sub>2ekv</sub> i løpet av en livssyklus, både med og uten hogst, samt at hogstmetode har betydning for hvor raskt en skog starter netto fangst av CO<sub>2</sub> etter hogst<sup>[28]</sup>.

### Arealbruk og utslipp av klimagasser

I 2021 gjennomførte NIBO en studie for etablering av faktagrunnlag for å vurdere en mulig avgift på utslipp av klimagasser fra permanente og irreversible endringer av areal på vegne av Miljødirektoratet og Klima- og miljødepartementet<sup>[17]</sup>. Dette er siden fulgt opp av Miljødirektoratet i rapport publisert i april 2023<sup>[15]</sup>. Noen av konklusjonene fra disse studiene og rapportene er som følger;

- I perioden på 29 år fra 1990 til 2019 er 1 140 km<sup>2</sup> med skog og 320 km<sup>2</sup> med landbruksjord blitt permanent omdannet til utbygd areal. Dette tilsvarer 0,94 % av Norges skogareal og 2,85 % av Norges landbruksareal. Utslippene av CO<sub>2ekv</sub> som følge av arealendringen er anslått til ca. 61 millioner tonn CO<sub>2ekv</sub>, tilsvarende 3 % av Norges utslipp til luft i samme perioden på 2 033 millioner tonn CO<sub>2ekv</sub>.

Norges skog er anslått å ha fanget 664 millioner tonn CO<sub>2ekv</sub> i samme periode.

- Basert på at utviklingen i omdisponering av areal fremover er slik den har vært historisk, estimerer Miljødirektoratet at 540 km<sup>2</sup> med areal vil bli omdannet frem til 2030, med et årlig utslipp på ca. 1,9 millioner tonn CO<sub>2ekv</sub>.

### Klimaregnskap for nydyrking

Miljødirektoratet har utarbeidet en beregningsmodell for utslipp av CO<sub>2ekv</sub> ved omdisponering av areal som f.eks. skog til annet areal. Vi har benyttet modellen for å beregne klimaeffekten av arealbruksendring ved nydyrking av 1 daa skog til 1 daa beitemark. Tabellen under viser resultatet fra beregningen.

#### CO<sub>2</sub> REGNSKAP FOR NYDYR KING 1 DAAS KOG TIL BEITE

Tonn CO <sub>2ekv</sub> over 50 år	Totalt	År 1-20	År 21 >
CO <sub>2</sub> skog før nydyrking	-5,90	-2,36	-3,54
Nydyrkningsår år 1	3,31	3,31	
Nydyrking år 2-20	9,16	9,16	
Beitemark år 21-50	-2,88		-2,88
Karbonavtrykk nydyrking	9,59	12,47	-2,88
Klimaeffekt	15,49	14,83	0,66

Kilde: Miljødirektoratet.

Ved nydyrking av skog til beitemark vil klimaeffekten av arealbruksendringen være et netto utslipp av klimagasser på 15,5 tonn CO<sub>2ekv</sub> over en periode på 50 år. Beregningen er basert på at det i en periode på 20 år fra nydyrking av skog til beite, så vil gressarealet slippe ut klimagasser tilsvarende 458 kg CO<sub>2ekv</sub> per dekar per år, og fra år 21 vil gressarealet fange CO<sub>2</sub> årlig.

Ifølge kalkulasjonsmodellen fanger uberørt skog fra 64 kg til 274 kg CO<sub>2ekv</sub> per dekar per år, avhengig av type skog og vekstvilkår. Uberørt beitemark fanger 96 kg og uberørt dyrket mark 61 kg CO<sub>2ekv</sub> per dekar per år.

## 4. Noen konklusjoner og rekkefølgekonsekvenser

Bakkemonterte solkraftverk har blitt relevant her hjemme da solenergi er blitt konkurransedyktig også i Norge. Vurderingene som nå bør gjøres, er hvordan Norge kan benytte solenergi best mulig fra et finansielt, miljø- og klimamessig og samfunnsøkonomisk perspektiv, og i et omfang som reelt bidrar «til det grønne skiftet».

Det etterfølgende ser på noen sammenhenger og rekkefølgekonsekvenser av at solkraftverk er blitt konkurransedyktig i det norske kraftmarkedet.

### 4.1 Oppsummering av konklusjoner

En kort oppsummering av noen av konklusjonene i perspektivnotatet er;

1. Norge har tilstrekkelig med solressurser til at solenergi kan gi et betydelig bidrag til norsk kraftproduksjon. Solenergi er også den raskeste måte å etablere ny kraftproduksjon på i Norge.
2. Solenergi produserer elektrisitet billigst i Nord-Europa, og har minst like lavt karbonavtrykk som vindenergi på land.
3. Elektrisitetsproduksjon fra et solcellepanel kan variere med 100% basert teknisk utforming. Desto mer elektrisitet et solcellepanel produserer, jo lavere er produksjonskostnad og karbonavtrykket til elektrisiteten produsert.
4. Et én-akse solkraftverk bruker mindre areal og har 75% lavere kostnad per kWh elektrisitet produsert enn et solanlegg på tak i Norge i dag.
5. Samdrift med solenergi og landbruk på samme areal har positive ringvirkninger for landbruket. Et agrivoltaisk solanlegg må imidlertid bygges på en måte som gjør samdriften reell.

Tekniske, økonomiske, energi- og klimamessige vurderinger konkluderer entydig med at større bakkemonterte solkraftverk, med optimal teknisk utforming, er det mest effektive på alle måter. Solanlegg på tak, parkeringsplasser o.l. er imidlertid også viktige tiltak for at Norge skal oppnå et «grønt skifte» i sitt forbruk av primærenergi. Lokalt produsert og konsumert elektrisitet bidrar til økt velferd og økonomisk stabilitet.

Hovedpoenget er at bakkemonterte solkraftverk er et nødvendig tilskudd til norsk kraftproduksjon for at solenergi skal kunne bli et betydningsfullt, kostnadseffektivt og klimavennlig bidrag til norsk energiforsyning. Solenergi vil i overskuelig fremtid være den billigste måten å produsere «fersk» elektrisitet til norsk kraftforsyning.

### 4.2 Regulerbarhet og nettilknytning

Elektrisitet fra solen er «ferskvare», men vi trenger elektrisitet også når solen ikke skinner. Etter hvert som sol- og vindenergi blir større del av energiforsyningen, vil behovet for «mellomlagring» av elektrisitet melde seg. I Nord-Europa vil det over tid også gjelde energilagring fra sommer- til vintersesong.

Et annet forhold knyttet til variabiliteten i produksjon av elektrisitet fra sol, er at solrike dager kan medføre overbelastning av strømmettet. For å unngå «overinvestering» i strømmett blir det nødvendig å begrense hvor mye elektrisitet et solanlegg kan levere til nett på solrike dager. Dette gjelder spesielt solanlegg på tak tilknyttet lokalt elektrisitetsnett. Store solkraftverk er knyttet til høyspenstnettet med bedre marginer for driftssikkerhet.

### 4.3 Arealeffektivitet for sol og vind i Norge

Norge hadde 62 vindkraftverk med kapasitet på 5074 MW, fordelt på 1388 turbiner, med en kraftproduksjon på 14,8 TWh i 2022. En vindturbin i Norge har i gjennomsnitt 3,7 MW kapasitet og høyde på 80 til 145 meter. Et areal vindkraftverk berører er delt inn i fire hovedkategorier fra innerst til ytterst, og er som følger;

1. Direkte fysisk areal. Kan sammenlignes med fotavtrykket til strukturene på et solkraftverk.
2. Planområdet. Kan sammenlignes med det inngjerdede arealet til et solkraftverk.

- Nærområdet er påvirket av audiovisuell støy og er delt i to soner; sone 1 knyttet til støy, og sone 2 hvor vindturbinene dominerer visuelt.
- Visuelt influensområde er der vindkraftverket påvirker omgivelsene visuelt.

NVE beregner i tillegg areal som har mistet status som «inngrepsfri natur». Inngrepsfri natur er natur som ligger minst en kilometer unna store tekniske inngrep. Tabellen under viser NVEs beregning av arealbruk og energieffektivitet til vindenergi i Norge i 2022.

#### AREALBRUK OG EFFEKTIVITET FOR VINDKRAFTVERK

Kraftproduksjon og kapasitet	MW	GWh	
Vindkraftverk 2022	5 074	14 810	
Areal og produksjon	km <sup>2</sup>	MWh/km <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>
Fysisk inngrepsområde	27	540 519	541
Tapt inngrepsfri natur	385	38 468	38
Planområde	587	25 230	25
Nærområde	1 101	13 451	13
Influensområde (10 km)	8 066	1 836	1,8
Influensområde (30 km)	19 561	757	0,8

Kilde: NVE, 2023

Planområdet for norsk vindkraftproduksjon i 2022 er på 587 km<sup>2</sup>, 385 km<sup>2</sup> er vurdert som «tapt inngrepsfri natur» og 1 101 km<sup>2</sup> er nærområde med audiovisuell påvirkning. **Arealeffektiviteten** til vindkraft kan uttrykkes i antall kWh elektrisitet produsert per m<sup>2</sup> berørt areal. Oversatt til m<sup>2</sup> betyr dette at norsk vindkraft produserer 541 kWh per m<sup>2</sup> på fysisk inngrepsområde og 13 kWh per m<sup>2</sup> på området som er påvirket av audiovisuell støy (nærområdet).

Måltallet kWh/m<sup>2</sup> kan benyttes for å sammenligne arealeffektiviteten for sol- og vindkraftverk i Norge. Tabellen under viser en teoretisk sammenligning av arealeffektiviteten for å produsere 14,8 TWh fra vindkraftverk og solkraftverk, basert teknisk utforming av solkraftverk slik det er planlagt i prosjektet Seval Skog Solkraftverk og Innmarksbeite. Basert på tallene over ser vi at et vindkraftverk er 2,5 ganger mer arealeffektivt basert på areal definert som «fysisk inngrep», mens solkraftverk er 3 ganger mer arealeffektivt basert på arealkategorien «planområde».

#### FOTAVTRYKK I KWH/M<sup>2</sup>

Kraftproduksjon og kapasitet	Vindkraft	Solkraft
Produksjon (GWh)	14 810	14 810
Installert kapasitet (MW)	5 074	11 749
Arealbruk i km <sup>2</sup>	Vindkraft	Solkraft
Fysisk inngrep	27	70
Tapt inngrepsfri natur	385	188
Planområde	587	188
Nærområde	1 101	317
Kraftproduksjon per m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>
Fysisk inngrep	541	211
Tapt inngrepsfri natur	38	79
Planområde	25	79
Nærområde	13	47

#### 4.4 Agrivoltaics og norsk landbruk «Garden som ressurs»

I Landbruksbarometeret 2023<sup>1)</sup> svarer 64 % av gårdbrukerne at lønnsomheten i gårdsdriften enten er ganske dårlig (44 %) eller veldig dårlig (20 %), og i april melder Norges Bondelag at 1/3 av medlemmene er usikre på om de greier å betale regningene sine i 2023. I England ble det i oktober 2022 en politisk diskusjon om bruk av LNF areal til solkraftverk. Organisasjonen for jordbrukere i England og Wales (CLA) responderte med å si følgende: «Having solar on less productive land allowed members to subsidise food production during less successful years, as well as providing cheap power for their estates and homes in their local area.»

Ny energiteknologi (vindmøller og solcellepaneler) kan bygges fra liten til stor skala og åpner dermed en mulighet for landbruket til å etablere ny inntekt som bidrar positivt til lønnsomheten av gårdsdrift. «Gårdsvindturbiner» og agrivoltaiske solkraftverk vil bidra til at gårdbrukere i Norge også får inntekt fra en ny inntektskilde gjennom salg av fornybar energi.

#### Nydyrking og matvaresikkerhet

Av Norges landbruksareal på 11 219 km<sup>2</sup> er det iflg. SSB ca. 7 000 km<sup>2</sup> som er i drift. Samtidig er det en nasjonal målsetting om å øke matvaresikkerheten fra dagens nivå på 37 % til 50 %. Norges Bondelag la i mars 2023

<sup>1)</sup> AgriAnalyse, <https://www.agrianalyse.no/landbruksbarometeret>



frem forslag til handlinger for økt matvaresikkerhet i Norge, og Bondelagets punktvis forslag er:

- Inntekta til bonden må opp
- Et sterkt importvern
- Mer norsk produsert mat, mindre import
- Mer norsk produsert fôrråvare

Bondelaget skriver i forslaget for økt matvaresikkerhet at:

«For drøvtyggere er grovfôret den viktigste proteinkilden. For å dekke proteinbehovet til dyra importeres det i dag en del soya, også fra land med regnskog. Norges Bondelag ønsker å avvikle denne importen og arbeider for å finne norske erstatninger».

Ved etablering av agrivoltaiske solkraftverk med nydyrking utgjør nydyrkingskostnadene 4–5 % av total investering og dekkes av solkraftverket. Agrivoltaiske solkraftverk kan dermed bidra med kapitalressurser landbruket ellers ikke har tilgjengelig for nydyrking. En rekkefølgekonsekvens av etablering av agrivoltaiske solkraftverk er at norsk produksjon av mat og fôr kan økes raskere pga. kapitalen som gjøres tilgjengelig for jordforbedring og nydyrking som følge av solkraftverkets lønnsomhet. Denne kapitalen er ikke tilgjengelig for landbruket uten etablering av produksjon av fornybar energi.

#### 4.5 Resirkulering og arealrestaurering

Et solkraftverk har begrenset levetid. Levetiden begrenses av forskjellige forhold; konsesjonstid for kraftverket, varighet av landleieavtale eller teknisk levetid. I de fleste land med bakkemonterte solkraftverk er man juridisk og finansielt forpliktet til å fjerne solkraftverket i sin helhet og restaurere areal som er benyttet etter endt driftsperiode.

#### Regelverk for resirkulering av solcellepaneler

Brukte solcellepaneler er elektrisk avfall og skal behandles deretter. EU vedtok i 2012 en lov for resirkulering av bl.a. solcellepaneler<sup>1)</sup>. EU-loven er i norsk lovgivning innført i Avfallsforskriften. Loven krever at 85 % av installerte solcellepaneler skal resirkuleres. Det nasjonale ansvaret for organisering og finansiering av resirkulering av solcellepaneler er i EU-loven gitt til «produsenter» av solcellepaneler. Dette er;

- Fysiske produsenter av solcellepaneler, dvs. enhver produsent av solcellepaneler som selger solcellepaneler i EU under sitt varemerke.

- Distributører og selgere av solcellepaneler i EU til slutt kunder under eget merkenavn.
- Importører av solcellepaneler som selger disse i EU hvor solcellepaneler er produsert utenfor EU eller fra et annet medlemsland i EU.

Forpliktelsene til produsenter av solcellepaneler er;

- Være registrert i nasjonalt register som autorisert mottager av avfall fra solenergi.
- Rapportere årlig hvor mange solcellepaneler som er installert til det nasjonale registeret for avfall fra solenergi.
- Finansiere og organisere innsamling og håndtering av solcellepaneler til resirkulering.
- Ha etablert finansielle garantiordninger for driften av avfallshåndtering for solcellepaneler.
- Ansvarlig for at eiere av solcellepanel har tilstrekkelig informasjon om innhenting og resirkulering av solcellepaneler.

I Norge er det antagelig Norges vassdrags- og energidirektorat og Miljødirektoratet som er ansvarlige for «Nasjonalt Register for Solcellepaneler» til resirkuleringsformål.

#### Kostnad for restaurering av areal

Energeia har kjøpt, solgt, bygget og driftet totalt 26 solkraftverk siden 2011. I dag har gruppen 7 solkraftverk i drift. For alle solkraftverk i Europa der Energeia er involvert er det en forpliktelse å fjerne kraftanlegget og restaurere arealet etter endt bruk. For å møte fremtidig fjernings- og restaureringsforpliktelse etableres det et finansielt fond for å finansiere fjerningskostnaden. Kostnaden for fjerning og restaurering utgjør 1 % til 3 % av total investeringskostnad. Årsaken til etablering av fond er for å sikre finansiering av fjerning i det tilfellet eierskapet av solkraftverket skulle opphøre å eksistere.

I prosjektet Seval Skog har Energeia mottatt foreløpige tilbud på fjerning og restaurering på ca. NOK 4 millioner. Dette utgjør 1,3 % av prosjektets totale investeringer på ca. NOK 305 millioner.

#### 4.6 Klimaavtrykk for Seval Skog

Til sist i perspektivnotatet er beregning av «klimaavtrykket» for et agrivoltaisk solkraftverk basert på nydyrking av produktiv skog til innmarksbeite. Beregningen er utført med Miljødirektoratets kalkulator

<sup>1)</sup> WEEE - Waste electrical and electronic equipment Directive 2012/19/EU.

for klimaavtrykk ved arealbruksendring, og basert på landleieavtalens løpetid på inntil 45 år.

Karbonavtrykket fra kraftproduksjon er basert på oppdatert anslag for karbonavtrykk til et solkraftverk (punkt 3.5), klimaavtrykket til norsk kraftproduksjon iht. NVE, samt veiet gjennomsnitt av karbonavtrykk for landene Norge har kraftutveksling med. Vi legger til grunn at karbonavtrykket til norsk og nordeuropeisk kraftproduksjon reduseres lineært til  $0 \text{ g CO}_{2\text{ekv}}$  per kWh innen 2050.

Arealbruksendring i dekar (daa) for nydyrking på Seval Skog agrivoltaiske solkraftverk er vist i tabellen under:

#### AREALBRUK OG KRAFTPRODUKSJON SEVALSKOG

	daa.
Areal som nydyrkes	943
Inngjerdet areal for solkraftverk	740
Fotavtrykk solkraftverk iht. DIN 91434	66
% fotavtrykk solkraftverk	8,9 %
Årlig kraftproduksjon (GWh)	54,15
Total kraftproduksjon 30 år (GWh)	1 590

Klimaregnskap for nydyrking iht. Miljødirektoratets beregninger er vist i tabellen under. Nydyrkingsarealet er skog med middels bonitet på mineralrik jord.

#### CO<sub>2</sub> REGNSKAP NYDYR KING 943 DAA. 45 ÅR

Tonn CO <sub>2ekv</sub>	Totalt	År 1-20	År 21-45
CO <sub>2</sub> skog før nydyrking	-5 017	-2 235	-2 782
Nydyrkingsår år 1	3 119	3 119	
Nydyrking år 2-20	8 207	8 207	
Beitemark år 21-45	-2 264		-2 264
Karbonavtrykk nydyrking	9 062	11 326	-2 264
Klimaeffekt	14 079	13 561	518

Kilde: Miljødirektoratet, 2023

Iht. Miljødirektoratets kalkulasjonsmodell for arealbruksendring vil skogen i uberørt tilstand fange 5 017 tonn CO<sub>2ekv</sub> over 45 år. Nydyrkingen slipper initialt ut klimagasser, for deretter å binde klimagasser etter år 20. Karbonavtrykk for nydyrking beregnes til utslipp av 9 062 tonn CO<sub>2ekv</sub> og samlet klimaeffekt av arealbruksendringen er beregnet til netto utslipp av 14 079 tonn CO<sub>2ekv</sub> over 45 år.

Som vist i punkt 3.3 varierer utslipp av klimagasser fra kraftproduksjon i 2022 fra 385 gCO<sub>2ekv</sub> i Tyskland til 19 gCO<sub>2ekv</sub> i Norge. Utslipp av klimagasser fra solkraftverk slik det er planlagt på Seval Skog er beregnet med utgangspunkt i sist oppdaterte LCA-analyse som referert til i punkt 3.5<sup>[7]</sup>. Basert på et volumveiet gjennomsnitt av karbonavtrykket til land vi har kraftutveksling med, vil karbonavtrykket til kraftproduksjonen på Seval Skog solkraftverk være som vist i tabellen under.

#### CO<sub>2</sub>-UTSLIPP FRA KRAFTPRODUKSJON OVER 30 ÅR

Tonn CO <sub>2ekv</sub>	g CO <sub>2</sub> /kWh	T CO <sub>2ekv</sub>
Total kraftproduksjon over 30 år (GWh)		1 590
Norsk kraftproduksjon i dag	19	30 201
Kraftforsyning til Norge i dag	183	290 952
Kraftforsyning til Norge i fremtiden	76	121 230
Karbonavtrykk Kina-produsert utstyr	16	25 695
Karbonavtrykk EU-produsert utstyr	11	17 740
Netto CO <sub>2</sub> utslipp norsk kraft	-5,3	-8 484
Netto CO <sub>2</sub> utslipp europeisk kraft	-169,4	-269 234
Netto CO <sub>2</sub> utslipp europeisk kraft 2	-62,6	-99 512

Basert på NVEs klimadeklarasjon for 2022 på 19 gCO<sub>2ekv</sub> vil et solkraftverk på Seval Skog bidra med et marginalt lavere karbonavtrykk uavhengig av om utstyret er produsert i Kina eller i EU. Målt opp mot kraft levert fra våre naboland vil karbonavtrykket bli vesentlig lavere.

Det samlede klimagassregnskapet for Seval Skog solkraftverk og innmarksbeite er oppsummert i tabellen under.

**KLIMAGASSREGNSKAP 45 ÅR**

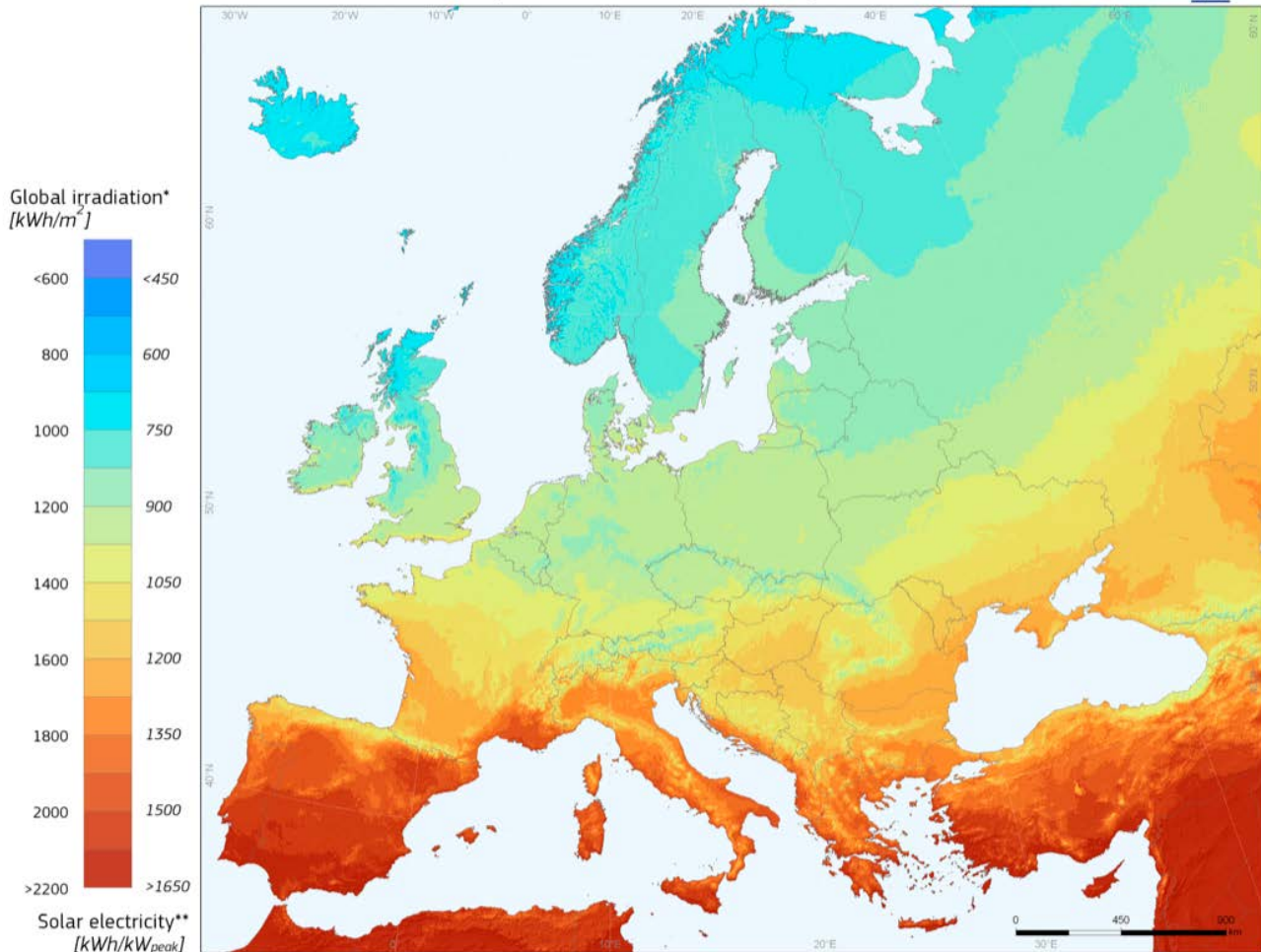
Tonn CO <sub>2</sub> ekv	T CO <sub>2</sub> ekv
Nydyrking & Solenergi	40 545
Nydyrking	14 079
Solenergi EU utstyr · 11,1g CO <sub>2</sub>	26 466
Nydyrking & Solenergi	52 705
Nydyrking	14 079
Solenergi Kina utstyr · 16,2g CO <sub>2</sub>	38 626
Null-alternativet «bare norsk kraft»	40 286
Skog	-5 017
Norsk Kraftproduksjon 19g CO <sub>2</sub>	45 302
Null-alternativet «Europeisk import kraft»	176 828
Skog	-5 017
Kraft til Norge 76g CO <sub>2</sub>	181 845

Forskjellen i utslipp av klimagasser mellom scenariene «Nullalternativet» og «Nydyrking og solenergi» er å anse som marginalt. Scenariet «Nydyrking og solenergi» blir imidlertid et vesentlig bedre klimamessig alternativ enn import av elektrisitet fra våre naboland.

# Solressurser i Europa

Kilde: EU, PVGIS

## Photovoltaic Solar Electricity Potential in European Countries



\* Yearly sum of global irradiation incident on optimally-inclined south-oriented photovoltaic modules

\*\*Yearly sum of solar electricity generated by optimally-inclined 1kW<sub>p</sub> system with a performance ratio of 0.75

© European Union, 2012  
PVGIS <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

Authors: Thomas Huld, Irene Pinedo-Pascua  
EC - Joint Research Centre  
In collaboration with: CM SAF, [www.cmsaf.eu](http://www.cmsaf.eu)

Legal notice: Neither the European Commission nor any person acting on behalf of the Commission is responsible for the use which might be made of this publication

# Kilder og litteraturreferanser

- [1] BP Energy Outlook, 2023. <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/energy-outlook.html>
- [2] BNE - Biodiversity study for Solar power plants (2019). <https://www.bne-online.de/de/news/detail/study-photovoltaic-biodiversity/>
- [3] Bundesnetzagentur, «Statistiken ausgewählter erneuerbarer Energieträger zur Stromerzeugung», März 2023. <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Themen/start.html>
- [4] Clean Energy Council - Australian guide to agrisolar for large scale solar (2021). <https://www.cleanenergycouncil.org.au/resources/resources-hub/australian-guide-to-agrisolar-for-large-scale-solar-1>
- [5] Deutsche Institut für Normung (DIN), «DIN SPEC 91434- Agri-photovoltaic systems - Requirements for primary agricultural use», 2021. <https://www.din.de/en/wdc-beuth:din21:337886742>
- [6] European Commission, PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) version 5.2, 2022, [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/)
- [7] Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, «A comparative life cycle assessment of silicon PV modules», 2021. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0927024821003202>
- [8] Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, «Levelized cost of electricity - renewable energy technologies», Freiburg, Germany, 2021. <https://www.ise.fraunhofer.de/en/publications/studies/cost-of-electricity.html>
- [9] Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, «Agrivoltaics: Opportunities for agriculture and the energy transition», Freiburg, Germany, 2020. <https://www.ise.fraunhofer.de/en/publications/studies/agrivoltaics-opportunities-for-agriculture-and-the-energy-transition.html>
- [10] Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, «Photovoltaics Report 2023», Freiburg, Germany, 2020. <https://www.ise.fraunhofer.de/en/publications/studies/photovoltaics-report.html>
- [11] Goetzberger & Zastrow, «On the Coexistence of Solar-Energy Conversion and Plant Cultivation», International Journal of Solar Energy, 1981. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01425918208909875>
- [12] IEA PVPS, «Snapshot of Global PV Markets 2023», 2023. <https://iea-pvps.org/snapshot-reports/snapshot-2023/>
- [13] IRENA (International Renewable Energy Agency), «Renewable capacity statistics», 2023. <https://www.irena.org/Publications/2023/Mar/Renewable-capacity-statistics-2023>
- [14] Köln University of Applied Science, «Life cycle greenhouse gas emission from wind farms in reference to turbine sizes and capacity factors», 2020. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620334302>
- [15] Miljødirektoratet, «Tiltaksanalyse for skog- og arealbrukssektoren (LULUCF)», 2023. <https://www.miljodirektoratet.no/publikasjoner/2023/april-2023/tiltaksanalyse-for-skog-og-arealbrukssektoren/>
- [16] Norges offentlige utredninger 2023:3 (NOU), Olje- og Energidepartementet, «Mer av alt - raskere», Energikommisjonens rapport, 2023. <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/nou-2023-3/id2961311/>
- [17] Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO), «Arealbruksendring til utbygd areal», 2021. <https://nibio.brage.unit.no/nibio-xmliui/handle/11250/2825197>
- [18] Norsk Institutt for Naturforskning, NINA, «Carbon storage in Norwegian ecosystems», 2020. <https://brage.nina.no/nina-xmliui/handle/11250/2655580>
- [19] Research Institutes of Sweden - RISE, «Ecovoltaics och Agrivoltaics», 2022. <https://www.ri.se/en/what-we-do/projects/planning-of-solar-farms-that-benefit-biodiversity-and-ecosystem-services>
- [20] Rodriguez-Gallegos et al, «Global Techno-Economic Performance of Bifacial and Tracking Photovoltaic Systems», Joule (2020). <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2542435120301884>
- [21] Sarr et al.: «Agrivoltaic, a Synergistic Co-Location of Agricultural and Energy Production in Perpetual Mutation: A Comprehensive Review», Processes, 2023. <https://www.mdpi.com/2227-9717/11/3/948>
- [22] SolarPower Europe, «Agrisolar best practices guidelines», Brussels, 2021. <https://www.solarpowereurope.org/insights/thematic-reports/agrisolar-best-practice-guidelines>
- [23] SolarPower Europe, «EU Market Outlook 2022 - 2026», Brussels, 2023. <https://www.solarpowereurope.org/insights/market-outlooks/eu-market-outlook-for-solar-power-2022-2026-2>
- [24] Statnett, «Kortsiktig Markedsanalyse 2022 - 27», 2022. <https://www.statnett.no/for-aktorer-i-kraftbransjen/planer-og-analyser/publiserte-rapporter-og-utredninger/>
- [25] Statnett, «Et elektrisk Norge - fra fossilt til strøm», 2019. <https://www.statnett.no/for-aktorer-i-kraftbransjen/planer-og-analyser/publiserte-rapporter-og-utredninger/>
- [26] Salibi, Marc et al., «Energy payback time of photovoltaic electricity generated by passivated emitter and rear cell (PERC) solar modules», Fraunhofer ISE, 2021.
- [27] Statistisk Sentralbyrå (SSB) Statistikkbanken kildetabellene; 03158, 03173, 03174, 03175, 08307, 08311, 09288, 10206, 12824, xx. <https://www.ssb.no/>
- [28] Swedish University of Agricultural Sciences, «Recovery of the carbon balance in young forests», (2023). <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168192322004762>



Energieia AS  
Bryggetorget 7  
NO-0250 Oslo  
Norway

Phone: +4791611009  
E-mail: [viktor@energeia.no](mailto:viktor@energeia.no)  
Web: [www.energeia.no](http://www.energeia.no)

[Teigens design](#)