

Solstrøm fra boligtak er ofte godt for både klima og økonomi, men ikke i dagens Norge

av¹

Øyvind Bøhren Per Ivar Gjørum Torkel Hasle

Sammendrag

Vi bruker kvantitativ livsløpsanalyse (vugge-til-grav) og finner at solceller på private boligtak har stor, positiv effekt på klima og økonomi når de lages med ren, billig strøm og erstatter skitten, dyr strøm. Beliggenhet er derfor den grunnleggende forklaringen på solcellers verdiskaping. Selv om et solcelleanlegg på 60 m² av et norsk boligtak produserer mye strøm, reduserer det likevel ikke klimautslippet med mer enn utslippet i Kina øker når anlegget lages. Derfor skapes det ingen global klimagevinst under våre forutsetninger. Brukes derimot anlegget i land der alternativ strøm er skitten, reduseres årlig CO₂-utslipp med mer enn EUs samlede årsutslipp pr. innbygger. I Norge, hvor alternativ strøm både er ren og forholdsvis billig, finner vi at solstrøm er ulønnsomt samfunnsøkonomisk og ofte også privatøkonomisk. Norge er trolig blant de få land der både klimaeffekten og økonomieffekten av solceller på boligtak er negativ. Bedre solcelleteknologi, mer elektrifisering, høyere strømpris og mer strømekспорт kan lett bedre denne situasjonen.

09.11.2021



Kommer i *Samfunnsøkonomen* nr. 5, 2021.

¹ Pensjonerte økonomer med bakgrunn fra forskning, undervisning og næringsliv. Våre epost adresser er oyvind.bohren@gmail.com, per@gjarum.org og torkel@hasle.com. Vi er takknemlig for nyttige innspill fra en anonym fagfelle, *Samfunnsøkonomen*s redaktør Rune Jansen Hagen, Tore Abrahamsen, Andreas Bentzen, Janis Berzins, Knut Bryn, Lage Egaas Bøhren, Johan Ellingsen, Gunnar Eskeland, Eirik Fjeld, Johan Gjørum, Jarle Gundersen, Julie Hamre, Kristian Hauglum, Michael Hoel, Tore Holm, Einar Hope, Thomas Horne, Viktor Jakobsen, Lars Mathiesen, Svein Medhus, Jan Brox Nilsen, Jørgen Randers, Svein Sande, Stig Schjølset, Josefine Selj, Andreas Thorsheim, Bjørn Thorud, Asbjørn Torvanger, Fred Wenstøp og Marius Aarset. Ingen av disse hjelperne har noe ansvar for innholdet.

1. Problemstilling og oversikt

Strøm fra solceller lages på private husholdningers boligtak, på tak og vegger i næringsbygg og i industrielle solparker. De to første anleggstypene lager primært strøm for eget forbruk, men den tredje selger alt. Solceller står for 1 % av verdens strømproduksjon og 10 % av den fornybare strømmen (BP, 2021). Fornybar strøm i Norge utgjør 98 % av strømproduksjonen, og solstrøm står for 0,09 % (0,14 TWh).

I 2020 installerte 1 613 norske husholdninger solcelleanlegg på taket (Enova, 2021). Et slikt anlegg produserer typisk mellom en og to tredeler av husholdningens strømforbruk, og Enova subsidierer ca. 15 % av investeringen. Solcelleanlegg til husholdninger markedsføres i Norge av bl.a. Eidsiva, Fjordkraft, Otovo og Solcellespesialisten (Norsk Solenergiforening, 2021). Vi begrenser oss til solcelleanlegg i private husholdninger og analyserer tre spørsmål:

1. Er solceller klimavennlige regnet over hele livsløpet?
2. Er solceller en privatøkonomisk lønnsom investering?
3. Er solceller lønnsomme for samfunnet?

Det første spørsmålet gjelder klimaavtrykk, hvor argumentet for solceller er redusert CO₂-utslipp. Dette argumentet er åpenbart korrekt for driftsfasen, dvs. i den delen av livsløpet da solcellen lager ren strøm fra solenergi. En mer relevant problemstilling er imidlertid om solcellen er klimavennlig når vi ikke bare tar hensyn til driftsfasen, men til hele livsløpet, som også inkluderer tilvirkningen før driftsfasen og utrangeringen etterpå.

Beslutningen om å investere i solcelleanlegg tas av husholdningen, der hensynet til egen økonomi kommer i tillegg til eventuelle klimahensyn. Vårt andre spørsmål er derfor om den økonomiske fordelen ved å produsere egen strøm overstiger ulempen ved å måtte finansiere anlegget. Det tredje spørsmålet vi besvarer, er om solceller er lønnsomme når vi tar hensyn til både økonomi og klima. Samfunnsøkonomisk lønnsomhet skal reflektere denne totaleffekten, dvs. inkludere verdien av en positiv eksternalitet hvis solceller gir lavere CO₂-utslipp enn andre strømkilder. Dessuten er norske solcelleanlegg subsidierte, og ca. 40 % av strømprisen er avgifter. Spørsmålet er derfor om solceller er lønnsomme for samfunnet når vi ser bort fra inntektsoverføringer mellom staten og husholdningene i form av subsidier og avgifter.

Vi har ikke funnet litteratur som besvarer disse tre spørsmålene innenfor en og samme ramme. Dette inntrykket av partiell analyse bekreftes av Campos-Guzman et al. (2019), som gjennomgår drøye 200 studier om fornybar energi. Forfatterne konkluderer at særlig

solstrømlitteraturen ofte mangler livsløpsperspektivet, og at fornybarhetsstudier generelt begrenser eventuell økonomisk analyse til kostnaden for anlegg og drift. Inntekter, sparte kostnader og netto verdiskaping for individ og samfunn undersøkes ikke.

I et forsøk på å gjøre en mer fullstendig solstrømanalyse undersøker vi et solcelleanleggs effekt på utslipp og økonomi fra panelene lages (vuggen), via perioden da anlegget produserer strøm (driften), til det skrotes (graven). Med utgangspunkt i et tilbud på 34 paneler for en takflate på ca. 60 m² (effekt på ca. 12 kW) samler vi data om strømforbruk i vuggen, CO₂-utslipp fra alternativ strøm, solstrømproduksjon i driften og markedsprisen på strøm. Utslipp i skrotingsfasen ser vi bort fra fordi vi mangler pålitelige data.² Vi beregner CO₂-utslipp fra fysisk strømproduksjon og utelater opprinnelsesgarantier (Energi Norge, 2021) og kvoteordninger (Kvadsheim, 2020).

Vi finner at suksessfaktorene for solceller er ren strøm i vuggen kombinert med mye sol og skitten, dyr alternativ strøm i driften. Ren strøm i vuggen er en suksessfaktor fordi det trengs mye energi for å lage solceller. De fleste solcelleanlegg lages i Asia, der kullkraftandelen i elmiksen og dermed CO₂-utslippet er blant de høyeste i verden. For anlegget vi analyserer innebærer dette et utslipp på 19 tonn CO₂ før panelene fra Kina kan starte å produsere ren strøm. Dette utslippet i vuggen tilsvarer nær det dobbelte av Norges samlede årsutslipp pr. innbygger på 10 tonn (Klimavakten, 2021).

Skitten alternativ strøm i driften er en suksessfaktor fordi da sparer solstrøm mye utslipp. Denne utslippsgevinsten er imidlertid spesielt liten i Norge fordi alternativ strøm er uvanlig ren. Dette gjelder også under vår gjennomgående forutsetning om å bruke nordisk elmiks for Norge, som tar hensyn til intern krafthandel i Norden og til strømkabler ut av Norden. Motsatt gir solceller stor utslippsgevinst i eksempelvis Tyskland, der alternativ strøm er fire ganger så skitten som ved nordisk elmiks.

Gunstige solforhold på driftsstedet er en suksessfaktor fordi det gir mer solstrøm. For eksempel produserer samme anlegg 40 % mer i Sandefjord enn i Bergen og 140 % mer i Nevada. Bergen er blant de få stedene hvor vi finner økt livsløpsutslipp fra solceller fordi redusert utslipp i driften ikke oppveier for økt utslipp i vuggen.

Disse suksessfaktorene betyr at den beste utslippsløsningen for Norge og Kina samlet, dvs. for klimaet globalt, er å lage solcellene med ren strøm i Norge og drifte dem i Kina, der de erstatter skitten strøm. Da reduseres CO₂-utslippet med hele 130 tonn i løpet av levetiden

² Et velorganisert resirkuleringssystem for solpaneler finnes foreløpig ikke (Solenergiklyngen, 2021).

på 25 år. Lages derimot anlegget i Kina og driftes i Norge, som er det vanlige, blir det i beste fall en liten, positiv nettoeffekt. Den positive klimaeffekten av at solcellestrøm erstatter mye skitten strøm i driften er imidlertid mye større enn den positive effekten av ren strøm i vuggen. Det er derfor mye viktigere hvor solcellene brukes, enn hvor de lages.

Anleggets privatøkonomiske lønnsomhet påvirkes mye av hvilken pris eieren får betalt for solgt solstrøm og alternativt hadde måttet betale for kjøpt strøm. Her bidrar den forholdsvis lave strømprisen i Norge sterkt til å gjøre solstrøm ulønnsom. Med et realavkastningskrav på 4 % etter skatt er nåverdien - 29 000 kroner i Bergen og 7 000 kroner i Sandefjord for ca. 60 m² solceller. Internrenten er henholdsvis 2 % og 5 %. Flytter vi derimot anlegget til Frankfurt, hvor produksjonen er som i Sandefjord, stiger nåverdien til over 400 000 kroner og internrenten til 26 %. Dette skjer fordi prisen på alternativ strøm er tre ganger høyere i Tyskland enn i Norge. For øvrig stiger også utslippsgevinsten fra 2 tonn CO₂ i Sandefjord til 84 tonn i Frankfurt. Ikke fordi produksjonen stiger, men fordi tysk elmiks er fire ganger så skitten som nordisk. Blant de 70 største landene i verden regnet etter strømforbruk finner vi at Norge er blant de land som kommer dårligst ut både på utslippsreduksjon og privatøkonomi. Hovedgrunnen er at i Norge erstatter solstrømmen annen strøm som er uvanlig ren og forholdsvis billig.

Når vi verdsetter effekten på CO₂ utslippet og justerer for tilskudd og avgifter, blir anleggets samfunnsøkonomiske verdi negativ i Norge og atskillig lavere enn den privatøkonomiske. Avviket skyldes at overføringene fra staten til eieren i form av investeringstilskudd og sparte avgifter på alternativ strøm er verd ca. 60 000 kroner. På tross av disse overføringene er likevel den privatøkonomiske lønnsomheten så marginal at statsstøtten ikke nødvendigvis vil utløse feilinvesteringer i stor skala.

Tilbyderen av solcelleanlegget vi har analysert, forespeiler årlig reduksjon i CO₂-utslippet på ca. 4,7 tonn og drøye 500 000 kroner i besparelse i Bergen. Våre estimater tilsier derimot årlig utslippsøkning på ca. 0,2 tonn og 29 000 kroner i formuestap. Dette ekstreme avviket skyldes etter vårt syn at tilbyder bruker altfor optimistiske forutsetninger. Avviket illustrerer også at konklusjoner om effekten av solstrøm på klima og økonomi er svært følsom for hva som forutsettes om renhet og pris på alternativ strøm.

Vi analyserer klimaeffekten av solceller i del 2, privatøkonomisk effekt i del 3 og begge effekter samlet i del 4. Konklusjoner følger i del 5.

2. Klima

Vi forklarer solcellens verdikjede fra vugge til grav i del 2.1, beskriver produksjon og forbruk av strøm langs verdikjeden i 2.2, begrunner vårt valg av elmiks i 2.3 og tallfester CO₂-utslippet i del 2.4.

2.1 Verdikjeden

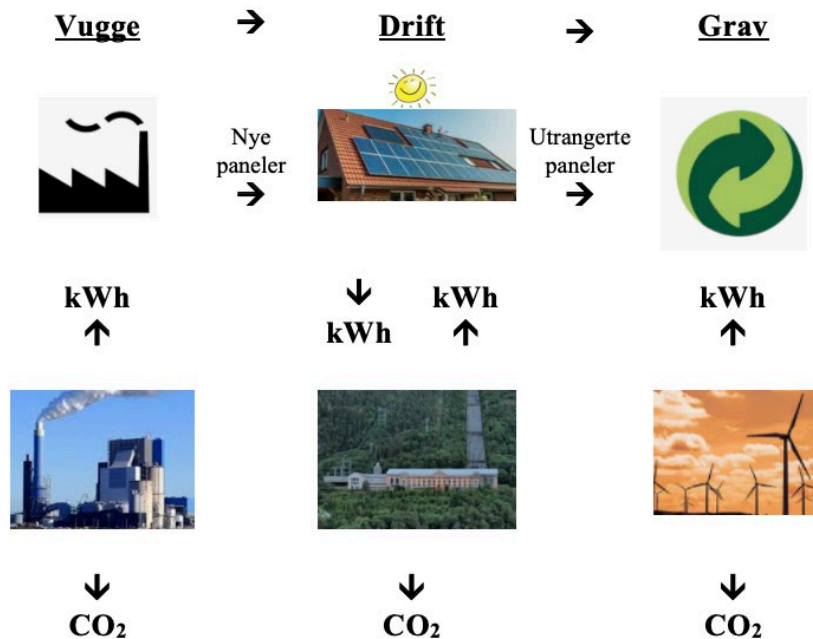
Helm (2020) argumenterer overbevisende for at evaluering av klimatiltak må ta hensyn til hele livsløpet. Det samme gjør Horne (2020), selv om hans bruk av data fra kun deler av livsløpet illustrerer at det er lettere sagt enn gjort å gjennomføre livsløpsprinsippet i praksis. De fleste eksisterende analyser og statistikker om klimautslipp begrenser seg da også til driftsfasen. Dette skjer ikke nødvendigvis på grunn av bevisste valg av smalt perspektiv, men kan skyldes at livsløpsdata er vanskelig tilgjengelig.

Livsløpsperspektivet vinner økende oppslutning, i alle fall i analyser av elbiler kontra fossilbiler. I den debatten er det ikke lenger kontroversielt å påpeke at i klimaregnskapet er økt utslipp når bilbatteriet lages like relevant som redusert utslipp når bilen kjøres (Horne, 2020). Desto mer oppsiktsvekkende er det at klimameldingen omtaler elbiler som utslippsfrie (Klima- og miljødepartementet, 2021). Ordbruken tyder på at klimapolitikken ikke har tatt livsløpsperspektivet inn over seg, selv for et virkemiddel der Norge var tidlig og kraftfullt ute.

Figur 1 viser verdikjeden for solcelleanlegg. Fabrikken øverst i venstre hjørne lager solceller, kraftverket under fabrikken leverer strøm til fabrikken, og denne strømproduksjonen gir utslipp av CO₂. Fabrikken leverer deretter solpaneler som monteres på et boligtak, og dermed starter driftsfasen. Da eliminerer solcelleanlegget det utslippet som ville ha skjedd hvis strømmen i stedet hadde kommet fra et kraftverk.

Mesteparten av den strømmen solcellene produserer går til å dekke husholdningens forbruk, mens produksjon ut over dette selges i markedet. Når forbruket overstiger produksjonen, kjøper husholdningen strøm fra et kraftverk. Etter endt innsats blir de utrangerte panelene resirkulert og destruert, som krever energi og dermed gir CO₂-utslipp.

Figur 1: Verdikjede for solceller



Figuren viser kull-, vann- og vindkraftverk som leverer strøm via nettet. I tillegg finnes petroleum-, bølge-, sol- og atomkraftverk. I virkeligheten kommer nettstrømmen til kunden fra mange ulike kraftverk. Utslippet i vuggen og spart utslipp i driften avhenger derfor av den elmiksen som lager strømmen. Jo mer fossile energibærere i elmiksen, desto skitnere strøm.

Med utgangspunkt i figur 1 skal vi først sammenligne mengden strøm som brukes når solcellepanelene lages med mengden strøm panelene produserer på hustaket. Deretter sammenligner vi økt utslipp i vuggen med redusert utslipp i driften. Siden vi ikke har funnet pålitelige utslippsdata for den siste fasen i verdikjeden, ser vi bort fra graven i beregningene. Dermed er det uklart om den faktiske utslippsgevinsten over livsløpet er lavere eller høyere enn hva våre tall reflekterer. Hvis gjenvinningen av gamle paneler reduserer strømforbruket for å lage nye paneler tilstrekkelig mye, vil det være en klimagevinst i graven. I så fall undervurderer vi livsløpsgevinsten.

2.2 Strømforbruk i vuggen og strømproduksjon i driften

Solceller er en fascinerende oppfinnelse. Dersom 34 solcellepaneler med 360 W effekt pr. panel plasseres på ca. 60 m² av et sørvendt tak på en enebolig litt nord for Bergen sentrum, vil dette anlegget produsere ca. 9 000 kWh strøm første driftsår. Dette er nesten halvparten av all strøm denne husholdningen bruker. Driftskostnadene er i praksis null.

Opplysningene om antall, størrelse og effekt pr. panel kommer fra et tilbud fra solcelleleverandøren Otovo den 8.2.2021. Dette anlegget skal vi bruke som utgangspunkt for vårt referanseeksempel, som vi kaller basisanlegget. Strømproduksjonsdata kommer fra Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) og samsvarer godt med anslaget i tilbudet. PVGIS er en EU-utviklet programpakke som nå er bransjestandard (EU Science HUB, 2021).

Fremstilling av solceller krever en temperatur på ca. 1 400 grader Celsius. Fase 1 i verdikjeden er derfor svært energikrevende. Her bruker vi data fra fem undersøkelser av strømforbruket for å lage solcellepaneler i monokrystall, som er typen med høyest virkningsgrad og også den vanligste typen i Norge. Anslagene for strømforbruket pr. panel av standard størrelse på 1,7 m² spriker fra 512 til 1 700 kWh, med et gjennomsnitt på 1 027 (Fthenakis et al., 2008; Nugent og Sovacool, 2014; Solstoyce, 2018; Xu et al., 2018; Carvalho et al., 2019). Vi antar derfor at strømforbruket i fremstillingen er 1 000 kWh pr. panel. Et anlegg med 34 paneler har dermed brukt 34 000 kWh før anlegget har produsert en eneste kWh. Utslippet under transporten av panelene er så lavt at vi ser bort fra det.³

Dette anlegget vil produsere ca. 9 000 kWh første driftsår. Ifølge tilbudet forventes produksjonen å falle med 0,5 % pr. år på grunn av effekttap i solcellene, og det oppgis en levetid på 30 år. Pannelleverandøren gir imidlertid produktgaranti mot funksjonsfeil på 15 år og ytelsesgaranti mot maksimalt 13 % effekttap etter 25 år. Selv om noen paneler sikkert vil produsere i mer enn 25 år, tilsier produktgarantien på 15 år at andre paneler vil vare kortere enn 25 år. Vi bruker derfor 25 år som levetid i vår analyse, men undersøker også effekten av 30 års levetid.

Tabell 1 viser totaltallene for strøm brukt i vuggen og spart strøm produsert i driften. Etter fire år har anlegget produsert like mye strøm som det gikk med til å lage anlegget. All strøm produsert de siste 21 årene av levetiden er derfor netto strømbesparelse. Over livsløpet produserer anlegget seks ganger så mye strøm som det gikk med til å lage det.

³ Containerskipet Emma Mærsk bruker 250 tonn olje pr. dag på en 40 dagers tur fra Kina til Europa. Skipets enorme kapasitet (15 500 containere som hver kan ta nesten 30 tonn) gjør imidlertid at utslippet fra transporten av et solcelleanlegg er under 50 kilo CO₂. Fraktkostnaden er mindre enn 100 kroner (Wikipedia, 2021).

Tabell 1: Forbruk av strøm i vuggen og produksjon av strøm i driften for basisanlegget. Tallene er avrundet til nærmeste tusen kWh

Strømförbruk i vuggen	34 000 kWh
Strömproduksjon i driften	212 000 kWh
Netto strömproduksjon over livslöpet	178 000 kWh
Netto ärlig strömproduksjon over livslöpet	7 000 kWh/är

Strömforbruket i vuggen er trolig noksä uavhengig av hvor solcellene lages. Derimot avhenger strömproduksjonen i driften sterkt av hvor anlegget plasseres. Basisanlegget fra Bergen vil produsere mer enn dobbelt sä mye ström om det plasseres i Sahara eller ved Teslas batterifabrikk i Nevadaörkenen. Sammenlignet med solrike alternativer blir solcelleanlegg i Bergen omtrent som ä plassere et vindkraftverk i dalen nord for et höyt fjell der det nesten alltid bläser fra sør. Likevel er det verd ä merke seg at hvis perspektivet pä solceller kun gjelder strömproduksjon, er nettoen pä 178 000 kWh under därlige solforhold imponerende höy.

2.3 Elmiks og utslippsfaktor

I tabell 1 viste vi basisanleggets bruk og produksjon av ström mäلت i kWh. Dersom dette anlegget gir et utslipp i vuggen eller et spart utslipp i driften pä X gram CO₂ pr. kWh, vil utslippet være antall kWh multiplisert med X. Vi kaller X strömmens utslippsfaktor.

En höy utslippsfaktor reflekterer at strömmen lages med skitten elmiks, som skjer hvis kraftverket bruker fossile energibærere, dvs. kull, olje eller gass. I Norge kommer hele 98 % av strömmen fra vannkraft, som gjør at Norge er blant landene i verden med lavest utslippsfaktor. Vi har beregnet utslippsfaktoren til 33 gram CO₂/kWh i Norge, 73 i Norden, 209 i Danmark, 274 i EU, 355 i Tyskland, 397 i USA, 555 i Kina og 674 gram i Polen. I föolge disse tallene er altså strömmen ca. 20 ganger skitnere i Polen enn i Norge.⁴

For ä illustrere hvordan våre utslippsfaktorer er beregnet, viser tabell 2 utregningen for nordisk elmiks. Förste linje i tabellen viser samlet strömproduksjonen pr. energibærer i 2019 i Danmark, Finland, Norge og Sverige (Our World in Data, 2021). Andre linje viser energibærerens utslippsfaktor, som varierer mellom 11 gram CO₂/kWh for vind og 820 for kull (IPCC, 2014; electricityMap, 2021). Her er utslippet fra hver energibærer vurdert i et livslöpsperspektiv. Fra disse dataene beregner vi i tredje linje utslippet som produksjon

⁴ For enkelhets skyld omtaler vi utslipp med begrepet CO₂. De utslippsfaktorene vi bruker reflekterer imidlertid CO₂-ekvivalenter, dvs. alle klimagassutslipp omregnet til CO₂-enheter.

multiplisert med utslippsfaktor. Summert utslipp dividert med summert produksjon gir en utslippsfaktor for Norden på **73** gram CO₂/kWh.

Tabell 2: Beregning av utslippsfaktor for nordisk elmiks i 2019

	Energibærere								Sum	Enhet
	Atomkraft	Gass	Kull	Olje	Sol	Vann	Vind	Afe*		
Produksjon	91	8	9	5	2	223	47	38	423	TWh
Utslippsfaktor	12	490	820	650	48	24	11	230	73	gram CO ₂ /kWh
Utslipp	1 086	3 920	7 626	3 315	77	5 359	516	8 740	30 639	Mtomm CO ₂

*Andre fornybare energibærere (biomasse og geotermiske)

Eksport og import av strøm gjør at utslippsfaktoren ikke bare påvirkes av landets egen energiproduksjon, men også av andre lands. Vi velger derfor å utslippsberegne norsk solstrøm utfra nordisk elmiks. Dette gir solstrøm over dobbelt så stor utslippsreduksjon som med den norske elmiksen (73 kontra 33 gram CO₂/kWh).⁵ Vi tror dette produksjonsvektede gjennomsnittet reflekterer ganske godt hvordan økt solstrømproduksjon i Norge reduserer utslippet fra alternative strømkilder. Denne egenskapen er enklest å se når vi sammenligner med de to alternative beregningsprinsippene, som er marginalmiks og restmiks.

Marginalmiks bygger på argumentet om at de relevante kildene for utslippsreduksjon er ikke alle kilder, men bare de kildene som solstrøm faktisk erstatter (enerWe, 2021). Solstrøm produseres kun på dagtid og hovedsaklig i den lyse årstiden. Da er strømprisen lavest og solstrømproduksjonen høyest også i de landene Norge har overføringslinjer til. Siden solstrøm ikke kan lagres uten store kostnader, vil mer solstrøm i Norge primært redusere bruken av vannkraft, som kan lagres til ubetydelig kostnad. Norge er derfor blant de få land der solstrøm indirekte kan lagres svært billig gjennom å bruke tilsvarende mindre magasinert vannkraft.

Marginalprinsippet anvendt på norsk solstrøm tilsier at vi burde brukt lavere utslippsfaktor enn nordisk, dvs. beveget oss nærmere den norske, som er helt vannkraftdominert. På den annen side blir ca. 17 % av norsk vannkraft eksportert og 3 % importert (Statnett, 2021a). Mest utveksles med Sverige, men også Danmark, Nederland og Tyskland er med.⁶ Deler av den norske vannkraften som norsk solstrøm erstatter ender derfor

⁵ Horne (2020, s. 226) oppgir nordisk elmiks i 2016 på 124 CO₂/kWh basert på samme gjennomsnittsprinsipp. For EU gir vår gjennomsnittsmetode en utslippsfaktor på 274, mens Energi og klima (2021) oppgir 256.

⁶ Tyskland ble en del av Norges kraftmarked den 31.03.2021 gjennom NordLink (Statnett,2021b). Denne kabelen, som allerede er full deler av døgnet, tilsvarer ca. 2 % av Tysklands strømeffekt. NordLink kan derfor ikke dekke behovet for fornybar marginalkraft fra Norge når Tyskland ikke selv produserer nok kraft fra sol og

før eller siden opp i land med høyere utslippsfaktor enn Norge. Hensyn tatt til eksport og import tilsier derfor marginalprinsippet en høyere utslippsfaktor for norsk solstrøm enn hva norsk elmiks skulle tilsi, men neppe mange ganger høyere. Vårt valg av nordisk elmiks er forenlig med dette argumentet.⁷

Restmiksprinsippet tar utgangspunkt i fysisk strømproduksjon, justerer for eksport og import, og tar dessuten hensyn til andre forhold enn fysisk strøm gjennom kvoter og opprinnelsesgarantier (AIB, 2020). Utfra restmiksprinsippet klassifiseres eksempelvis 79 % av norsk vannkraft som skitten, og vannkraften utgjør kun 3 % av norsk elmiks. Utslippsfaktoren for Norge i 2019 basert på restmiks er 396 gram CO₂/kWh (NVE, 2020). Dette er 11 ganger høyere enn for norsk elmiks fra tabell 2, drøye fire ganger høyere enn for nordisk og 40 % høyere enn for EUs elmiks.

Vi mener det er misvisende å bruke restmiksprinsippet for utslippsreduksjon fra norsk solkraft. Restmiksen reflekterer i liten grad fysisk strømproduksjon, faktisk krafthandel og solstrømmens effekt på andre strømkilder. Hovedgrunnen er at restmiks påvirkes så sterkt av opprinnelsesgarantier, som verken reflekterer handel eller forbruk av fysisk strøm. Garantiene er snarere en inntektskilde for norske kraftverk som selger kunden et symbolsk grønnvaskingsdokument, men oftest ingen grønn strøm. Kunden er primært utenlandske selskaper som bruker skitten strøm kjøpt andre steder (E24, 2019).⁸

2.4 Utslipp fra basisanlegget

For å undersøke sammenhengen mellom elmiks og solcelleanleggets utslippseffekt skal vi sammenligne land med ulik elmiks. Først antar vi at panelene produseres og driftes i samme land, dvs. at kraftverket i figur 1 er det samme langs hele verdikjeden. Tabell 3 viser utslippet når anlegget både lages og driftes i et land med skitten kontra ren elmiks, gitt av

vind. Beslutningen om å nedlegge tysk atomkraft kan dessuten medføre at mer fornybar kraft fra Norge ikke gir mindre kull- og gasskraft, som har ekstra høyt utslipp. Derimot kan konsekvensen bli en ytterligere nedbygging av atomkraft, som har ekstra lavt utslipp. En tilsvarende kabel mellom Norge og England, North Sea Link, settes i full drift 1. oktober 2021 (E24, 2021; Statnett, 2021c).

⁷ Hvis solstrøm bare kommer i tillegg til eksisterende strøm fra andre kilder, vil ikke et nytt solstrømanlegg redusere totalutslippet fra all energiproduksjon. I så fall oppstår det ingen positiv utslippseffekt i solstrømanleggets driftsfase. Motsatt blir utslippseffekten mer positiv enn ved den nordiske elmiksen vi bruker hvis ny solstrøm erstatter nybygde kraftverk i Norden, som vil ha høyere utslipp over resterende levetid enn et eksisterende kraftverk pga. utslippet i vuggen. Vi ser bort fra slike situasjoner ved å anta at nordisk elmiks reflekterer det relevante livsløpsutslippet for alternativet til solstrøm.



⁸ Hvis mer solstrøm gir mindre fossilbasert strøm, faller etterspørselen etter fossilbaserte kvoter tilsvarende. Blir de ledige kvotene overtatt av andre bedrifter i kvotepliktig sektor, får det nye solcelleprosjektet ingen effekt på utslippet. Vi ser bort fra denne mekanismen i den grad den ikke allerede er reflektert i nordisk elmiks.

utslippsfaktorer på hhv. 555 gram CO₂/kWh i Kina og 73 i Norge. Vi rendyrker effekten av elmiks ved å anta at anleggets solstrømproduksjonen er den samme begge steder.

Klimaeffekten måler vi som summert CO₂-utslipp over solcelleanleggets levetid. Denne forutsetningen, som er utbredt, innebærer at utslippet tillegges samme betydning uansett om det skjer i dag eller om 25 år (Allen et al, 2009; Hoel, 2017). Er imidlertid dagens globale klimasystem nær et irreversibelt vippepunkt mot dramatisk forverring, tilsier det at tidlige utslippsreduksjoner bør gis større vekt enn sene (Hessen, 2020). I så fall bør det brukes positiv diskonteringsrente på utslippsreduksjoner, snarere enn den nullrenten vi bruker. Vår forutsetning medfører derfor at den utslippsreduksjonen vi beregner, er mer positiv enn hva den ville ha vært under en forutsetning om vippepunkt. Hvor stor vår overvurdering av positiv klimaeffekt er, avhenger av hvor høy renten for klimaeffekter bør være. Eksempelvis vil en utslippsreduksjon om 25 år telle bare 38 % av en tilsvarende utslippsreduksjon i dag hvis det diskonteres med 4 % pr. år.

Tabell 1 viste at solcellene bruker mye mindre strøm i vuggen enn de produserer i driften. Tabell 3 viser at det samme gjelder for utslippet. Uansett elmiks er det derfor driften og ikke vuggen som betyr desidert mest for solcellenes livsløpsutslipp. Vi skal vise at driften som regel er viktigst også når vugge og drift ikke er i samme land.

Tabell 3: Elmiks og utslipp når basisanlegget lages og driftes i samme land

			Enhet
Utslippsfaktor	555	73	gram CO ₂ /kWh
Utslipp i vugge	18,9	2,5	tonn CO ₂
Redusert utslipp i drift	117,7	15,5	tonn CO ₂
Redusert livsløpsutslipp	98,8	13,0	tonn CO ₂

Fra tabell 3 kan vi konstatere at i vuggen gir ren elmiks utslippsfordel, siden solcellene da bruker og ikke lager strøm. Motsatt viser tabellen at i driften gir skitten elmiks utslippsfordel, siden ren solstrøm erstatter skitten strøm fra andre kilder. Klimamessig er det derfor best å fremstille paneler i Norge og drifte dem i Kina. Den dårligste kombinasjon er fremstilling i Kina og drift i Norge, siden skitten strøm brukes til å lage panelene, mens ren strøm fra solcellene erstatter ren strøm fra andre kilder. Dessverre for klimaet er dette den vanlige løsningen i praksis, siden Kina og noen andre asiatiske land er helt dominerende leverandører

av solpaneler. I tabell 4 ser vi nærmere på denne kombinasjonen. Forutsetningene står i seksjon A, mens utslippene er beregnet i seksjon B.

Tabell 4: Forutsetninger og beregnet utslipp når basisanlegget lages i Kina og driftes i Bergen

A: Forutsetninger

Antall paneler	34 stk
Levetid	25 år
Strømforbruk i vugge pr. panel	1 000 kWh/panel
Utslippsfaktor med vugge i Kina	555 gram CO ₂ /kWh
Utslippsfaktor med drift i Norge	73 gram CO ₂ /kWh
Strømproduksjon første driftsår	9 000 kWh/år
Årlig produksjonsendring	-0,5 %

B: Beregnet utslipp

Utslipp i vugge	18,9 tonn CO ₂
Redusert utslipp i drift	15,5 tonn CO ₂
Økt livsløpsutslipp	3,4 tonn CO ₂

Tallene i seksjon B viser at samlede utslipp er større enn samlede utslippsreduksjoner. Det betyr at over livsløpet vil solstrøm øke snarere enn redusere klimagassen i atmosfæren. Økningen er ca. 3 tonn CO₂. Bruker vi i stedet norsk elmiks og ikke nordisk, øker livsløpsutslippet fra 3 tonn til 12 tonn.

Det er tre grunner til at klimaeffekten av solceller i tabell 4 er så dårlig:

1. Solcellene lages med skitten strøm
2. Solstrømmen erstatter annen ren strøm
3. Panelene driftes et sted med lite sol

Den første grunnen illustreres av tabell 3, som viser at utslippet i vuggen faller med drøye 16 tonn (18,9 – 2,5) hvis produksjonen av panelene flyttes fra Kina til Norge, dvs. produseres med ren norsk fremfor skitten kinesisk strøm. Den andre grunnen illustreres med hva som skjer hvis anlegget driftes i Kina og ikke i Norge. Tabell 3 viser at da øker spart utslipp i driftsfasen med 102 tonn (117,7 – 15,5) fordi solstrøm ikke lenger erstatter ren norsk strøm, men skitten kinesisk.

Den tredje forklaringen på dårlig klimaeffekt er at panelene driftes på steder med lav strømproduksjon. Tabell 5 illustrerer dette poenget ved å sammenligne fem driftssteder for paneler laget i Kina.

Tabell 5: Beliggenhet og utslippsreduksjon for basisanlegget

Lokalitet	Produksjon første driftsår (tusen kWh)	Utslippsfaktor (gram CO ₂ /kWh)	Redusert livsløpsutslipp (tonn CO ₂)
Bergen	9,0	73	-3
Sandefjord	12,4	73	2
Frankfurt	12,4	355	84
Hong Kong	14,4	708	221
Nevada	21,0	397	178

Tallene for Bergen og Sandefjord reflekterer at kort geografisk avstand kan bety mye for produksjonen, siden Sandefjord produserer nesten 40 % mer strøm enn Bergen. Lav utslippsfaktor begge steder gjør imidlertid at livsløpsutslippet går fra forverring på 3 tonn CO₂ i Bergen til forbedring på 2 tonn i Sandefjord. Livsløpsutslippet er derfor nær 0 begge steder.

Produksjonen i Frankfurt er som i Sandefjord. Strømmen i Tyskland er imidlertid nesten fire ganger så skitten som i Norge. Redusert livsløpsutslipp blir dermed over 40 ganger større i Frankfurt enn i Sandefjord. Denne positive utslippseffekten av skitten elmiks i driftsfasen blir ytterligere understreket av Hong Kong. Der er produksjonen bare 15 % høyere enn i Frankfurt, men utslippsgevinsten er over 160 % større fordi elmiksen er dobbelt så skitten.

Den mest solfylte lokaliteten i tabell 4 er Nevada. Langt flere soltimer enn i Hong Kong gjør at produksjonen første driftsår er 46 % større. Likevel er redusert livsløpsutslipp lavere enn i Hong Kong fordi Nevada har atskillig renere elmiks.

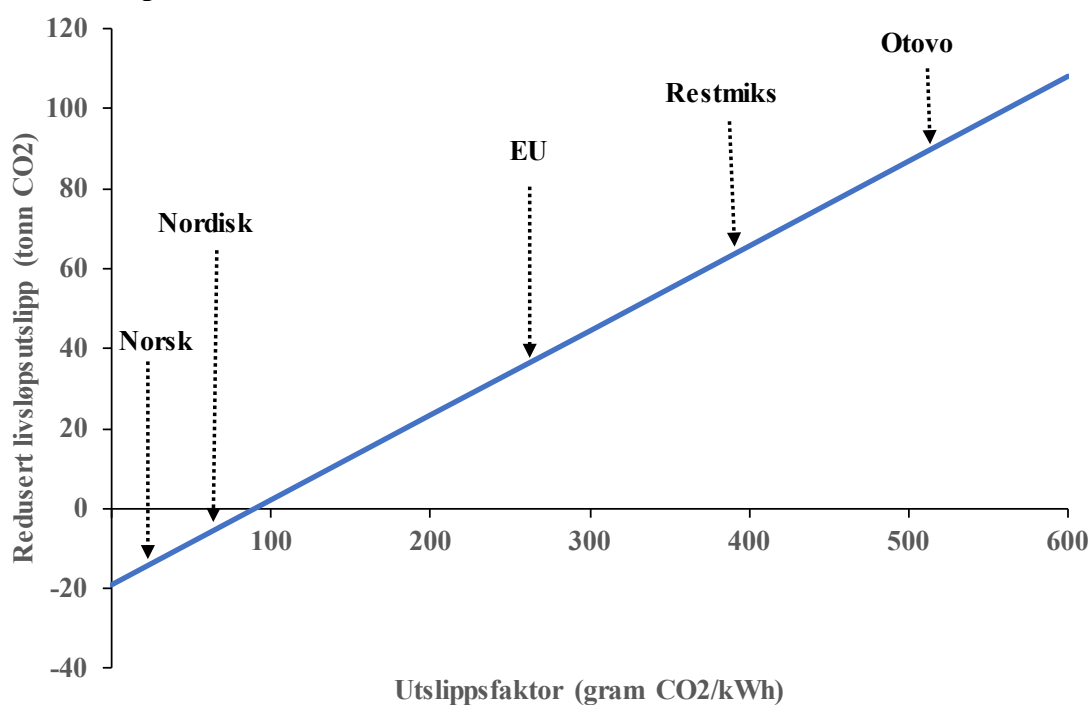
Tabell 5 illustrerer at strømproduksjonen avhenger av lokalisering gjennom makrofaktorene breddegrad og vær. Lokalisering påvirker også produksjonen gjennom mikrofaktorene skyggekilder, panelvinkel og himmelretningen panelet plasseres mot. Mens Sandefjord, i motsetning til Bergen, har nær optimale makrofaktorer i Norge, har vi valgt tilnærmet optimale mikrofaktorer begge steder. Redusert kvalitet på mikrofaktorene, slik som skyggende terreng, trær og nabobygninger, uheldig takvinkel og gavlretning, kan redusere produksjonen med ca. en firedel i forhold til optimale forhold.

Tilbudet fra Otovo oppgir at basisanlegget i Bergen gir en årlig utslippsreduksjon på 4 672 kg CO₂/år. Med 25 års levetid betyr dette mer enn 110 tonn. Utslippsreduksjon dividert med produksjon gir en utslippsfaktor på 530 gram CO₂/kWh. Denne antatte utslippsfaktoren

er 600 % høyere enn den nordiske, 90 % høyere enn den europeiske og på linje med den kinesiske. Spart utslipp på 110 tonn i Otovos tilbud er derfor en massiv overvurdering i forhold til vårt anslag på nær 0.

Figur 2 understreker dette poenget ved å kvantifisere hvor sterkt livsløpsutslippet i basisanlegget avhenger av forutsetningen om elmiks og dermed utslippsfaktor i driftsfasen. Figuren viser at utslippsgevinsten stiger med ca. 20 tonn CO₂ for hvert 100 gram utslippsfaktoren økes. Eksempelvis øker utslippsgevinsten med nær 70 tonn (fra -3 til 65) hvis nordisk elmiks (73 gram) erstattes av norsk restmiks (396 gram). Vi begrunnet i del 2.3 hvorfor utslippsgevinsten i norsk solstrømproduksjon bør beregnes med utslippsfaktor fra den venstre snarere enn høyre del av figuren, og at nordisk elmiks er det beste alternativet i venstre del.

Figur 2: Livsløpsutslippets følsomhet for antatt elmiks i driften for basisanlegget, som er produsert i Kina



Her i del 2 har vi vist at et solcelleanlegg driftet i Norge produserer mye strøm, men gir i beste fall ubetydelig klimagevinst fordi solstrømmen erstatter strøm fra rene kilder. Klimagevinsten er derimot formidabel når anlegget driftes i land med skitten alternativ strøm, dvs. der elmiksen har høy utslippsfaktor. Da reduseres årsutslippet med nesten like mye som Norges samlede årsutslipp pr. innbygger. Siden vi finner at livsløvsutslippet er svært følsomt for hvilken elmiks som forutsettes i driftsfasen, er det viktig å velge elmiks med omhu. Vi mener utslippeffekten av norsk solstrøm best reflekteres i gjennomsnittlig nordisk elmiks

eller norsk maginalmik, men ikke i norsk restmik, som antar at alternativ strøm er urimelig skitten.

3. Privatøkonomisk lønnsomhet

De privatøkonomiske konsekvensene av å investere i solceller materialiserer seg gjennom anleggets kontantstrøm over livsløpet. I denne kontantstrømmen kommer det først en utbetaling i starten når anlegget anskaffes. Denne utbetalingen er prisen på anlegget inklusive merverdiavgift (mva) minus tilskuddet fra Enova.⁹ Deretter kommer det hvert år i anleggets levetid en innbetaling fra strømsalg og en spart utbetaling til strømkjøp.¹⁰

I del 3.1 tallfester vi de komponentene strømprisen består av og viser hvilke komponenter som er relevante for å verdsette strømsalg og spart strømkjøp. Vi beregner basisanleggets lønnsomhet i del 3.2, mens vi i del 3.3 undersøker hvor følsom lønnsomheten er for de forutsetningene analysen bygger på.

3.1 Verdien av solstrømproduksjon

Innbetalingen i kontantstrømmen avhenger av verdien vi setter på den produserte solstrømmen, som enten brukes i husholdningen eller selges på det eksterne strømnettet. Solstrøm som husholdningen bruker selv, er verd det strømmen hadde kostet hvis den i stedet ble kjøpt fra nettet. Solstrømmen som selges er verd det husholdningen får for strømmen levert til nettet. Anleggets innbetaling er derfor verdien av spart strømkjøp pluss verdien av strømsalg. For å beregne disse to beløpene, må vi estimere antallet kWh solstrøm husholdningen bruker og selger samt kjøpsprisen for nettstrøm og salgsprisen for solstrøm.

Figur 3 viser beregningen av antall kWh brukt og solgt i basisanleggets første driftsår. Den grønne kurven viser månedlig solstrømproduksjon, mens den blå viser husholdningens strømforbruk.¹¹ I perioden august-april er forbruket høyere enn produksjonen. Da er spart kjøp lik produksjon, og ingen solstrøm selges. I mai-juli, da produksjon overstiger forbruk, er spart kjøp lik forbruk, og salget er differansen mellom produksjon og forbruk. Figurens felt A viser solgt strøm på ca. 1 000 kWh i denne perioden, felt B viser spart kjøp på ca. 8 000 kWh, som til sammen er produksjonen. Figuren illustrerer for øvrig at jo mindre anlegg og jo

⁹ Enovatilskuddet er kr 10 000 pluss kr 1 250 pr. installert kW. Maksimumtilskuddet er kr 28 500. Vi ser bort fra muligheten til å finansiere anlegget med leasing, fordi en slik kontrakt inngås på ordinære markedsbetingelser og er dermed en finansiell transaksjon med null nåverdi.

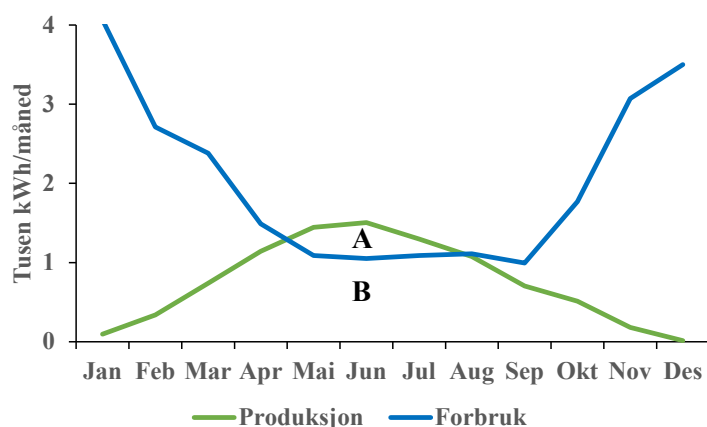
¹⁰ Eventuell betalingsvillighet for reduserte utslipp kan inkluderes i det privatøkonomiske regnestykket, men blir uten betydning i vårt tilfelle fordi klimaeffekten av solstrømanlegget er så neglisjerbar.

¹¹ Årsforbruket på ca. 24 000 kWh er 13 % under gjennomsnittet for norske eneboliger (Smarte penger, 2020).

mindre sol, desto mer av solstrømmen forblir i husholdningen. Et anlegg som ikke i noen måned produserer mer enn minimumsforbruket (1 000 kWh i september) unngår ulempen ved å selge solstrøm til lav pris og oppnår full fordel ved å spare full pris på all solstrøm.

I figuren kommer det ikke frem at også i de månedene da produksjonen overstiger forbruket (mai-juli), må husholdningen kjøpe all strøm de timene av døgnet da det ikke produseres solstrøm. For å ta hensyn til dette, antar vi at spart kjøp er 7 000 kWh snarere enn 8 000. Solgt solstrøm fra basisanlegget er dermed 2 000 kWh, som trolig er for lavt og derfor gunstig for solstrømanleggets økonomi (Accenture, 2016, side 17).

Figur 3: Salg av solstrøm og spart kjøp av nettstrøm første driftsår



I tabell 6 viser seksjon A at strømprisen i Norge består av seks komponenter. En av dem går til kraftverket som lager strømmen (spotprisen), to er for strømtransporten fra kraftverket til husholdningen (fast nettleie og variabel nettleie), og tre er avgifter (forbruksavgift, Enovaavgift og mva).

Tallene viser våre anslag på fremtidig prisnivå. Spotprisen på 40 øre u/mva er i tråd med prognosen fra NVE og Statnett for de neste tre tiårene (NVE, 2021a; Statnett, 2020). Avgiftene, som er de samme i hele landet bortsett fra i deler av Troms og Finnmark, har vi forutsatt lik dagens avgifter. Nettleie er satt lik dagens tariff i Bergen, som er representativ for det nasjonale nivået (NVE, 2021b).¹² Fremtidig spotpris, nettleie og avgifter er realstørrelser, og ørebeløpene er avrundet til hele tall.

¹² . Betydelig variasjon i nettleie mellom nettselskapene er et ytterligere argument for at lokalisering er viktig for solstrømanleggets lønnsomhet. Høsten 2021 ble vi, som mange andre, overrasket over ekstremt høye spotpriser i Sør-Norge og svært lave i Nord-Norge. Hvis dette blir permanent, vil lønnsomheten i solstrømanlegg i Sør-Norge bli vesentlig bedre enn nå og langt bedre enn i Nord-Norge.

Tabell 6: Strømprisens sammensetningA: Komponentene i strømprisen

Priskomponent	øre/kWh	Andel
Spotpris	40	39 %
Variabel nettleie	16	16 %
Fast nettleie	8	8 %
Forbruksavgift	17	16 %
Enovaavgift	1	1 %
Mva	21	20 %
Sum	103	

B: Relevante priskomponenter for solstrøm

Priskomponent	øre/kWh	Andel
Spotpris	40	43 %
Variabel nettleie	16	18 %
Avgifter	36	39 %
Sum	93	

Av de seks priskomponentene i tabellens seksjon A er fast nettleie irrelevant for investeringen fordi fast nettleie må betales uansett om husholdningen har solcelleanlegg eller ikke. Når vi utelater fast nettleie og slår sammen de tre avgiftskomponentene, blir prisen som i tabellens seksjon B, hvor nettstrømprisen på 93 øre består av tre komponenter. Vi forutsetter at alle tre forblir konstante, regnet i faste priser.¹³

For spart kjøp er den relevante prisen summen av de tre komponentene i seksjon B, dvs full nettstrømpris eksklusive fast nettleie (93 øre). For salg er det kun spotprisen uten mva som gjelder (40 øre), siden solstrømselgeren verken får utbetalt nettleie, forbruksavgift, Enovaavgift eller mva.¹⁴

Figur 3 reflekterer at solstrømproduksjonen er høyest om sommeren. Det betyr at både strømsalg og spart strømkjøp er høyest når spotprisen er lavest (Nord Pool, 2021). Denne negative sammenhengen mellom markedspris og solstrømproduksjon gjør at kontantstrømmen blir overvurdert når solstrøm verdsettes med spotprisen fra tabell 6. Motsatt blir kontantstrømmen undervurdert fordi spotprisen er lavest om natten (Nord Pool, 2021). Siden solpanelene ikke produserer om natten, blir det da heller ikke solgt eller spart strøm. Fordi vi bruker gjennomsnittsprisen snarere enn den kontinuerlige, bruker vi egentlig litt for lav pris til å verdsette salg og spart kjøp. Våre overslag tyder imidlertid på at effektene av å bruke gjennomsnittspris over året og over døgnet nøytraliserer hverandre rimelig bra. Vi ser derfor bort fra disse to effektene i estimeringen av anleggets kontantstrøm.

¹³ Summen av forbruksavgift, Enovaavgift og mva er 39 øre i seksjon A, men bare 36 øre i seksjon B. Avviket skyldes at siden fast nettleie er utelatt i seksjon B, er heller ikke mva på dette beløpet inkludert.

¹⁴ Avviket på 1 øre mellom 93 og 40+16+36 skyldes at alle tallene er avrundet til nærmeste hele tall. Vi kommenterer ikke på slike avvik heretter.

3.2 Lønnsomhet

Med forutsetningene for basisanlegget i Bergen fra tabell 4 og prisforutsetningene fra tabell 6, beregner vi kontantstrømselementet første driftsår i tabell 7. Dette beløpet er verdien av spart kjøp pluss verdien av salg. Mens solgt strøm står for 22 % av volumet på 9 000 kWh, utgjør dette salget bare 11 % av kontantstrømmen på 7 283 kroner. Det skyldes at mens spart strøm er verd 93 øre pr. kWh, er solgt strøm bare verd 40 øre. Siden anleggets produksjon faller med en halv prosent årlig til 7 980 kWh etter 25 år, faller for øvrig kontantstrømmen gradvis fra 7 283 kroner første år til 6 874 kroner det siste.

Tabell 7: Kontantstrøm første driftsår for basisanlegget

	Solstrøm (kWh)	Spotpris (øre/kWh)	Variabel nettleie (kroner)	Avgifter (kroner)	Sum (kroner)
Spart kjøp	7 000	40	2 800	36	6 483
Salg	2 000	40	800		800
Sum	9 000		3 600	2 535	7 283

Tabell 8 viser resultatet av lønnsomhetsberegningen når investeringsbeløpet på 140 000 kroner settes opp mot kontantstrømmen over 25 år. Vi bruker en reell kapitalkostnad etter skatt på 4 %, som er summen av risikofri realrente på 1 % og et risikotillegg på 3 %. Dette anslaget reflekterer historisk avkastning i det norske kapitalmarkedet for et prosjekt med moderat risiko.¹⁵ Strømprisen og kapitalkostnaden er realstørrelser.

Tabell 8: Privatøkonomisk lønnsomhet for basisanlegget, som koster 140 000 kroner. Beløp er avrundet til nærmeste tusen kroner

Nåverdi	-29 000 kroner
Internrente	1,9 %
Årlig kapitalforbruk	9 000 kroner/år
Årlig besparelse	7 000 kroner/år
Årlig netto besparelse	-2 000 kroner/år
Tilbakebetalingstid	19 år

Nåverdien er -29 000 kroner og internrenten 1,9 %. Sammenlignet med å investere til en realrente på 4 % etter skatt faller derfor husholdningens formue med 29 000 kroner hvis den

¹⁵ Vi bruker kapitalverdimodellen, hvor risikotillegget er produktet av markedets risikopremie og prosjektets risiko. Vi antar at markedets fremtidige risikopremie tilsvarer et historisk nivå på 6 %, og at risiko målt med beta for et egenkapitalfinansiert prosjekt er 0,5 (Bøhren og Gjærum, 2020).

investerer i solceller. Årlig besparelse er 7 000 kroner før kapitalforbruket er trukket fra og et tap på 2 000 kroner etter. Tapet ved å investere i basisanlegget fremfor i noe som gir 4 % er derfor 2 000 kroner hvert år i 25 år. Tilbakebetalingstiden reflekterer at investeringen er inntjent etter 19 års drift. Belaster vi prosjektet for kapitalkostnad, er ikke investeringen inntjent selv ved prosjektslutt etter 25 år. Konklusjonen er dermed klar: Prosjektet er ulønnsomt.

Økonomien i et solcelleanlegg blir åpenbart bedre jo mer strøm det produserer og jo høyere strømprisen er. I tabell 9 tallfester vi denne sammenhengen ved å beregne basisanleggets lønnsomhet på fire ulike lokaliteter. Vi antar at alle komponentene i strømprisen er variable og dermed relevante for solcelleanlegget. Dette gjør vi fordi vår kilde for internasjonale strømpriser ikke skiller mellom faste og variable priskomponenter (GlobalPetrolPrices, 2021).¹⁶ Denne forutsetningen gjør at den lønnsomheten vi beregner blir mer overvurdert desto lavere faktisk andel den variable komponenten utgjør av strømprisen. For øvrig bruker vi samme forutsetninger som for basisanlegget i tabell 4.¹⁷

Tabell 9: Betydningen av produksjon og strømpris for basisanleggets lønnsomhet

Lokalitet	Strømproduksjon første driftsår (tusen kWh)	Strømpris første driftsår (øre/kWh)	Internrente (%)	Nåverdi (tusen kroner)
Bergen	9,0	93	2 %	-29
Sandefjord	12,4	93	5 %	7
Frankfurt	12,4	330	26 %	423
Nevada	21,0	128	17 %	236

Effekten på lønnsomheten av makrofaktorene sol og breddegrad illustreres av Sandefjord kontra Bergen. De to byene har samme strømpris, men årlig produksjon er nær 40 % høyere i Sandefjord hvert år i 25 år. Dette gjør nåverdien 36 000 kroner høyere i Sandefjord, hvor anlegget er marginalt lønnsomt med en nåverdi på 7 000 kroner.

Strømprisens betydning for lønnsomheten fremkommer når vi sammenligner Sandefjord med Frankfurt. Produksjonen er den samme begge steder, men er tre ganger mer verd i Frankfurt. Dette øker nåverdien fra 7 000 kroner i Sandefjord til 423 000 i Frankfurt.

¹⁶ Databasen oppgir at norsk strømpris er gjennomsnittlig 83 øre siste år pr. juni 2020. Siden dette tallet ligger 10 øre under vår prisforutsetning i tabell 6, bruker vi 93 øre som norsk strømpris i tabell 6. Vi understreker at Tabell 9 bruker totalprisen for kjøpt strøm, hvor spotprisen bare er en av flere komponenter. Stor variasjon i spotpris over året gir derfor ikke tilsvarende variasjon i strømpris.

¹⁷ Vi antar at årlig solgt solstrøm er 2 000 kWh i Bergen og 3 500 kWh på de andre lokalitetene.

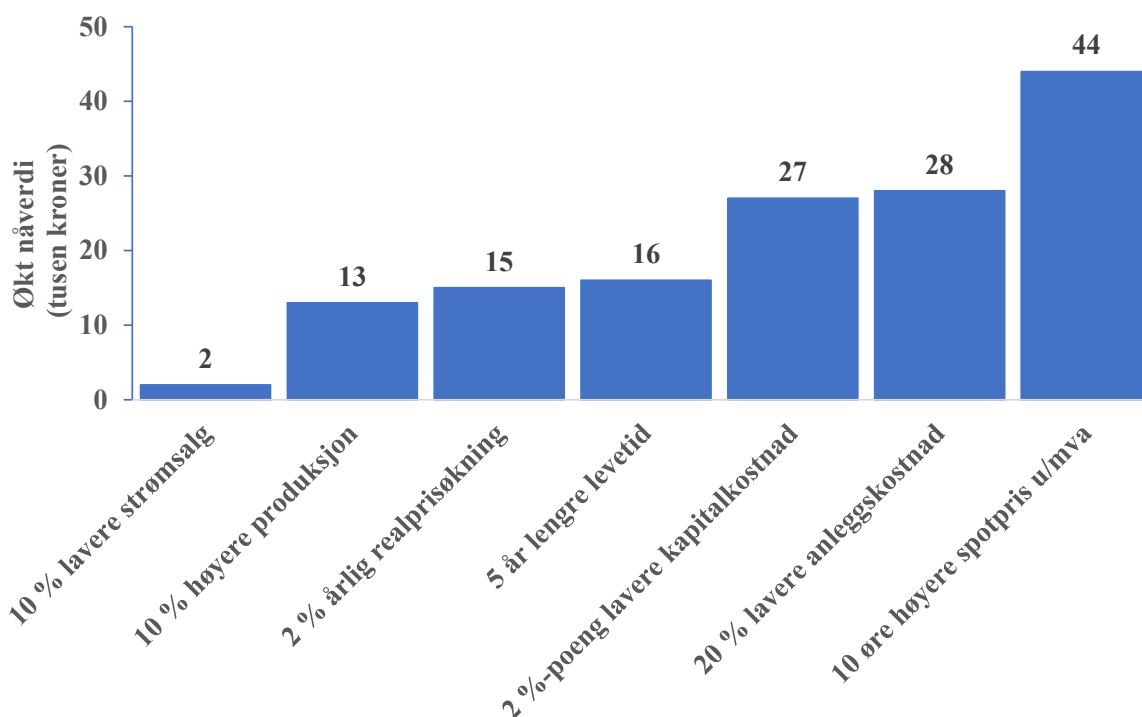
Nevada er blant de beste lokalitetene i verden hva gjelder kWh, med ca. 70 % høyere produksjon enn i Frankfurt. Likevel er nåverdien 45 % lavere fordi strømprisen i Nevada ligger ca. 60 % under prisen i Frankfurt.

Tabell 9 dokumenterer at gunstige rammebetingelser i form av gode solforhold og høy strømpris gjør solstrøm svært lønnsomt. Basisanlegget gir formuesøkning på drøye 400 000 kroner og reell internrente etter skatt på hele 26 % i det gunstigste tilfellet. Med ugunstige rammebetingelser, slik som i Norge, er investeringen så vidt lønnsom selv på de beste lokaliseringer.

3.3 Følsomhet

Vår analyse viser at den privatøkonomiske lønnsomheten av solstrøm i Norge er svak. Selv om vi har prøvd å ta velbegrunnede forutsetninger, kan det likevel hevdes at vi burde vært mer optimistiske. Med utgangspunkt i forutsetningene for basisanlegget i Bergen, som har nåverdi på - 29 000 kroner, viser vi derfor i figur 4 hva som skjer under en rekke endrede forutsetninger som alle bidrar til bedre lønnsomhet.

Figur 4: Lønnsomhet og forutsetninger i basisanlegget



Strømsalg er mindre verd per kWh enn spart strømkjøp (40 øre kontra 93 øre pr. kWh under våre forutsetninger i tabell 6). Derfor vil lavere forventet salg og tilsvarende høyere spart kjøp øke lønnsomheten. Figuren viser imidlertid at 10 % lavere forventet strømsalg bare

øker nåverdien med 2 000 kroner. Dette skyldes at i basisanlegget utgjør salget en ganske liten del av produksjonen, som i seg selv er en lønnsom tilpasning.¹⁸ Høyere produksjon er viktigere for lønnsomheten, siden 10 % høyere forventet produksjon hvert år øker nåverdien med 13 000 kroner. Omtrent samme effekt oppstår hvis forventet realprisøkning hvert år er 2 % og ikke 0 %, eller hvis forventet levetid er 30 år og ikke 25. Forventet realpris må for øvrig øke med 3,5 % årlig for at nåverdien skal bli null.

Halverer vi kapitalkostnaden fra 4 % til 2 %, stiger nåverdien med 27 000 kroner. Reduseres anleggskostnaden, øker nåverdien krone for krone. Anleggskostnad 20 % under basissituasjonens 140 000 kroner øker derfor nåverdien med 28 000 kroner. Nåverdi på null betinger dermed en anleggskostnad på 111 000 kroner, dvs. 21 % avslag. Endelig dokumenterer figuren at nåverdien er følsom for strømprisen: Øker startnivået for spotprisen u/mva fra 40 til 50 øre, øker nåverdien med 44 000 kroner.

Endrer vi alle forutsetningene i figur 4 samtidig, blir nåverdien 95 000 kroner. Dette er neppe realistisk. Dessuten kan det hende at våre forutsetninger om basisanlegget er for optimistiske. I så fall er beste anslag på nåverdien lavere enn de – 29 000 kroner vi har funnet.

Tilbudet fra Otovo omtaler lønnsomhet gjennom opplysningen «Kr 508 620 spart i løpet av 30 år». Vår beregning gir altså langt svakere resultater. Lønnsomheten er fortsatt bare en tredel av dette tallet selv hvis vi setter kapitalkostnaden ned fra 4 % til 0 % og ser bort fra hele anleggskostnaden på 140 000 kroner.

I denne del 3 om privatøkonomi har vi vist at under våre forutsetninger er solceller bare så vidt lønnsomt i Norge selv ved optimal lokalisering. Strømprisens store betydning for verdien illustreres av at anleggets nåverdi øker fra negativ til over 400 000 kroner når solstrøm erstatter dyr tysk strøm, snarere enn langt billigere norsk.

¹⁸ Strømlleverandøren Tibber garanterer 100 øre pr. kWh solgt fra solstrømanlegg, begrenset oppad til 1 000 kWh/år (Tibber, 2021). Denne prisen er 2,5 ganger den spotprisen på 40 øre u/mva som vi forutsetter. Fratrasket årsavgiften på 468 kroner vil Tibbers garantiavtale øke basisanleggets nåverdi med drøye 3 000 kroner. Lignende lønnsomhetseffekt gir tilbudet fra Midt Energi om å selge inntil 8 000 kWh solstrøm for 110 øre/kWh i løpet av abonnementsperioden (Midtenergi, 2021).

4. Klima og lønnsomhet

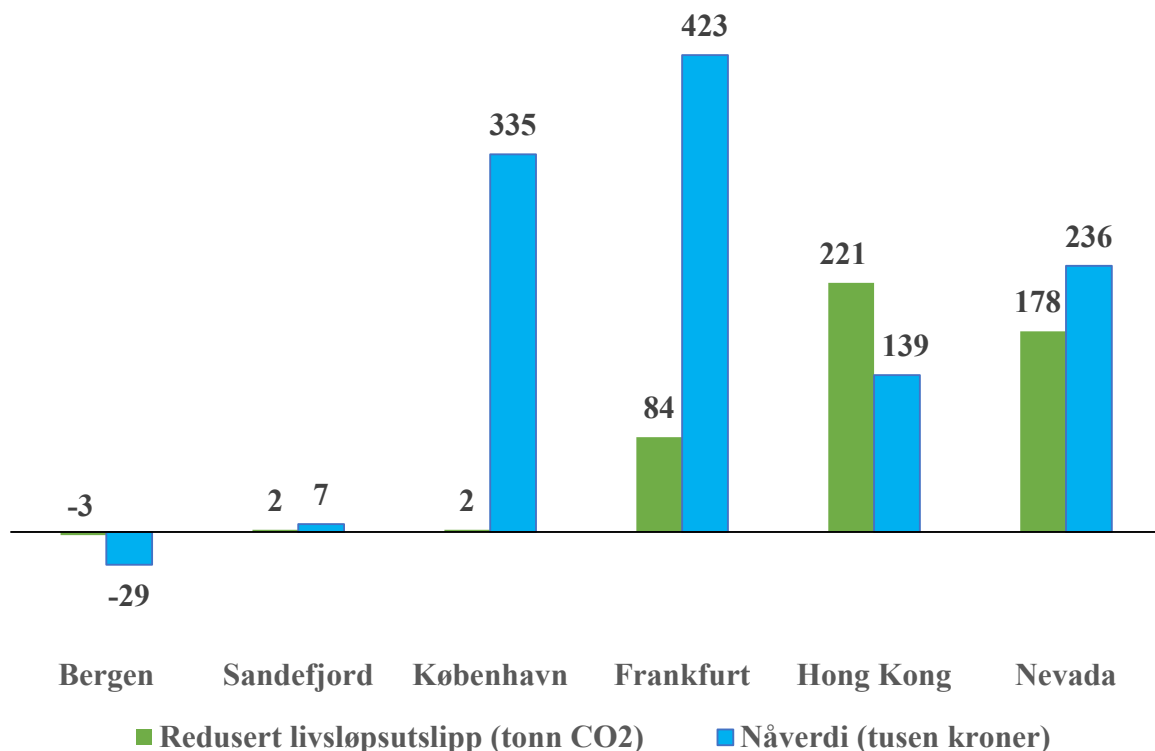
I del 4.1 analyserer vi forholdet mellom solcelleanleggets privatøkonomi og utslipp i 70 land. Vi anslår anleggets samfunnsøkonomiske lønnsomhet i Norge og avviket fra privatøkonomiske lønnsomhet i del 4.2.

4.1 Internasjonalt

Figur 5 viser både utslipp og privatøkonomisk lønnsomhet på seks ulike lokaliteter for samme basisanlegg, som vi antar er laget med skitten elmiks (555 gram CO₂/kWh).¹⁹ Figuren viser for det første at beliggenhet i Norden gir negativ eller ubetydelig utslippsgevinst, både absolutt og i forhold til de tre landene utenfor Norden. Dette skyldes både lav solstrømproduksjon og særlig at alternativet til solstrøm i Norden er annen ren strøm.

Figuren viser for det andre at mens beliggenhet i Norge gjør solstrøm i beste fall marginalt lønnsomt, er lønnsomheten høy i de andre landene, inklusive Danmark. Grunnen er at den strømmen som solstrømmen erstatter kan kjøpes mye billigere i Norge enn andre steder.

Figur 5: Utslipp og privatøkonomisk lønnsomhet for basisanlegget på seks lokaliteter



¹⁹ Vi beholder forutsetningen fra tabell 9 om at alle komponenter i strømprisen er variable.

Mønsteret i figur 5 reflekterer at i solcellens driftsfase er stor urenhet på alternativ strøm, høy utnyttelse av solcellens kapasitet og prisen på alternativ strøm de tre suksessfaktorene. Jo skitnere alternativ, jo høyere utnyttelsesgrad og jo høyere strømpris, desto bedre er solstrøm. Disse tre suksessfaktorene er makrofaktorer som bestemmes av geografisk beliggenhet.

Kvaliteten på en solstrømlokalitet avhenger av hvordan de tre suksessfaktorene er kombinert. Vi undersøker derfor de 70 største landene i verden regnet etter strømforbruk og måler de tre suksessfaktorene som henholdsvis landets utslippsfaktor (reflekterer urenheten i alternativ strøm), strømproduksjon hvis basisanlegget driftes i landets hovedstad (reflekterer utnyttelsesgraden) og markedsprisen på kjøpt strøm (reflekterer prisen på alternativ strøm). Vi antar at basisanlegget har samme anleggskostnad som i Norge uansett lokalisering. Siden vi ikke kjenner strømprisens sammensetning i hvert land, antar vi at alle priskomponentene er variable og at både solgt solstrøm og spart nettstrøm kan avregnes til full strømpris.²⁰

Tabell 10: Globale suksessfaktorer, utslipp og privatøkonomi

	Suksessfaktorer			Klimaeffekt	Økonomieffekt
	Urenhet (gram CO ₂ /kWh)	Produksjon (tusen kWh 1. år)	Strømpris (øre/kWh 1. år)	Redusert utslipp (tonn CO ₂)	Privatøkonomisk nåverdi (tusen kroner)
Gjennomsnitt	361	16,1	112	125	113
Standardavvik	188	3,5	74	85	164
Median	397	15,3	94	117	72
Laveste observasjon	24	10,2	4	-13	-129
Høyeste observasjon	729	22,5	330	272	654

Tabell 10 viser fordelingsegenskaper ved hyppighetsfordelingene for suksessfaktorer, klimaeffekt og økonomieffekt. For suksessfaktorene er gjennomsnittet 361 gram CO₂/kWh for urenhet, 16,1 kWh for første års produksjon og 112 øre/kWh for strømpris. Av de tre betyr beliggenhet minst for produksjonen. Eksempelvis er forholdet mellom høyeste og laveste observasjon ca. 2 for produksjon, 30 for urenhet og 80 for strømpris. Urenhet og strømpris betyr derfor mye mer enn produksjon for globale forskjeller i klima- og økonomieffekt.

Klimaeffekten er i gjennomsnitt 125 tonn redusert CO₂-utslipp over livsløpet, varierende mellom -13 og 272 tonn. Omregnet til årsutslipp tilsvarer dette gjennomsnittet halvparten av

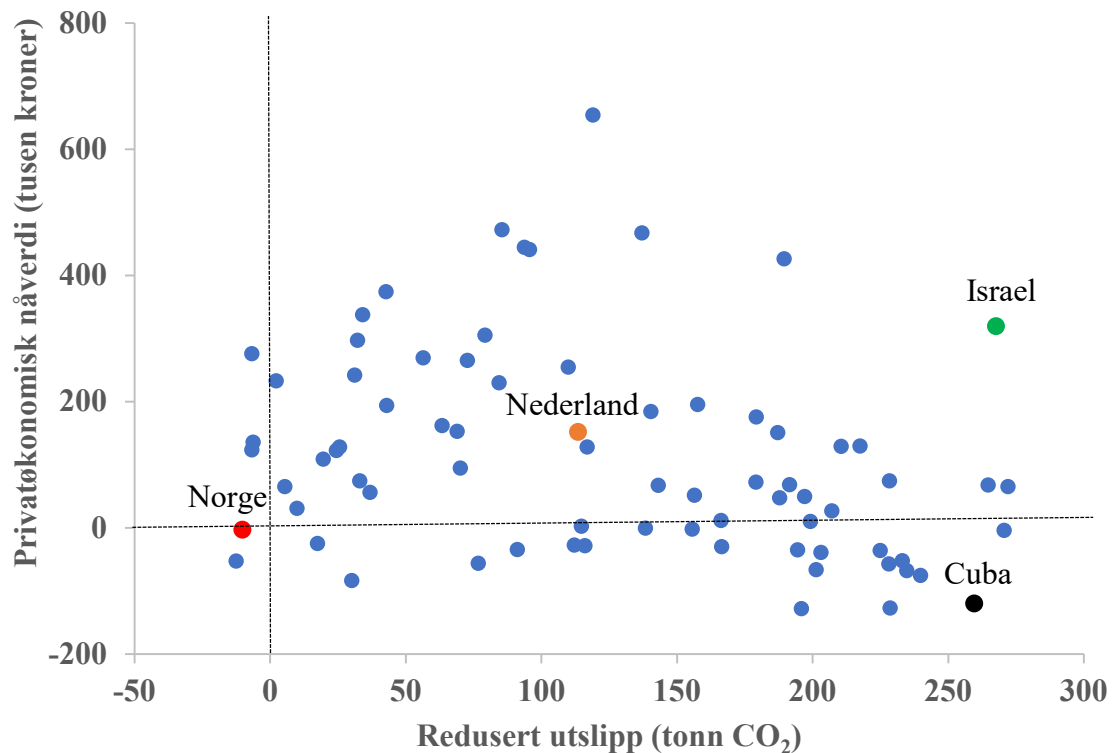
²⁰ Forutsetningen om salg til full strømpris gir mer overvurdert nåverdi desto mer produksjon som i virkeligheten må selges for mindre enn full strømpris.

årlig totalutslipp per innbygger i Norge. Til tross for utslippet i vuggen, har derfor solceller vanligvis svært gunstig klimaeffekt over livsløpet.

Vi måler privatøkonomisk nåverdi av anleggets kontantstrøm ved 4 % kapitalkostnad. Tabellen viser at verdiskapingen for eieren varierer mellom ca. -0,1 og 0,7 mill. kroner, mens gjennomsnittet er drøye 0,1 mill. Det er positiv nåverdi i 7 av 10 land, mens internrente og tilbakebetalingstid i gjennomsnittslandet er hhv. 10 % og 8 år (ikke vist i tabellen).

Tabellen reflekterer at variasjon i de tre suksessfaktorene skaper store forskjeller på tvers av land i kombinert klimaeffekt og økonomieffekt.²¹ Figur 6 viser de to effektene i hvert av de 70 landene tabellen bygger på. Norge, som er representert med Oslo i **rød**merket observasjon, skiller seg ut med at både klimaeffekt og privatøkonomisk effekt er spesielt liten. Land i denne delen av figuren kjennetegnes av ugunstig score på alle tre suksessfaktorer, dvs. ren elmiks, lav produksjon og lav strømpris.

Figur 6: Utslipp og privatøkonomisk lønnsomhet globalt for basisanlegget



I motsatt ende er eksempelvis Israel (**grønn**), som har både sterk utslippsreduksjon og sterkt privatøkonomisk insentiv til å investere i solstrøm. Dette skyldes uren elmiks, høy

²¹ Strømprisen samvarierer negativt med både urenhet og produksjon, mens urenhet og produksjon samvarierer positivt. Korrelasjonskoeffisientene er hhv. -0,35, -0,43 og +0,43, som alle er signifikant forskjellige fra null ($p < 0,01$ %). Lokaliteter flest har derfor ikke bare gunstig eller bare ugunstig score på alle tre suksessvariable samtidig.

produksjon og høy strømpris. Cuba (**svart**) er blant landene med svært gunstig utslippseffekt, men hvor det privatøkonomiske insentivet mangler på grunn av ekstremt lav strømpris (7 øre/kWh). Nederland (**oransje**) er et mer typisk tilfelle, der både utslippsreduksjon og privatøkonomisk gevinst er betydelig på grunn av ganske god score på de tre suksessfaktorene.

4.2 Samfunnsøkonomisk lønnsomhet i Norge

I del 4.1 kom vi ikke lenger enn til å stille utslippsreduksjon i tonn CO₂ opp mot privatøkonomisk lønnsomhet i kroner. Vi tok dessuten ikke hensyn til at solcelleanlegget kan være subsidiert, at strømprisen kan ha komponenter som er uavhengige av forbruk, og at noen komponenter er avgifter og dermed bare overføringer. Grunnen til dette smale perspektivet er at vi mangler data om støtteordninger og priskomponenter på de utenlandske lokalitetene.

Slike data er imidlertid tilgjengelig for Norge. Derfor beregner vi nå samfunnsøkonomisk lønnsomhet for et solcelleanlegg lokalisert i henholdsvis Bergen og Sandefjord.

Lønnsomhetsmålet viser økonomisk verdi når vi ser bort fra subsidier og avgifter, men tar hensyn til verdien av den produserte strømmen, verdien av utslippsreduksjonen og til kostnaden på innsatsfaktorene, inklusive kapital.

Vi måler samfunnsøkonomisk lønnsomhet som summen av to komponenter. Den første er nåverdien av anleggets kontantstrøm uten subsidier og avgifter, dvs. fratrukket overføringer mellom staten og eieren. Vi ser derfor bort fra privatøkonomiske fordeler av Enovatilskudd, av at spart strømkjøp gir spart mva, forbruksavgift og Enovaavgift (se tabell 6, seksjon B), samt ulempen ved å måtte betale mva på investeringsbeløpet.

Den andre komponenten i vårt mål på samfunnsøkonomisk lønnsomhet er verdien av redusert utslipp. Vi anslår denne som nåverdien av årlig utslippsreduksjon multiplisert med skattesatsen for CO₂-utslipp. I første driftsår bruker vi dagens skattesats på 544 kroner/tonn. Deretter øker vi satsen årlig med 146 kroner til 2 000 kroner/tonn etter 10 år, som er hva Regjeringen våren 2021 mente skattenivået i Norge bør være i 2030 (Klima- og miljødepartementet, 2021).

Vi bruker samme kapitalkostnad i nåverdiberegningen av begge komponentene i det samfunnsøkonomiske regnestykket. Utfra vår forutsetning om å se bort fra ekstrakostnad for vippepunkteffekter ut over det som måtte ligge i skattesatsen for utslipp, inkluderer vi ikke klimatillegg i kapitalkostnaden. I tråd med retningslinjene for statlig kost/nytte analyse velger vi en samfunnsøkonomisk kapitalkostnad på 4 % regnet i faste priser. (Finansdepartementet,

2014; DFØ 2018). Dette tilsvarer kapitalkostnaden vi valgte for å beregne privatøkonomisk lønnsomhet i del 3 ut fra en vurdering av basisanleggets risiko.

Det samfunnsøkonomiske regnestykket har flere elementer som vi ikke har tatt hensyn til. Blant de positive elementene er fordelene ved at solcelleanlegg på hustak ikke ødelegger natur og ikke beslaglegger areal med alternativ anvendelse, slik industrielle solparker, vannkraft og vindkraft gjør (MacKay, 2009). Vi har ikke grunnlag for å anslå denne verdien.

Blant de negative elementene vi ser bort fra er at den samfunnsøkonomiske fordelene ved spart nettleie er lavere enn vi har antatt. Dette skyldes at solstrømmen produseres i den varme årstiden, da nettet har ledig kapasitet og følgelig null marginal transportkostnad. Nettleien for de fleste norske husholdninger er imidlertid en kostnadsdekkende gjennomsnittspris regnet over året. I forhold til den reelle ressursbruken er derfor nettleien for lav om vinteren og for høy om sommeren. Vi mangler grunnlag for å anslå hva korrekt sommerpris på nettleie burde være.²²

I tabell 11 starter vi med å gjenta privatøkonomisk nåverdi for Bergen og Sandefjord fra tabell 9. Vi beregner så privatøkonomiske nettogevinst ved at solcelleanleggets eier mottar Enova-tilskudd, sparer avgifter på den strømmen som ikke må kjøpes fra nettet, men må betale mva på investeringsbeløpet. Denne gevinsten er 32 000 kroner i Bergen og 43 000 i Sandefjord.²³ Uten tilskudd og sparte avgifter ville derfor privatøkonomisk nåverdi ha falt fra -29 000 til -61 000 kroner i Bergen og fra 7 000 til -36 000 kroner i Sandefjord.

Den andre komponenten i samfunnsøkonomisk nåverdi er verdien av utslippsreduksjon, som er positiv på begge lokaliteter. Grunnen til at denne verdien er positiv også i Bergen, til tross for at livsløpsutslippet øker, er at vi bruker Solbergregjeringens anbefaling om raskt stigende CO₂ skatt. Dette forløpet gir mindre negativ vekt til utslippsøkning i vuggen og mer positiv vekt til utslippsreduksjon i driften. Bruker vi i stedet dagens skattesats over hele anleggets levetid, blir utslippsverdien negativ i Bergen og positiv i Sandefjord. Det samme skjer hvis vi lar skattesatsen stige med kapitalkostnaden, som gjør at utslipp tillegges samme vekt uansett når det oppstår (Hoel, Moss og Vennemo, 2020). Da blir anleggets utslippsverdi – 2 000 kroner i Bergen og 1 000 kroner i Sandefjord.

²² Hvis vi antar at sommerprisen på nettleie er 5 øre lavere og vinterprisen 2 øre høyere enn gjennomsnittsprisen, reduseres basisanleggets nåverdi med ca. 5 000 kroner.

²³ Siden Enovatilskuddet er 25 300 kroner, utgjør spart strømavgift og mva 21 % av de statlige overføringene til anlegget i Bergen og 41 % i Sandefjord.

**Tabell 11: Samfunnsøkonomisk lønnsomhet for basisanlegget i Norge.
Beløp i hele tusen kroner**

Lønnsomhetsmål	Bergen	Sandefjord
Privatøkonomisk nåverdi	-29	7
- Nåverdi av subsidier og sparte avgifter	32	43
= Nåverdi uten subsidier og sparte avgifter	-61	-36
+ Nåverdi av reduserte utslipp	6	12
= Samfunnsøkonomisk nåverdi	-56	-25
Samfunnsøkonomisk internrente	0 %	2 %

Samfunnsøkonomisk nåverdi er -56 000 kroner i Bergen og -25 000 i Sandefjord, mens internrenten ut over generell inflasjon er henholdsvis 0 % og 2 %. Samfunnsøkonomisk lønnsomhet er dermed lavere enn den privatøkonomiske på tross av positiv utslippsverdi. Grunnen er at subsidier og sparte avgifter har høy privatøkonomisk verdi, men har ingen samfunnsøkonomisk verdi i vårt regnestykke.

I følge internasjonale klimaavtaler er ikke Norge forpliktet av utslipp på import. Tabell 11, som inkluderer utslipp i utenlandsk vugge, viser derfor lavere samfunnsøkonomisk verdi enn hva som formelt følger av norsk klimapolitikk. Ser vi bort fra utslippet på 19 tonn CO₂ i vuggen i tabell 11, stiger samfunnsøkonomisk verdi med ca. 10 000 kroner på begge lokaliteter. Solceller er derfor et samfunnsøkonomisk tapsprosjekt selv uten livsløpsperspektivet.

Her i del 4 har vi vist at også når solcellens effekt på klima og økonomi sees i sammenheng, er beliggenhet nøkkelen til å skille gode løsninger fra dårlige. Skitten og dyr alternativ strøm samt mye sol gir stor utslippsgevinst og høy privatøkonomisk lønnsomhet. Dette er situasjonen i mange land, men ikke i Norge, som har uvanlig ren strøm, forholdsvis billig strøm og få soltimer. Samfunnsøkonomisk verdiskaping i Norge er lavere enn privatøkonomisk fordi verdien av utslippsreduksjon er lav og fordi solstrømeieren mottar betydelige statlige overføringer og sparer avgifter.

5. Konklusjon

Vi har dokumentert at solceller på boligtak er svært gunstig for både klima og økonomi når mye ren solstrøm erstatter skitten og dyr alternativ strøm. Gunstig beliggenhet er derfor nøkkelen til suksess. Norge er imidlertid blant de få steder i verden med ugunstig beliggenhet fordi solstrålingen er beskjedne og alternativ strøm er ren og ganske billig. Vi finner derfor at i Norge

skaper solstrøm på boligtak ikke samfunnsøkonomisk verdi, og at privatøkonomisk verdi er marginalt positiv bare på de mest solfylte lokalitetene.

Det er to grunner til at våre konklusjoner om klimaeffekten avviker så sterkt fra andres. Den første er at vi bruker livsløpsanalyse, som måler utslippene langs hele verdikjeden. Da teller ikke bare den positive effekten av spart utslipp når solcellen driftes i Norge, men også den negative effekten av økt utslipp når solcellen lages i Kina. Dermed blir klimaeffekten av solceller dårligere enn i analyser som bare inkluderer driften. Mot vår metode kan det hevdes at internasjonale klimaavtaler bare forplikter Norge til å redusere nasjonale utslipp. I det perspektivet er det forenlig med norsk klimapolitikk å ignorere importert klimaavtrykk. For den som vurderer solcelleanlegg ut fra ønsket om å redusere klimatrusselen, er imidlertid alle utslipp langs livsløpet like relevante. Dessuten viser vår analyse at selv når vi ser bort fra utslippet der solcellen lages, er solstrøm samfunnsøkonomisk ulønnsomt i Norge. Dette reflekterer at også i et livsløpsperspektiv er forholdene i driften viktigere enn i vuggen.

Den andre grunnen til at vi finner så dårlig klimaeffekt av solceller i Norge, er vår antakelse om at solstrøm erstatter strøm produsert med nordisk energimiks. Antar vi i stedet at alternativ strøm er tysk eller polsk, som er mye skitnere enn nordisk, vil norsk solstrøm komme godt ut klimamessig. Jo mer solstrøm som kan overføres mellom Norden og det europeiske kontinentet, og jo mer skitten strøm den erstatter, desto mer misvisende er det derfor å bruke nordisk elmiks fremfor europeisk. Fordi overføringskapasiteten til resten av Europa stadig forbedres, vil dermed solcelleanlegg i Norge gi bedre klimaeffekt i fremtiden enn i dag. Forutsatt, vel å merke, at det er globale klimautslipp som teller. Inkluderes derimot bare utslipp fra nasjonal produksjon, slik dagens klimaavtaler legger opp til, skulle vi ikke engang ha brukt nordisk energimiks i vår analyse, men norsk. Da ville klimaeffekten og samfunnsøkonomien blitt enda dårligere enn hva vi har anslått. På den annen side vil økt fremtidig elektrifisering av Norge kreve energi som ny vindkraft eller vannkraft ikke kan levere uten naturtap og utslipp i anleggsfasen. Dermed blir norsk elmiks mer skitten enn nå, og solstrøm vil få høyere samfunnsverdi. I samme retning går mer effektive solceller, billigere paneler og høyere strømpris.

Selgere av solcelleanlegg gir inntrykk av at gevinsten i Norge er formidabel både hva gjelder utslippsreduksjon og privatøkonomi. Staten, har, gjennom tilskuddet fra Enova på ca. 15 % av investeringsbeløpet, gitt et samlet tilskuddsbeløp på 63 mill. kroner de to siste årene. Formodentlig antar Enova at solstrøm gir klimagevinst og positiv samfunnsøkonomi, og at tilskuddet endrer anleggets effekt på privatøkonomien fra negativ til positiv. Våre funn støtter

ikke grunnlaget for denne praksisen og utfordrer argumentet om at solceller på norske boligtak er en god idé.

Det er krevende å etablere et saklig grunnlag for å vurdere om solstrøm i Norge er gunstig for klima og økonomi. Det er lett å få inntrykk av at solstrøm er en vinner, særlig på klimasiden. Vi mener dette skyldes en diskutabel forutsetning om at solstrøm erstatter svært skitten strøm. Motsatt er det like diskutabelt å hevde at elbilen er utslippsfri fordi den lades med gullende ren nettstrøm. Vi mener en slik inkonsistens reduserer kvaliteten på både private energivalg og offentlig klimapolitikk. Et avgjørende skritt for å bedre situasjonen tror vi er å etablere en allment akseptert forutsetning om hvilket klimautslipp det norske elsystemet medfører.

Referanser

- Accenture (2016), Solkraft i Norge - Fremtidige muligheter for verdiskaping, https://www.wwf.no/assets/attachments/solkraft_i_norge_fremtidige_muligheter_for_verdiskaping1.pdf.
- AIB (2020), European residual mixes 2019, https://www.aib-net.org/sites/default/files/assets/facts/residual-mix/2019/AIB_2019_Residual_Mix_Results.pdf, Association of Issuing Bodies, 2020.
- Allen, Myles R., David J. Frame, Chris Huntingford, Chris Jones, Jason Lowe, Malte Meinshausen og Nicolai Meinshausen (2009), Warming caused by cumulative carbon emissions towards the trillionth tonne, *Nature* 458, 2009, 1163-1166.
- BP (2021), Statistical review of world energy, <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>, besøkt 06.02.2021.
- Bøhren, Øyvind og Per Ivar Gjærum (2020), *Finans: Innføring i investering og finansiering*, Bergen: Fagbokforlaget, 2020.
- Campos-Guzmán, Veronica, M. Socorro García-Cáscales, Nieves Espinosa, og Antonio Urbina (2019), Life cycle analysis with multi-criteria decision making: A review of approaches for the sustainability evaluation of renewable energy technologies, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 104, 2019, 343–366.
- Monica Carvalho, Valeska Menezes, Kelly Gomes, og Raoni Pinheiro (2019), Carbon footprint associated with a mono-Si cell photovoltaic ceramic roof tile system, *Environmental Progress & Sustainable Energy* 38, 2019, 1-7.
- DFØ (2018), *Veileder i samfunnsøkonomiske analyser*, Oslo: Direktoratet for økonomistyring, 2018.
- electricityMap (2021), Climate impact by area, <https://www.electricitymap.org/map>, besøkt 10.04.2021.
- Energi og klima (2021), De største utslippslandene, <https://energiogklima.no/klimavakten/land-med-hoyest-utslipp/>, besøkt 10.04.2021.
- Energi Norge (2021), Spørsmål og svar om opprinnelsesgarantier og opprinnelsesmerket strøm, <https://www.energinorge.no/tall-og-fakta/sporsmal-og-svar/>, besøkt 29.04.2021.
- enerWe (2021), Elektrifisering gir store utslippsreduksjoner, <https://enerwe.no/co2-avgift-elektrifisering-klima/elektrifisering-gir-store-utslippsreduksjoner/393841>, besøkt 26.05.2021.
- Enova (2021), Enovatilskudd i tall, <https://www.enova.no/om-enova/om-organisasjonen/enovatilskuddet-i-tall/>, besøkt 06.02.2021.
- EU Science HUB (2021), Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS), https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#PVP, besøkt 07.02.2021.
- E24 (2019), Vil ha slutt på «grønnvasking» av kraften, <https://e24.no/det-groenneskiftet/i/WbKn7d/vil-ha-slutt-paa-groenvasking-av-kraften>, besøkt 26.05.2021.

- E24 (2021), Sendte strøm til britene for første gang: - En stor norsk ingeniørbragd, <https://e24.no/olje-og-energi/i/vA0zvB/sendte-stroem-til-britene-for-foerste-gang-en-stor-norsk-ingenioerbragd>, besøkt 09.09.2021.
- Finansdepartement (2014), Prinsipper og krav ved utarbeidelse av samfunnsøkonomisk analyser mv, Oslo: R-109/14, 2014.
- Fthenakis, Vasilis, Hyung Chul Kim og Erik Alsema (2008), Emissions from photovoltaic life cycles, *Environmental Science & Technology* 42, 2008, 2168-2174.
- GlobalPetrolPrices (2021), Norske elpriser, https://dk.globalpetrolprices.com/Norway/electricity_prices/, besøkt juni 2020.
- Helm, Dieter (2020), *Net zero. How we stop causing climate change*, London: William Collins, 2020.
- Hessen, Dag Olav (2020), *Verden ved vippepunktet*, Oslo: Res Publica, 2020.
- Hoel, Michael (2017), Klimavirkninger av skogbruk, *Samfunnsøkonomen*, 2017, 14-20.
- Hoel, Michael, Audun Moss og Haakon Vennemo (2020), Kalkulasjonspris for CO₂ og utslipp av CO₂ i transportmodellene, Oslo: Vista Analyse, 2020.
- Horne, Thomas (2020), *Den store klimaguiden. Håndbok i gode klimavalg*, Oslo: Forlaget Press, 2020.
- IPCC (2014), Technology-specific cost and performance parameters, i S. Schlömer (Ed.), *Climate change 2014: Mitigation of climate change*, Cambridge: Cambridge University Press, 2014.
- Klimavakten (2020), Norges utslipp. Klimagassutslipp siden 1990, <https://energiogklima.no/klimavakten/norges-utslipp/lo&view=table>, besøkt 27.04.2021.
- Klima- og miljødepartementet (2021), Klimaplan for 2021-2030. Oslo: Meld. St. 13 (2020-2021).
- Kvadsheim, Ole Dahle, 2020, EUs klimapolitikk og konsekvensene den har for Norge, <https://neitileu.no/aktuelt/eus-klimapolitikk-og-konsekvensene-den-har-for-norge>, besøkt 29.04.2021.
- MacKay, David (2009), *Sustainable energy-without the hot air*, London: UIT Cambridge, 2008.
- Midtenergi (2021), Bli plusskunde, <https://midtenergi.no/plusskunde/>, besøkt 05.06.2021
- Nord Pool (2021), Day-ahead prices, <https://www.nordpoolgroup.com/Market-data1/Dayahead/Area-Prices/NO/Monthly/?dd=Oslo&view=table>, besøkt 09.04.2021.
- Norsk Solenergiforening (2021), Bransjeregister, <https://finnsolenergi.no/>, besøkt 21.05.2021.
- Nugent, Daniel og Benjamin Sovacool (2014), Assessing the lifecycle greenhouse gas emissions from solar PV and wind energy: A critical meta-survey, *Energy Policy* 65, 2014, 229-244.

- NVE (2020), Varedeklarasjon for strømleverandører, <https://www.nve.no/energiforsyning/opprinnelsesgarantier/varedeklarasjon-for-stromleverandorer/?ref=mainmenu>, besøkt 26.05.2021.
- NVE (2021a), Langsiktig kraftmarkedsanalyse 2020-2040, <https://www.nve.no/energi/analyser-og-statistikk/langsiktig-kraftmarkedsanalyse/>, besøkt 09.04.2021.
- NVE (2021b), Nettleiestatistikk, <https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten/nettjenester/nettleie/nettleiestatistikk/>, besøkt 09.04.2021.
- Our World in Data (2021), Electricity production, <https://ourworldindata.org/grapher/electricity-prod-source-stacked?tab=table&stackMode=absolute&time=2019®ion=World>, besøkt 10.04.2021.
- Skatteetaten (2021), Avgift på elektrisk kraft, <https://www.skatteetaten.no/bedrift-og-organisasjon/avgifter/saravgifter/om/elektrisk-kraft/>, besøkt 07.03.2021.
- Smarte penger (2020), Dette bruker du strømmen til, <https://www.smartepenger.no/boligokonomi/2438-dette-bruker-du-strommen-til>, besøkt 09.04.2021.
- Solenergiklyngen (2021), Solcellepaneler - miljøpåvirkning gjennom levetiden, <https://www.solenergiklyngen.no/2020/03/05/http-solenergiklyngen-kunnskapsbyen-no-2020-03-05-solcellepaneler-miljopavirkning-gjennom-levetiden/>, besøkt 28.04.2021.
- Solstyce (2018), JA solar environmental product declaration, Solstyce SAS, 2018.
- Statnett (2020), Langsiktig markedsanalyse Norden og Europa 2020–2050, <https://www.statnett.no/globalassets/for-aktorer-i-kraftsystemet/planer-og-analyser/lma/2020-langsiktig-markedsanalyse-norden-og-europa-2020-50.pdf>, besøkt 21.08, 2021.
- Statnett (2021a), Tall og data fra kraftsystemet, <https://www.statnett.no/for-aktorer-i-kraftbransjen/tall-og-data-fra-kraftsystemet/#import-og-eksport>, besøkt 25.05.2021.
- Statnett (2021b), NordLink, <https://www.statnett.no/vare-prosjekter/mellomlandsforbindelser/nordlink/>, besøkt 27.05.2021.
- Statnett (2021c), North Sea Link, <https://www.statnett.no/vare-prosjekter/mellomlandsforbindelser/north-sea-link/>, besøkt 09.06.2021.
- Tibber (2021), Våre avtalevilkår, <https://tibber.com/no/avtalevilkar>, besøkt 09.04.2021.
- Wikipedia (2021), MS «Emma Mærsk», https://no.wikipedia.org/wiki/MS_%C2%ABEmma_M%C3%A6rsk%C2%BB, besøkt 04.04.2021.
- Xu, Liang, Sufang Zhang, Mengshi Yang, William Li og Jerry Xu (2018), Environmental effects of China's solar photovoltaic industry during 2011-2016: A life cycle assessment approach, *Journal of Cleaner Production* 170, 2018, 310-329.