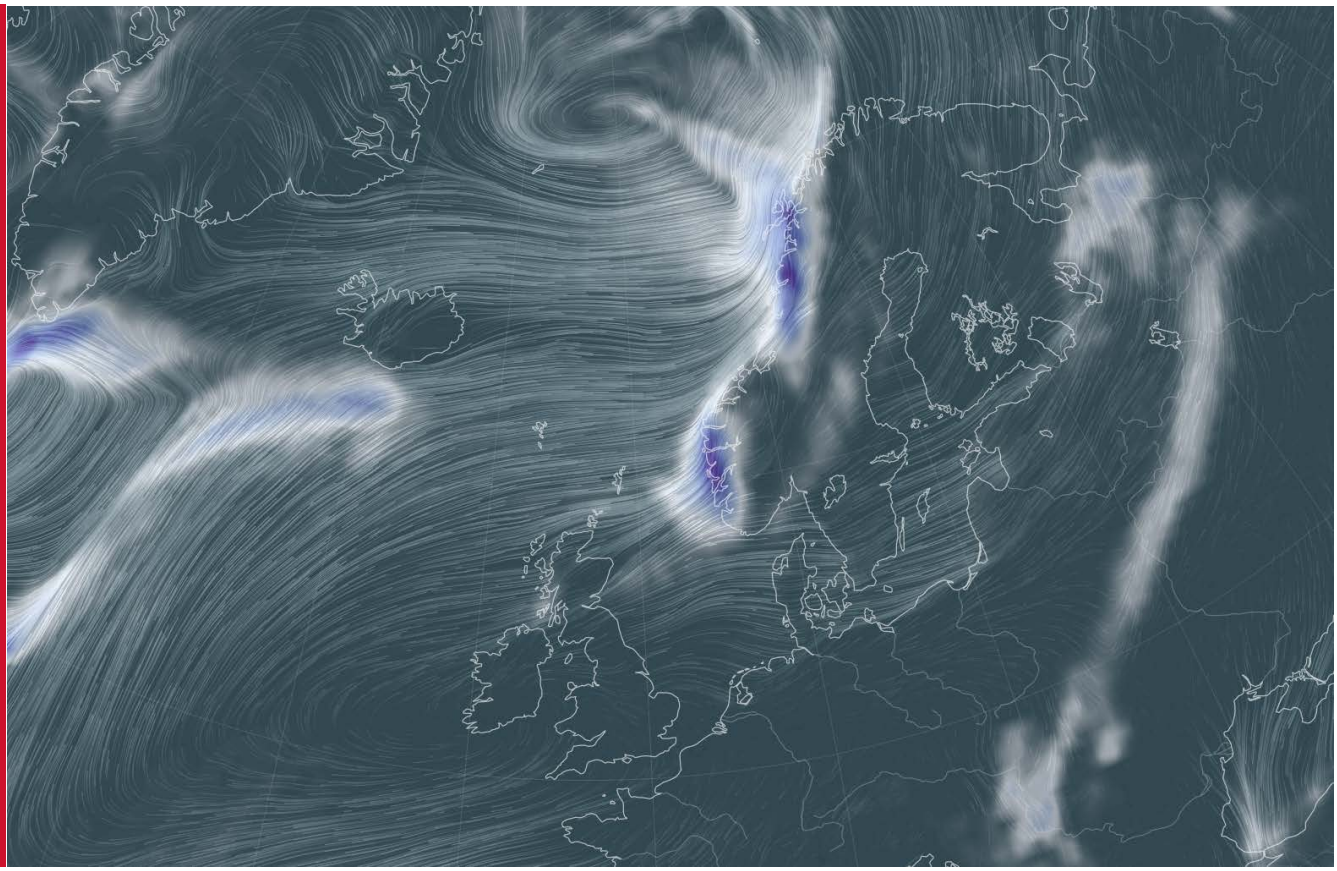
RAPPORT

Nr. 44/2020

# Det svinger mer med fornybar strøm

Sammenhengende vær i Nord-Europa skaper utfordringer i et fornybart kraftsystem

*Valentin Koestler, Mette Eltvik Henriksen, Maria Sidelnikova, Carl Andreas Veie, Ingrid Helene Magnussen, Jarand Hole, Magnus Wold, Ingjerd Haddeland, Ellen Skaansar og Ann Myhrer Østenby*



# NVE Rapport nr. 44/2020
# Det svinger mer med fornybar strøm : sammenhengende vær i Nord-Europa skaper utfordringer i et fornybart kraftsystem

**Utgitt av:** Norges vassdrags- og energidirektorat

**Redaktør:** Maria Sidelnikova

**Forfatter:** Valentin Koestler, Mette Eltvik Henriksen, Maria Sidelnikova, Carl Andreas Veie, Ingrid Helene Magnussen, Jarand Hole, Magnus Wold, Ingjerd Haddeland, Ellen Skaansar og Ann Myhrer Østenby

**Forsidefoto:** earth.nullschool.net

**ISBN:** 978-82-410-2088-9

**ISSN:** 1501-2832

**Sammendrag:** I Norge og i Europa bygges det nå mye variabel fornybar kraftproduksjon fra vind og sol. Dette gjør at kraftsystemet blir mer væravhengig, da både kraftforbruk og en større andel av produksjonen varierer med været.
Det er viktig å forstå utfordringer som skapes av mer fornybar kraftproduksjon i kraftsystemet. NVE har utarbeidet et datagrunnlag basert på ERA 5 som gjør det mulig å analysere hvordan været de siste 41 årene ville ha påvirket kraftforbruk og fornybar kraftproduksjon i Norge og Europa. Vi har undersøkt effekt av flere værfenomener.

Dette er de viktigste funnene. I år med lite vannkrafttilsig er vindkraftproduksjon lav og det er kaldt. Norge er et langstrakt land med stor variasjon i vær mellom regionene. Dette fører blant annet til at det blåser på forskjellige tidspunkter i Sør- og Nord-Norge. Det produseres mer vindkraft på vinteren når kraftforbruket er høyt, men i dagene med høyest kraftforbruk blåser det ikke mye. Hurtig reduksjon i solkraft og vindkraft er krevende for kraftsystemet fordi det kan bli utfordrende å opprettholde den øyeblikkelige balansen.

**Emneord:** Kraftsystemet, vær, tilsig, vindkraft, solkraft, forbruk, fornybar kraftproduksjon

Norges vassdrags- og energidirektorat
Middelthuns gate 29
Postboks 5091 Majorstuen
0301 Oslo

Telefon. 22 95 95 95
E-post: nve@nve.no
Internett: www.nve.no

desember, 2020

# Det svinger mer med fornybar strøm

## Sammenhengende vær i Nord-Europa skaper utfordringer i et fornybart kraftsystem

Valentin Koestler, Mette Eltvik Henriksen, Maria Sidelnikova, Carl Andreas Veie, Ingrid Helene Magnussen, Jarand Hole, Magnus Wold, Ingjerd Haddeland, Ellen Skaansar og Ann Myhrer Østenby

Norges vassdrags- og energidirektorat

2020

# Innhold

**Forord** ..... **4**

**Sammendrag** ..... **5**

**1 Været påvirker kraftsystemet i Norge på nye måter** ..... **6**

1.1 Mer fornybar kraftproduksjon i Europa gjør at kraftsystemet blir mer væravhengig ..... 6

1.2 Vind- og solkraft varierer mindre fra år til år enn vannkrafttilsiget ..... 8

1.3 Både kraftforbruk og vindkraftproduksjon er størst på vinteren ..... 9

1.4 Solkraft og kraftforbruk har en tydelig døgnprofil ..... 10

**2 Likhet i værmønstrene i Nord-Europa skaper utfordringer i et mer fornybart kraftsystem** ..... **12**

2.1 År med lite vannkrafttilsig i Norden sammenfaller med år som er kalde og har lite vind i Nord-Europa ..... 13

2.2 Når det blåser mye om høsten, kommer det også mye vannkrafttilsig med lavtrykk fra vest ..... 16

2.3 De dagene kraftforbruket er størst, blåser det ikke mye ..... 19

2.4 Raske reduksjoner i vind- og solkraft vil stille kraftsystemet overfor nye utfordringer med å levere nok fleksibilitet på kort tid ..... 20

**Referanser** ..... **22**

**A Vedlegg** ..... **24**

A.1 Årlig ressurstilgang per land og ressurstype ..... 24

A.2 Globale atmosfæriske sirkulasjonsmønstre ..... 25

A.3 Typiske værregimer ..... 27

# Forord

NVE har på oppdrag fra Olje- og energidepartementet gjennomført en studie om hvordan variasjon i vær påvirker vindkraft, solkraft og vannkrafttilsig, og analysert hvordan disse varierer med kraftforbruket. Vi har hovedsakelig analysert samvariasjon av de ulike teknologiene i Norge, men også sett på effekten utenfor våre grenser mot Norden og Nord-Europa.

Vi har tidligere undersøkt hvordan været påvirker kraftsystemet vårt. Resultatene er blant annet publisert i Stortingsmelding *Kraft til endring* (Olje- og energidepartementet 2016). I Stortingsmelding *Vindkraft på land* (Olje- og energidepartementet 2020) er blant annet samvariasjon mellom vindkraft i Norge og andre land beskrevet. Variasjon i vindforhold for havvind har Kjeller Vindteknikk på oppdrag fra NVE, undersøkt i *Analyser av offshore modellsimuleringer av vind* (Kjeller Vindteknikk 2009).

I forbindelse med denne rapporten har vi utviklet og forbedret datagrunnlaget for vind- og solkraft som er basert på én meteorologisk modell. Vi har også forbedret modellering av temperaturavhengig kraftforbruk.

Våre analyser bekrefter tidligere funn om hvordan været påvirker fornybar produksjon. Vi har også analysert noen situasjoner hvor variasjon i vær kan skape utfordringer for kraftsystemet. Rapporten tar utelukkende for seg historiske variasjoner i vær. Klimaendringene gjør at framtidenes variasjoner kan bli annerledes enn det vi har observert til nå. Effektene av dette er ikke undersøkt i denne rapporten.

Rapporten er et grunnlag for å kunne gjøre flere typer analyser senere som belyser utviklingen i kraftsystemet i Norge. Vi håper rapporten gir mer innsikt i ulike værfenomener og hvordan disse kan påvirke kraftsystemet i Nord-Europa i tiden fremover.

Oslo, desember 2020

| | |
|---|---|
| Anne Vera Skrivarhaug | Ann Myhrer Østenby |
| Direktør | Seksjonssjef |
| Energiavdelingen | Seksjon for ressurs og kraftproduksjon |

# Sammendrag

I Norge og i Europa bygges det nå mye variabel fornybar kraftproduksjon fra vind og sol. Dette gjør at kraftsystemet blir mer væravhengig, da både kraftforbruk og en større andel av produksjonen varierer med været.

Kraftforbruket i Norge varierer mye både over døgnet, over uken og over året. For å opprettholde balansen mellom kraftforbruk og -produksjon er det flere teknologier som kan bidra. Det meste av fleksibiliteten som i dag benyttes i det norske kraftsystemet kommer fra reguleringsmagasiner for vannkraft. I Europa brukes termiske kraftverk for å tilpasse kraftproduksjonen til kraftforbruket. Økende andel av variabel kraftproduksjon som erstatter regulerbar termisk kraft fører til behov for ny type fleksibilitet som for eksempel batterier, hydrogen og forbrukerfleksibilitet.

Det er viktig å forstå utfordringer som skapes av mer fornybar kraftproduksjon i kraftsystemet. NVE har utarbeidet et datagrunnlag basert på ERA 5 som gjør det mulig å analysere hvordan været de siste 41 årene ville ha påvirket kraftforbruk og fornybar kraftproduksjon i Norge og Europa. Vi har undersøkt effekt av flere værfenomener. Dette er de viktigste funnene

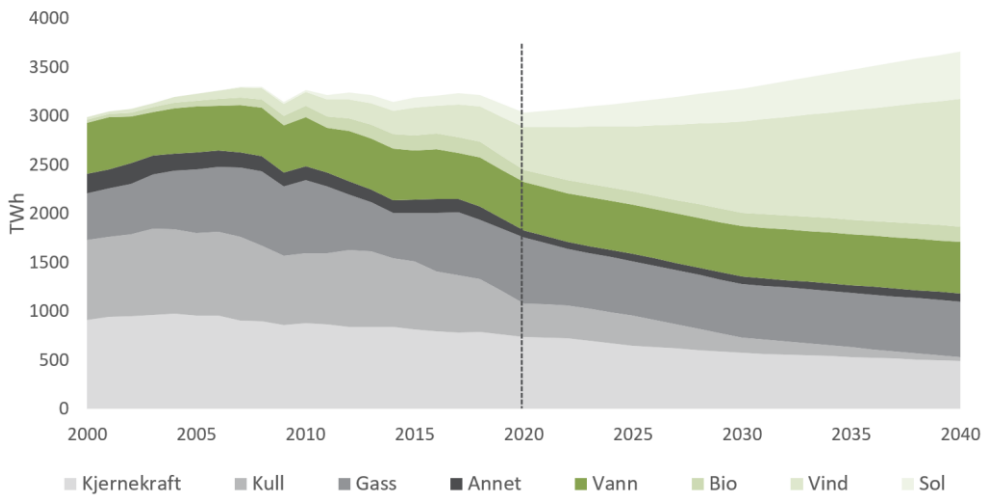
- **I år med lite vannkrafttilsig er vindkraftproduksjon lav og det er kaldt.** Produksjon av vannkraft er avhengig av tilsiget. Tilsiget varierer mye fra år til år, og årene med lite nedbør kan være utfordrende for kraftsystemet, selv med store flerårsmagasiner. I disse årene er det også lite tilsig i Sverige og Finland. Det er samtidig mindre vind. Kraftforbruket er som regel høyere siden det ofte er kaldere enn normalt. Høyere kraftforbruk og mindre tilgang på fornybar kraft kan svekke energibalansen i disse årene.
- **Norge er et langstrakt land med stor variasjon i vær mellom regionene**. Dette fører blant annet til at det blåser på forskjellige tidspunkter i Sør- og Nord-Norge. Vindkraftproduksjon i Sør-Norge sammenfaller mer med vindkraft i andre regioner rundt Nordsjøen enn i Nord-Norge. Når det blåser mye i Sørvest-Norge, produseres det mye vindkraft i disse regionene. På høsten kommer høy vindkraftproduksjon sammen med mye nedbør i Norge. Dette kan gi perioder med mye uregulerbar kraft.
- **Det produseres mer vindkraft på vinteren når kraftforbruket er høyt, men i dagene med høyest kraftforbruk blåser det ikke mye.** Sesongvariasjonen i vindkraft og kraftforbruk sammenfaller godt. Det er mye vind på vinteren når forbruket er høyt, men vi kan ikke stole på at det er vind de dagene forbruket er høyest. I slike perioder vil regulerbar vannkraft fortsatt spille en viktig rolle.
- **Raske reduksjoner i solkraft og vindkraft er utfordrende for kraftsystemet.** Både solkraft og vindkraft kan variere mye innenfor korte tidsintervaller. De raske reduksjonene er krevende for kraftsystemet fordi det kan bli utfordrende å opprettholde den øyeblikkelige balansen. Batterier og forbrukerfleksibilitet er godt egnet til å jevne ut slike raske variasjoner.

# 1 Været påvirker kraftsystemet i Norge på nye måter

Norge har alltid hatt et kraftsystem som har vært påvirket av været. Landet ble elektrifisert og industrialisert gjennom utbygging av vannkraft. Et vannkraftdominert kraftsystem har sine utfordringer gjennom stor variasjon i årlig tilsig, utfordringer vi har veid opp for gjennom flerårsmagasiner. God tilgang på kraft har gjort at en stor del av oppvarmingen i Norge, i motsetning til resten av Europa, har blitt dekket av elektrisitet. Det har skapt et høyt kraftforbruk per capita, som varierer mer per år enn i våre naboland da oppvarmingsdelen er avhengig av utetemperaturen. Nå bygges det mye vindkraft i Norge. I tillegg skjer det store endringer i kraftsystemet i Europa som har stor innflytelse på Norge.

## 1.1 Mer fornybar kraftproduksjon i Europa gjør at kraftsystemet blir mer væravhengig

Politiske insentiver har ført til en storstilt utbygging av vind- og solkraft i Europa de siste tiårene. Som et resultat er kraftproduksjon fra vind og sol de siste par år, blitt konkurransedyktig med andre teknologier på pris. Utbyggingen av fornybar kraftproduksjon må fortsette dersom klimamålene skal nås. EU har et mål om 55 prosent reduksjon i klimagassutslipp innen 2030 sammenliknet med 1990-nivå og ambisjon om klimanøytralitet i 2050.




**Figur 1 Produksjonsmiks i Nord- og Vest Europa (TWh). Statistikk for 2000-2018. NVEs forutsetninger om kraftproduksjon i 2020-2040 (NVE 2020a)**

Mer fornybar kraftproduksjon skal ikke bare erstatte fossil kraftproduksjon, men også dekke økende etterspørsel. I Norge ser vi en økende elektrifisering av energibruken innen transport, industri, petroleum og innen nye kraftintensive næringer som datasentre og hydrogen. Forbruket i husholdninger og tjenesteytende sektor forventes derimot å synke, blant annet fordi bygninger blir mer energieffektive og oppvarmingsbehovet dermed går ned.

Tilgangen til fornybare energikilder er væravhengig, og det samme været påvirker også kraftforbruket. Samvariasjonen mellom forskjellige energikilder er kompleks, og det er derfor viktig å forstå hvordan vær har innvirkning på kraftsystemet.

Samtidig som fornybar kraftproduksjon øker, blir tilgangen på termisk kraftproduksjon som kull-, gass- og kjernekraft mindre. Dette betyr at regulerbar kraftproduksjon erstattes med uregulerbar kraftproduksjon. For å sikre tilstrekkelig energiforsyning i periodene når kraftforbruket varierer mye, må vi finne løsninger som opprettholder balansen mellom kraftforbruk og -produksjon. Fleksibelt forbruk og energilagring vil kunne bidra med fleksibilitet i tiden fremover.

**Rapporten bruker modellerte energiserier for kraftforbruk, vindkraft, solkraft og vannkrafttilsig**

Vi har laget modellerte energiserier for kraftforbruk, vindkraft, solkraft og vannkrafttilsig for å se på hvordan disse varierer med vær. Vi har brukt værdata fra de siste 41 årene, mellom 1979 og 2019 fra ERA5-datasettet sammen med observerte temperatur og vannføringsserier.
I analysen har vi tatt utgangspunkt i dagens kraftsystem og brukt installert kapasitet for 2020 fra NVEs Langsiktig kraftsystemanalyse i 2020. Siden vi har brukt en annen værperiode og en annen modellering i denne analysen, vil tallene være forskjellige. De modellerte dataene for vind- og solkraft viser hvor mye dagens kraftverk ville ha produsert under værforholdene som har vært i de 41 årene. Vi har analysert kraftsystemet i Europa, men presenterer resultatene for Norden (Norge, Sverige, Danmark, Finland) og Nord-Europa (Norden, Storbritannia, Nederland, Tyskland). Dette er land Norge har mellomlandsforbindelser med.

Vindkraftproduksjon er estimert for hver enkelt vindpark basert på vindhastighet fra ERA5 kombinert med turbinenes effektkurve. Effektkurven viser hvor mye vindturbinen produserer til en gitt vindhastighet. Vindkraftproduksjon er deretter aggregert til prisområder.

Solkraftproduksjon er estimert basert på metoden brukt i PVGIS. Kortbølget stråling, lufttemperatur og vindhastighet fra ERA5 er benyttet som inngangsdata. Det er gjort forenklinger for orientering, helning og lokasjoner av individuelle solkraftanlegg. Profilene viser beregnet produksjon fra silisiumbaserte solcellepaneler, rettet mot sør med 30 graders helning. Produksjonen er beregnet for individuelle solkraftanlegg, og deretter aggregert til prisområde.

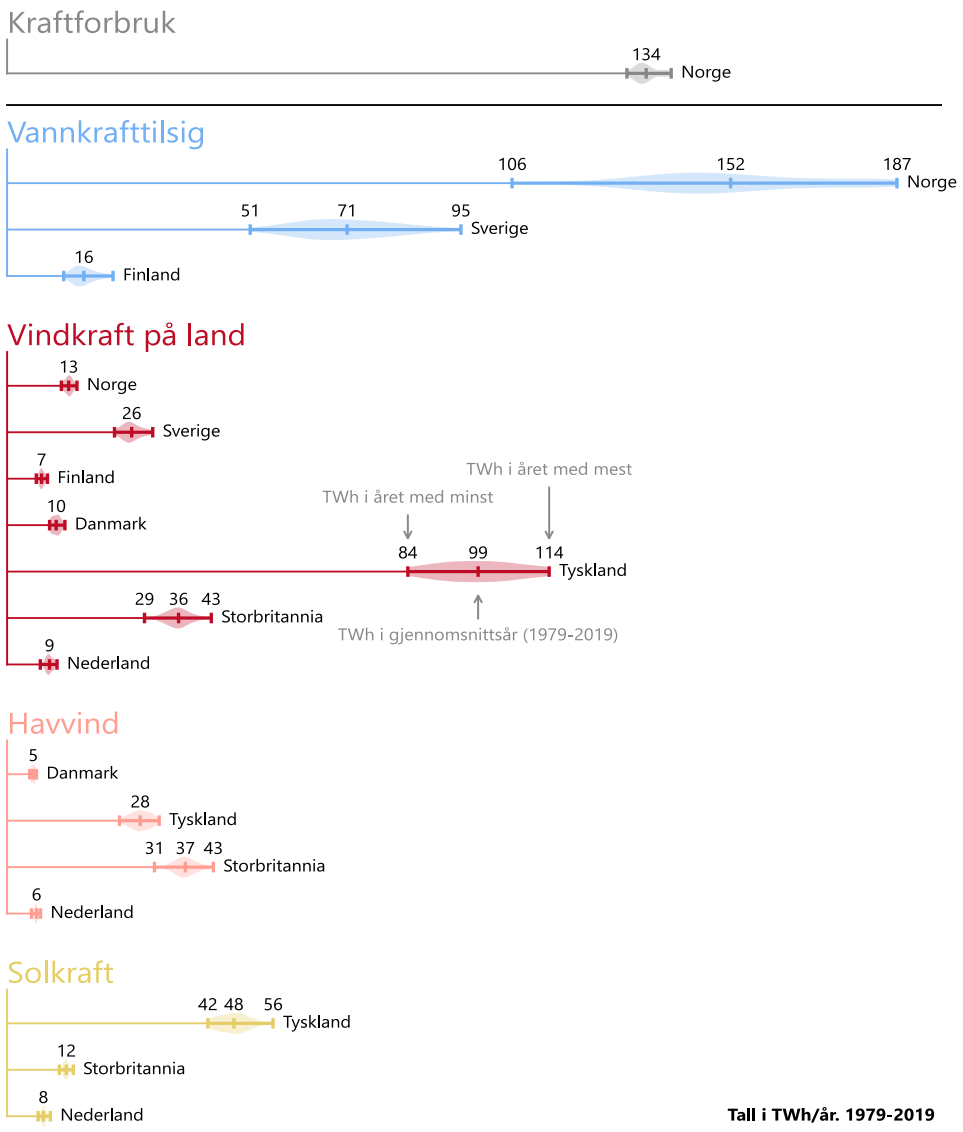
Vi har beregnet vannkrafttilsig[1], eller tilsig, basert på observerte vannføringsserier som ganges med energiekvivalenter. Siden denne rapporten fokuserer på tilgangen på fornybare ressurser har vi valgt tilsig for å representere vannkraften. Tilsiget er den vannmengden som renner til magasinene og kraftverkene. Cirka 90 prosent av tilsiget blir realisert som vannkraftproduksjon. Det kan være flere grunner til å slippe vann forbi kraftverket, for eksempel at det kommer mer vann enn kraftverkets slukeevne, eller for å opprettholde minstevannføring i elveløp av hensyn til økosystemene. Variasjonen til tilsiget sammenfaller i stor grad med variasjonen til uregulerbar vannkraftproduksjon.

Kraftforbruk i Norge for perioden 1979-2019 er modellert ved hjelp av temperaturdata i denne perioden og en regresjonsmodell. Regresjonsmodellen er estimert basert på sammenhengen mellom historisk døgnforbruk fra SKM Market Predictor (SKM Market Predictor 2020) per prisområde i Norge i 2011-2019 og døgntemperaturer fra MET (Meteorologisk institutt 2020) i samme periode. Modellering av variasjon i forbruk mellom timer i døgnet for de forskjellige ukedagene og forskjeller i døgnforbruk mellom ukedager og helg er gjort med utgangspunkt i tilsvarende variasjoner i historisk timesforbruk fra SKM Market Predictor.

[1] I denne rapporten er vannkrafttilsig definert som alt vann som kommer inn i kraftverkssystemet vektet med energiekvivalenter (brutto). Det vil si at tilsiget også inneholder det vannet som ikke nyttes til kraftproduksjon. Dette avviker fra tilsiget som publiseres i kraftsituasjonsrapporten hver uke og av NordPool som kun oppgir netto eller nyttbart tilsig.

## 1.2 Vind- og solkraft varierer mindre fra år til år enn vannkrafttilsiget

Både kraftforbruk og kraftproduksjon påvirkes av været. Nedbør, vind, temperatur og solinnstråling er forskjellig fra år til år og det fører til at kraftproduksjonen og -forbruket varierer (Figur 2).




**Figur 2 Årlig energi i TWh per teknologi for Norden og land Norge har eller bygger ut mellomlandsforbindelser til. Kun teknologier hvor det er mer enn 2 TWh/år i snitt er med. Kraftforbruk er kun for Norge. Beregningene er basert på 1979-2019.**

9 TWh er like mye som årsforbruket i Oslo.

Kraftforbruket i Norge ligger rundt 134 TWh/år. Temperatur er den største driveren for variasjonen i forbruket, som utgjør 9 TWh (Tabell 1) eller 3-4 prosent fra gjennomsnittet mellom det kaldeste og det varmeste året. Dette er relativt lavere enn variasjonen i fornybare energikilder som varierer mellom 12-30 prosent. Det betyr at været har en større innflytelse på tilgang til fornybar kraftproduksjon fra år til år.

**Tabell 1 Kraftforbruk og kraftproduksjon I Norge 1979-2019 [TWh] (avvik fra snittet oppgitt i parentes)**

| Norge | Snitt per år [TWh] | Laveste år [TWh] | Høyeste år [TWh] |
|---|---|---|---|
| **Kraftforbruk** | 134,3 | 130,3 (-3%) | 139,6 (+4%) |
| **Vannkrafttilsig** | 152,1 | 106,1 (-30%) | 187,0 (+23%) |
| **Vindkraft på land** | 12,9 | 11,4 (-12%) | 14,7 (+13%) |
| **Solkraft** | 0,15 | 0,13 (-13%) | 0,16 (+12%) |

Vannkraften står for rundt 90 prosent av kraftproduksjonen i Norge. Vannkrafttilsiget varierer mer fra år til år enn vindkraft og solkraft. De siste 41 årene har tilsiget til norske vannkraftverk variert fra 106 TWh på det laveste og opp til 187 TWh på det høyeste. Vi kan ikke vite på forhånd om vi går inn i et tørt eller vått år. Magasinkapasiteten i Norge er på 87 TWh og gjør at vi i stor grad kan håndtere de store variasjonene i tilsiget.

Gjennomsnittlig kraftproduksjon fra vindkraft på land er i dag omtrent 13 TWh. Vindkraftproduksjon er og vil forbli mindre enn vannkraften i Norge. Den er imidlertid langt fra ubetydelig. Etter at alle vindkraftprosjekter som er under bygging blir satt i drifts, vil vindkraft utgjøre om lag 18 TWh, eller 13 prosent av norsk kraftproduksjon. Vindkraftverk i Norge er hovedsakelig bygget i kystnære områder, men med to hovedgrupperinger: en i Sørvest-Norge (NO2) og en i Midt-Norge (NO3).

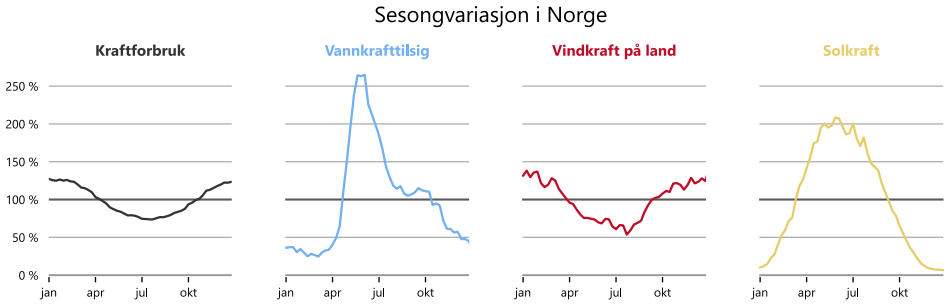
Sammenliknet med vann- og vindkraft, er installert solkraftkapasitet i Norge fremdeles svært liten. Det er i dag om lag 6500 solcelleanlegg i Norge som produserer litt mer enn 0,1 TWh. Som for vindkraft varierer produksjon fra solkraft mye mindre enn vannkrafttilsiget. Solcelleanlegg er i all hovedsak installert på tak på boliger, nærings- og industribygg rundt om i landet. Det er flest anlegg i Øst-Norge (NO1), etterfulgt av Sørvest-Norge (NO2). Som i de fleste andre land, vokser mengden installert solkraft i Norge raskt og vil få en viktigere rolle i kraftsystemet i tiden fremover.

Vannkraft står for en stor andel av kraftproduksjonen i Sverige og Finland, mens i resten av Nord-Europa utgjør vind og sol størsteparten av den fornybare kraftproduksjonen. Tyskland har klart mest vind- og solkraft i dag. Det bygges mye vind - og solkraft i mange land de neste årene.

## 1.3 Både kraftforbruk og vindkraftproduksjon er størst på vinteren

Omtrent en femtedel av kraftforbruket over året i Norge går til oppvarming. Når det er kaldt om vinteren øker kraftforbruket (Figur 3). I topplasttimen en kald vinterdag vil en stor del av forbruket være oppvarming. Vi forventer at andelen til oppvarming vil bli litt redusert i løpet av de neste tiårene fordi bygningsmassen blir mer effektiv og oppvarmingsbehovet

dermed går ned. Samtidig øker kraftforbruket i andre sektorer som industri og transport, som har en jevnere profil over året. Summen av endringene vil føre til at kraftforbruket blir noe mindre avhengig av temperaturen i framtiden.




**Figur 3 Sesongprofil for kraftforbruk, vannkrafttilsig, vindkraft på land og solkraft i Norge i forhold til gjennomsnittet.**

Det er lite solinnstråling i nordlige breddegrader om vinteren, og det gjør at store mengder varmeenergi flyttes fra sørlige breddegrader og nordover i form av vind[2]. Dette gjør at det blåser mer om vinteren enn om sommeren, slik at vindkraftproduksjonen i Norge er høyest i vintermånedene når forbruket også er høyt. Vindkraft på land og havvind blir drevet av den samme vinden. Begge teknologiene har derfor ganske lik sesongprofil, men havvind har som regel en høyere og jevnere kraftproduksjon enn vindkraft på land der det er mer krevende topografi som påvirker vindforholdene.

Ved å montere solcelleanlegg vannrett på fasader, kan man få mer produksjon på vinteren, fordi solen står lavere i tillegg til at refleksjonen fra snøen utnyttes bedre.

Tilsiget som ender opp i vannmagasinene har en nesten motsatt sesongprofil av vind. På vinteren er tilsiget som regel lavere enn resten av året, fordi det er kaldt og nedbøren legger seg som snø. Tilsiget er størst på våren når snøen smelter. Utover sommeren bidrar bresmelting til tilsiget.

I motsetning til tilsiget er vindkraftproduksjonen i snitt på sitt laveste sent på våren og om sommeren. Sett i et sesongperspektiv utfyller derfor tilgang på vindkraft og vannkraft hverandre godt.

I Norge er solkraftproduksjonen størst i sommerhalvåret. Dette skyldes at vi har lengre dager med flere timer med dagslys, og at solen står høyere på himmelen i sommerhalvåret. Jo lengre nord man går, jo større andel av solkraftproduksjonen kommer på sommeren.

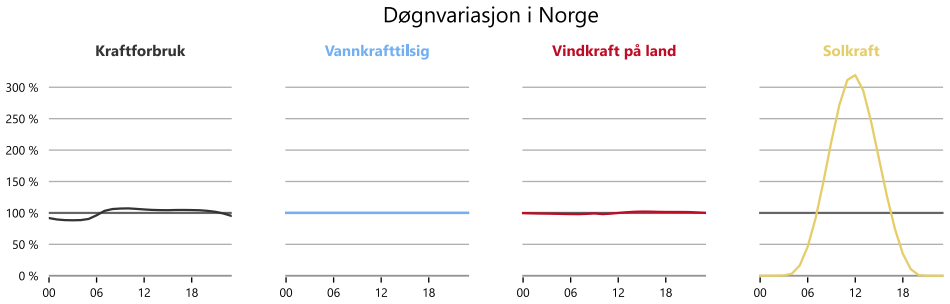
## 1.4 Solkraft og kraftforbruk har en tydelig døgnprofil

Vind og vannkrafttilsig har ingen regelmessig variasjon gjennom døgnet[3]. Solkraft har en utpreget døgnprofil fordi den styres av hvor høyt sola står på himmelen (Figur 4). Det som er spesielt med solkraft er at formen på produksjonsprofilen kan påvirkes ved å endre orientering og helning på solcellepanelene. Dette gjelder både formen på døgnprofilen, men også profilen over året. Kraftforbruket varierer gjennom døgnet. Døgnprofilen påvirkes

[2] Se vedlegg A.2

[3] Vi har brukt døgnoppløsning på tilsiget i denne analysen og antar at døgnprofilen er flat. For enkelte vannføringsserier, for eksempel fra nedbørfelt med stor andel bre, kan det være at man ser en døgnvariasjon. Det har vi ikke undersøkt i denne analysen.

mest av adferd. Kraftforbruket er lavt på natten når folk sover. Det øker på morgen når folk står opp, dusjer, boligene varmes opp, og varme og ventilasjon slås på i yrkesbygg. Når folk kommer hjem på ettermiddagen, slår på varmen, setter på en klesvask, lager middag og lader elbilen, oppstår den andre toppen. Døgnvariasjonen i kraftforbruket er større om vinteren enn om sommeren og større på ukedagene enn i helgen. Selv om kraftforbruket varierer gjennom døgnet, er det også en stor andel av kraftforbruket som ligger jevnt gjennom døgnet som en grunnlast, slik som kraftforbruk til industrielle prosesser.




**Figur 4 Døgnvariasjon for kraftforbruk, vannkrafttilsig, vindkraft på land og solkraft i Norge i prosent av gjennomsnittet.**

# 2 Likhet i værmønstrene i Nord-Europa skaper utfordringer i et mer fornybart kraftsystem

Været påvirker både kraftforbruket og produksjon fra fornybarressursene. Et lavtrykk i Nordsjøen vil gi mye vindkraftproduksjon i hele Nord-Europa, og nedbør som fører til økt vannkrafttilsig. Slike lavtrykk tar ofte med seg varm luft om vinteren slik at temperaturen øker og kraftforbruket samtidig blir lavere. Nord-Norge blir også påvirket av de samme værsystemene, men siden det er langt unna Nordsjøen, kan været bli forskjellig.

### *Typiske værfenomen som påvirker kraftsystemet*

Været i hele Nord-Europa henger sammen og følger ofte noen kjente mønstre. Et av de vanligste værmønstrene kalles positiv NAO[4] og kjennetegnes ved lavtrykk ved Island og høytrykk over Azorene. Lavtrykk bringer med seg milde temperaturer, med vind og nedbør på Vestlandet og i Nordland. Østafjells og i Sverige vil det derimot være oppholdsvær og lite nedbør. I Tyskland og Storbritannia er det gjerne mildt, tørt, litt sol og mye vind. Rundt Middelhavet er det tørt og kaldt. Et slik vær er typisk om høsten og vinteren.

**Figur 5 Forenklet illustrasjon over hvordan positiv NAO og Euro-Atlantisk blokkering påvirker været i Europa på vinteren.**

Et annet vanlig værmønster er når høytrykk ligger over Nord-Europa. Det kalles Euro-Atlantisk blokkering. Om sommeren gir dette varme soldager med lite vind i Norden. I Nord-Europa blir det også varmt og solrikt, men noe mer bygevær og vind. Om vinteren vil dette værmønsteret gi både Norden og Nord-Europa en typisk tørr og kald vinterdag med litt sol. I Nord-Europa vil det blåse noe, men nesten ingenting i Norden.

---

[4] Se mer om værregimer i vedlegg A.3 Typiske værregimer

*Kraftsystemet blir stresset*

Lignende vær mellom naboland, kombinert med økende andel vind- og solkraft i alle land, forsterker effekten av værperioder på kraftsystemet. Siden nedbør, vind, sol og temperatur er et resultat av det samme været, kan variasjon i vær skape situasjoner der høyt forbruk sammenfaller med lite produksjon fra disse fornybare ressursene. Dette vil svekke energibalansen. Motsatt kan variasjon i vær føre til perioder med mye uregulerbar kraftproduksjon kombinert med lavt forbruk.

Begge disse værmønstrene er utfordrende for kraftsystemet fordi de krever mye fleksibilitet for å balansere kraftforbruket og -produksjonen. Fleksibilitet kan komme fra produksjonssiden, forbrukssiden, lagring og samspill mellom kraft- og varmesektoren.

*Fleksibilitet blir viktigere*

Hvilke fleksibilitetsmekanismer som kan være aktuelle er avhengig av blant annet varighet. Variasjon i vær kan føre til situasjoner hvor det er enten svært mye eller svært lite fornybar kraftproduksjon. Disse kan vare fra noen timer til flere måneder. I Norge dekkes i dag mesteparten av behovet for fleksibilitet av vannkraft, men i Europa blir behovet for fleksibilitet dekket av termisk kraftproduksjon. Etter hvert som fossil kraft fases ut, vil andre fleksibilitetsressurser ta over. Det kan for eksempel være forbrukerfleksibilitet, batterier og hydrogen. I timer med mye uregulerbar kraftproduksjon og lave priser kan man produsere hydrogen. Forbrukerfleksibilitet kan jevne ut forbrukstopper ved å flytte forbruk til andre tider av døgnet (NVE 2020b). Batterier kan også flytte energi innenfor korte perioder. Dersom det ikke er tilstrekkelig med tilgjengelig fleksibilitet når det er overskudd i kraftsystemet, må produksjon begrenses ved å stanse vindturbiner eller koble fra solcellepaneler.

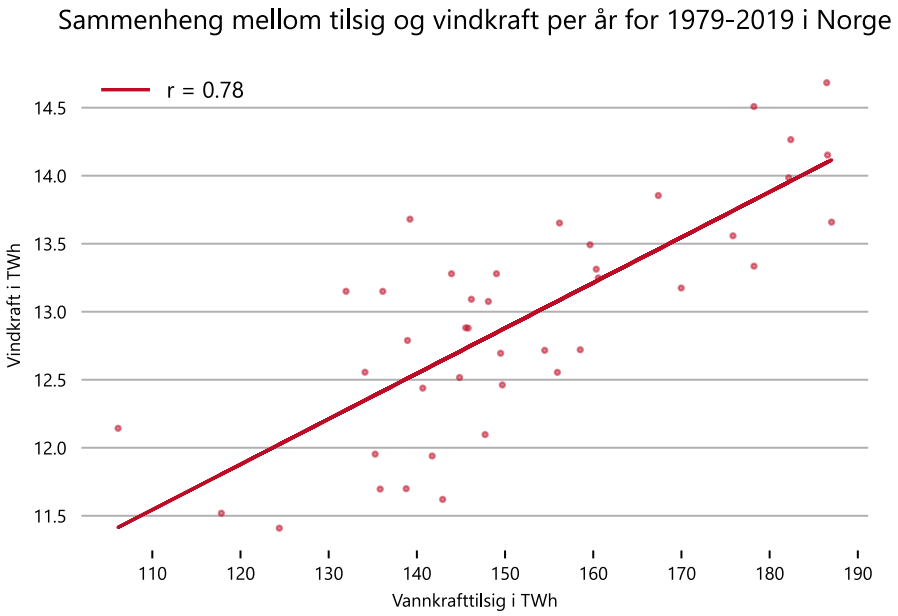
Norges største magasin etter energiinnhold, Blåsjø, har en lagringskapasitet på 7,8 TWh som tilsvarer 235 000 tonn hydrogen.

*Vi har valgt å se på fire hendelser som påvirker kraftsystemet*

Vi har etablert et datagrunnlag slik at vi kan analysere mange ulike værscenarioer. Dette gir oss mulighet til å bedre vurdere hvordan vær påvirker kraftsystemet vårt. På bakgrunn av dette har vi valgt ut fire spesielle fenomen som illustrerer effekten av samvariasjon på kraftsystemet. I de følgende delkapitlene beskriver vi hendelser gjennom året, i sesonger og i løpet av døgnet.

## 2.1 År med lite vannkrafttilsig i Norden sammenfaller med år som er kalde og har lite vind i Nord-Europa

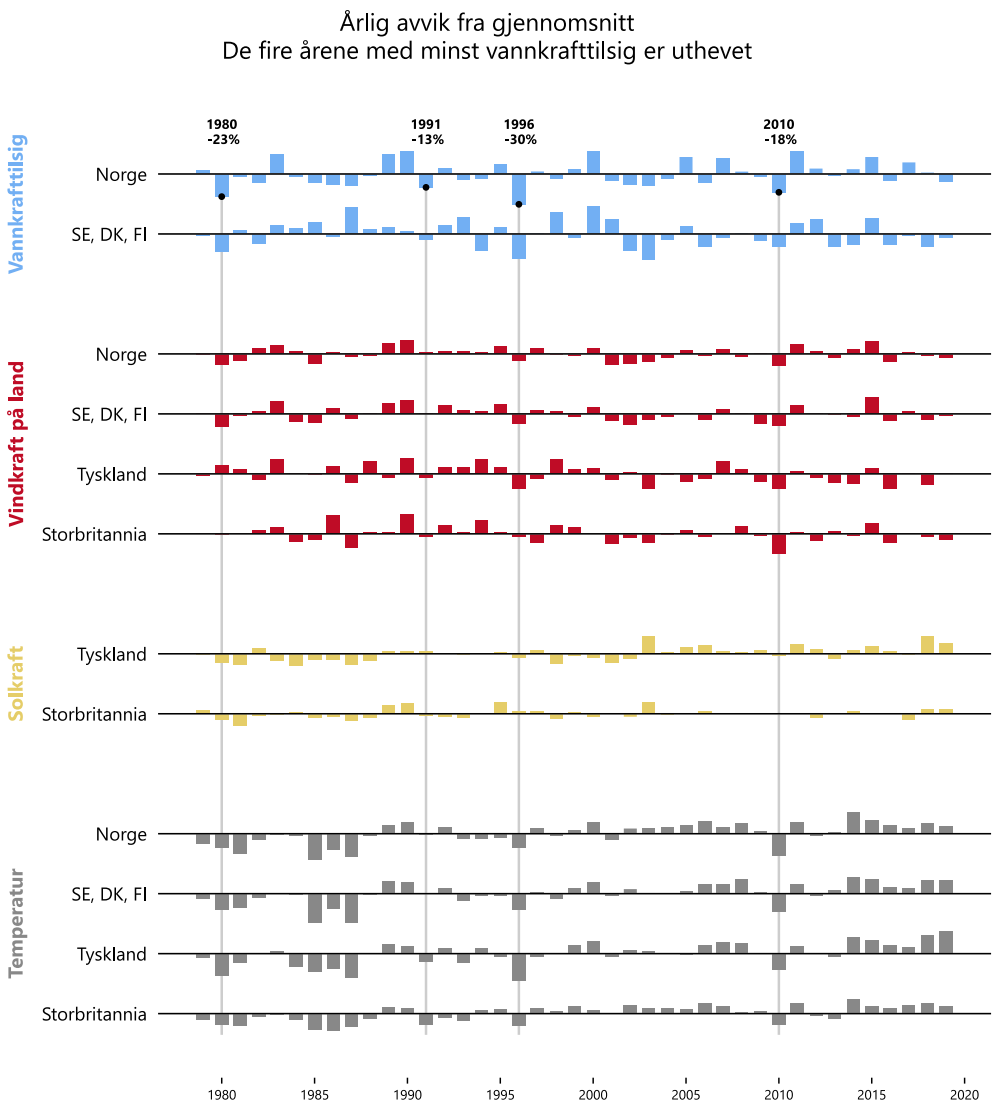
Vannkraft står for den største delen av kraftproduksjonen i Norge. Tilsiget til vannkraftverkene varierer svært mye fra år til år, og variasjonene er så store at det kan være utfordrende for kraftsystemet selv om vi har store vannmagasiner. Vindkraftproduksjon varierer mye mindre enn vannkrafttilsiget fra år til år. Det er en tydelig sammenheng mellom årlig tilsig og vindkraftproduksjon i Norge (Figur 6). Nedbør kommer fra lavtrykksystemer, og med disse følger også vind. I motsatt fall har vi høytrykk, med lite eller ingen vind og nedbør. Derfor har år med lite tilsig gjerne lavere vindkraftproduksjon, mens våte år har høy vindkraftproduksjon. Vind bidrar dermed mindre til ressurstilgangen i år med lite tilsig enn i år med mye tilsig.




**Figur 6 Norsk vindkraftproduksjon og vannkrafttilsig per år.**

Vi har plukket ut de fire årene med minst tilsig i Norge (Figur 7) for å se om de andre fornybarressursene kan bidra til å gjøre oss mindre sårbare for perioder med lite tilsig. Vi har sett på de siste 41 årene. Dette er en kort periode dersom man skal se på ekstremår. Likevel inneholder de perioder med lite tilsig og gir et inntrykk av hva som kan skje.

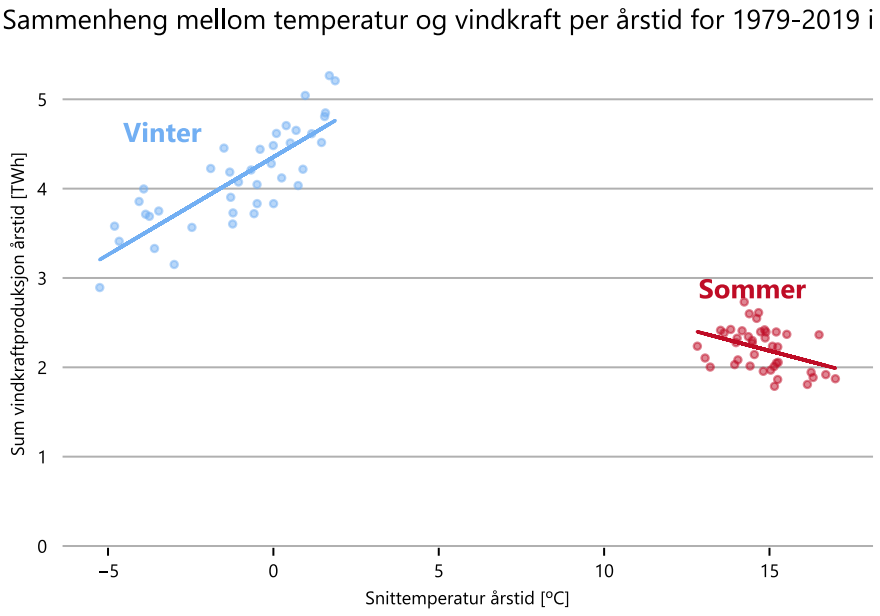
Samtidig som det er lange perioder med lite tilsig i Norge, er det vanligvis også lite tilsig i Sverige og Finland. Dette gjør at vannkraften i hele Norden vil bli satt under press og risikoen for underskudd i kraftsystemet øker.




**Figur 7 Vannkrafttilsig med prosent avvik fra årsgjennomsnitt. De fire årene med minst tilsig i Norge er uthevet med en prikk og sammenliknet med temperatur, vind- og solkraft.**

Perioder med lite tilsig i Norge er også kaldere enn gjennomsnittet, og når det er kaldt øker kraftforbruket. Dette gjelder ikke bare i Norge, men hele Nord-Europa. For solkraften er det ingen klarsammenheng i perioder med lite tilsig og vind.

Lite tilsig og lite vindkraft samtidig med høyt kraftforbruk vil gi perioder med svekket energibalanse. Det kan være utfordrende å håndtere for kraftsystemet. Vannmagasinene kommer fortsatt til å ha en nøkkelrolle for å håndtere tørrår.




**Figur 8 Sammenheng mellom temperatur og vindkraft per årstid for 1979-2019 i Norge.**

Det finnes også værsammenhenger innad i året. For eksempel er det sammenheng mellom vind og gjennomsnittstemperaturen for en sesong i Norge, både på vinteren og på sommeren (Figur 8). Det er mer vindkraftproduksjon i milde vintre. Om sommeren er det omvendt. Varme somre sammenfaller med mindre vindkraftproduksjon.

## 2.2 Når det blåser mye om høsten, kommer det også mye vannkrafttilsig med lavtrykk fra vest

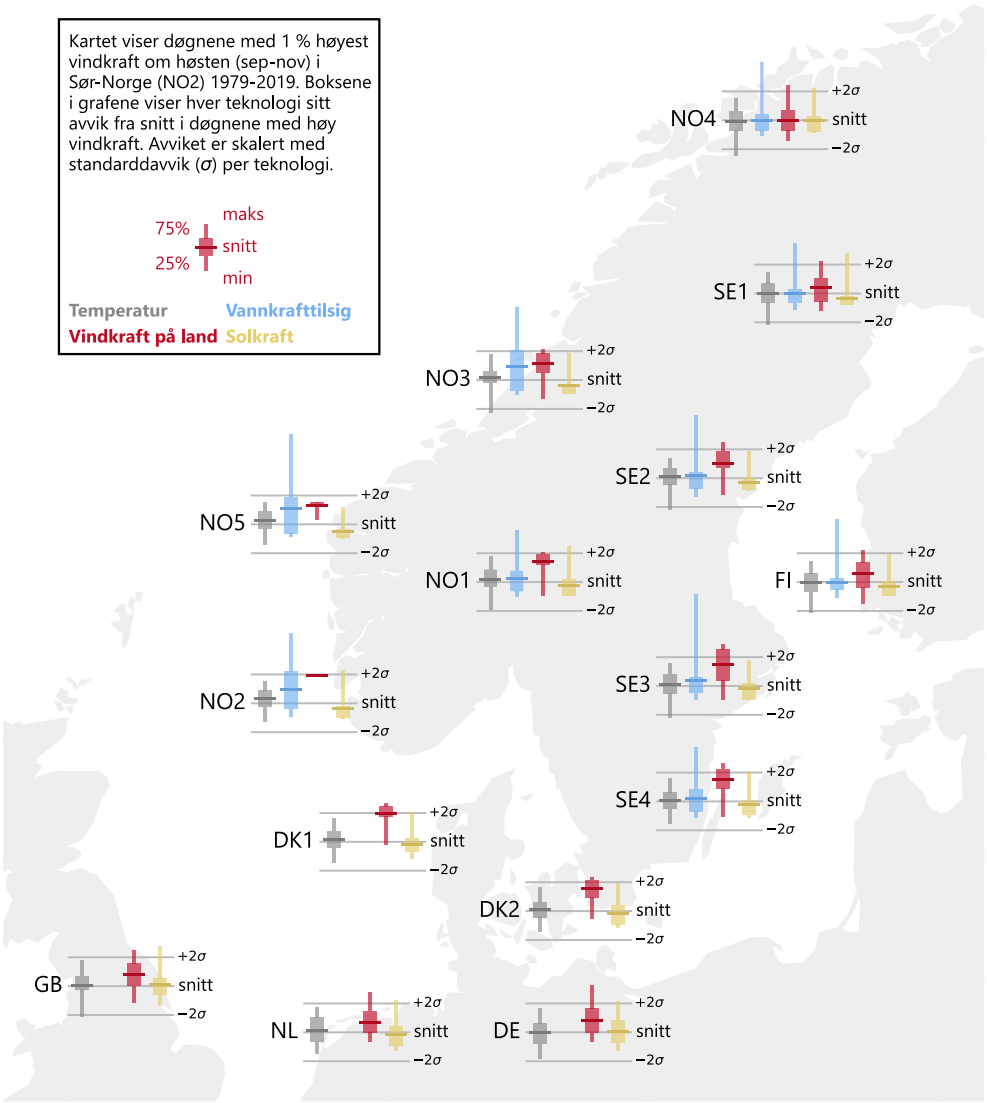
Positiv NAO er et typisk værmønster om høsten. Det fører til mye nedbør langs kysten i Norge samtidig som store deler av Norden får mye vind. Det blåser også vanligvis mer i hele Nord-Europa. Mye nedbør i Norden gir høyt tilsig. Dette bidrar til høy uregulerbar kraftproduksjon fra både vannkraft og vindkraft som gir overskudd av kraft og lave kraftpriser.

Vi har sett på tilgang til fornybar produksjon i dagen med høyest vindkraftproduksjon i Sørvest-Norge (NO2) sammenliknet med alle dagen i høstsesongen (Figur 9). I dagene med mye vind i Sørvest-Norge blåser det mye i andre deler av Norge, unntatt i Nord-Norge (NO4). Høy vindkraftproduksjon i disse områdene sammenfaller med høyt tilsig. I Nord-Norge er både vindkraft og tilsig i disse periodene på gjennomsnittsnivå for høsten.

På dagene med høyest vindkraftproduksjon i Sørvest-Norge er vindkraftproduksjon i Sør-Sverige og Danmark betydelig høyere enn gjennomsnittet for høsten. Også i andre deler av Nord-Europa er vindkraftproduksjonen høy.

Høst er definert som september-november

## Døgn med mest vindkraft om høsten i Sør-Norge (NO2)




**Figur 9 Døgn med mest vind om høsten i Sørvest-Norge sammenliknet med snitt for alle høstdager.**

**Det blåser på forskjellig tidspunkt i Sør-Norge og Nord-Norge**

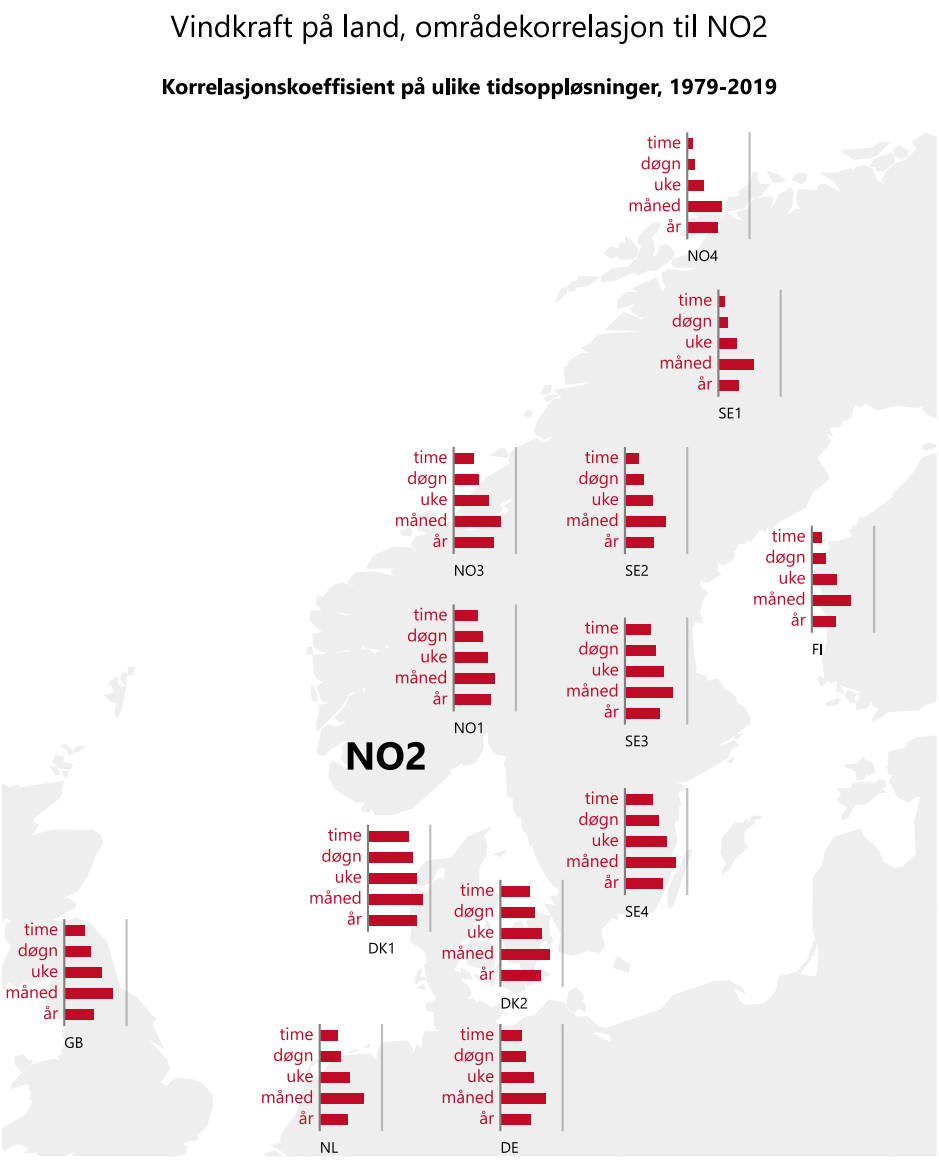
Norge er et langstrakt land med stor variasjon i vær mellom regionene. Dette fører blant annet til at det blåser på forskjellige tidspunkter i Sør- og Nord-Norge. Vi ser dette når vi sammenlikner korrelasjoner mellom vindkraft i Sørvest-Norge (NO2) og de andre områdene i Norge og naboland (Figur 10). Sørvest-Norge er et område med mye installert vindkraft i dag. Det ligger nærmest Nordsjøen hvor det allerede er konsentrert mye vindkraft i andre land, både på kysten og til havs. Det er også planlagt mye ny vindkraft i Nordsjøen framover.

Når vi ser på en kort tidshorisont (time, døgn, uke) er det lav korrelasjon mellom Sør- og Nord-Norge. Over en lenger tidshorisont (måned, år) blåser det jevnere over hele Norge og korrelasjonen blir høyere. Høy månedskorrelasjon kommer av at det blåser mer om vinteren, som er felles for alle land.

Vind i Sørvest-Norge korrelerer sterkest med Danmark. Det betyr at når det blåser i Sørvest-Norge, blåser det ofte i Danmark. Sørvest-Norge er tettere korrelert med Jylland (DK1) enn med Øst-Norge (NO1), altså er vinden i Sørvest-Norge mer lik vinden på Jylland enn Øst-Norge.

Samvariasjonen mellom vind i Sørvest-Norge og Tyskland, Nederland og Storbritannia er svakere enn samvariasjon mellom vind i Sørvest-Norge og Danmark og Sør-Sverige.

Vind i nordlige områder i Norge (NO4) og Nord-Sverige (SE1) korrelerer lite med Sørvest-Norge. Det vil si at det blåser sjelden mye i de nordlige områdene når det er mye vind i Sørvest-Norge. Dette er en fordel for kraftsystemet da produksjon kommer på ulike tidspunkt.



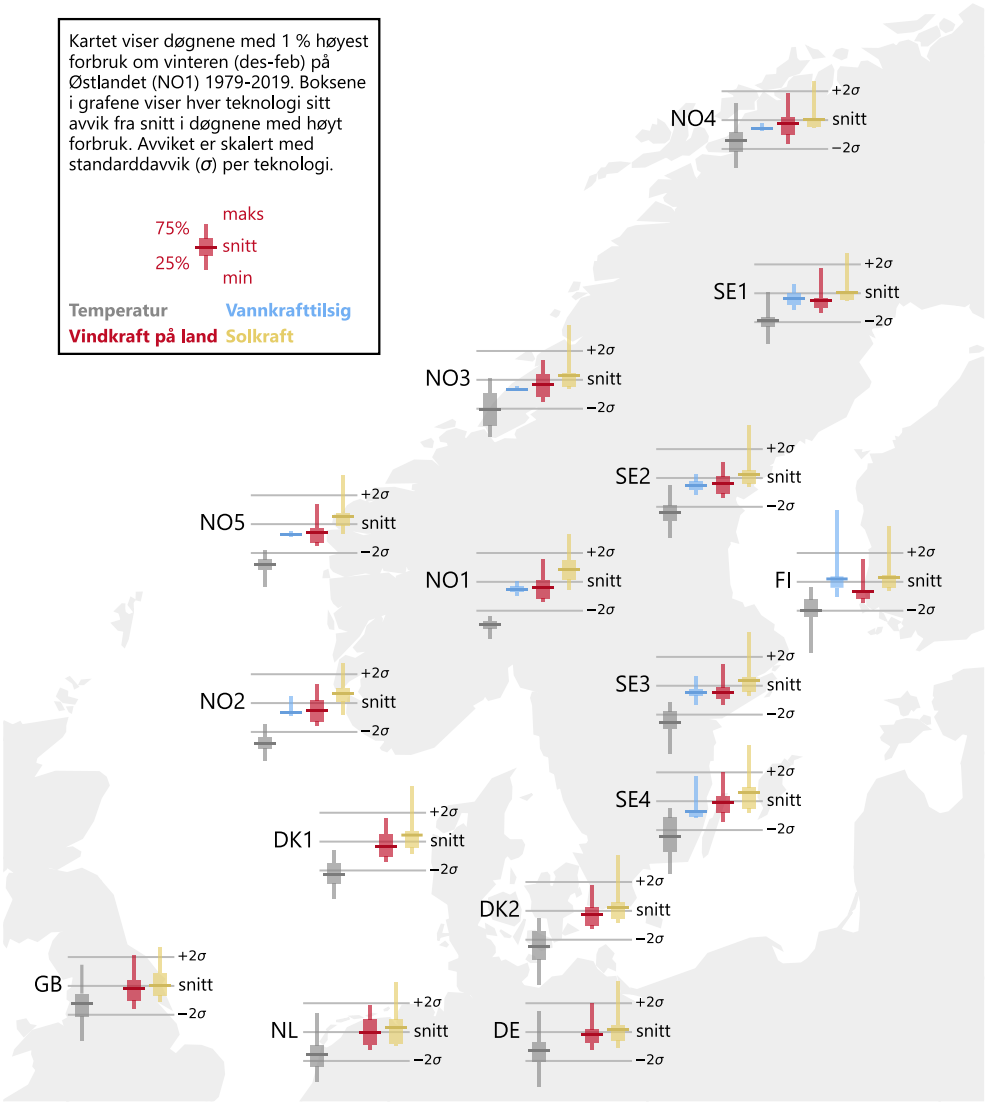

**Figur 10: Korrelasjon for vindkraft for Sørvest-Norge (NO2) mot de andre prisområdene. Korrelasjonen er på time, døgn, uke, måned og år. Jo lengre stolper jo nærmere korrelasjon til 1, det vil si sterk samvariasjon med vindkraft i Sørvest-Norge.**

## 2.3 De dagene kraftforbruket er størst, blåser det ikke mye

Dager med høyest forbruk er krevende for kraftsystemet fordi det må være nok kraftproduksjon for å dekke kraftforbruket. Høyest forbruk i Norge er på vinteren, mellom desember og februar, når temperaturene er lavest. Dette er fordi oppvarming med strøm utgjør en stor andel av kraftforbruket. Jo kaldere det er, jo mer energi brukes til oppvarming.

Om vinteren er det både høyt forbruk og perioder med mye vind, og derfor har vi vurdert om vindkraft kan hjelpe på dagene med høyest forbruk. Vi har sett på tilgang på fornybar kraftproduksjon i dagene med høyest forbruk på Østlandet (NO1) sammenliknet med resten av vinterdagene (Figur 11). Det er kaldere enn normalt med høyere kraftforbruk over hele Nord-Europa.

### Døgn med mest forbruk om vinteren på Østlandet (NO1)




**Figur 11 Døgn med mest kraftforbruk i Øst-Norge (NO1) sammenliknet med gjennomsnitt for alle vinterdagene.**

Selv om det blåser mer om vinteren, er vindkraftproduksjonen lavere enn gjennomsnittet om vinteren i dagene med høyest kraftforbruk over hele Norge. Vindkraft hjelper dermed lite til å balansere ut det økte kraftforbruket. På grunn av lave temperaturer er det lite vannkrafttilsig som kan bidrar til kraftproduksjon. I Nord-Europa er det samtidig også lavere kraftproduksjon fra vind og sol enn gjennomsnittet.

Virkningsgraden i solcelleanlegg øker når det er kaldt.

På de kaldeste dagene med høyest forbruk, er det ofte helt klart og skyfritt, og man kan forvente mer solkraftproduksjon enn normalt for årstiden. Samtidig er produksjonsvolumet lavt, fordi dagene hard færre soltimer, og det er begrenset hvor stort volumet kan bli når sola står lavere på himmelen. Solkraftproduksjonen er dessuten liten i forhold til de andre teknologiene

Dager med mye sol, kaldt vær og lite vind er typisk for værmønsteret Euro-Atlantisk blokkering. Dette værmønsteret kan bli liggende i mange dager i strekk over hele Nord-Europa og er krevende for kraftsystemet.

I Norge har vi store vannmagasiner med regulerbar vannkraft som kan utnyttes i slike perioder. Europa er i dag avhengig av kjernekraft og annen termisk kraft, men i framtiden kan batterier, hydrogen og forbrukerfleksibilitet i større grad være med på å balansere kraftsystemet.

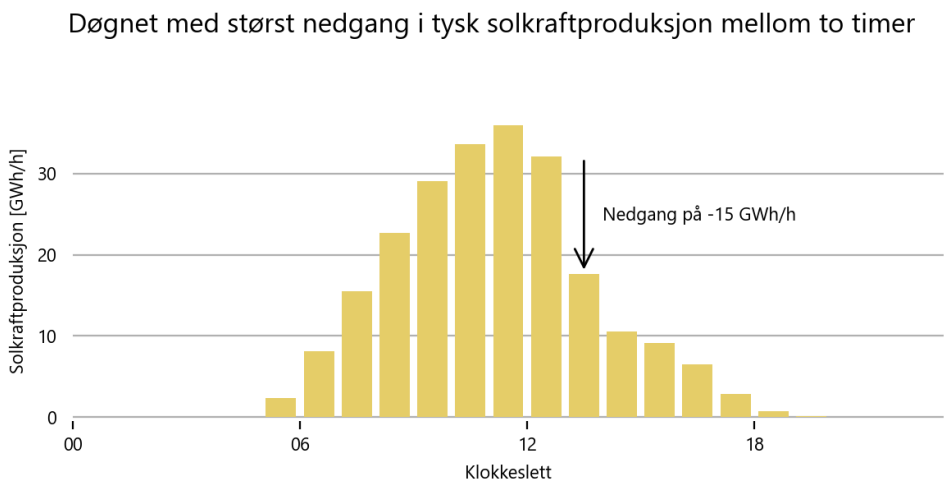
## 2.4 Raske reduksjoner i vind- og solkraft vil stille kraftsystemet overfor nye utfordringer med å levere nok fleksibilitet på kort tid

Når kraftsystemet får en større andel fornybar produksjon, vil det komme store og raske uforutsette reduksjoner i den totale kraftproduksjonen. Da kan det bli utfordrende å opprettholde den øyeblikkelige balansen i systemet.

Solkraft har de raskeste variasjonene, men vindkraft kan også endre seg fort. Datasettet vi har brukt har timesoppløsning. Dette gjør at veldig raske variasjoner, for eksempel innenfor et kvarter, kan ikke analyseres med vårt datagrunnlag[5].

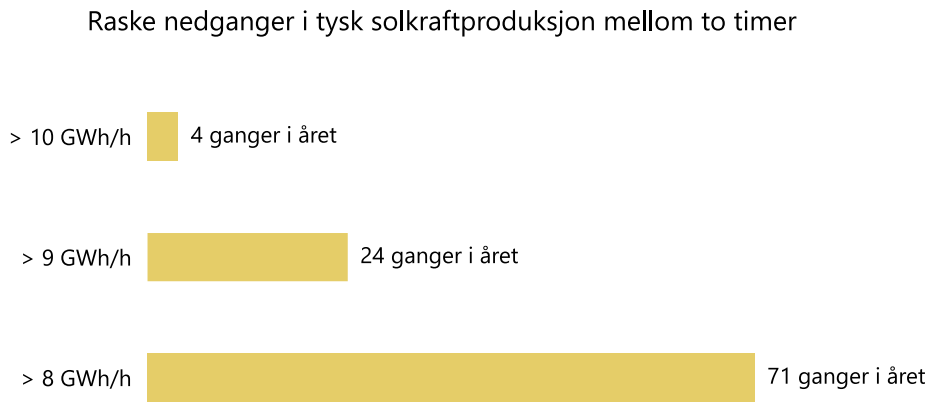
Det er raske reduksjoner i solkraft som er vanskeligst å håndtere for kraftsystemet. Reduksjonene skyldes endringer i solinnstråling. For at endringene skal kunne påvirke kraftsystemet i betydelig grad, må det skje samtidig over store arealer og er vanligvis forårsaket av værskifte. Da må enten regulerbar kraftproduksjon øke produksjonen, eller forbruket må redusere veldig raskt. Vi har sett på de raskeste reduksjonene i solkraftproduksjon i Tyskland som har høyest solkraftproduksjon i Nord-Europa. I de modellerte solkraftseriene for Tyskland reduseres solkraftproduksjonen på det meste med 30 prosentpoeng, eller 14 500 MW med dagens installerte solkraft fra en time til den neste (Figur 12).

[5] Solkraftseriene er basert på en rekke antagelser. Variasjonene, og spesielt ekstremene, i datasettet er derfor usikre.




**Figur 12 Døgnet med størst nedgang mellom to timer i solkraftproduksjon i Tyskland**

Selv om det ikke er ofte det skjer så raske endringer, er det likevel rundt 70 timer i året i Tyskland med en endring som er større enn 8 GWh/h (Figur 13), og kraftsystemet må kunne håndtere disse variasjonene på en god måte. Batterier og forbruksfleksibilitet er godt egnet til å redusere virkningen av disse reduksjonene. De kan enten "bygge bro" over reduksjonen til sola kommer tilbake, eller gi tid til at tregere regulerbare kraftverk kan skrus på. Vi kan begrense effekten av raske økninger i solkraft på kraftsystemet ved å lagre energi i batteri. Produksjonen i solcelleanlegg kan også reguleres ned, men dette gjør at man utnytter solressursen dårligere.




**Figur 13 Raske nedganger i solkraftproduksjon i Tyskland [GWh/h]**

Installert vind- og solkraft kommer til å øke betydelig i årene framover og gjør at disse utfordringene knyttet til raske endringer vil bli større. Lokale værendringer kan gjøre det vanskeligere for kraftsystemet å håndtere dette hvis mange vind eller solkraftverk er lokalisert i samme område. I områder der kraftverkene er lenger fra hverandre vil brå endinger i vær påvirke kraftsystemet mindre.

# Referanser


Arnfield, A. John, Encyclopaedia Britannica. 2020. *Köppen climate classification.* https://www.britannica.com/science/Koppen-climate-classification.

ECMWF. 2020a. *ENS cluster products.* https://www.ecmwf.int/en/forecasts/documentation-and-support/ens-cluster-products.

ECMWF. 2020b. *ERA5 datasett.* https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/reanalysis-datasets/era5.

ECMWF. 2011. «New clustering products.» *ECMWF Newletter.* https://www.ecmwf.int/sites/default/files/elibrary/2011/17442-new-clustering-products.pdf.

Encyclopaedia Britannica. 2020. *Ferrel cell.* https://www.britannica.com/science/Ferrel-cell.

Kjeller Vindteknikk. 2009. *Analyser av offshore modellsimuleringer av vind.* NVE. http://publikasjoner.nve.no/oppdragsrapportA/2009/oppdragsrapportA2009_10.pdf.

L.Ferranti, S. Corti, M. Janousek. 2014. «Flow-dependent verification of the ECMWF ensemble over the Euro-Atlantic sector.» *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society.* https://www.ecmwf.int/sites/default/files/elibrary/2011/17442-new-clustering-products.pdf.

Met Office. 2020. *Global circulation patterns.* https://www.metoffice.gov.uk/weather/learn-about/weather/atmosphere/global-circulation-patterns#:~:text=The%20global%20circulation%20can%20be,entire%20depth%20of%20the%20troposphere.

Meteorologisk institutt. 2020. *Weather API.* https://api.met.no/index_no.html.

NVE. 2020a. «Langsiktig kraftsystemanalyse 2020-2040.» http://publikasjoner.nve.no/rapport/2020/rapport2020_37.pdf.

NVE. 2020b. «Norge har et betydelig potensial for forbrukerfleksibilitet i sektorene bygg, transport og industri.» https://publikasjoner.nve.no/faktaark/2020/faktaark2020_07.pdf.

Olje- og energidepartementet. 2016. «Meld. St. 25 (2015–2016) Kraft til endring.» https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld.-st.-25-20152016/id2482952/.

Olje- og energidepartementet. 2020. «Meld. St. 28 (2019–2020) Vindkraft på land.» https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld.-st.-28-20192020/id2714775/.

SKM Market Predictor. 2020. *Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS).* https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis.

van der Wiel, Karin, Hannah C Bloomfield, Robert W Lee, Laurens P Stoop, og James A Screen. 2019. «The influence of weather regimes on European renewable energy production and demand.» *Environmental Research Letters 14/9.* https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ab38d3.

# A Vedlegg

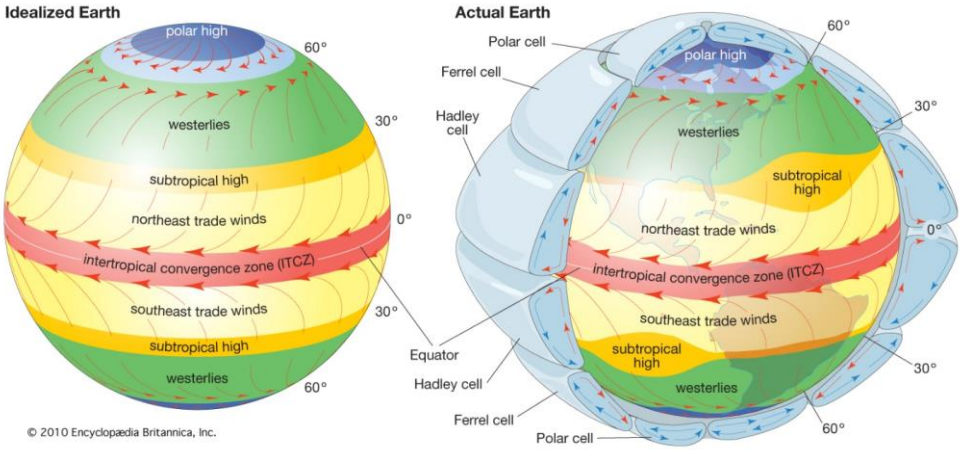
## A.1 Årlig ressurstilgang per land og ressurstype[6]

| Teknologi | Land | Snitt per år [TWh] | Laveste år [TWh] | Høyeste år [TWh] |
|---|---|---|---|---|
| **Kraftforbruk** | **Norge** | 134,3 | 130,3 (-3%) | 139,6 (+4%) |
| **Vannkrafttilsig** | **Norge** | 152,1 | 106,1 (-30%) | 187,0 (+23%) |
| | **Sverige** | 71,5 | 51,1 (-29%) | 95,4 (+33%) |
| | **Finland** | 16,1 | 11,9 (-26%) | 22,3 (+38%) |
| **Vindkraft på land** | **Norge** | 12,9 | 11,4 (-12%) | 14,7 (+13%) |
| | **Sverige** | 26,2 | 22,6 (-14%) | 30,6 (+17%) |
| | **Finland** | 7,3 | 6,1 (-15%) | 8,5 (+17%) |
| | **Danmark** | 10,3 | 8,9 (-13%) | 12,1 (+18%) |
| | **Tyskland** | 99,0 | 84,2 (-15%) | 113,9 (+15%) |
| | **Storbritannia** | 36,0 | 28,9 (-20%) | 42,9 (+19%) |
| | **Nederland** | 8,9 | 7,0 (-22%) | 10,5 (+18%) |
| **Havvind** | **Sverige** | 0,6 | 0,5 (-12%) | 0,6 (+14%) |
| | **Danmark** | 5,5 | 4,8 (-13%) | 6,2 (+13%) |
| | **Tyskland** | 28,0 | 23,6 (-16%) | 32,0 (+14%) |
| | **Storbritannia** | 37,5 | 31,0 (-17%) | 43,4 (+16%) |
| | **Nederland** | 6,2 | 5,1 (-17%) | 7,0 (+13%) |
| **Solkraft** | **Norge** | 0,1 | 0,1 (-13%) | 0,2 (+12%) |
| | **Sverige** | 0,8 | 0,7 (-13%) | 0,8 (+12%) |
| | **Finland** | 0,2 | 0,2 (-10%) | 0,2 (+15%) |
| | **Danmark** | 1,1 | 1,0 (-11%) | 1,2 (+12%) |
| | **Tyskland** | 47,7 | 42,2 (-11%) | 55,9 (+17%) |
| | **Storbritannia** | 12,4 | 11,0 (-12%) | 13,9 (+12%) |
| | **Nederland** | 7,6 | 6,5 (-14%) | 9,1 (+19%) |

[6] Tallene viser variasjon simulert over værårene 1979-2019 og er derfor ikke lik de historiske variasjonene i denne perioden.

## A.2 Globale atmosfæriske sirkulasjonsmønstre

Det er mange faktorer som påvirker været og klimaet på jorden. Dette systemet er ekstremt komplekst, men de tre største faktorene er solinnstråling, jordens rotasjon og jordoverflaten (Met Office 2020). Over ett år vil varmebalansen på jordens overflate være slik at nord for 40° i det nordlige halvkule og sør for 40° i det sørlige halvkule vil varmeutstrålingen ut fra jorden til verdensrommet være høyere enn solinnstrålingen. Dette fører til en omfordeling av varme fra ekvator og mot polene. Hvis jorden ikke roterte og overflaten var homogen ville dette ført til en stor sirkulasjonscelle på den nordlige halvkule og en på den sørlige. Her ville varm luft steget fra ekvator og blitt transportert mot polene i de øvre luftlagene. Men siden vi har rotasjon og en inhomogen overflate blir sirkulasjonssystemet mer komplisert. kan en se resultatet som er tre sirkulasjonsceller på hver halvkule som danner sine respektive Hadley (0° - 30°), Ferrel (30° - 60°) og Polar (60° - 90°) celler (Figur 14).



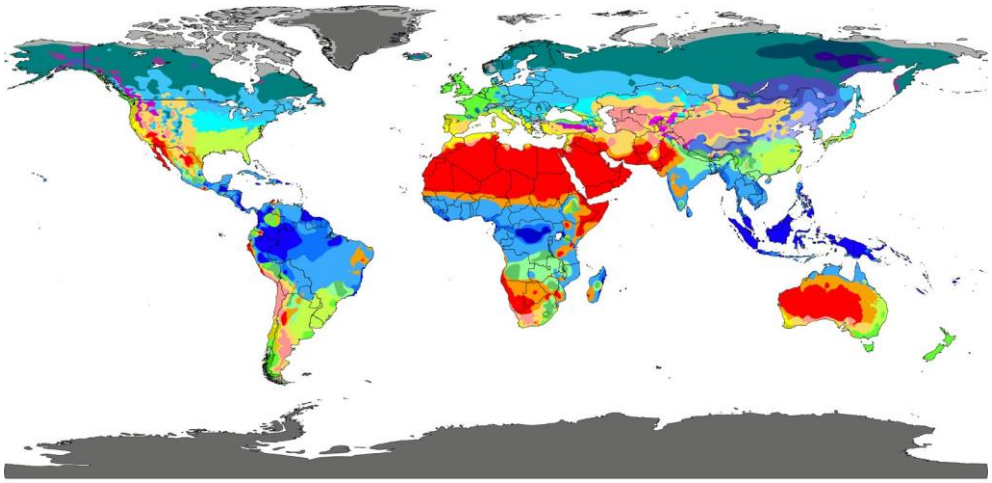

**Figur 14 Idealisert sirkulasjon og faktisk sirkulasjon (Encyclopaedia Britannica 2020).**

Ferrel cellen er ikke drevet av temperatur og har motsatt rotasjonsmønster av Hadley og Polar cellene. På grunn av dette får vi permanente og halvpermanente områder med høytrykk og lavtrykk. Der luft stiger oppstår lavtrykk og som gir større mengder med nedbør, det vil si rund ekvator og 60° breddegrader Nord og Sør. Så hvorfor har vi ikke kun søravind og nordavind? Dette kommer av corioliseffekten. Et objekt som er i rettlinjet bevegelse, vil få en avbøyet bane hvis dets referansesystem akselererer. Siden jordoverflatens fart østover er størst på ekvator (400 m/s) vil en ball som kastes fra for – et ikke så tilfeldig – eksempel 30°N mot Nordpolen få en avbøyning mot vest. Det samme gjelder vind som beveger seg fra 30°N mot Nordpolen. Dette er en årsakene til vestavinden man ser mye av i Nord-Europa.

Når vind beveger seg nordover, kommer den nærmere jordens spinnakse. På grunn av at drivmomentet må bevares, vil luften bevege seg raskere jo lenger nord den kommer. Dette er hoveddrivkraften bak den subtropiske jetstrømmen på omtrentlig 30°, mellom Hadley og Ferrel cellene.

Den polare jetstrømmen som ligger mellom Ferrel og Polar cellene er i hovedsak et resultat av temperaturforskjellen mellom polar luft og «tropisk» luft som møtes i det vi kaller polarfronten. Den polare jetstrømmen er kraftigere jo større temperaturforskjellen er, og den er derfor sterkest om vinteren og svakere om sommeren. Disse faktorene sammen med

havstrømmer og mer lokale faktorer som topografi gir oss klimaregionene våre som er vist i Figur 15.



**Figur 15 Köppens klimaklassifisering (Arnfield, A. John, Encyclopaedia Britannica 2020).**

Den oppmerksomme leser legger merke til at Oslo ligger omtrent midt i det teoretiske brytningspunktet mellom Ferrel og Polar cellen hvor polarjetten er å finne, altså 60°N. Dette er med på å forklare det sterkt skiftende været vi ser her i Norge. Den nord-atlantiske oscillasjonen (NAO) bør også nevnes, det er navnet gitt til trykkforskjellen ved havnivå mellom Asorene og Island. Grunnen til at det snakkes om en oscillasjon er at dette trykket svinger og når trykkbalansen reverseres skiftes fortegn i NAO indeksen. Gitte verdier av NAO indeksen assosieres med visse værregimer vi ser i Europa.

## A.3 Typiske værregimer

Det er mange faktorer som påvirker været og klimaet vi opplever hver dag. Det er derfor så vanskelig å melde været selv for noen dager frem i tiden. Men det er mange repeterende mønstre i været som gjør det mulig å gruppere værtyper i Europa i regimer. En av de mest brukte metodene er å dele i fire hovedregimer: Positiv NAO (R1), Euro-Atlantisk blokkering (R2), Negativ NAO (R3) og Atlanterhavsrygg (R4). Disse regimene beskrives i dette kapittel og er visualisert i Figur 16 og Figur 17. Frekvensen eller hyppigheten for disse regimene er vist i Tabell 2 og er beregnet av ECMWF[7] ved analyse av 29 år fra ERA datasettet. Samme datasettet er brukt som grunnlag for analyse i denne rapporten. Vi kan se at frekvensen til regimene skifter med sommer og vinter.

**Tabell 2 Frekvens for værregimer i Europa ifølge ECMWF (ECMWF 2020a). Sommer regnes fra mai til september og vinter fra oktober til april.**

| Regime | Sommer | Vinter |
|---|---|---|
| Positiv NAO (R1) | 25,6% | 32,3% |
| Euro-atlantisk blokkering (R2) | 27,3% | 26,1% |
| Negativ NAO (R3) | 24,2% | 21,4% |
| Atlanterhavsrygg (R4) | 22,9% | 20,2% |

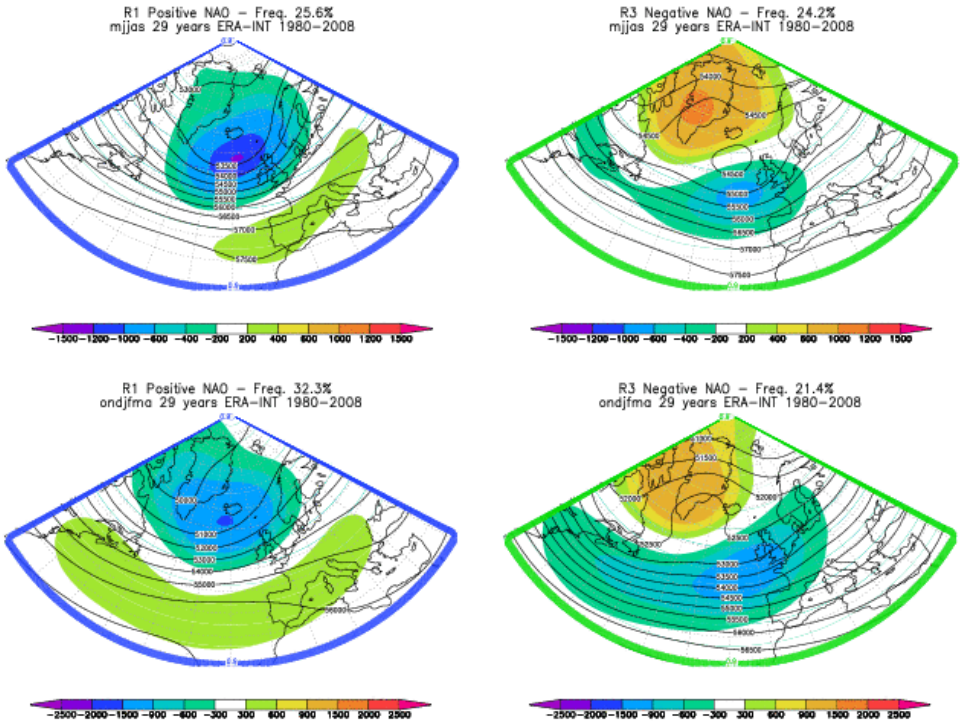
**Positiv NAO (R1)**

I dette værregimet har man et lavtrykk liggende ved Island og et høytrykk ved Asorene. Dette er det vanligste værmønsteret i Nord-Atlanteren og gjerne noe man ser mye av om høsten. Om sommeren i Norden betyr dette litt kjølig og vått vær med noe vind. Det gir typisk nedbør på Vestlandet og i Nordland, men oppholdsvær østafjells og i Sverige. På kontinentet er det gjerne varmt og tørt. Om vinteren forsterkers trenden fra sommeren med mer vind og mye nedbør på Vestlandet og Nordland. På kontinentet ser man gjerne tørrvær, milde temperaturer og vind i nord.

**Negativ NAO (R3)**

Ved Negativ NAO har man omvendt konstellasjon fra R1, med et høyere trykk enn normalt ved Island og lavere trykk enn normalt ved Asorene. Om sommeren betyr det gjerne bygevær med noe sol og vind østafjells og i Sverige. Resten av Norge har gjerne opphold med varme temperaturer, mulighet for sol og noe vind. I Storbritannia og på kontinentet har man gjerne en del vind, bygevær og kjølige temperaturer. Om vinteren ser man nedbør, lavere temperaturer og en del vind østafjells og i Sverige. I resten av Norge ser man gjerne opphold, muligheter for sol, kjølige temperaturer og vind. På kontinentet og Storbritannia er det normale temperaturer, nedbør, mye vind og lite sol.

[7] European Centre for Medium-Range Weather Forecasts



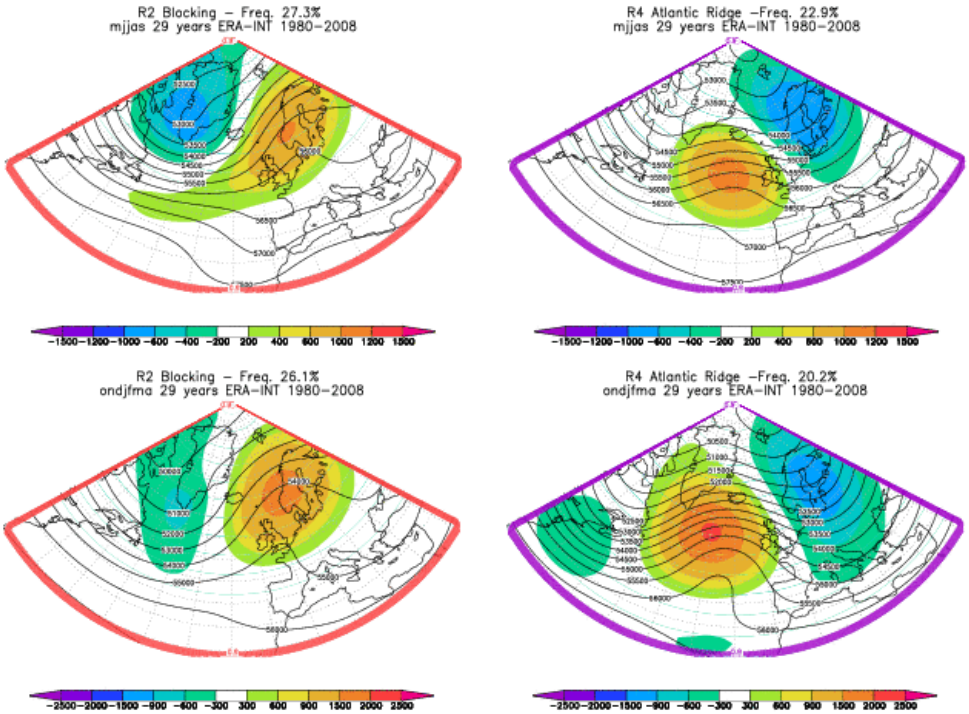

**Figur 16 Blå ramme er Positiv NAO (R1) og Negativ NAO (R3) har grønn ramme. Øverste rad er sommer og nederste rad er vinter. Sommer regnes fra mai til september og vinter fra oktober til april. Skalaen viser avvik fra 5500 meter over havnivå. (ECMWF 2020a).**

### Euro-atlantisk blokkering (R2)

I dette værregimet har man et høytrykk liggende over Nord-Europa som tvinger lavtrykkene langt nord eller sør. Om sommeren betyr dette at det blir tørt, varmt, solrikt og lite vind i Norden. For Storbritannia og kontinentet ser man opphold eller bygevær, varme temperaturer, gjerne sol og noe vind. Om vinteren gir dette tørt og kaldt vær i Norden med lite eller ingen vind, men gjerne sol. Den kalde luften kommer inn fra Russland. For Storbritannia og kontinentet ser man de samme effektene som for Norden, men med noe mer vind.

### Atlanterhavsrygg (R4)

Med en Atlanterhavsrygg vil det ligge ett høytrykk i Nord-Atlanteren og et lavtrykk over Europa som fører til nordavind. Om sommeren i Storbritannia og Norden vil dette scenarioet gi kjølige temperaturer og en del vind med mulige byger ved kysten vest og nord i Norge. Østafjells og i Sverige vil det være opphold og sol. På kontinentet vil det være kjølig, en del vind, noe bygevær og sol. Et Atlanterhavsryggsregime vil om vinteren føre til mye vind og kaldere temperaturer. På kysten har man gjerne bygevær, østafjells og i Sverige er det opphold og noe sol.




**Figur 17 Rød ramme er Euro-atlantisk blokkering (R2) og Atlanterhavsrygg (R4) har lilla ramme. Øverste rad er sommer og nederste rad er vinter. Sommer regnes fra mai til september og vinter fra oktober til april (ECMWF 2020a).**

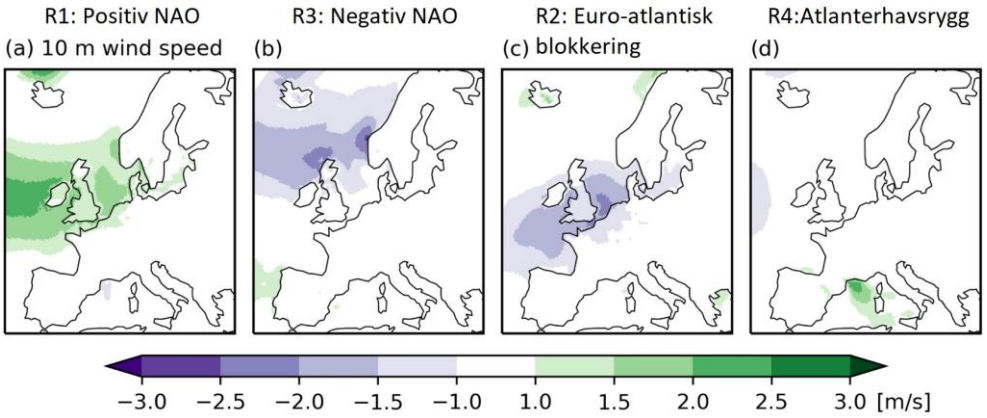
De forskjellige regimene påvirker vind, sol og temperatur og dermed kraftproduksjon og kraftforbruk. Videre i denne teksten vil det bli fokusert på vintermånedene når værregimene er på sitt klareste og kraftforbruket er høyt. Typiske effekter er oppsummert i Tabell 3 men det er en stor variasjon innenfor hvert enkelt værregime. Positiv NAO (R1) bringer mild vær med mer vind og nedbør enn normalt (van der Wiel, et al. 2019). Dette vil føre til mye uregulerbar vann- og vindkraftproduksjon og lavere forbruk. Euro-atlantisk blokkering (R2) kjentegnes av lite vind og nedbør. Lite variabel kraftproduksjon sammenfaller med høyt kraftforbruk som er et resultat av det kalde været i dette regimet.

**Tabell 3. Typisk effekt for de fire værregimene om vinteren**

| **Norge** | **Nedbør** | **Sol** | **Vind** | **Temperatur** |
|---|---|---|---|---|
| Positiv NAO (R1) | + | - | + | + |
| Euro-atlantisk blokkering (R2) | - | + | - | - |
| Negativ NAO (R3) | - | + | + | - |
| Atlanterhavsrygg (R4) | + | - | + | - |

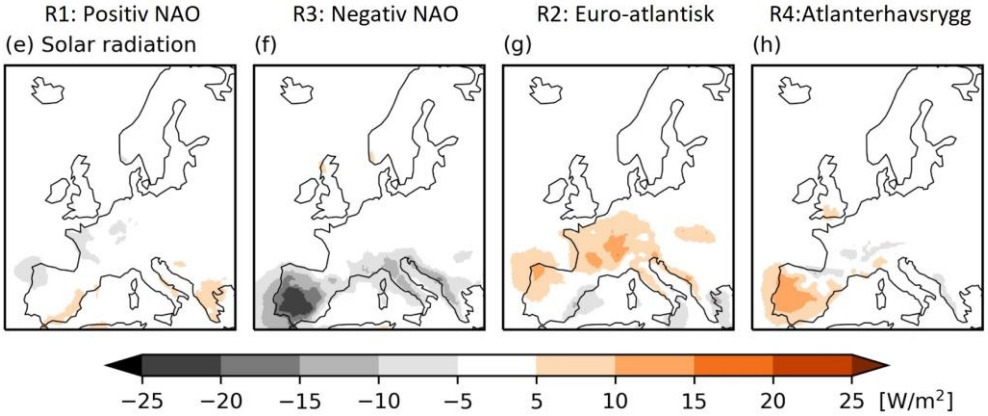
| **Nord-Europa** | **Nedbør** | **Sol** | **Vind** | **Temperatur** |
|---|---|---|---|---|
| Positiv NAO (R1) | - | + | + | + |
| Euro-atlantisk blokkering (R2) | - | + | 0 | - |
| Negativ NAO (R3) | + | - | + | 0 |
| Atlanterhavsrygg (R4) | + | - | - | 0 |

Som illustrert i Figur 18 gir Euro-atlantisk blokkering (R2) lavere vindhastigheter i Storbritannia og Tyskland. Negativ NAO (R3) derimot gir lavere vindhastighet i Vest-Norge, Skottland og Irland. Atlanterhavsrygg (R4) regimet gir lite utslag på gjennomsnittlig overflatevind bortsett fra høyere snittvind i Middelhavet ved franskekysten. Regimet med positiv NAO (R1) som er det dominerende i vinterhalvåret gir høyere snittvind i Nord-atlanteren, Nordsjøen og Skagerak. Dette påvirker vindforholdene i Sør- og Vest-Norge positivt.




**Figur 18: Gjennomsnittlig innvirkning av de fire værregimene på overflatevind i Europa for vintermånedene desember, januar og februar (van der Wiel, et al. 2019).**

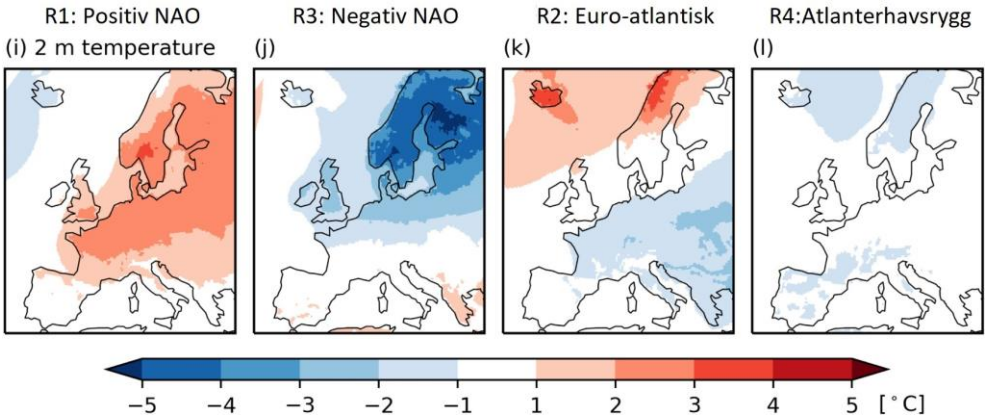
Påvirkningen de fire regimene har på solinnstråling er vist i Figur 19. Solinnstrålingen i Norden påvirkes i liten grad. Men Euro-atlantisk blokkering (R2) gir klar økning i solinnstråling i Sentral- og Sør-Europa. Et Atlanterhavsrygg regime (R4) gir økt solinnstråling på Den iberiske halvøy. Negativ NAO (R3) derimot gir redusert solinnstråling i Sør-Europa og spesielt på Den iberiske halvøy.




**Figur 19: Gjennomsnittlig innvirkning av de fire værregimene på tilgjengelig solinnstråling [W/m$^2$] i Europa for vintermånedene desember, januar og februar (van der Wiel, et al. 2019).**

Gjennomsnittlig innvirkning av værregimene på overflatetemperatur kan ses i Figur 20. Ved et Positivt NAO regime (R1) vil temperaturene i Nord- og Sentral-Europa være markert høyere enn normalt. For Negativ NAO (R3) ser man markert lavere temperaturer i Nord-Europa. For Euro-atlantisk blokkering (R2) er det en tydelig tredeling hvor Sentral-Europa

har kaldere temperaturer enn normalt. Storbritannia og sørlige del av Norden har normale temperaturer. Men nordlige del Norden har varmere enn normale temperaturer.




**Figur 20. Gjennomsnittlig innvirkning av de fire værregimene på temperatur i Europa for vintermånedene desember, januar og februar (van der Wiel, et al. 2019).**

Selv om værregimene er interessante i seg selv og for å fremme forståelsen vår av hvordan været fungerer, så er det stor variasjon innenfor hvert værregime. Det betyr at man kan si det er en større sjanse for lav energiproduksjon og høyt kraftforbruk ved Negativ NAO (R3) og Euro-atlantisk blokkering (R2), men det utelukker ikke at det kan skje i de andre værregimene.

NVE

Norges vassdrags- og energidirektorat

MIDDELTHUNS GATE 29
POSTBOKS 5091 MAJORSTUEN
0301 OSLO
TELEFON: (+47) 22 95 95 95

www.nve.no