

## Nasjonal ramme for vindkraft

---

Norsk vindkraft og klimagassutslipp

*Jon Krogvold, Anne Maren Aabøe,  
Vegard Willumsen og Fredrik Arnesen*



# Rapport, bokmål nr 18-2019

## Nasjonal ramme for vindkraft

**Utgitt av:** Norges vassdrags- og energidirektorat  
**Redaktør:** Vegard Willumsen  
**Forfatter:** Jon Krogvold, Anne Maren Aabø,  
Vegard Willumsen og Fredrik Arnesen

**Trykk:** NVEs hustrykkeri  
**Forsidefoto:** Bjørn Lytskjold/NVE  
**ISBN:** 978-82-410-1842-8  
**ISSN:** 1501-2832

**Sammendrag:** I denne rapporten går vi gjennom sammenhenger mellom klimagassutslipp og landbasert norsk vindkraft.

**Emneord:** Nasjonal ramme, klima, vindkraft, klimagassutslipp, THEMA, kvotesystem, EU ETS

Norges vassdrags- og energidirektorat  
Middelthunsgate 29  
Postboks 5091 Majorstua  
0301 OSLO

Telefon: 22 95 95 95  
Epost: [nve@nve.no](mailto:nve@nve.no)  
Internett: [www.nve.no](http://www.nve.no)

1.4.2019

# Innhold

<b>Forord</b> .....	<b>2</b>
<b>Sammendrag</b> .....	<b>3</b>
<b>1 Innledning</b> .....	<b>4</b>
<b>2 Klimagassutslipp og fornybar energiproduksjon</b> .....	<b>4</b>
2.1 Parisavtalen og IPCCs rapport om 1,5 grader .....	4
2.2 EU har et mål om 85-95 prosent utslippsreduksjon innen 2050 .....	4
2.3 Utslippene i energisektoren er omfattet av det europeiske kvotesystemet.....	5
<b>3 Klimavirkning av norsk vindkraft i det europeiske kraftmarkedet</b>	<b>6</b>
3.1 Norge er en del av det europeiske kraftmarkedet.....	6
3.2 Kraftmarkedsanalyse av vindkraft og klimagassutslipp .....	7
3.2.1 Metode.....	7
3.2.2 Vindkraft erstatter fossil energi.....	7
3.2.3 Overføringskapasiteten mellom Norden og Europa øker .....	9
3.2.4 Virkninger for kraftpris og -forbruk .....	10
<b>4 Referanser</b> .....	<b>11</b>

# Forord

Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) har fått i oppdrag av Olje- og energidepartementet (OED) å lage et forslag til en nasjonal ramme for vindkraft på land.

Den nasjonale rammen skal bestå av:

- Et oppdatert kunnskapsgrunnlag om virkninger for miljø og samfunn
- Kart over de mest egnede områdene for vindkraft

I denne rapporten går vi gjennom sammenhenger mellom klimagassutslipp og landbasert norsk vindkraft. Andre rapporter og mer informasjon om nasjonal ramme for vindkraft finnes på [www.nve.no](http://www.nve.no).

Oslo, april 2019



Rune Flatby  
direktør



Erlend Bjerkestrand  
prosjektleder

# Sammendrag

Som en del av arbeidet med nasjonal ramme har NVE sett på sammenhengen mellom klimagassutslipp og landbasert norsk vindkraft. Sammenhengen er avhengig av i hvilken grad vindkraftproduksjon i Norge påvirker klimagassutslippene i den norske eller europeiske kraftsektoren, eller i andre sektorer.

Norsk kraftproduksjon er en del av det europeiske kvotesystemet (EU ETS). Kvotesystemet skal bidra til å redusere utslippene av klimagasser i Europa. Fossil kraft skal erstattes med utslippsfri kraft. Norge har gode naturgitte forutsetninger for å skape verdier av å levere utslippsfri kraft til erstatning for fossil kraft som fases ut.

Mer fornybar kraftproduksjon i det europeiske kraftmarkedet, inkludert fra Norge, bidrar til mindre bruk av de fossile kraftverkene. Det bidrar igjen til et større kvoteoverskudd. Deler av det økte kvoteoverskuddet blir i sin tur dratt inn gjennom markedsstabiliseringsreserven (MSR). MSR regulerer tilbudsoverskuddet av klimakvoter. Blir overskuddet av kvoter stort vil det bli mulig å permanent slette kvoter som ligger i MSR.

Et overskudd av kvoter over tid kan også bidra til at det blir lettere og mindre kontroversielt å stramme inn kvotemarkedet ytterligere. I så fall vil økt fornybar kraftproduksjon i Europa og i Norge gi en helt direkte reduksjon i de samlede klimagassutslippene i Europa.

For å vise sammenhengen mellom klimagassutslipp fra europeisk kraftproduksjon og landbasert vindkraft i Norge, har vi simulert vindkraftens påvirkning på klimagassutslipp fra det europeiske kraftmarkedet. I simuleringene vil 10 TWh norsk vindkraft i 2025 redusere de årlige utslippene med rundt 5 millioner tonn CO<sub>2</sub>. Dette tilsvarer om lag 10 prosent av Norges samlede utslipp.

Rundt en tredjedel av det norske energiforbruket kommer fortsatt fra fossile energikilder. Ved ytterligere elektrifisering av samfunnet kan mer fornybar kraftproduksjon i Norge over tid også bidra til reduserte klimagassutslipp nasjonalt.

# 1 Innledning

Denne rapporten inngår som en del av NVEs forslag til nasjonal ramme for vindkraft. I arbeidet med rapporten har NVE gjennomført en analyse av hvilken påvirkning norsk landbasert vindkraft kan ha på utslipp av klimagasser fra kraftproduksjon i Europa. Ettersom rapporten er skrevet i sammenheng med nasjonal ramme for vindkraft, har vi kun analysert klimaeffekten av mer vindkraftutbygging og ikke andre fornybare energiteknologier. Vi har også gjennomført en litteraturgjennomgang av klimagass- og energiregnskapet til vindkraft i et livssyklusperspektiv. Det er laget en egen temarapport om dette.

## 2 Klimagassutslipp og fornybar energiproduksjon

### 2.1 Parisavtalen og IPCCs rapport om 1,5 grader

Parisavtalen, som Norge har forpliktet seg til å følge, ble vedtatt i desember 2015. Dette er en internasjonal avtale som skal sørge for at verdens land klarer å begrense klimaendringene. Hovedpunktene i avtalen er følgende:

- *Alle land har forpliktelser til å kutte klimagassutslipp.*
- *Det er enighet om å begrense global oppvarming til 2 grader, helst ikke mer enn 1,5 grader.*
- *Landene skal lage en plan for utslippskutt og må rapportere om utslippskutt og nye mål.*

I forbindelse med Parisavtalen har FNs klimapanel (IPCC) utarbeidet en spesialrapport om følgene av en målsetning om å holde den globale oppvarmingen under 1,5 °C, og hvordan målsetningen kan nås. IPCC publiserte spesialrapporten oktober 2018 med hovedbudskap om at virkningene av 2°C global oppvarming er betydelig mer alvorlige enn virkningene av 1,5°C. Rapporten gjør det klart at det må skje omfattende og raske utslippskutt i alle land og i alle sektorer, hvis 1,5-gradersmålet skal nås. IPCC mener klimagassutslippene må reduseres med 40-50 prosent innen 2030 sammenlignet med 2010, og i 2050 må CO<sub>2</sub>-utslippene være netto null.

### 2.2 EU har et mål om 85-95 prosent utslippsreduksjon innen 2050

EUs mål mot 2050 er å redusere klimagassutslippene med 85-95 prosent i forhold til 1990-nivå. For å få til dette, har EU blant annet mål om å redusere klimagassutslippene med 40 prosent innen 2030 sammenlignet med 1990-nivå, øke fornybarandelen i energisektoren til 32 prosent og oppnå 32,5 prosent energieffektivisering innen 2030. Den 25.oktober 2018 vedtok Europaparlamentet en ikke-bindende resolusjon om at EU skal ha en målsetning om 55 prosent utslippskutt innen 2030.

I EUs vedtak av fornybardirektivet fra 2009 ble det fastsatt en samlet europeisk fornybarandel på 20 prosent innen 2020. Fornybardirektivet ble vurdert til å være EØS-relevant, og det ble forhandlet frem et mål om en fornybarandel på 67,5 prosent i Norge innen 2020. Som et virkemiddel for å øke fornybarandelen gikk Norge inn i den svenske el-sertifikatorordningen.

## 2.3 Utslippene i energisektoren er omfattet av det europeiske kvotesystemet

Den europeiske kraftbransjen er, sammen med industri og en del andre bransjer, omfattet av det europeiske kvotesystemet ETS (The EU Emissions Trading System – EU ETS). Kvotesystemet er et markedsbasert avgiftssystem som regulerer de samlede CO<sub>2</sub>-utslippene fra kraftproduksjon og deler av den europeiske industrien (kvotepiktig sektor).

For at EU skal nå målet om 85-95 prosent reduksjon i klimagassutslipp innen 2050, reduseres hvert år antallet utslippkvoter i kvotesystemet. Alt annet likt betyr en reduksjon i antallet utslippkvoter at kvoteprisen (karbonprisen) øker.

I et kvotemarked der antall utslippkvoter er gitt, vil økt tilgang på CO<sub>2</sub>-fri kraft kunne redusere etterspørselen etter utslippkvoter i *kraftsektoren*. Dette muliggjør at andre i kvotepiktig sektor, for eksempel industri, kan kjøpe utslippkvotene som ikke blir brukt i kraftmarkedet. Resultatet ville i så fall være at kraftsektoren slipper ut mindre, mens industri slipper ut tilsvarende mer. De totale utslippene er dermed uendrede og bestemt av kvotetaket, selv med økt fornybar kraftproduksjon.

Siden finanskrisen har det kvotesystemet vært preget av et økende tilbudsoverskudd og lave priser, blant annet på grunn av redusert industriproduksjon. Etter en lang og omfattende politisk prosess i 2015 ble EUs medlemsland enig om å etablere en markedsstabiliseringsmekanisme. Denne mekanismen har som formål å redusere overskuddet av utslippkvoter som bygget seg opp gjennom andre og tredje kvotehandelsperiode. Mekanismen ble innført med virkning fra 01.01.2019 (se nedenfor).

I april 2018 ble det videre oppnådd enighet blant EUs medlemsland om regelverket knyttet til 4. handelsperiode for utslippkvoter, 2021-2030. Det ble bestemt at den årlige reduksjonsfaktoren for kvotemengden skal økes fra 1,74 prosent til 2,2 prosent per år. Disse tiltakene har bidratt at kvoteprisen har økt i løpet av det siste året.

Når kvoteprisen øker, øker produksjonskostnadene for CO<sub>2</sub>-intensiv kraftproduksjon som kull og gass. Lønnsomheten til disse teknologiene går dermed ned. Utslippsfri kraftproduksjon, som vannkraft og vind, får ikke økte produksjonskostnader som følge av økt kvotepris, og øker dermed sin konkurransekraft. Dette er i tråd med slik kvotesystemet er ment å virke: Lønnsomheten vris bort fra CO<sub>2</sub>-intensive alternativer og over til alternativer med lave eller ingen utslipp av CO<sub>2</sub>. Fornybar kraft erstatter fossil kraft gjennom en markedsdrevet grønn omstilling.

Teknologiutvikling har gjort fornybar kraftproduksjon som vindkraft billigere, og NVE forventer en fortsatt kostnadsreduksjon på vindkraft. Det kan bidra til en raskere omstilling i kraftsektoren og dermed mindre etterspørsel etter utslippkvoter i denne sektoren. En mindre etterspørsel etter utslippkvoter vil føre til at kvoteprisen faller. Dette

muliggjør en ytterligere innstramming av utslippskvoter i tråd med gjeldende klimapolitiske målsettinger.

Markedsstabiliseringsreserven (MSR) regulerer tilbudsoverskuddet av utslippskvoter. Fra og med 2019, og i 5 år framover kan inntil 24 prosent av kvoteoverskuddet<sup>1</sup> plasseres i reserven. Dersom det oppstår knapphet på utslippskvoter, kan utslippskvoter tas ut av reserven og føres tilbake på kvotemarkedet.

Fra 2023 skal man også permanent slette den delen av MSR som overstiger samlet antall utslippskvoter som ble auksjonert i kvotesystemet året før. MSR kan på denne måten bidra til å stabilisere kvoteprisen til et ønsket nivå. Det vil bli mulig å slette utslippskvoter som ligger i markedsstabiliseringsreserven.

Sammen med den årlige reduksjonen av kvotetaket vil permanent sletting av utslippskvoter bidra til å øke ambisjonsnivået og størrelsen på samlede utslippskutt frem mot 2030.

## **3 Klimavirkning av norsk vindkraft i det europeiske kraftmarkedet**

### **3.1 Norge er en del av det europeiske kraftmarkedet**

Elektrisk kraft må produseres i samme øyeblikk som den forbrukes. Norden<sup>2</sup> er ett synkronområde. Det betyr at mengden kraft som mates inn i det nordiske kraftsystemet i form av produksjon og import til enhver tid må tilsvare det som tas ut av systemet (forbruk og eksport).

Det nordiske synkronområdet er knyttet til andre land i Nord-Europa. Norge har omfattende overføringskapasitet til Sverige, Danmark og Nederland. Nye forbindelser til Tyskland og England er under bygging og er trolig i drift i løpet av 2021. Det er også flere nye forbindelser under planlegging og bygging mellom de andre nordiske landene og kontinentet og England.

Kraftetterspørselen varierer over døgnet, gjennom uken og året. Den varierende etterspørselen dekkes av ulik miks av kraftproduksjon. Kraftproduksjonen fra fornybare energikilder som vind, sol og småkraft varierer i takt med henholdsvis vindforhold, solinnstråling og vannføring i elvene. Når slike kraftverk først er bygget, vil det lønne seg å utnytte dem i den grad energiressursene er tilgjengelig og kan utnyttes. Regulering av produksjonen i takt med kraftetterspørselen skjer derfor først og fremst med andre typer produksjonsteknologier.

Kjernekraften er også lite regulerbar på kort sikt og best egnet til å produsere jevnt. Varmekraftverk kan i større grad reguleres for å dekke kraftbehovet i markedet som ikke er dekket av væravhengig fornybar og kjernekraft, men kraftprisen må dekke utgifter til brensel (kull, gass eller biobrensel) og kjøp av utslippskvoter for at det skal lønne seg å starte opp slike kraftverk. Vannkraftverk med reguleringsmagasin er den mest fleksible

---

<sup>1</sup> Kvoteoverskudd er definert som Totalt antall kvoter i sirkulasjon = Tilbud – (Etterspørsel + kvoter i MSR).

<sup>2</sup> Norge, Sverige, Finland og Sjælland. Jylland tilhører det kontinentale synkronområdet.



produksjonsteknologien. Produksjonen fra slike anlegg kan raskt og rimelig justeres opp eller ned i takt med behovet for kraft.

Fordi det norske kraftsystemet er koblet til det nordiske og europeiske kraftsystemet, vil endringer i krafttilgangen i Norge også påvirke kraftproduksjonen i omkringliggende land. Det integrerte kraftsystemet gjør at Norge, Norden og det øvrige Europa kan utveksle kraft med hverandre. Kraftproduksjon i hele det europeiske kraftmarkedet består av en miks av kullkraft, gasskraft, kjernekraft, og en økende andel fornybar kraft fra hovedsakelig vannkraft, solkraft og vindkraft. Den faktiske mengden CO<sub>2</sub>-utslipp fra kraftproduksjon beror på hvilke energiteknologier som produserer.

## **3.2 Kraftmarkedsanalyse av vindkraft og klimagassutslipp**

Sammenhengen mellom økt produksjon av vindkraft i Norge er ikke rett fram. Som vi har beskrevet i kapittel 4, kan økt vindkraft medføre reduserte klimagassutslipp i *kraftsektoren*. Hvis reduserte utslipp i kraftsektoren legger til rette for ytterligere innstramning av kvotesystemet, kan reduserte utslipp i kraftsektoren også redusere samlede utslipp i Europa.

### **3.2.1 Metode**

I analysen er kraftmarkedsmodellen Thema brukt til å simulere kraftmarkedet. Resultatene er sensitive for forutsetningene som legges til grunn. Spesielt viktige i denne analysen er antagelsene om tilgjengelig utvekslingskapasitet og utslipp fra kraftsektoren i Nord-Europa i fremtiden. Modellforutsetningene er beskrevet i detalj i NVE rapport nr. 84/2018 (NVE, 2018).

Modellen tar ikke hensyn til eventuelle effekter på investeringer i kraftsektoren, markedet for utslippskvoter eller fysiske begrensninger i kraftflyten utover de antatte handelskapasitetene i modellen. Det vil si at modellen ikke beregner eller foretar nye investeringer som ikke er forutsatt, i for eksempel vindkraft og nett. Disse momentene vurderes hver for seg i neste delkapittel fordi de er relevante for vurderingen om økt vindkraft i Norge kan bidra til å redusere samlede utslipp i Europa.

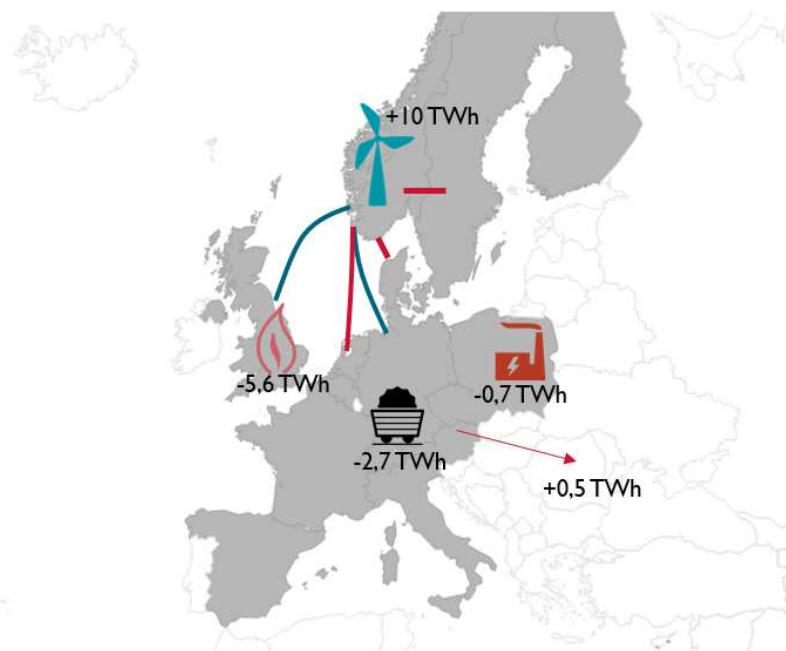
Beregningene er gjort for 2025 i et hydrologisk normalår. NVE forutsetter da at det er bygget 18 TWh landbasert vindkraft i Norge. Med dette som grunnlag simuleres klimaeffekten av å legge til ytterligere 10 TWh vindkraft i Sør-Norge (NO2), totalt 28 TWh vind i 2025. Modellens resultater viser i hvilken grad de 10 TWh vindkraft påvirker kraftmarkedet i Europa for øvrig, i form av endringer i krafteksport, fossil kraftproduksjon, CO<sub>2</sub>-utslipp.

### **3.2.2 Vindkraft erstatter fossil energi**

Simuleringene viser at økt vindkraftutbygging i Norge kan gi utslippsreduksjoner fra kraftsektoren i Nord-Europa, med forutsetning om at den økte utbyggingen plasseres i områder med gunstige nettf forhold for krafteksport. Utslippsreduksjonen følger av at vindkraft har lavere driftskostnader enn fossil kraftproduksjon, og at det er tilstrekkelig eksportkapasitet ut av Norge.

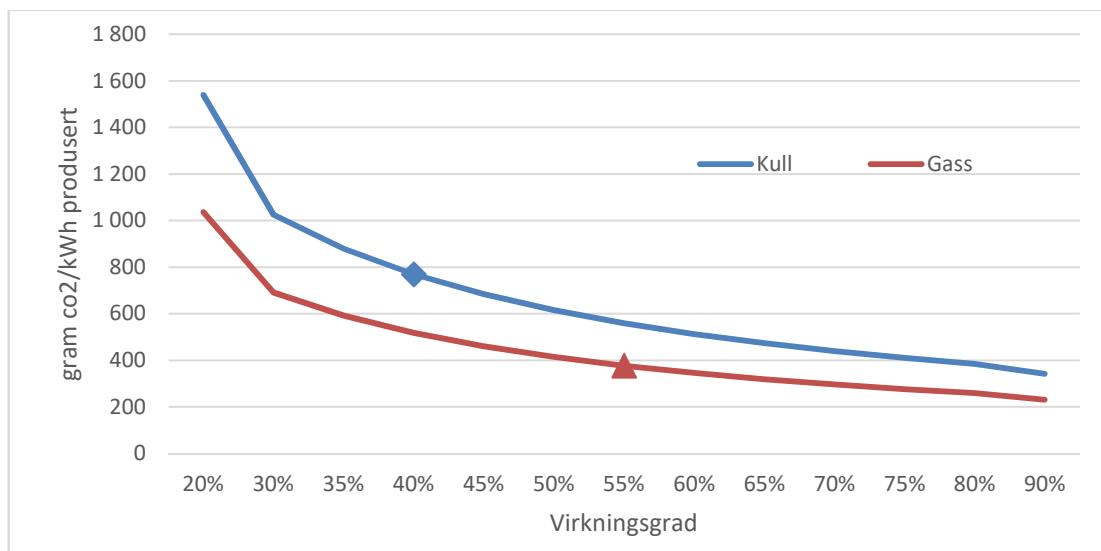
Resultatene fra simuleringen viser at norsk landbasert vindkraft erstatter fossil kraftproduksjon i Europa. I simuleringen blir 9,5 TWh kraft eksportert ut av Norge og Norden, dersom vi bygger ytterligere 10 TWh vindkraft i Norge, se figur 1. Det oppstår et transporttap på om lag 0,5 TWh. Av de resterende 9,5 TWh som eksporteres flyter 0,5 TWh ut av det modellerte systemet (hovedsakelig til Øst-Europa).

Simuleringen viser at gasskraftproduksjon, kullkraftproduksjon og kombinert varme- og el-kraftproduksjon basert på fossile brenslere, reduseres med henholdsvis 5,6 TWh, 2,7 TWh og 0,7 TWh per år. I modellen vil norsk vindkrafts erstatning av fossil kraft utgjøre en reduksjon i klimagassutslipp i kraftsektoren i Europa med om lag 5 millioner tonn CO<sub>2</sub> per år. Dette tilsvarer om lag 10 prosent av Norges totale utslipp i 2017 (SSB, 2019).



**Figur 1: Eksempel på kraftflyten fra 10 TWh vindkraft. Bildet skal illustrere hvor 10 TWh vindkraft i Norge flyter og hva det erstatter. Røde overføringsforbindelser illustrerer kabler i drift, mens blå beskriver de kablene som forventes at er satt i drift i løpet av 2021. Plasseringen av symbolene som skal illustrere kraftverk er tilfeldige.**

Figur 1 viser resultatene for 10 TWh vindkraft i 2025. Vi får en lavere utslippsreduksjon lenger frem i tid. Dette skyldes at kullkraft utgjør en mindre andel av kraftproduksjonen etter hvert som flere land faser ut kullkraftverk. I tillegg vil prisen på utslippskvoter påvirke produksjonskostnaden til termiske kraftverk. Ettersom kullkraft i snitt slipper ut omtrent dobbelt så mye CO<sub>2</sub> per kWh i forhold til gasskraft, vil en økning i kvoteprisen påvirke kullkraft dobbelt så mye. En relativ høy kvotepris kan medføre at marginalkostnaden til kull og gass blir om lag lik selv om gassprisen er høyere enn kullprisen. Et effektivt gasskraftverk kan da utkonkurrere et mindre effektivt kullkraftverk, se figur 2.



**Figur 2:** Figuren viser sammenhengen mellom utslipp per kWh og virkningsgrad for gasskraft og kullkraftproduksjon. Det er vanlig å anta 40 % virkningsgrad for et kullkraftverk, noe som gir et utslipp i underkant av 800g/kWh produksjon. Et typisk gasskraftverk vil ha en virkningsgrad på 55 %, og ha et utslipp på 375g/kWh.

Med en høy kvotepris kan gasskraft bli billigere å produsere enn kullkraft, og man oppnår da et brenselsbytte («fuel switch») hvor virkningen er vesentlig lavere CO<sub>2</sub>-utslipp på grunn av mindre brukstid for kullkraftverk. Kvoteprisen er dermed med på å bestemme hvilken fossil kraftproduksjon som blir erstattet av vindkraft, ettersom kvoteprisen blant annet er førende for hvor stor andel kull og gass det er i kraftmiksen til enhver tid.

### 3.2.3 Overføringskapasiteten mellom Norden og Europa øker

Det europeiske kraftsystemet gjennomgår en stor endring der termisk kraftproduksjon fra kull- og kjernekraft reduseres samtidig som det bygges store mengder uregulerbar vind- og solkraft. Dette krever en høyere utbyggingstakt av kraftnett og overføringskapasitet mellom land enn tidligere. Det er forventet store økninger i overføringskapasitet både innad i enkeltland og på tvers av landegrenser. I 2025 er det forutsatt at utvekslingskablene til England og Tyskland er i drift<sup>3</sup>, i tillegg til at det er antatt en kraftig økning i Europas nettkapasitet fra 2018-2025. På bakgrunn av dette vil det ikke oppstå vesentlige utvekslings-flaskehalser, dersom det legges inn 10 TWh mer vindkraft i 2025.

I vår analyse møter norsk krafteksport få fysiske hindringer og flyter i stor grad fritt dit behovet er størst. Selv om det er nok utvekslingskapasitet til å øke norsk krafteksport med 10 TWh, kan det være fysiske flaskehalser internt i områder som begrenser hvor mye kraft som kan overføres i driftstimen. Da er det mer uklart hva slags produksjonsteknologi norsk vindkraft faktisk erstatter.

<sup>3</sup> Konesjonssøknad til utlandskabel til Skottland (NorthConnect) er under behandling i NVE per april 2019 og er ikke inkludert i analysen.

### **3.2.4 Virkninger for kraftpris og -forbruk**

Høyere vindkraftproduksjon vil gi et større kraftoverskudd i Norge. Isolert sett vil dette redusere norske kraftpriser. I kraftmarkedsanalysen fra 2018 framskriver NVE en økning i kraftpris på 6-7 øre/kWh mot 2030, men at prisendringen kan påvirke prisområder ulikt. Med 10 TWh mer vindkraft i Norge reduseres prisøkningen til 4-5 øre/kWh fordi den økte vindkraften fører til reduserte kraftpriser.

Modellen tar ikke hensyn til at reduserte kraftpriser kan få ringvirkninger i form av endret investeringstakt i kraftproduksjon eller -forbruk i Norge. Eksempler på ringvirkninger kan være mindre energieffektivisering eller raskere elektrifisering av transportsektoren, som på sin side gir reduserte utslipp i Norge. En slik tilpasning til lavere priser kan i så fall begrense noe av hvor mye av den økte vindkraften som kan eksporteres.

## 4 Referanser

NVE (2018) *Kraftmarkedsanalyse 2018 – 2030*. Rapport nr.84/2018  
[http://publikasjoner.nve.no/rapport/2018/rapport2018\\_84.pdf](http://publikasjoner.nve.no/rapport/2018/rapport2018_84.pdf)

SSB (2019) *Utslipp til luft*. <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/statistikker/klimagassn/aar-endelige>



NVE

## Norges vassdrags- og energidirektorat

---

MIDDELTHUNSGATE 29  
POSTBOKS 509 I MAJORSTUEN  
0301 OSLO  
TELEFON: (+47) 22 95 95 95

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