

# Fra 1905 til 2025 - 120 år

## Ting du bør vite om kraftsystemet i Norge og Europa



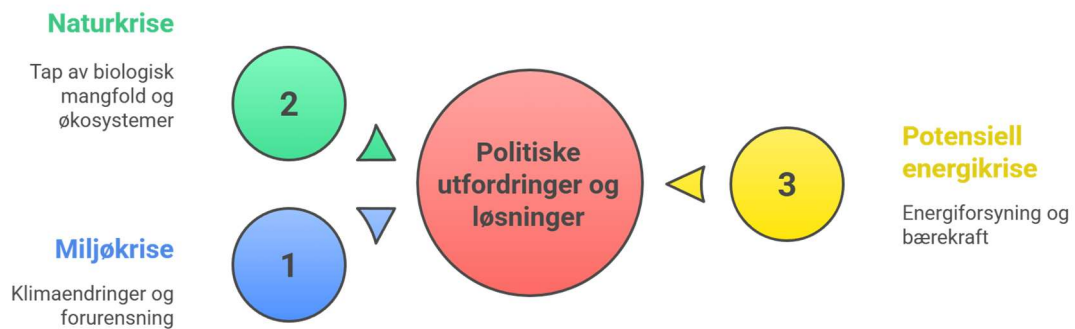
Forfattere:

UNJ

KMO

Det er tre vesentlige sammenhengende kriser i vår tid. Disse omhandler miljøkrisen, naturkrisen og energikrisen.

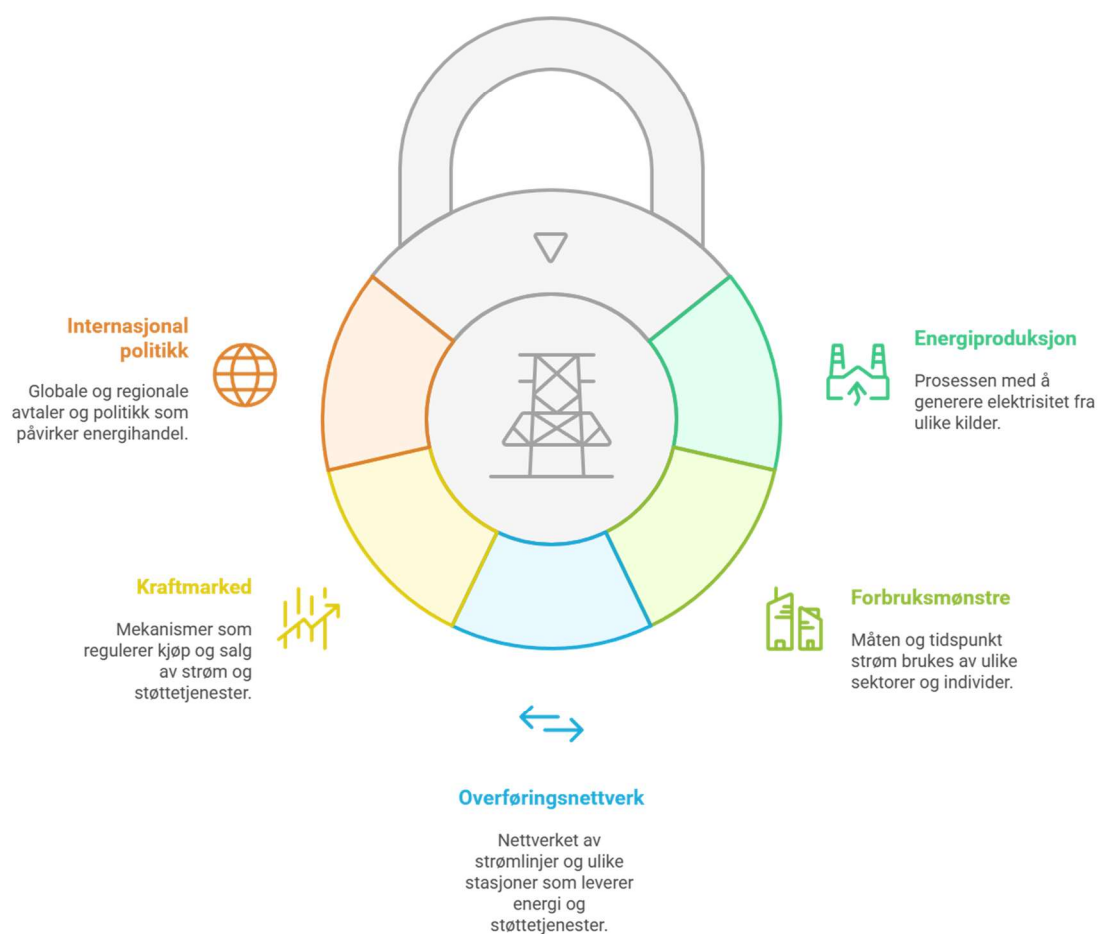
### Sammenhengende kriser som påvirker Norge



Krisene forsøkes løst politisk på alle nivåer, fra globalt til lokalt. Debattene og det politiske ordskiftet i Norge har vært preget av polarisering som en delvis følge av mangel på kunnskap og forståelse.

Det er krevende å få oversikt over vesentlige deler av totalbildet, naturlover, historikk eller politiske føringer. Kraftsystemet har en kompleksitet i energiproduksjonen, forbruksmønstre, overføringsnett, kraftmarkedet og den internasjonale politikken som det er svært viktig å forstå bedre overordnet.

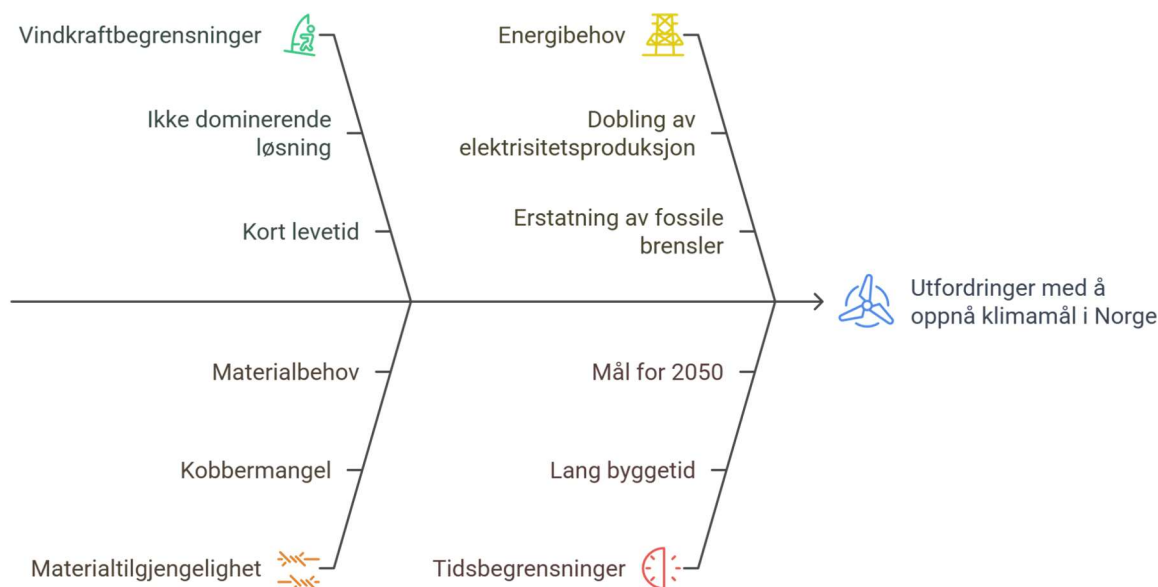
## Kompleksiteten i det elektriske kraftsystemet



Les dette dokumentet for å forstå bedre slik at du som person kan bidra mer konstruktivt og stemme riktig i valgene for å løse vår samtids største fellesutfordringer.

## Liste over forutsetninger som ligger til grunn for dette dokumentet:

### Utfordringer med å oppnå klimamål i Norge



1. Vindkraft er i seg selv ikke en negativ løsning i klimasammenheng, den slipper ikke ut CO<sub>2</sub> i sin produksjon av strøm. Vindkraft kommer absolutt til å ha sin viktige rolle i omleggingen av energisystemet, så vi blir utslippsfrie. Den har dessverre ikke iboende egenskaper som gjør den egnet til å bli den dominerende løsningen (det blir forklart nærmere).
2. Klimakrisen er så omfattende at det totale energiregnskapet for selve produksjonen av ny energiproduksjon også må tas med i bildet (EROI) i tillegg til økonomiske kostnader (LCOE inkl. systemkostnader). På toppen av det kommer behovene for ulike typer materialer. Forenklet spørsmål: Er det i det hele tatt nok kobber i verdensmarkedet til å lage nok antall vindturbiner? (Svaret er nei.)
3. Klimakrisen dikterer forutsetningen for mengden ny elektrisk kraft som må til for å fortrenge hydrokarboner (alle former for kull, gass og oljederivater). Da kan vi grovt sett kalkulere at ny elektrisk utslippsfri energi som trengs, tilsvarer mengden energi i fossil energi. I Norge har vi en 50% andel forbruk av fossil energi. Det betyr at vi trenger å omtrent doble vår elektrisitetsproduksjon.
4. Tidsaspektet. Det tok 120 år å få 150TWh produksjonskapasitet. Vindkraft har fått 6 TWh kapasitet på over 30 år og har svært kort levetid, de må skiftes (bygges på nytt) ut etter 10-15 år. Kjernekraften tar også lang tid å bygge, men har levetid på opp mot 100 år med en helt enorm energiavkastning. Nøkkelordet er "energitetthet".
5. Uten å gå helt konkret inn på regnskapene kan man grovt sett estimere at Norge får behov for mer enn 100 TWh ny energiproduksjonskapasitet innen 2050, dvs om 25 år. (Vi har en del fornybare kilder som vedfyring, avfall og biogass). Det klarer vi ikke. Men verden fortsetter å bestå også etter 2050.

6. Kompleksiteten fremtvinger behovet for forenklinger og generaliseringer i stedet for omfattende forklaringer og overveldende mange opplysninger. Utfordringen er å få skrevet kort og lite nok til at folk leser og forstår riktige fakta.
7. Vi omtaler eller behandler ikke klimautslipp, dette dokumentet er fokusert på kraftforsyningssystemet i de 5 prisområdene Norge gitt premissene for avkarbonisering gir oss.
8. Vi baserer oss på at i Norge er vannkraften for det meste ferdig utbygd, og at vernede vassdrag forblir vernet og ikke skal bygges ut. Det samme gjelder Europa. (Det er estimert potensiale for effektivisering av vannkraft i størrelsesorden 10 TWh totalt).



# Innholdsfortegnelse:

<u>Historikk og politisk kompleksitet.....</u>	<u>5</u>
<u>Industrieventyret Hydro og nasjonalisering av krafta .....</u>	<u>5</u>
<u>Grunnlaget for velferdssamfunnet:.....</u>	<u>5</u>
<u>Økonomisk og politisk utvikling.....</u>	<u>5</u>
<u>Prisområder.....</u>	<u>6</u>
<u>Flaskehalsar .....</u>	<u>6</u>
<u>Vertikal separasjon.....</u>	<u>6</u>
<u>Strøm er en kritisk tjeneste .....</u>	<u>6</u>
<u>ACER, EU og EØS.....</u>	<u>6</u>
<u>Kraft- og klimatrusselen i går og i dag .....</u>	<u>7</u>
<u>Freds- og miljøbevegelsens miljødestruktive kjernekraftmotstand .....</u>	<u>8</u>
<u>Inkongruensen i kjernekraftmotstanden .....</u>	<u>8</u>
<u>Oljebransjens negative rolle.....</u>	<u>8</u>
<u>Ulykkene og det kollektive traumet .....</u>	<u>8</u>
<u>EROI.....</u>	<u>9</u>
<u>Asynkron vs synkron energiproduksjon.....</u>	<u>9</u>
<u>Naturlovenes fysiske forutsetninger i kraftsystemet.....</u>	<u>9</u>
<u>Begreper .....</u>	<u>10</u>
<u>Hvordan strømmen blir til.....</u>	<u>10</u>
<u>Hvordan strømmen overføres .....</u>	<u>10</u>
<u>Hva er vanskelig med strømovertføring? .....</u>	<u>11</u>
<u>Bøtende tiltak ved ustabilitet og forstyrrelser .....</u>	<u>11</u>
<u>Systeminerti og rotasjonsmasse .....</u>	<u>11</u>
<u>Kaskadeeffekt og delvis eller total blackout:.....</u>	<u>11</u>
<u>Frekvensstabiliseringsprodukter i kraftnettet: .....</u>	<u>11</u>
<u>15-minutters avregningsperioder: .....</u>	<u>12</u>
<u>Strømproduksjon: .....</u>	<u>12</u>
<u>Transformering: .....</u>	<u>12</u>
<u>Transmisjon:.....</u>	<u>12</u>
<u>Distribusjon:.....</u>	<u>12</u>
<u>Balansering:.....</u>	<u>12</u>
<u>Samkjøring: .....</u>	<u>12</u>
<u>Sinuskurven:.....</u>	<u>13</u>
<u>Lagringskapasitet og pumpekapasitet:.....</u>	<u>13</u>
<u>Vekselstrøm og likestrøm, hva er forskjellen og hva benyttes:.....</u>	<u>13</u>
<u>Hellbrise og dunkelflaute.....</u>	<u>13</u>
<u>Kraft- og miljøsituasjonen i dag: .....</u>	<u>14</u>
<u>Oljenasjonen .....</u>	<u>14</u>
<u>Vannkraftnasjonen.....</u>	<u>14</u>

# Historikk og politisk kompleksitet

## Industrieventyret Hydro og nasjonalisering av krafta



Historisk sett har Norge utviklet sitt elektriske kraftsystem siden 1905, da Hydro startet sitt industrieventyr med de til da blant verdens største vannkraftutbyggingene i Rjukan, Svelgfoss og Vemork. Den gangen var det ingeniørene som styrte kraftskuta, og de styrte den godt. Politisk tok nasjonen ganske raskt kontroll over krafta, noe som dannet grunnlaget for velferdssamfunnet.

### Grunnlaget for velferdssamfunnet:

I løpet av 120 år ble Norges kraftsystem, og det nordiske kraftsamarbeidet, et fantastisk nasjonalt og regionalt fundament for både industriell virksomhet og grunnlaget for de gode velferdssamfunnene i Norden.

### Økonomisk og politisk utvikling

Norge har deltatt i og vært aktive hva angår markedsliberaliseringen av kraftmarkedet i europeisk perspektiv. Det startet tidlig 1990-tallet med deregulering og oppstyking av tidligere monopoler.

Norge var tidlig ute med energiloven (1991) som ble startskuddet og inspirasjonen for EUs egne energipakker. De fleste land, inkludert Norge i dag, har et etterslep på at investeringer i kraftnett ble betydelig redusert etter dereguleringen. Det oppsto et slags investerings- og ansvarsvakuum som gir oss noen ekstra utfordringer i kraftsystemet i dag.

EU drev prosessen gjennom energipakker for å skape et felles europeisk kraftmarked med større regelharmonisering og teknisk standardisering for at landene skulle kunne samarbeide bedre om forsyningssikkerhet mm.



1. energipakke: 1996/1998
2. energipakke: 2003
3. energipakke: 2009
4. energipakke: "Ren energi-pakken", 2019

2025: EU arbeider med en femte energipakke.

Denne er fortsatt under politisk behandling og utvikling og fokuserer på:

- Ytterligere integrering av fornybar energi
- Styrking av energisikkerhet
- Tilpasning til klimamål (avkarbonisering)
- Digitalisering av energisektoren

Pakken er del av EUs strategi for å nå klimamålene for 2030 og 2050 og forventes implementert innen 2027.

Disse pakkene har gradvis kommersialisert, liberalisert og åpnet energimarkedet i Europa og skapt felles regler på tvers av landegrensene. Harmonisering av det europeiske indre kraftmarkedet.



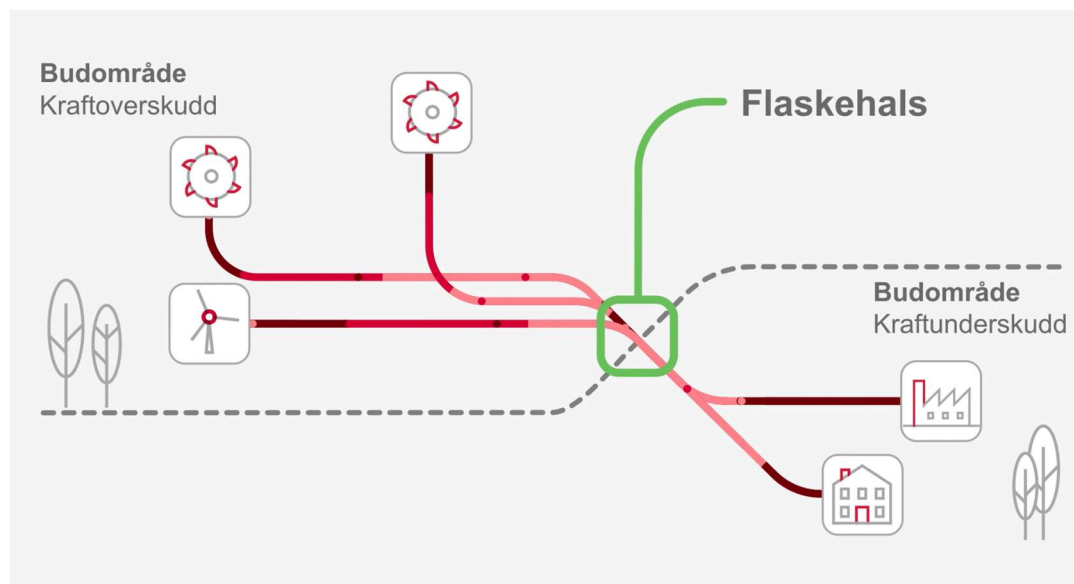
## Prisområder

Prisområdene for strøm i Norge ble innført i 2000. Dette var en del av utviklingen av det nordiske kraftmarkedet, der Norge ble delt inn i flere prisområder (i dag NO1-NO5) for å håndtere flaskehals i strømmettet og gi bedre prissignaler for kraftflyt mellom ulike regioner.

Systemet har blitt videreutviklet siden innføringen, med justeringer i antall og grenser for prisområdene basert på nettkapasitet og forbruksmønstre.



## Flaskehals



## Vertikal separasjon av energisystemet

### Vertikal separasjon - hvordan strømsystemet utvikler seg



Produksjon, overføring og distribusjon ble adskilt i separate sektorer/markeder. Etablering av kraftbørser og prisområder. Økt fokus på forsyningsikkerhet i nyere tid grunnet endret trusselbilde og endring i kraftmiksen, dvs. mengdeforholdet mellom stabile synkrone og ustabile asynkrone energikilder. Utviklingen fortsetter med tilpasninger til økende andel fornybar energi og nullutslippsmål mot 2050.

### Strøm er en kritisk tjeneste

Med den teknologiske utviklingen er elektrisk strøm blitt en stadig mer kritisk samfunnstjeneste. Alt styres elektrisk med datamaskiner. Folk dør dersom strømmen forsvinner i sterkt elektrifiserte samfunn, særlig når det er kaldt. Heldigvis varmes mye av bygningsmassen i store deler av Europa fremdeles av gass. Men det skal fases ut i tråd med klimatiltakene. Så strøm vil bli enda mer kritisk fremover.

## ACER, EU og EØS

Det er verdt å nevne ACER (Agency for the Cooperation of Energy Regulators) som ble opprettet i 2009 som del av EUs 3. energipakke og ble operativ i 2011 og innført i Norge i 2018. ACER er EUs energibyrå som skal fremme samarbeid mellom nasjonale energiregulatorer og bidra til et integrert europeisk energimarked. En energiregulator er en nasjonal myndighet som overvåker og regulerer energimarkedet i et land. I Norge er det ReguleringsMyndigheten for Energi (RME).



### Oversikt over ACER og Norges deltakelse



#### Koordinering av regulatorer

Fremmer samarbeid mellom nasjonale energiregulatorer



#### Harmonisering av regler

Sikrer konsistente energimarkedsregler over landegrenser



#### Overvåking av markedet

Overvåker det indre energimarkedet i Europa



#### Rammeverk for handel

Utvikler rammeverk for grenseoverskridende energihandel



#### Anbefalinger og uttalelser

Gir råd om energiregulering



#### Integrering av fornybar energi

Fremmer integrering av fornybar energi i kraftsystemet



#### Norges deltakelse

Involverer Norge i EUs energimarked gjennom EØS

ACERs hovedfunksjoner:

1. Koordinere samarbeid mellom nasjonale energiregulatorer i EU/EØS
2. Bidra til harmonisering av energimarkedsregler på tvers av landegrensener
3. Overvåke det indre energimarkedet i Europa
4. Utarbeide rammeverk for grenseoverskridende energihandel
5. Gi anbefalinger og uttalelser om energiregulering
6. Fremme integrasjon av fornybar energi i kraftsystemet



ACER har ikke direkte myndighet over nasjonale regulatorer, men fungerer som et koordinerende organ for å sikre et velfungerende, integrert europeisk energimarked.

EØS-avtalen er grunnlaget for Norges deltakelse i EUs energimarked.

Gjennom EØS:

1. Implementerer Norge EUs energilovgivning
2. Deltar i det indre energimarkedet
3. Har innført EUs energipakker
4. Er tilknyttet ACER gjennom RME (Reguleringsmyndigheten for energi)
5. Følger felles regler for krafthandel over landegrensene

Dette gir Norge tilgang til det europeiske kraftmarkedet samtidig som vi må følge EUs regelverk på energiområdet. Det øker forsyningssikkerheten for alle landene som samarbeider og fordeler byrden og kostnaden på problemer som mangel på gass eller energi generelt. Byrden og kostnaden faller på forbrukerne.

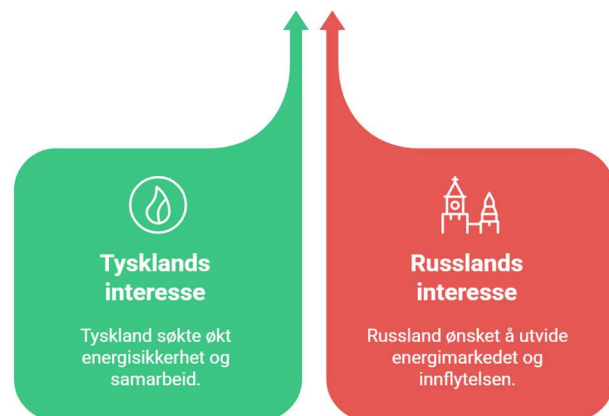
## Kraft-, miljø- og klimatrusselen i går og i dag

Gradvis har krafta blitt mer politisk og markedsøkonomisk styrt siden 90-tallet. Det har skjedd, som vi har sett over, gjennom den politiske og geostrategiske utviklingen når det gjelder kontroll og styring av kraftmarkedet i EU. Det ble også politisk bestemt uten ordentlige konsekvensutredninger for energisystemene eller forståelse av omfang at vi skal ha store mengder med ustabil væravhengig og asynkron kraftproduksjon koblet på et kraftsystem som ble bygget opp uten disse energikildene i tankene. Tyskland og EU førte en politikk som knyttet seg sterkere opp mot russisk gass for å bøte kortsiktig på konsekvensene av utbyggingene av stadig større mengder asynkron kraft med store regionale konsekvenser og det resulterte også i at strømprisene i store deler av EU/Europa så ble knyttet opp mot prisen på gass.

Det truer stabiliteten og i ytterste konsekvens fundamentet i

velferdssystemet vårt i tiårene som kommer hvis utviklingen fortsetter på samme måte med stadig mer asynkron energiproduksjonskapasitet uten tilstrekkelig konsekvensanalyser og forståelser av disse konsekvensene (eller ved å legge om til bygging av mer rasjonelle energikilder som kjernekraft). I dag benyttes vannkraften i Norge til å regulere og stabilisere

### Energisamarbeid og politisk innflytelse



kraftsystemet på en måte som det aldri ble designet for. Det medfører økt slitasje og kostnad, større operasjonell risiko og dermed lavere forsyningssikkerhet.

## Asynkron kraft har en destabiliserende virkning på det norske kraftsystemet



### De 5 viktigste politiske føringene for norsk kraftproduksjon (1905-1973)

1. Konesjonslovene (1906-1917) - Sikret offentlig eierskap til vannkraftressursene og hjemfallsrett, som ga grunnlag for langsiktig nasjonal kontroll
2. Statlig utbygging - Etablering av Statskraftverkene (senere Statkraft) som sikret kraftutbygging til industriformål og allmenn forsyning
3. Kommunalt eierskap - Lokal kontroll over kraftressurser som ga inntekter direkte til lokalsamfunn og velferdstjenester
4. Industrikraftavtaler - Langsiktige avtaler om rimelig kraft til kraftkrevende industri som skapte arbeidsplasser og eksportinntekter
5. Samkjøring av kraftsystemet - Utvikling av et nasjonalt kraftnett som sikret forsyningssikkerhet og effektiv ressursutnyttelse



Tankene og dogmet om at værbaserte asynkrone energikilder kan redde oss ved å erstatte fossil kraft stammer mye fra venstresidens freds- og miljøvernbevegelse som gjennom sin atomvåpenmotstand også inkluderte kjernekraften i sin motstandsvirksomhet fordi den bidro til å muliggjøre produksjonen av høyanriket spaltbart materiale som utgjør sprengkraften i atomvåpnene. Vi vet i dag at det er lett å overvåke og kontrollere slik produksjon. Å produsere høyanriket uran i det skjulte ansees for å være svært ressurskrevende og tilnærmet umulig (Iran er et eksempel, og Nord-Korea produserer kjernevåpen uten å ha sivile kjernekraftverk).

De som fortsatt er prinsipielle motstandere av kjernekraft og opptatt av klimakrisen har ikke noe særlig annet energialternativ å tilby som erstatning for fossil energi enn værbasert ustabil kraft.

Statistikk og vitenskap forteller oss at kjernekraft er en av de tryggeste og minst forurensende energikildene vi kan benytte.<sup>1</sup>

### Inkongruensen og fobiene i kjernekraftmotstanden med dets konsekvenser

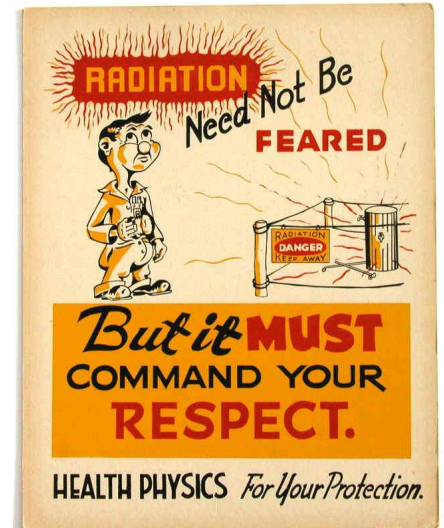
Realitetskonsekvensen er at motstanden og motviljen mot kjernekraften har bidratt til å utsette, trenere og dermed føre oss frem til klimasituasjonen i dag med like sterk (om ikke enda sterkere) avhengighet av fossil kraft og dermed ingen reell bedring i klimakrisen.<sup>2</sup> Mange som er, uansett bakenforliggende årsak, investert i vind- og solkraft, sitter fast i det "grønne fornybar-dogmet" og sliter med å forstå at ustabil og uregulerbar energiproduksjon ikke uten videre, eller på en økonomisk rimelig måte, lar seg forene med nåtidens elektrisitetsforbruk og ekstreme forventning og krav om 100% oppetid i samfunnet. Hvis vi ikke kan styre energiproduksjonen slik at det til enhver tid tilsvarer forbruket, er vi ikke kommet nærmere en permanent eller stabil løsning. I dag planlegges det økning av, og benyttes, fossile energikilder ofte som erstatningstiltak (bl.a. gassturbiner) for å støtte oppunder sviktende stabilitet i værbasert energiproduksjon. Resultatet er at det i praksis må

<sup>1</sup> [What are the safest and cleanest sources of energy? - Our World in Data](https://ourworldindata.org/safest-sources-of-energy/) <https://ourworldindata.org/safest-sources-of-energy/>

<sup>2</sup> [CO<sub>2</sub> and Greenhouse Gas Emissions - Our World in Data](https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions/) <https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions/>

bygges et parallelt energisystem for ustabil værbasert energiproduksjon uten at utslippene reelt sett går ned. Det blir veldig mye mer kostbart enn å satse på en energiform som allerede passer til energisystemene vi har etablert, nemlig kjernekraft (eller vannkraft).<sup>3</sup>

Man kan som tilsvar til analysen her også hevde at utbyggingen av vindkraft går for sakte på grunn av samme type (folkelige) motstand fordi konsekvensen er en massiv nedbygging av naturområder og andre negative konsekvenser for dyr og mennesker. Men mengden natur som må bygges ned samt materialer og energi som skal til for å produsere antallet vindturbiner som trengs til å fordrive fossil kraft blir samlet sett for stor.<sup>4</sup> Ustabiliteten i kraftsystemet blir større med påfølgende skyhøye stabiliseringskostnader. Videre blir forsyningssikkerheten lavere. Derfor er motstanden mot asynkrone kraftkilder mye mer fornuftig enn motstanden mot synkron kjernekraft eller vannkraft noen gang var. Atomvåpen vil vi selvfølgelig ikke ha.



Oljebransjens negative rolle



Den globale oljebransjen var også i hele denne motstandsprosessen i stor grad pådrivere og hjelpere i dette aspektet inn mot miljøbevegelsen med sterke egeninteresser. Det bidro til å opprettholde det fossile energisystemet som de tjente penger på. Vindkraft er en lav trussel for fossilnæringen da den er asynkron, og verden trenger synkron og stabil kraft. Dette

<sup>3</sup> finn link og sett inn her

<sup>4</sup> [Vaclav Smil's Warning: The Current Energy Transition is Unfeasible](https://www.energycentral.com/renewables/post/vaclav-smils-warning-current-energy-transition-unfeasible-clRWoallHxIdef()) https://www.energycentral.com/renewables/post/vaclav-smils-warning-current-energy-transition-unfeasible-clRWoallHxIdef()

skjønte oljebransjen veldig godt. Vitenskapen og oljebransjen har helt fra begynnelsen av visst at forbrenning av hydrokarboner akkumuleres i atmosfæren og fører til drivhuseffekten og global oppvarming. Dette ble første gang offentlig omtalt i avisnotiser under den industrielle revolusjonen omtrent 1824 blant annet som en følge av forbrenning av kull og smog-problemene i Storbritannia.<sup>5</sup> Det er dokumentert at oljeselskapenes egne vitenskapsfolk skriftlig har omtalt det problematiske med drivhusgassene internt i selskapene siden 1970-tallet, kanskje så tidlig som på 1960-tallet.<sup>6</sup>

### Ulykkene og det kollektive traumet

På 80-tallet var kjernekraften i ferd med å bygge seg opp og bli en trussel for fossile energikilder, men den kalde krigens atomvåpentrusel samt de mest kjente ulykkene bremsset utviklingen:

- Three Mile Island. 28. mars 1979, rett etter den amerikanske filmen "The China Syndrome" kom på kinoene i USA. Det ble anløp til hysteri og panikk i mediene og hos befolkningen, 0 døde etter et mindre og ukontrollert radioaktivt gassutslipp.
- Tsjernobyl. 1986.<sup>7</sup> Verdenshistoriens verste atomulykke som også kunne ha blitt forhindret.<sup>8</sup> 31 direkte døde og estimert 4-9000 kreftdødsfall som en følge av den radioaktive forurensningens stråling.<sup>9</sup>
- Fukushima. 2011. Naturkatastrofe, 0 døde av radioaktivitet eller ulykken på kraftverket. Tsunamien forårsaket opp mot 20 000 dødsfall. Lukket på en måte døren for videre utvikling og satsing. Det var den utløsende årsaken til Tysklands stengning av sine kjernekraftverk uten konsekvensanalyser.<sup>10</sup>

---

<sup>5</sup> [History of climate change science - Wikipedia](https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_climate_change_science/) [https://en.wikipedia.org/wiki/History\\_of\\_climate\\_change\\_science/](https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_climate_change_science/)

<sup>6</sup> [Exxon Knew about Climate Change Almost 40 Years Ago | Scientific American](https://www.scientificamerican.com/article/exxon-knew-about-climate-change-almost-40-years-ago/) <https://www.scientificamerican.com/article/exxon-knew-about-climate-change-almost-40-years-ago/>

<sup>7</sup> [Chernobyl disaster - Wikipedia](https://en.wikipedia.org/wiki/Chernobyl_disaster/) [https://en.wikipedia.org/wiki/Chernobyl\\_disaster/](https://en.wikipedia.org/wiki/Chernobyl_disaster/)

<sup>8</sup> [Chernobyl Accident 1986 - World Nuclear Association](https://world-nuclear.org/information-library/safety-and-security/safety-of-plants/chernobyl-accident/) <https://world-nuclear.org/information-library/safety-and-security/safety-of-plants/chernobyl-accident/>

<sup>9</sup> [The Chernobyl Accident](https://www.unscear.org/unscear/en/areas-of-work/chernobyl.html) (<https://www.unscear.org/unscear/en/areas-of-work/chernobyl.html>)

<sup>10</sup> [Q&A - Germany's nuclear exit: One year after | Clean Energy Wire](https://www.cleanenergywire.org/factsheets/qa-germanys-nuclear-exit-one-year-after#) (<https://www.cleanenergywire.org/factsheets/qa-germanys-nuclear-exit-one-year-after#>)



Kjernekraftens samlede stagnasjon siden 80-tallet bidro i overført betydning til miljøkrisen 50 år senere.

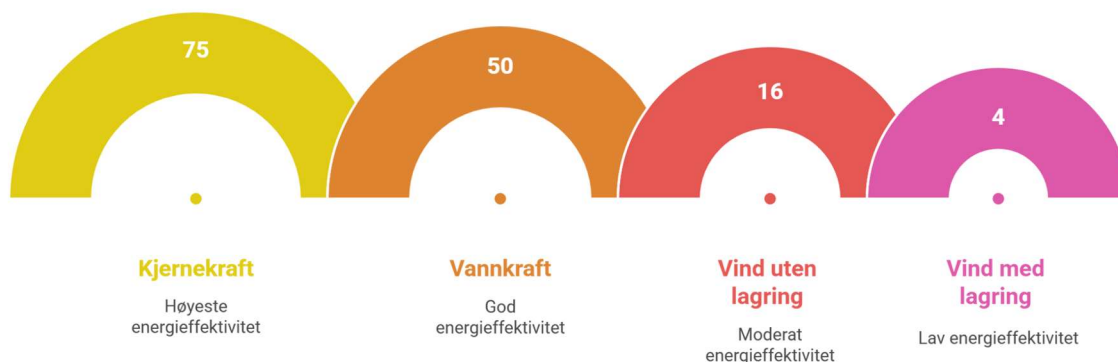
“The China Syndrome” fra 1979 og de påfølgende mest kjente ulykkene med påfølgende sensasjonalisert opphaussing fra profittstyrte massemedier ga også grunnlag for et nukleært radiofobisk kollektivt traume i stort sett hele verden. Dette traumet er reelt, det er et psykososialt fenomen, og skal ikke underslås på noe vis, og vi må behandle det kollektivt slik vi behandler alle traumer.<sup>11</sup> I tillegg må saklig og vitenskapelig informasjon om kjernekraft presenteres og gjentas til traumet gir seg rent kognitivt. Nå er det i ferd med å skje, også i lys av klimakrisens omfang, de elektriske kraftsystemenes iboende fysiske egenskaper og samfunnsmessige betydning. Meninger og oppfatninger endres og den yngre generasjonen som ikke er fanget av traumet, er mer opptatt av hva som er de trygge, langsiktige, effektive og bærekraftige løsningene.

---

<sup>11</sup> [Kollektive og flergenerasjonelle traumer med Marta Thorsheim \(del 2\) — Flux](https://www.flux.no/innimellom-podcast/traumer-marta-thorsheim-podkast-del-2/) [https://www.flux.no/innimellom-podcast/traumer-marta-thorsheim-podkast-del-2\(\)](https://www.flux.no/innimellom-podcast/traumer-marta-thorsheim-podkast-del-2/)

## EROI

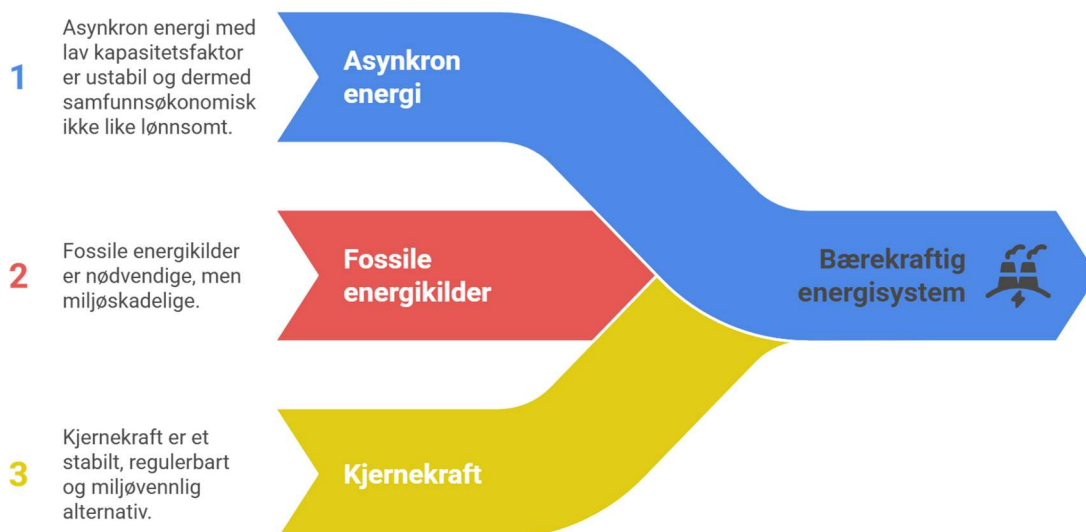
### Energiavkastning på investering (EROI) for energikilder



Det er en rekke analysemetoder man kan benytte seg av for å beregne og forstå hvorfor vindturbiner er en dårlig overordnet energistrategi, blant annet EROI (Energy Return On Investment). EROI gir en rate for hvor effektiv energiproduksjonen i virkeligheten er. Jo lavere EROI, jo dårligere utbytte. Kjernekraft gir EROI på 75. Vannkraften ligger på rundt 50. Vindkraft på 16 uten lagring, med batteribanker helt ned på 4. Alt under 7 er ikke økonomisk bærekraftig. 1 betyr at man har brukt like mye energi på å bygge og drifte kraftverket som det produserer.

### Asynkron vs synkron energiproduksjon

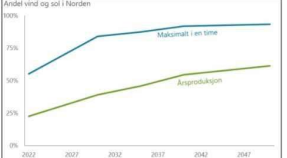
#### Veien til bærekraftig energi



Asynkron energi passer ikke inn i et synkront kraftsystem uten videre, den har en

kapasitetsfaktor på ned mot 30% og forretningsmessig gir den en svært ulønnsom drift. Ofte så blåser det enten for mye over store områder samtidig og strømprisen går ned mot null (svært lav inntjening på full drift) eller så blåser det for lite eller ingenting (null drift på tross av høy strømpris). Da må andre energikilder ta over for å møte forbruket. I praksis betyr det at skal det europeiske kontinentet satse på store mengder asynkron kraft, må vi ha to kraftsystemer, der fossile energikilder slår inn når det er vindstille og mørkt (dunkelflaute). Det omtrent dobler systemkostnadene. Og det harmonerer overhodet ikke med miljøkrisen. Fossil kraft må vekk. Da står vi kun igjen med kjernekraft.

Statnett fagrapporter 2023:  
**Vind, sol og utenlandskabler utfordrer systemstabiliteten**



Statnett vet ikke hvor mye omformerbasert produksjon (fra vind, sol og import på HVDC) vi kan ha før det går på bekostning av systemstabiliteten, men viser til en EU-studie som fant 65 % som en grense for hva et konvensjonelt kraftsystem kan håndtere uten at det iverksettes større tiltak.

I følge Statnett kan Norden allerede i 2030 få timer med over 80 % andel produksjon fra vind og sol.

Statnett:  
 «Mangel på egenskapene som tradisjonelt har vært tilført av synkrongeneratorer oppstår først lokalt. Med større innslag av omformere forventer vi at utfordringene brer seg regionalt, på tvers av landegrensener, og etter hvert i Norden som helhet. Noen forhold må vi løse regionalt og nasjonalt, og andre må vi løse sammen med de andre nordiske TSO-ene.»

**= Vi bør altså ha kjernekraftverk i flere ulike regioner i Norge og Norden!**

## Naturlovenes fysiske forutsetninger i kraftsystemet

Kraftsystemet ble basert på vekselstrøm (se faktaboks lenger ned). Frem til i dag, 120 år senere, er kraftsystemet blitt stadig mer utbygd, og det har blitt mye mer komplisert, med både nye asynkrone og ustabile kraftkilder som har andre fysiske egenskaper enn de synkrone vannturbinene samt samfunnets endrede (og forsterkede, alle lager middag med elektrisk kraft på samme tid) forbruksmønstre som bidrar til at visse utfordringer (tilbud/etterspørsel) vokser.

## Konsepter og begreper

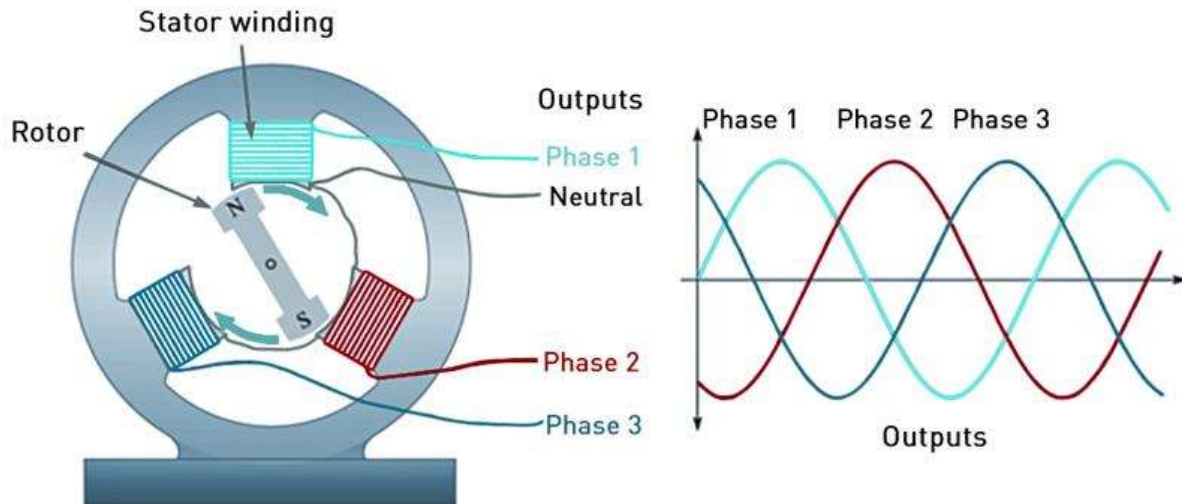
For å forstå strøm må vi ta for oss noen grunnleggende begreper og de fysiske naturlovene som bestemmer hvordan dette fungerer (og også hvordan det ikke kan fungere).

### Hvordan strømmen blir til

Strøm genereres elektromagnetisk. De fungerer etter Faradays induksjonslov - når en leder beveger seg gjennom et magnetfelt (eller et magnetfelt beveger seg relativt til en leder), induseres en elektrisk spenning. Elektromagnetiske generatorer som drives av ulike typer og former for turbiner som spinner en aksel mellom turbin og generator hurtig rundt. Mange slike generatorer må ha lik frekvens for at kraftoverføringen skal fungere. Frekvensen i generatoren er avgjørende i denne sammenheng.

## Hvordan strømmen overføres

Norges nasjonale kraftsystem er basert på 3-fase vekselstrøm, se illustrasjon:



Three-phase rotating-field generator.  
For simplicity the rotor is shown as a permanent magnet

Three-phase sine wave

Sinusbølgen er et uttrykk for elektronenes oscillering (pendling) frem og tilbake. Høyden på kurven uttrykker voltstyrken (trykket) som er den potensielle energien per elektron. Lengden på kurven er tiden. Tenk på det som vann, når kretsen sluttes (pluss og minus i magnetspolen får kontakt) gir høyere trykk mer volt (kraft) (sinuskurven får høyere topper og lavere daler).

For at overføringene av elektronene skal foregå på en ryddig måte, må vi ha kontroll på parameterne: Svinginger/rotasjoner per sekund (50Hz) og voltstyrke. *Metafor: Det er det samme som med hjerterytmene. De elektriske impulsene i nervesystemet vårt må følge et bestemt mønster for at hjertet skal slå riktig.*

Hva er vanskelig med strømoverføring?



Blir disse parameterne forstyrret, må man enten ha umiddelbare mottiltak (sjokkmottiltak som gjenoppretter stabilitet), eller man må skru av alt (koble seg av kraftnettet) for å hindre at utstyr blir ødelagt. Når sinusbølgene (elektronstrømmen) kommer ut av fase/rytme, oppfører ikke elektronene seg ryddig, de kan hope seg opp (*metaforer: som et hjerteinfarkt eller luft i hageslangen*) og det medfører at det blir mer kortvarig styrke (trykk) enn kobberledninger eller utstyr er dimensjonert for. Da kan ting bli overopphetet og smelte/brenne (eller eksplodere).

### Avbøtende mottiltak ved ustabilitet og forstyrrelser

Når det gjelder mottiltak kommer vi inn på dette med stabiliserende funksjoner og kortvarige tiltak for å stabilisere frekvens i transmisjonsnettet.

For å forstå hvordan frekvensstabilisering skjer, må vi først ha forståelse for noen begreper.

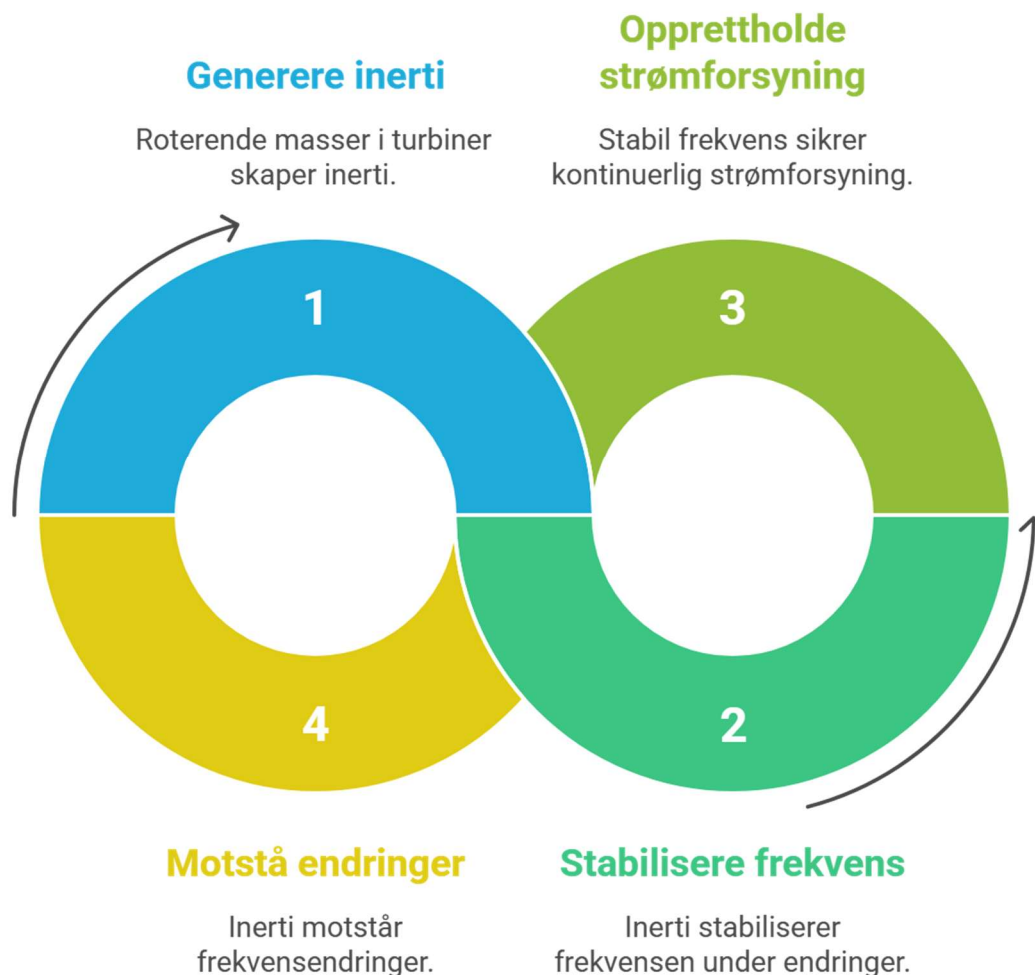
Systeminerti og rotasjonsmasse



(Legg merke til personene i bildene, dette er fra produksjonen av komponenter til Olidan vannkraftverk i Trollhättan, Sverige, som sto ferdig i 1914. Moderne turbiner og generatorer har enda større dimensjoner og masse.)

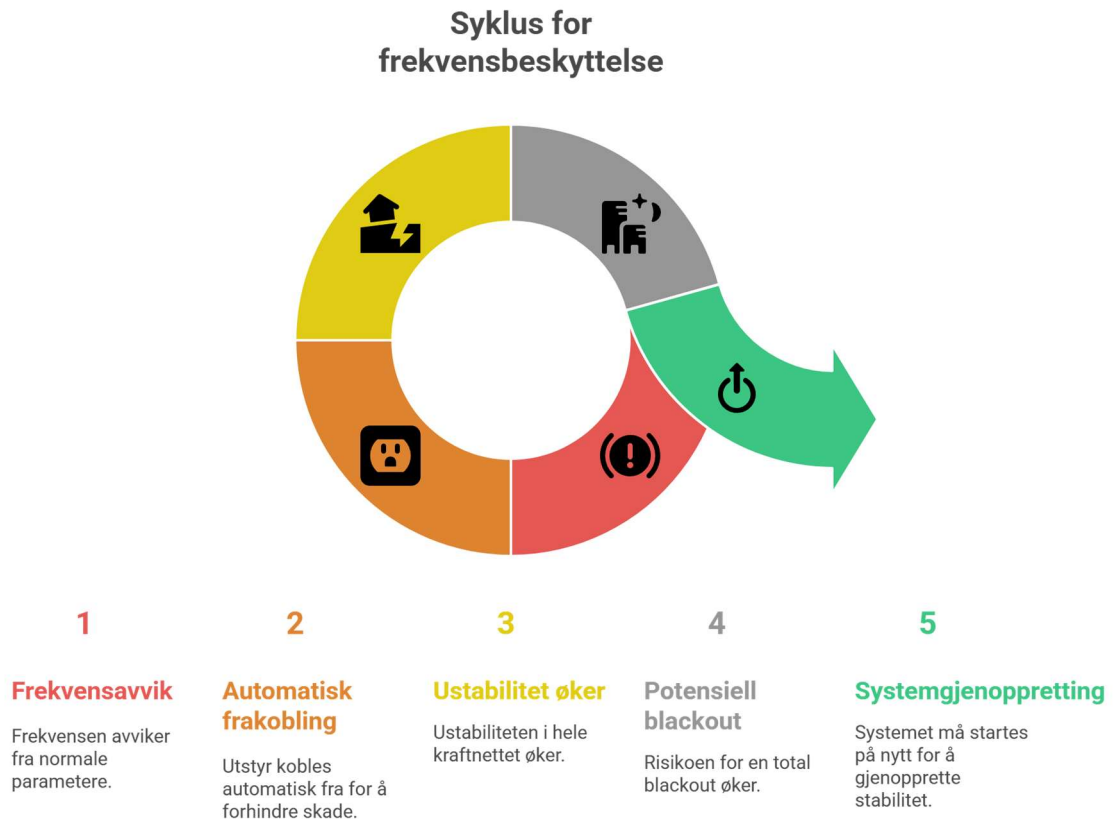
Roterende masser i vannkraftturbiner og generatorer gir systemet inertia som stabiliserer frekvensen ved plutselige endringer i produksjon eller forbruk. **Inertia** er et objekts motstand mot endring i bevegelsestilstand. **Det betyr:** Et objekt i ro vil forbli i ro, mens et objekt i bevegelse vil fortsette å bevege seg med samme hastighet og retning. Jo større masse, jo større inertia. Dette er kjernen i Newtons første bevegelseslov.

## Inertisyklus i kraftnettet



Generatorenes aksler som går fra turbinene har enorme mengder metall festet til seg som roterer. Det er masse i rotasjonsbevegelse. Det krever mye energi for å få opp til en bestemt frekvens/hastighet, og tilsvarende mye energi å redusere. Det betyr at når rotasjonen først er i gang, er den meget stabil i frekvens og det tar lang tid (selv uten tilførsel av energi) å få den ut av riktig frekvens, den er derfor en konstant som er treg (tar lang tid) å endre på. Derfor er denne rotasjonsmassen en stabiliserende kraft. Dersom noe ustabil foregår på kraftnettet, vil disse roterende generatorene fortsette å levere samme takt/frekvens, og dersom ustabiliteten holder seg innenfor smale parametere på noen få prosent, kan man klare å opprettholde strømforsyningen uten å måtte gå i blackout og starte alt på nytt.

Kaskadeeffekt og delvis eller total blackout:



Kommer frekvensen over eller under bestemte parametere er alt som er tilkoblet designet slik at det skal koble seg fysisk vekk fra kraftnettet automatisk. Det er for å sikre seg mot katastrofalt havari som brente kabler og transformatorstasjonsbranner eller eksplosjoner. Når store deler av kraftsystemet først begynner å koble seg fra, blir ustabiliteten veldig lett så stor at alt må skruses av før det kan startes opp igjen. Det kalles total blackout. Er man heldig kan man isolere en blackout til et mindre område.



Primærreserve (FCR) - automatisk respons innen sekunder

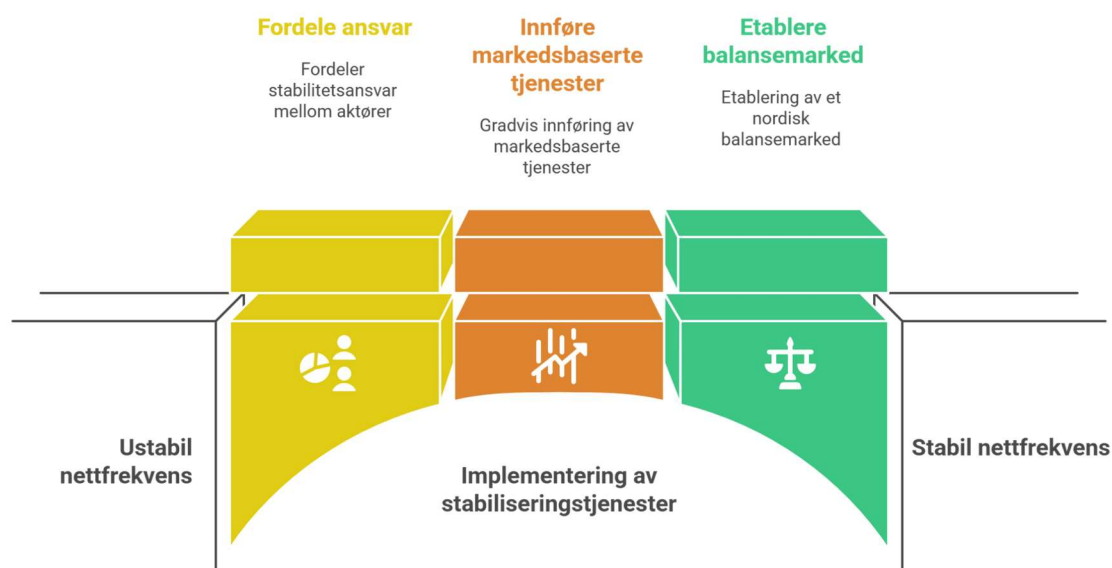
Sekundærreserve (aFRR) - automatisk regulering innen minutter

Tertiærreserve (mFRR) - manuell aktivering

Roterende reserve/svingmasse - umiddelbar treghet fra roterende generatorer

Synkronkompensatorer - bidrar med svingmasse og spenningsstabilisering

## Stabilisering av nettfrekvens



Stabiliseringsproduktene skal bidra til å opprettholde stabil nettfrekvens (50 Hz). Fordele ansvar for stabilitet mellom aktører. Markedsbaserte stabiliseringstjenester ble gradvis innført på 1990-tallet med dereguleringen av kraftmarkedet. Tidligere var dette "integrert" i kraftselskaper. Nordisk balansemarked ble etablert tidlig 2000-tallet, med betydelig utvikling etter 2010 gjennom europeisk harmonisering.

15-minutters avregningsperioder:

Statnett har nylig implementert 15-minutters avregningsperioder som del av europeisk harmonisering. Tidligere var standard avregningsperiode 60 minutter (timesoppløsning). Høyere oppløsning (15-minutters avregning) påvirker stabiliseringsmarkedet slik:

Mer presise prissignaler for balansering

Bedre verdsetting av fleksible ressurser som kan reagere raskt

Mer nøyaktig fordeling av kostnader for ubalanse

Økt mulighet for nye aktører med fleksible ressurser

Bedre håndtering av variabel fornybar energi

Denne endringen er del av en større utvikling og markedsbasert innsats for å forbedre balansering av kraftsystemet i et kraftsystem med stadig økende andel asynkron og ustabil energi og endrede forbruksmønstre.

## Virkningen av innføringen av 15-minutters avregning



Det har også vært sånn at kraftverkene med rotasjonsmasse som gir stabiliserende effekt på strømnettet har "subsidiert" (dvs de har ikke fått betalt for tjenesten de leverer og drifter) nyere asynkrone kraftkilder som vindturbiner fordi det ikke har vært gode nok reguleringer i stabiliseringsmarkedet. Det jobbes det med å rette opp. Vindkraften må betale en større andel av stabiliseringsproduktene i tråd med harmoniseringen mellom de ulike kraftkildene

### Strømproduksjon:

Kraftverk (vannkraft, evt. termiske kraftverk, etc.) produserer elektrisk energi som vekselstrøm, typisk med frekvens på 50 Hz i Norge (50Hz er 50 svinginger, eller rotasjoner på generatoraksel, i sekundet).

### Transformering:

Spenningen (*trykket*) transformeres opp til høye nivåer (132-420 kV) for effektiv overføring over lange avstander. Avhenger av kapasiteten på overføringslinjene (tykkelse på kobber).

Transmisjon:

Høyspentlinjer transporterer strømmen gjennom et landsdekkende nett med minimal overflateeffekt og energitap

Distribusjon:

Spenningen transformeres ned i flere trinn før den når forbrukere (22 kV regionalnett, 230/400 V til husholdninger)

Balansering:

# Syklus for energibalansering



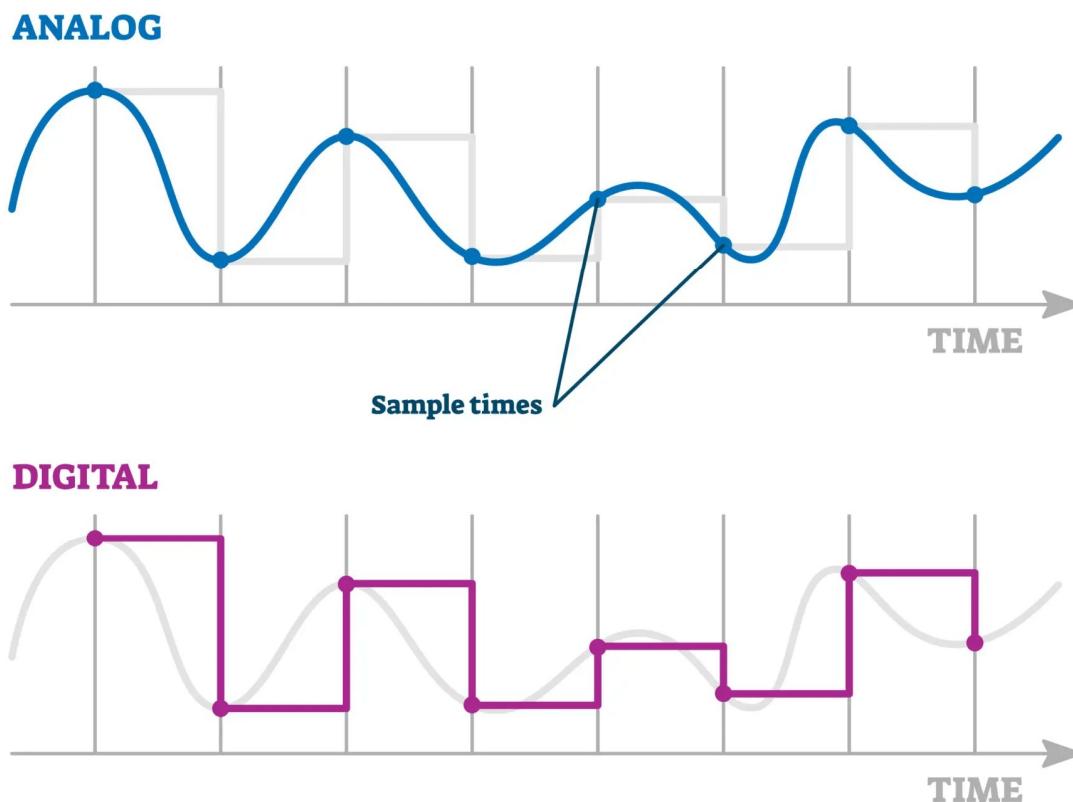
Kontinuerlig balansering mellom produksjon og forbruk for å opprettholde jevn

strømforsyning. Elektrisk kraft må brukes i samme øyeblikk som det produseres og vice versa. Det betyr at det må være absolutt balanse til enhver tid. Man kan ikke ha større eller mindre produksjon enn forbruk til enhver tid. Antall elektroner som produseres må være helt lik antallet som forbrukes, hvert eneste sekund.

Samkjøring:

Ulike kraftverk og regioner kobles sammen for å sikre forsyningsikkerhet og optimal ressursutnyttelse. Det er enklere å sørge for kontinuerlig balansering jo flere koblinger og alternativer til både ut- og inntak av både strøm og effekt. Det betyr at overordnet sett, i et energisystemisk perspektiv, er utenlandskabler en fordel for alle.

Sinuskurven:



Analog kurve for rotasjonsmassen, men asynkrone kilder gir digitale kurver som er mer hakkete. Ulike fysiske konsekvenser i transmisjonsnettet.

Pumpekraftverk: Lagringskapasitet og pumpekapasitet:<sup>13</sup>

Vannkraftens lagringskapasitet (bruker overskuddsstrøm til å pumpe vann opp i reservoarer til bruk når det blir mangel på strøm) på over 87 TWh gir Norge et fleksibelt system med god forsyningsikkerhet.

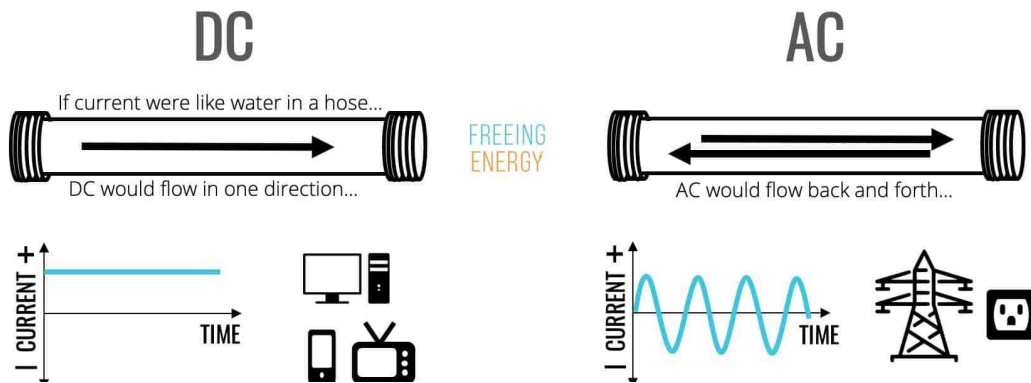
<sup>13</sup> [Pumpekraftverk](#)



Likestrøm (DC) og vekselstrøm (AC), hva er forskjellen:

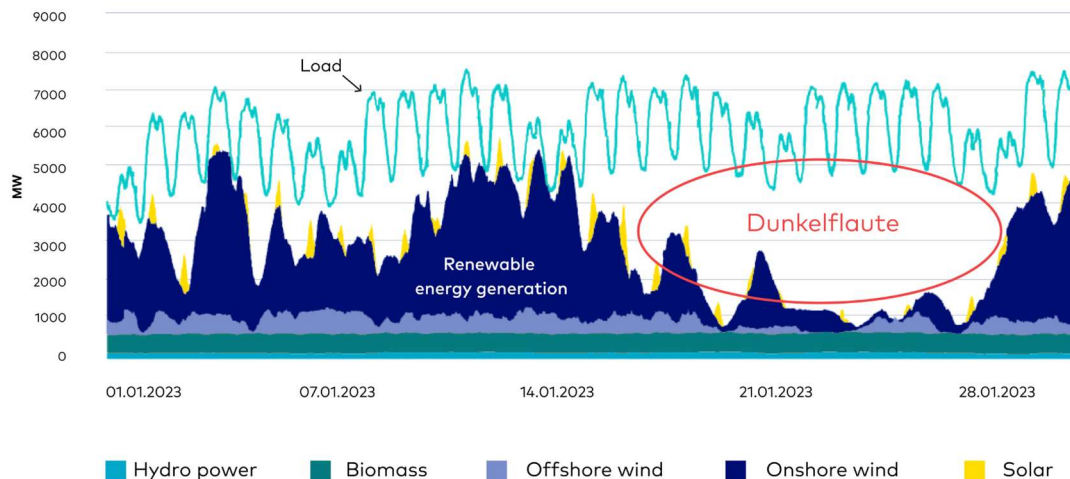
Strømsystemet er basert på to former for overføring av elektrisk energi. Mellom disse to overføringsmetodene har man omformere.

## Alternating Current vs Direct Current



Vekselstrøm (AC)	
Fordeler:	Ulemper:
<ul style="list-style-type: none"> <li>Enkel spenningsomforming med transformatorer</li> <li>Effektiv overføring over lange avstander</li> <li>Dominerende i strømnettet globalt</li> <li>Enklere bryterteknologi</li> <li>Naturlig nullgjennomgang (sikkerhet)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Energitap ved lange overføringer (kapasitiv/induktiv motstand)</li> <li>Overflateeffekt i ledere (strømmen konsentreres i overflaten av lederen)</li> <li>Komplisert frekvenssynkronisering mellom nett</li> </ul>
Likestrøm (DC)	
Fordeler:	Ulemper:
<ul style="list-style-type: none"> <li>Ingen reaktiv effekt eller overflateeffekt</li> <li>Effektiv for visse langdistanseoverføringer</li> <li>Ideell for elektronikk og batterier</li> <li>Ingen synkroniseringsproblemer</li> <li>Enklere kobling mellom ulike nett</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kostbar spenningsomforming</li> <li>Mer komplisert bryterteknologi</li> <li>Mangler naturlig nullgjennomgang</li> <li>Krever avansert kraftelektronikk</li> </ul>

## Dunkelflaute in Germany in January 2023



### **Hellbrise (tysk for "mye sol og vind"):**

- Værforhold med høy sol- og vindkraftproduksjon
- Fører til overforsyning av elektrisitet
- Resulterer i lave eller negative strømpriser, spesielt ved lav etterspørsel
- Motsetningen til Dunkelflaute
- Definert av universitetet i Mainz som restlast i de lavere persentilene av gjennomsnittlig daglig belastning

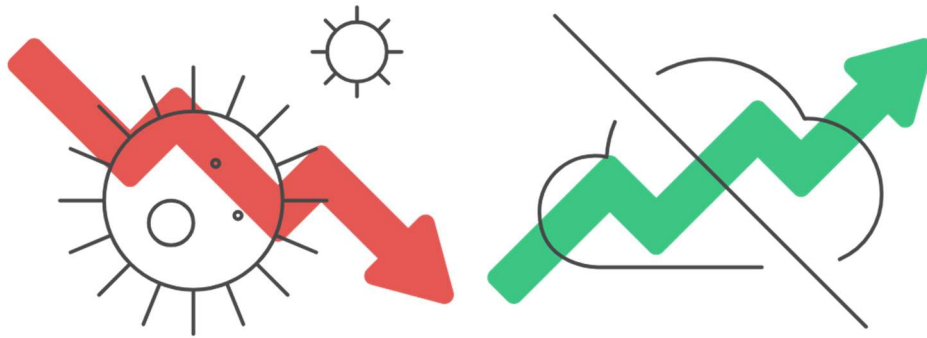
### **Dunkelflaute (tysk for "mørk vindstille"):**

- Perioder med lite sol og vind samtidig
- Resulterer i minimal produksjon fra væravhengige energikilder
- Utfordrer kraftsystemets stabilitet
- Krever backup-kapasitet fra andre energikilder

Hellbrise-hendelser blir mer vanlige med utbyggingen av fornybar energi og krever tiltak som lagringsteknologi og forbruksfleksibilitet for å håndtere overskuddsproduksjonen. Dunkelflaute har typisk medført prissmitte til de norske prisområdene som har gjort at den norske regjeringen måtte innføre prisstøtte på elektrisk strøm til privathusholdninger mens næringslivet har fått til dels ekstreme utfordringer med energiprisene. Da er det kritisk mangel på kraft over større områder og vanskelig å få overført fra andre områder (flaskehals).

<sup>14</sup> [Hellbrise - Wikipedia](#)

# Strømpriser



**Lav strømpris**

**Hellbrise**

Overforsyning av elektrisitet

**Høy strømpris**

**Dunkelflaute**

Minimal produksjon fra  
væravhengige energikilder

## Kraftmarkedsstabiliseringssyklus



Børsen fungerer som et avtaleverk og planleggingsverktøy dagen i forveien. Da samles forventet forbruk (kjøp av strøm) og settes opp mot produksjon (salg av strøm). Det er i seg selv et komplekst system som bidrar til å stabilisere kraftsystemene både nasjonalt og internasjonalt fordi alle aktører på forhånd vet hvilke parametere de skal forholde seg til og hva som er forventet. Da blir eventuelle overraskelser og uforutsette endringer enklere å håndtere ved at man har ulike tiltak som kan settes inn for å unngå blackout.

## Kraft- og miljøsituasjonen i dag:

### Oljenasjonen

Oljerevolusjonen begynte på 1960-tallet og gir fremdeles Norge så store inntekter at vi ikke kan bruke dem. Vi setter dem i oljefondet. Norge utvinner ca. 2 millioner fat olje per dag, som tilsvarer rundt 730 millioner fat årlig.

Energiinnholdet i denne oljemengden tilsvarer omtrent 1200-1300 TWh elektrisk energi.<sup>15</sup> Dette er ca. 8-9 ganger Norges årlige elektriske strømproduksjon på 140-150 TWh.

### Vannkraftnasjonen

Elektrisk strøm utgjør omtrent 50% av Norges totale energiforbruk, mens den fossile andelen er like stor.

Norge har forpliktet seg i ulike internasjonale klimaavtaler å kutte bruk av fossil energi på grunn av utslippene av CO<sub>2</sub> til atmosfæren.

Norske strømpriser har historisk sett, på grunn av den stabile vannkraften, vært svært lave i europeisk sammenheng. Med påkoblingen mot det europeiske strømmarkedet har strømprisene økt med 3-4 gangeren. Det er på en måte prisen for å være med i det europeiske fellesskapet med økt forsyningstrygghet og samarbeid på en rekke områder som er grensekryssende. Miljøkrisen er også et aspekt med utenlandskablene, og spesielt Tysklands energipolitikk med tilhørende konflikt i Ukraina der gassen og oljen fra Russland enten blir sanksjonert eller brukt som geostrategisk og energistrategisk pressmiddel har rammet norske forbrukere negativt. Men vi må huske at det er forbigående frem til Tyskland får korrigert sin energipolitikk og energiproduksjon.

Den langsiktige energitrenden i Europa er at den stabile kjernekraften må tilbake igjen, noen av kraftverkene som ble stengt kan åpnes på nytt, og nye blir bygget i en storstilt nysatsning på kjernekraften.

Norge kan hverken opprettholde velferdssamfunnet, bevare natur eller kutte klimautslipp uten kjernekraft i en eller annen form.

Årlig gjennomsnittlig forbruk av elektrisk strøm i 2025 er omtrent 150 TWh. I tørrår kan vi få en reduksjon i produksjonen av strøm på 10 TWh.

### Produksjon kontra forbruk:

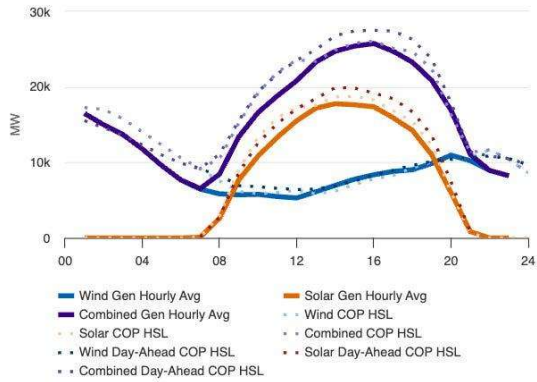
I illustrasjonen under ser man et scenario for VRE (vind og sol) strømproduksjon satt opp mot forbruksmønsteret. Den lyseblå linjen viser hva som skjer dersom vinden uteblir. Da følger produksjonen ikke forbruket, og noe annet må inn i stedet.

---

<sup>15</sup> Merk at direkte konvertering fra olje til elektrisitet ville gi lavere verdier på grunn av virkningsgraden i kraftverk (typisk 30-40%).

### Combined Wind and Solar

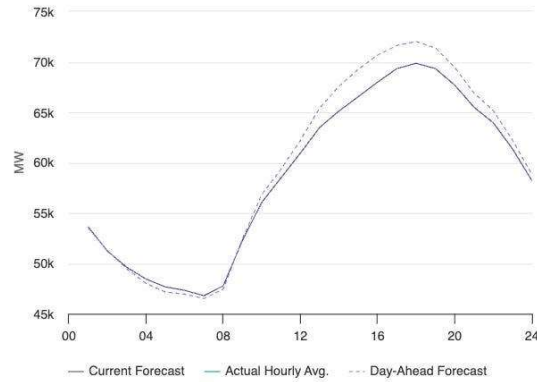
Last Updated: Jul 5, 2025 23:55 CT



[Current Day](#) | [Next Day](#)

### System-Wide Demand

Last Updated: Jul 6, 2025 00:15 CT



[Previous Day](#) | [Current Day](#) | [Day-Ahead](#)

# Fremtiden