
RAPPORT

Drivere og usikkerhet i langsiktige energimarkedsanalyser

OPPDRAKSGIVER

Energikommisjonen

EMNE

Drivere og usikkerhet i langsiktige energimarkedsanalyser

DATO / REVISJON: 31. august 2022/ 02

DOKUMENTKODE: 10245182-01-RIEn-RAP-002



Denne rapporten er utarbeidet av Multiconsult i egen regi eller på oppdrag fra kunde. Kundens rettigheter til rapporten er regulert i oppdragsavtalen. Hvis kunden i samsvar med oppdragsavtalen gir tredjepart tilgang til rapporten, har ikke tredjepart andre eller større rettigheter enn det han kan utlede fra kunden. Multiconsult har intet ansvar dersom rapporten eller deler av denne brukes til andre formål, på annen måte eller av andre enn det Multiconsult skriftlig har avtalt eller samtykket til. Deler av rapportens innhold er i tillegg beskyttet av opphavsrett. Kopiering, distribusjon, endring, bearbeidelse eller annen bruk av rapporten kan ikke skje uten avtale med Multiconsult eller eventuell annen opphavsrettshaver.

RAPPORT

OPPDRAG	Drivere og usikkerhet i langsiktige energimarkedsanalyser	DOKUMENTKODE	10245182-01-RIEn-RAP-001
EMNE	Drivere og usikkerhet i langsiktige energimarkedsanalyser	TILGJENGELIGHET	Konfidensielt
OPPDRAGSGIVER	Energikommisjonen	OPPDRAGSLEDER	Raghav Gogia
KONTAKTPERSON	Håvard Hamnaberg Manus Pandey	UTARBEIDET AV	Shreya Nagothu Marius Holm Rennesund Ole Kristian Ådnanes Ida Langseth Raghav Gogia
		ANSVARLIG ENHET	Multiconsult ASA

02	31.08.22	Endelig sluttrapport	SN, MHR, OKÅ	RG	VW
01	19.08.22	Utkast til sluttrapport	SN, MHR, OKÅ	RG	AVS
REV.	DATO	BESKRIVELSE	UTARBEIDET AV	KONTROLLERT AV	GODKJENT AV

SAMMENDRAG

På oppdrag for Energikommisjonen har Multiconsult Norge AS og THEMA Consulting Group utarbeidet denne rapporten om drivere og usikkerhet i langsiktige energimarkedsanalyser. Vi har kartlagt hvordan ulike analysemiljø jobber med sine langsiktige energimarkedsanalyser mot 2050, med særlig fokus på drivere for utviklingen av kraftsektoren på lang sikt, usikkerhet i de langsiktige kraftmarkedsanalysene, og egenskaper ved modellene benyttet for å utarbeide disse analysene. Det er miljøer som utarbeider analyser for Norge og Norden som har vært målgruppen. Bruksområdene for analysene inkluderer investeringsanalyser, verdsettelse, vurderinger av langsiktige kraftkjøpsavtaler, lønnsomhetsvurderinger, strategiske beslutningsprosesser, og myndighetenes beslutningsprosesser.

Arbeidet har i stor grad vært intervjubasert, komplementert med en litteraturgjennomgang. Vi har intervjuet 13 aktører som utarbeider langsiktige kraftmarkedsanalyser for det norske/nordiske markedet, samt gått gjennom 9 rapporter. Vi har i arbeidet forsøkt å dekke alle typer aktører som driver med kraftmarkedsanalyser, og presenterer i denne rapporten aggregerte og anonymiserte funn.

Det er generelt bred konsensus blant analysemiljøene om hva som er de viktigste driverne, samt hvilke det er heftet størst usikkerhet ved. Hvilke drivere som er viktig og/eller usikre varierer noe mellom kort og lang sikt, men det er generelt konsensus rundt dette også. Gjennom intervjuene synliggjøres det at man ikke kan vurdere en enkelt driver uten å se den i sammenheng med de andre, da de henger tett sammen og noen er underliggende drivere som påvirker andre og flere påvirker hverandre gjensidig. Det observeres dessuten at diskusjonene i intervjuene er påvirket av dagens situasjon, med krigen i Ukraina og energikrise i Europa, særlig når det gjelder kort sikt. Hvilke drivere som er relevante og ikke, endrer seg også med utviklingen i kraftsystemet.

Usikkerheten kommer fra flere faktorer:

- Teknologisk utvikling og kostnadsutvikling for mindre modne teknologier (både for kraftproduksjon, samt på etterspørselssiden igjennom grønn industri og hydrogen)
- Takten på den grønne omstillingen generelt som forventes å påvirke det meste av utviklingen på både tilbuds- og etterspørselssiden i kraftmarkedet
- (Mangel på) rammevilkår, konsesjonspolitikk for produksjon, virkemidler/støttesystemer
- (Mangel på) sosial og politisk aksept for utbygging av kraftproduksjon
- Nett (både tilgjengelighet internt, men også mellomlandsforbindelser, og utformingen av nett for havvind)
- Brensels- og CO₂-priser som er gjenstand for påvirkning av makroøkonomisk utvikling og geopolitikk

De tre driverne som alle er enige om er både potensielt svært viktige og høyst usikre er utviklingen innen havbasert vindkraft, hydrogen og grønn industri (industri med lave eller ingen utslipp). Det er store ambisjoner som betyr potensielt store volum, men mye usikkerhet rundt hvorvidt dette faktisk kommer til å realiseres, samt hvor disse prosjektene kommer og hvor raskt. Dette er dessuten avhengig av flere av de underliggende driverne og faktorene som nevnt over.

På produksjonssiden er i tillegg landbasert vindkraft og vannkraft sentrale i norsk sammenheng, mens sol er mer interessant i en europeisk sammenheng. Sosial og politisk aksept skaper usikkerhet rundt landbasert vindkraft. Kjernekraft er en potensiell joker både i Norden og Europa.

På forbrukssiden er det altså grønn industri og hydrogen som både er viktige og høyst usikre, men transport kan også påvirke etterspørselen etter hydrogen og e-fuels. Forbruksfleksibilitet vil bli stadig viktigere jo mer uregulerbar strømproduksjon som introduseres i kraftsystemet, ettersom det er helt sentralt for å kunne balansere systemet. Det er særlig fleksibilitetspotensialet fra industrien som trekkes frem som interessant fordi det kan være snakk om store volum, men også dette er veldig usikkert.

Videre er nettutviklingen, både internt i Norge og nettilknytning av havbasert vindkraft, trukket frem som særlig viktige drivere. Brensels- og CO₂-prisene anses som viktige særlig på kort sikt, men viktigheten avtar etter hvert som fossile energikilder fases ut av den europeiske energimiksen. Dog forventes CO₂-prisen å være viktig på lang sikt som en barriere mot teknologi og aktivitet med utslipp.

Det er enighet om at de politiske målsetningene på EU-nivå er et viktig signal og underliggende driver for flere av de andre driverne. Det er derimot noe uenighet om det er målene i seg selv som er førende, eller konkret regulering, virkemidler og støttesystemer som er det viktigste. Det er større usikkerhet rundt de konkrete tiltakene enn målsetningene. Flere analysemiljø legger til grunn vedtatt politikk og virkemidler i analysene sine, fremfor mer ambisiøse politiske mål.

Det pekes på at norske myndigheter kan påvirke flere av driverne og dermed bidra til å realisere ambisjoner og redusere usikkerhet. Flere faktorer ved konsesjonspolitikken trekkes frem som usikre, blant annet hva som vektlegges i konsesjonsprosessen og behandlingstiden for konsesjoner. Hvilke teknologier, omfanget i kapasitet, og hvor raskt det bygges vil avhenge av konsesjonspolitikken og er gjenstand for regulatorisk usikkerhet. Tett knyttet til dette nevnes virkemiddelbruken i Norge som en viktig underliggende driver. Flere trekker frem viktigheten av vedtatt politikk, faktiske virkemidler og rammebetingelser som vesentlige for at norske klimaambisjoner skal realiseres.

Både intervjuobjektene og litteraturen erkjenner at alle analyser av langsiktig utvikling vil være usikre. Usikkerheten håndteres i stor grad gjennom scenariobygging, sensitivitetsanalyser og værårssimuleringer. Disse komplementeres gjerne med kvalitative vurderinger og resonnementer rundt resultatene.

Kompetansen innen modellering av kraftsektoren i Norge er høy, med utgangspunkt i flere tiårs erfaring med detaljert modellering av vannkraft og kraftmarkedet. Hovedvekten av analysemiljøene som er kartlagt bruker «bottom-up teknologirike optimaliseringsmodeller». Mens disse er svært detaljerte når det gjelder kraftsektoren, kan de i noen sammenhenger oppleves som for snevre ved at substitusjonsmuligheter både i produksjon og forbruk ikke hensyntas i særlig grad. Dette betyr også at kryssvirkninger i økonomien som følge av f.eks. endringer i kraftpris ikke tas hensyn til i modelleringen. De fleste miljøene som er kartlagt i denne rapporten hensyntar makroøkonomiske forhold indirekte gjennom antakelser på inndata. Generelt er modelleringen og analysene i stor grad påvirket av analytikernes vurderinger.

Det kan stilles spørsmål om det er problematisk at det er så stor grad av konsensus i analysene, og at det stort sett er like type modeller som benyttes. Det kan muligens gi et smalt utfallsrom på analysene og at aktørene ikke er flinke nok til å «tenke utenfor boksen» og at man dermed ikke får «stresstestet» resultatene i mindre sannsynlige ekstreme scenarier. Samtidig gjøres det sensitivitets- og scenarioanalyser som fanger opp et større utfallsrom. Dersom aktørene er transparente på hvilke antakelser de har gjort kan også brukerne av analysene utfordre disse og også gjøre egne betraktninger av utfallsrommet. Vi ser også at fokuset på utviklingen i driverne kan endre seg over tid basert på hvilken informasjon som er tilgjengelig og hvordan verden utvikler seg. Dette viser at bildet er dynamisk og at aktørene evner å ta til seg ny informasjon og endre sitt syn på driverne.

Til slutt er det nevnt av flere analysemiljøer at resultater fra modellene ikke må behandles som et fasitsvar med to streker under svaret, men heller et grunnlag for diskusjon. Det er umulig å forutsi fremtiden, og modellen er først og fremst et verktøy for å vise hvordan ulike aspekter henger sammen og potensielt kan utvikle seg.

INNHOLDSFORTEGNELSE

SAMMENDRAG	4
1 Bakgrunn og formål	7
2 Metodikk	7
2.1 Forarbeid med utvelgelse av intervjuobjekter og litteratur	7
2.2 Utarbeidelse av intervjuguide og gjennomføring av intervjuer	8
2.3 Analyse av intervjuer og litteratur	9
2.4 Forbehold om vår tolkning av intervjuer og litteratur	9
3 Aktørenes bruk av langsiktige energimarkedsanalyser	10
4 Drivere og usikkerhet avdekket i intervjuene	12
4.1 Bred konsensus om de viktigste driverne	13
4.2 Drivere som kan påvirkes av norske myndigheter	21
5 Drivere og usikkerhet avdekket i litteraturstudie	23
5.1 Det er stor enighet i rapportene om hva som vil være hoveddrivere for utviklingen i kraftmarkedet fremover	23
5.2 Viktigheten av gassprisen vektet ulikt i de forskjellige rapportene	25
6 Usikkerheten håndteres gjennom bruk av scenarier, sensitiviteter og værår	26
6.1 Flere har et forventningsscenario, samt et «høyt» og et «lavt» scenario	26
6.2 Sensitiviteter benyttes til å vurdere virkningene av én eller noen få parametere	26
6.3 Værårssimulering gir et utfallsrom med forskjellige værdata	27
7 Teknologirike bottom-up modeller brukes i analysene	28
7.1 Bottom-up teknologirike optimaliseringsmodeller	28
7.2 Top-down likevektsmodeller	30
7.3 Modellene har ulike styrker og svakheter	30
8 Er konsensus et problem for brukerne av analysene?	33
9 Referanser	34
10 Vedlegg	35
10.1 Intervjuobjekter	35
10.1 Litteraturliste	36
10.2 Modeller	37

LISTE OVER FIGURER

Figur 1 Drivere for utviklingen av kraftsystemet	8
Figur 2 Markedsklarering i Tyskland - illustrativ	12
Figur 3 Viktige drivere og tilhørende usikkerheter i de langsiktige analysene	13
Figur 4 De viktigste driverne og usikkerheten innenfor kraftproduksjonskapasitet	15
Figur 5 De viktigste driverne og usikkerheten innenfor krafttterspørsel	17
Figur 6 De viktigste driverne og usikkerheten innenfor energilagring, forbruksfleksibilitet og infrastruktur	18
Figur 7 De viktigste driverne og usikkerheten innenfor brenselpriser, politikk og regulering/virkemidler	20
Figur 8: Oppsummering av drivere, viktighet og usikkerhet i litteraturstudien på kort og lang sikt.	25

1 Bakgrunn og formål

Olje- og Energidepartementet (OED) satte 11. februar 2022 ned en energikommisjon¹ som skal kartlegge energibehovene og foreslå økt energiproduksjon, med mål om at Norge fortsatt skal ha overskuddsproduksjon av kraft og at norske strømkunder fortsatt skal ha rikelig tilgang på fornybar kraft.

Kommisjonens mandat er knyttet til disse fem overordnede temaene:

1. Hvordan Norge påvirkes av energimarkeder i rask endring
2. Perspektiver for utviklingen i kraftforbruket
3. Potensialet for samfunnsøkonomisk lønnsom kraftproduksjon
4. Perspektiver for forsynings sikkerheten
5. Sentrale interesse motsetninger i energipolitikken

For å få et best mulig grunnlag for å forstå langsiktige energimarkedsanalyser ønsker Energikommisjonen en kvalitativ utredning av slike analyser. Energikommisjonen ønsker å få økt kunnskap om resultatene fra de langsiktige energimarkedsanalysene, hvordan analysene utføres og hvilke drivere for utviklingen fremover som har blitt identifisert i analysene. Kommisjonen ønsker også informasjon om usikkerhet i analysene og hvilke bruksområder analysene er egnet for og hva de er mindre egnet for.

2 Metodikk

Oppdraget er utført som et samarbeid mellom Multiconsult Norge AS og THEMA Consulting Group og er oppdelt i tre hoveddeler:

1. Drivere for utviklingen i energisektoren på lang sikt
2. Usikkerhet i langsiktige kraftmarkedsanalyser
3. Egenskaper ved modellene brukt for å utarbeide de langsiktige kraftmarkedsanalysene

Felles for de tre delene er at de har blitt belyst gjennom en kombinasjon av litteraturstudier og intervjuer med analysemiljøer. Metodologisk er arbeidet gjennomført gjennom tre faser, utdypet i det undernevnte.

2.1 Forarbeid med utvelgelse av intervjuobjekter og litteratur

Vi har i arbeidet forsøkt å dekke alle typer aktører som driver med kraftmarkedsanalyser som retter seg mot det norske og nordiske kraftmarkedet. Dette for å avdekke om ulike typer analysemiljø ser ulikt på metodikk, drivere og usikkerhet. I vedleggene (10.1 og 10.2) følger en liste med de aktørene vi har intervjuet, samt liste over litteratur vi har gjennomgått i oppdraget.

Vi har intervjuet både norske og utenlandske kommersielle leverandører av analyser for det norske og nordiske kraftmarkedet. Det varierer om selskapene har egenutviklede kraftmarkedsmodeller eller benytter seg av kommersielt tilgjengelige modeller. Videre har vi intervjuet ulike forskningsinstitusjoner med miljøer som forsker på kraftmarkedet. Disse aktørene gjør vanligvis ikke jevnlig standardanalyser, men ser på ulike aspekter ved kraftmarkedet i forskningsøyemed. Vi har her blant annet ønsket å undersøke om dette gir andre perspektiver på både drivere og usikkerhet. Vi har

¹ <https://www.regjeringen.no/contentassets/4c4553f37b544db48dc18a24cecf3a91/kgl.res-dato-oppnevning-av-en-energi-kommisjon-11306203.pdf>

også intervjuet et utvalg av de større kraftprodusentene som gjør selvstendige analyser, både som innspill til handelsbeslutninger, investeringsbeslutninger og andre strategiske valg.

Når det gjelder de offentlige aktørene Statnett og NVE har vi kunnet gjøre både litteraturstudier ved å ha tilgang til deres prognoser og rapporter, samtidig som vi har gjennomført dybdeintervju med de som har gjort analysene. De to organisasjonenes analyser er viktige premissleverandører for mange aktører og en benchmarking som brukes av andre analyseleverandører.

Litteraturstudiet baserer seg på rapporter med ulik hensikt og omfang. Vi har valgt ut et utvalg offentlig tilgjengelig rapporter som er gjennomgått og presentert.

2.2 Utarbeidelse av intervjuguide og gjennomføring av intervjuer

Det ble utviklet en intervjuguide med formål å sikre at innhenting av informasjon som best mulig svarer på problemstillingen. Spørsmålene var knyttet til hva slags analyser de gjennomfører, deres vurdering av drivere (viktighet og usikkerhet), behandling av usikkerhet i analysene, samt detaljer om modellapparatet de benytter seg av. Intervjuobjektene ble i tillegg bedt om å vurdere en omfattende liste med ulike drivere for kraftsystemet i en matrise, etter viktighet og usikkerhet knyttet til hver enkelt driver. Dette ble så diskutert under intervjuet, der de også ble spurt om andre drivere de mente burde vært inkludert i analysen for å sikre at ingen viktige aspekter var glemt. Listen ble utarbeidet basert på konsulentenes erfaring med hva som er typiske sentrale drivere som inngår i kraftmarkedsanalyser. Listen med drivere (oppdelt i ulike kategorier) er oppsummert i figuren under (i en tilfeldig rekkefølge).

Drivere for kraftsystemet	
Produksjon (kapasitet&kostnad) 1. Landbasert vindkraft 2. Havbasert vindkraft 3. Solkraft 4. Vannkraft 5. Kullkraft 6. Gasskraft 7. Varmekraft (også fleksibilitet) 8. Kjernekraft	Lagring/forbruksfleksibilitet 14. Batterier 15. Hydrogen 16. Forbruksfleksibilitet Infrastruktur 17. Mellomlandsforbindelser 18. Internt nett Norge 19. Internt nett Norden 20. Internt nett Europa
Forbruk 9. Industri 10. Husholdninger 11. Transport 12. Annet (datasenter osv.) 13. Energieffektivitet	Brensels- og CO2-priser 21. Kullpris 22. Gasspris 23. CO2-pris Politikk og regulering 24. EU-mål (utslipp, fornybarproduksjon, energieffektivitet) 25. Norske mål 26. Subsidier/støttesystemer

Figur 1 Drivere for utviklingen av kraftsystemet

Gjennomføringen av intervjuene ble i hovedsak gjort på Microsoft Teams. Under selve intervjuene ble det benyttet en semistrukturert intervjuutilnærming slik at respondentene fikk anledning til å uttale seg fritt om de ulike temaene og trekke frem de mest relevante aspektene, samtidig som det var rom for fleksibilitet både i rekkefølge og spørsmålsform. Fokus har vært på å stille åpne og nøytrale spørsmål og ikke ledende spørsmål.

Det understrekes at ettersom THEMA Consulting selv er en leverandør av kraftprisprognoser har de ikke deltatt i intervjuene med analysemiljøene, og heller ikke hatt tilgang til individuelle intervjusvar

som ikke er aggregert og anonymisert. Dette for å sikre at alle intervjuobjekter trygt kunne dele all relevant informasjon uten bekymring for at sensitiv informasjon skulle tilfalle konkurrenter.

2.3 Analyse av intervjuer og litteratur

Vi har i analysene av intervjuene og litteraturen hatt fokus på hvor det er konsensus og hvor det er avvik fra denne. Vi ser at det er relativt stor enighet om hva driverne for kraftprisen er, men at ulike aktører kan ha ulike meninger om hvilke drivere som er viktigst og hvilke drivere som er mest usikre. I kartleggingen av drivere og usikkerhet gjennom intervjuene og litteraturgjennomgangen er det forsøkt å skille på kort (mot 2030) og lang sikt (mot 2040 og forbi). Der det er nødvendig å presisere om en driver er viktig før 2030 eller mot 2040 og videre fram i tid, bruker vi begrepet «kort sikt» (og lignende formuleringer) om tidsrommet fram mot 2030 og «lang sikt» (og lignende formuleringer) om tidsrommet etter 2030 og lenger fram i tid.

2.4 Forbehold om vår tolkning av intervjuer og litteratur

I forbindelse med intervjuene har vi bedt intervjuobjektene fylle ut en matrise for å kartlegge den relative viktigheten av ulike drivere, samt usikkerheten knyttet til disse. Det er en krevende øvelse å plassere drivere langs to akser i en slik to-dimensjonal matrise. Under intervjuene har vi derfor etter beste evne forsøkt å fange opp nyansene i plasseringene av de ulike driverne, samt beskrivelsen og beveggrunnene for vurderingene. De aggregerte og anonymiserte funnene vi gjengir i denne rapporten er konsulentenes oppsummering av hovedfunnene basert på vår tolkning av intervjuobjektene redegjørelser.

Litteraturstudien baserer seg på et utvalg rapporter som beskriver trender, og i de fleste tilfeller kraftprisutvikling, i kraftsystemet framover. Se vedlegg (10.1) for en oversikt over rapportene som inngår i studien. Vi beskriver hvilke metoder og modellverktøy som ligger til grunn for analysene som presenteres i rapportene. Videre har vi, etter beste evne, beskrevet hva vi oppfatter at aktørene anser som viktige drivere for utviklingen i kraftsystemet og norske kraftpriser, både på kort og lang sikt. Vi anerkjenner at de enkelte rapportene ikke rangerer de ulike driverne, og at enkelte drivere derfor kan være viktigere enn vi har oppfattet dem som her. I rapportene beskrives imidlertid typisk få av veldig mange antagelser som gjøres, slik at det virker rimelig å anse faktorene som nevnes som viktige.

Innholdet i litteraturstudien representerer konsulentenes egen oppfatning av budskap i rapportene. Vi tar forbehold om at aktørene kan ha andre syn enn det som gjengis her.

Rapportene kan noe forenklet plasseres i én eller flere av følgende kategorier:

- *Prognoserapporter* som prognostiserer en fremtidig utvikling basert på et sett av antakelser.
- *Målrapporter* som beskriver en mulig vei til et ønsket framtidig mål, f.eks. netto nullutslipp fra kraftsektoren innen 2050.
- *Interessegrupperapporter* som fremmer særinteresser.

Når vi i litteraturstudien omtaler driveres viktighet, presenterer vi det vi oppfatter at rapportene peker på som viktige drivere. Siden ordlyden kan variere mellom rapporter, har vi kun vurdert hvorvidt den enkelte rapporten konstaterer at en driver har påvirkning på kraftsystemet og kraftpriser. Deretter vurderer vi oppfattet viktighet etter antall rapporter som gjengir den aktuelle driveren. Dess flere rapporter som peker på driveren, dess høyere viktighet sier vi at driveren har.

3 Aktørenes bruk av langsiktige energimarkedsanalyser

De forskjellige langsiktige energimarkedsanalysene utarbeidet av ulike miljøer har ulike formål og bruksområder. Forskningsmiljøene ser på «scenario»-analyser, eksempelvis hvordan endringer i politikk eller rammebetingelser vil påvirke kraftmarkedene. Disse publiserer hovedsakelig som vitenskapelige artikler, og ikke som jevnlig standardanalyser for kommersielle formål. Videre er flere av analysene og artiklene forskningsdrevet, ved at man vil utvikle modellapparat til å omfatte nye områder. Analysene er ofte forskningsfinansierte med forskjellige brukere som gir innspill til fokusområder i kraftmarkedene.

De private analysemiljøene utgir i hovedsak langsiktige kraftmarkedsanalyser som strekker seg mot år 2050, noen også opp mot år 2060. Disse oppdateres og publiseres fortrinnsvis hvert kvartal, med ulike kundegrupper i fokus. Kundegruppen består av både kraftprodusenter og forbrukere, investeringsfond, prosjektutviklere, myndigheter og «nye» kraftmarkedsaktører som ønsker innblikk i mulighetene i markedene.

De ulike analyse er egnet for ulike formål. Generelt sett er standardanalyser som en rekke av de kommersielle tilbyderne lager egnet for å gi brukeren et bilde av hvordan kraftmarkedet kan tenke å utvikle seg i ulike scenarier. Fokuset er på utviklingen av kraftpriser, produksjons sammensetningen og etterspørsel. Analyser av spesifikke politikktiltak vil også direkte eller indirekte inngå i analysene gjennom scenarier eller sensitiviteter, men de samfunnsøkonomiske virkningene vil normalt ikke belyses i detalj.

I tillegg til de enkeltstående kvartalsvis oppdateringene tilbyr de private analysemiljøene flere produkter. De består som regel av abonnement for regelmessig tilgang til prognosene, og skreddersydde analyser tilpasset spesifikke behov (business case for konkrete prosjekt, spesifikke investeringer, analyser på ulike drivere og deres virkninger, scenarioanalyser og sensitiviteter, analyser av samfunnsøkonomiske virkninger av ulike tiltak).

Ofte er kraftprisen hovedresultatet som kundene benytter seg av til en rekke forskjellige formål, både gjennomsnittlig kraftprisbane for Norge og de respektive prisområdene, samt «oppnådd pris» for forskjellige produksjonsteknologier i ulike år og prisområder. Bruksområdene for analysene inkluderer investeringsanalyser, verdsettelse, vurderinger av langsiktige kraftkjøpsavtaler, lønnsomhetsvurderinger og andre strategiske beslutningsprosesser. Modellapparatet og analysene benyttes også til å vurdere fordelingsvirkninger ved investeringer og andre tiltak som gir utslag i kraftmarkedet.

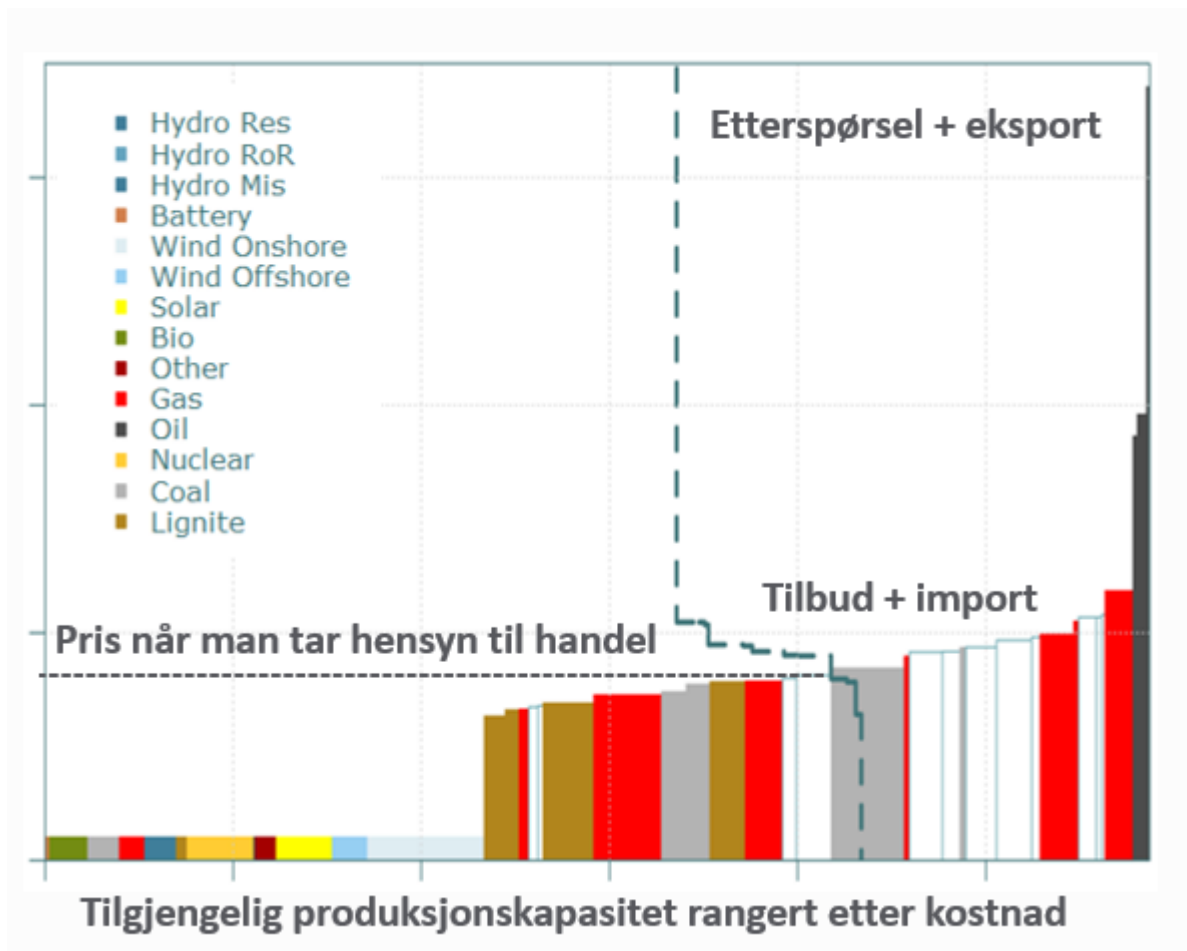
NVE gjør analyser frem mot 2040 som oppdateres årlig. Deres langsiktige kraftmarkedsanalyse brukes i myndighetenes beslutningsprosesser, eksempelvis for å kartlegge effekten av ny politikk/tiltak, samtidig som kraftprisbaner benyttes i konsesjonsbehandling for kraftnett og -produksjon. Hovedbrukerne av analysene er direktoratene og departementene. NVEs analyser er basert på dagens gitte konkrete virkemidler og tiltak, og hva man tror blir realisert som følge av det. Statnett på sin side legger til grunn at uttalte energi- og klimamål nås, og modellerer hva som skal til for å nå målene. Statnett oppdaterer sine datasett jevnlig, og utgir en rapport om den langsiktige utviklingen i kraftmarkedene mot 2050 annethvert år. Analysene og datasettene benyttes hovedsakelig for samfunnsøkonomiske vurderinger knyttet til nettutvikling.

Kraftprodusentene følger i hovedsak et årshjul med årlig oppdatering av datasettene og analysene. Til forskjell fra forskningsmiljøene, de nevnte offentlige aktørene og de private analysehusene, har kraftprodusentenes analyser større fokus på kort sikt («operativ horisont») for optimering av driften, mens de langsiktige analysene strekker seg mot 2050. Bruksområdet for de langsiktige analysene er i

stor grad overlappende med det for analysehusene (investeringsanalyser, verdsettelse, vurderinger av langsiktige kraftkjøpsavtaler, lønnsomhetsvurderinger og andre strategiske beslutningsprosesser), i tillegg til underlag for regulatorisk og politisk kommunikasjon ved for eksempel innspill på konkrete spørsmål/beslutninger, ny foreslått politikk, og lignende.

4 Drivere og usikkerhet avdekket i intervjuene

For å forstå driverne og hva som oppfattes som usikkert er det viktig å forstå hvordan prisen settes i kraftmarkedet. Som i de fleste andre markeder benyttes marginalprising i kraftmarkedet. Det innebærer at prisen som realiseres i markedet er den prisen som dekker kostnadene til den dyreste produksjonsenheten som må produsere for at etterspørslene skal dekkes. Dette er illustrert i figuren under for det tyske kraftmarkedet. Produsenten byr typisk inn en pris som er lik deres produksjonskostnad.



Figur 2 Markedsklarering i Tyskland - illustrativ

I Norge er situasjonen noe annerledes siden vi har en svært stor andel vannkraft med en produksjonskostnad nær null. Aktørene byr derimot ikke inn produksjonskostnadene, men den såkalte vannverdien. Vannverdien er verdien av vannet i magasinene og reflekterer hva det vil koste å dekke den siste etterspurte kWh med andre produksjonsteknologier enn vannkraften. Dersom produsenten hadde bydd inn sin produksjonskostnad som er nær null ville resultatet blitt at de produserte svært mye i begynnelsen av året og derfor sto i fare for å gå tom for vann senere i året. Vannverdien er altså et verktøy for å optimere vannkraftproduksjonen over året og mellom år og skal reflektere overskudds eller underskuddssituasjoner. Ofte vil alternativet til å produsere den siste kWh med vannkraft som trengs for å møte etterspørselen være å importere den fra områdene rundt oss. I disse områdene vil prisen i mange av årets timer settes av et kull- eller gasskraftverk. Dette innebærer at endringer i kull, gass og CO₂-priser vil påvirke vannverdiene til produsentene og dermed kraftprisen i Norge. I år med mye nedbør vil kraftprisen typisk presses under prisen i landene rundt oss for å sikre at vi får eksportert

overskuddsproduksjonen, slik vi så i 2020 da vi hadde rekordlave kraftpriser i Norge, mens i tørrår som i 2010 vil prisen presses over kraftprisen i landene rundt oss for å sikre at vi får nødvendig import.

I kartleggingen av drivere og usikkerhet gjennom intervjuene er det forsøkt å skille på kort og mellomlang sikt (fra i dag og mot 2030) og lang sikt (mot 2040 og forbi). Intervjuobjektene har noe ulikt fokus i sine analyser og har beskrevet både hva de mener er viktige drivere og usikkerhet for utviklingen av kraftsystemet generelt, men også for selve kraftprisen (som er en viktig indikator på flere andre faktorer i kraftsystemet). Diskusjonene i intervjuene bærer preg av å være påvirket av dagens situasjon, med krigen i Ukraina og energikrise i Europa, særlig når det gjelder kort sikt. Det er generelt konsensus blant de ulike analysemiljøene rundt både hva de viktige driverne er, og hvor usikkerheten ligger.

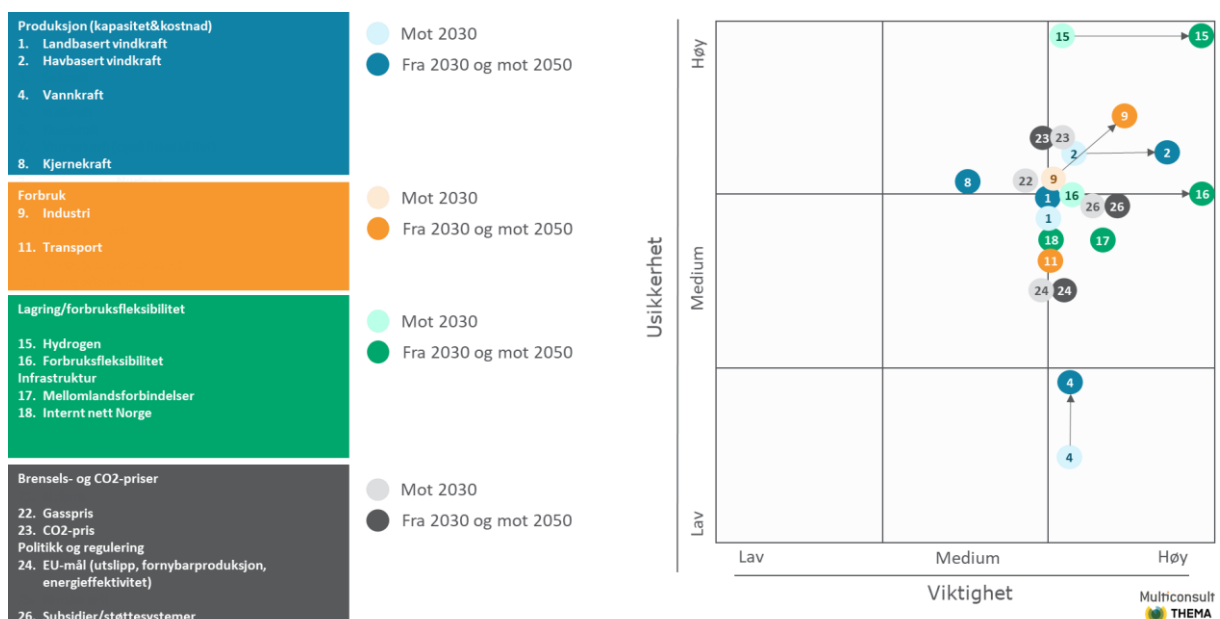
Gjennom intervjuene synliggjøres det at man ikke kan vurdere en enkelt driver uten å se de i sammenheng med de andre, da flere av driverne henger tett sammen og noen er underliggende drivere som påvirker andre og flere påvirker hverandre gjensidig. For å sitere en av intervjuobjektene: «alt henger sammen med alt».

«Viktige drivere er til dels klima- og miljøpolitikken, som i hovedsak føres utenfor Norges grenser, og til dels teknologiutvikling som kommer av politikken og investeringstakten.»

4.1 Bred konsensus om de viktigste driverne

Det er generelt bred konsensus blant analysemiljøene om hva som er de viktigste driverne, hvilke som er mest usikre og hvordan dette fordeler seg på kort og lang sikt. Naturlig nok er det slik at det meste blir mer usikkert jo lenger tidshorisont man ser på, men det er nok særlig de driverne som anses som viktige og usikre på samme tid som man fokuserer på i analysene gjennom sensitivitets- og scenarioanalyser, samt på innhenting av data og diskusjon av forutsetninger.

Figuren under viser en oppsummering av de driverne det er mest konsensus om enten viktighet, usikkerhet eller begge deler, skilt på kort og lang sikt. I følgende underkapitler beskrives disse i mer detaljer.



Figur 3 Viktige drivere og tilhørende usikkerheter i de langsiktige analysene

På produksjonssiden er det vindkraftteknologiene som forventes å være viktige, særlig etter 2030. Det er imidlertid en del usikkerhet knyttet til både landvind og havvind, for førstnevnte særlig pga. sosial

og politisk aksept og konsesjonspolitikk, for havvind pga. rammevilkår, konsesjonspolitikk, teknologi- og kostnadsutvikling og nett for transport av kraften for å nevne noen. Vannkraft har en sentral rolle i det norske kraftsystemet, men er også viktig i det nordiske og den europeiske sammenhengen, og vil bli viktigere som kilde til fleksibilitet i fremtiden. Kjernekraft er en joker, og det er en del usikkerhet knyttet til denne på lenger sikt, både i Norden og på kontinentet.

På forbrukssiden er det særlig kraftetterspørselen i industri som forventes å kunne gi potensielt stort utslag, da planene er ambisiøse, men usikkerheten også er stor. Industriutviklingen er avhengig av flere andre faktorer og drivere som tilgang på (fornybar) kraft og nettkapasitet, rammevilkår og støttesystemer, teknologisk utvikling, tilgang på kapital og arbeidskraft for å nevne noen.

Hydrogen omtales som den store jokeren på lang sikt, og påvirker både etterspørsel og fleksibilitet/lagring. I kraftmarkedsøymed er det særlig produksjon av grønt hydrogen (hydrogen produsert med kraft fra fornybare energikilder, f.eks. elektrolyse) som er relevant for etterspørselssiden. Det er mye usikkerhet knyttet til alle aspekter ved hydrogen som er større på lang sikt, men dersom ambisjoner realiseres er det snakk om enorme volum. Forbruksfleksibilitet vil også være viktig for å kunne introdusere så mye uregulerbar strømproduksjon som ambisjonene tilsier, og det store potensialet forventes å være i industrien, både nye og eksisterende. Også dette er det heftet mye usikkerhet ved, særlig på lang sikt.

Det interne nettet (både kapasitet og tilgang) i Norge anses som ganske viktig, men det er særlig mellomlandsforbindelsene og nettet knyttet til havbasert vindkraft som er interessant. Nettet er helt essensielt for å realisere ambisjonene i havvindsatsingen, men det er mye usikkerhet knyttet til hvordan dette skal utformes og når det vil være på plass.

Videre er brensels- og CO₂-prisene svært viktige for kraftprisen særlig på kort sikt. På lenger sikt blir de mindre viktige etter hvert som fossil strømproduksjon fases ut. Det er særlig gassprisen, sammen med CO₂-prisen som er viktig da denne forventes å sette prisen for strøm i mange av døgnets timer på kort og mellomlang sikt. Det er likevel en del usikkerhet knyttet til gassprisen, særlig på bakgrunn av dagens situasjon med krig og energikrise i Europa.

De er enighet om at de politiske målsetningene på EU nivå er et viktig signal og underliggende driver for alt annet. Det er derimot noe uenighet om det er målene i seg selv som er førende, eller konkret regulering, virkemidler og støttesystemer som er den viktige driveren. Det er større usikkerhet rundt de konkrete tiltakene enn målsetningene.

Andre aspekter som kan påvirke utviklingen av kraftsystemet mer indirekte, utover de driverne som er listet i Figur 1 har også blitt nevnt. Det er både aspekter som allerede er viktige eller kan bli viktigere på sikt. Dette er blant annet sosial aksept for ulike kraftutbygginger, hensyn rundt forsyningsikkerhet, endringer i markedsdesign, øke politisk styring av kraftsystemet, utviklingen i andre regioner og eventuell konkurranse med disse, knapphet og tilgang på nødvendige (rå)varer, for å nevne noen.

4.1.1 **Vindkraft blir viktigere, samtidig som vannkraften forblir en hjørnestein i det norske kraftsystemet**



Figur 4 De viktigste driverne og usikkerheten innenfor kraftproduksjonskapasitet

Blant de ulike relevante produksjonsteknologiene som har blitt drøftet er det **landbasert vindkraft, havbasert vindkraft og vannkraft** som trekkes frem som viktige av flere analysemiljøer. Det presiseres at denne kategorien omhandler kraftproduksjonskapasitet og produksjonsmiksen og ikke produksjon på marginen. Det er også knyttet mye usikkerhet til de to vindkraftteknologiene. Usikkerheten er knyttet til både utbyggingstakten og volumet og er avhengig av flere faktorer, beskrevet i mer detalj for hver teknologi under. For landbasert vindkraft og solkraft har man tidligere fokusert mye på teknologi- og kostnadsutviklingen, men dette er mindre viktig nå ettersom disse regnes som relativt modne teknologier der det største kostnadsreduksjonspotensialet antas å være realisert. På kort sikt er det likevel noe usikkerhet rundt kostnadene knyttet til knapphet og økte kostnader på innsatsfaktorer, og økte fraktkostnader, blant annet. Derimot er for eksempel arealbruk, miljøpåvirkning og den sosiale aksepten blitt mye mer styrende for særlig landbasert vindkraft.

- **Landbasert vindkraft:** dette er en moden og lønnsom teknologi i Norge, med betydelig teknologisk potensial, og det er enklere å transportere kraften til forbruker enn ved å bruke havvind, og som har en direkte påvirkning på det norske og nordiske kraftsystemet. Men miljøpåvirkning er fortsatt utfordrende, så det er særlig sosial og politisk aksept i denne sammenhengen (samt tilhørende rammevilkår) som påvirker utviklingen for (og dermed også usikkerheten rundt) denne teknologien.

- **Havbasert vindkraft:** det er snakk om potensielt store volum både i Norge og andre europeiske land og ambisjonene er store. Realisering av store mengder havvind kan være kritisk for hydrogenproduksjon, elektrifisering av sokkelen og for å dekke annet forbruk. Teknologiene er fortsatt ikke fullstendig kommersielt moden og lønnsomt, og det er mye usikkerhet rundt rammevilkår, støttesystemer, infrastruktur for å transportere kraften ut. Videre er det knyttet usikkerhet til hvor produksjonen vil foregå (hvilke land klarer å realisere ambisjonene) og hvilke volum som vil realiseres og når, og basert på hvilken teknologi (bunnfast eller flytende). Derfor har havvind en påvirkning både direkte og indirekte og er avhengige av mange ulike underliggende drivere. Viktigheten forventes å øke på lenger sikt (etter 2030) ettersom man ikke forventer at mye vil være på plass før den tid, gitt den tiden det tar å utvikle og bygge ut havvind.
- **Vannkraft:** vannkraften har en sentral rolle i det norske kraftsystemet, både på grunn av volumet, men også som kilde til fleksibilitet, og denne egenskapen ved vannkraft forventes å bli viktigere jo mer uregulerbar kraft man får inn i systemet. Vannkraftressursene påvirker dessuten kraftprisdannelsen i Norge og hvor tett man er på kraftprisene på kontinentet. Potensialet for videreutvikling av vannkraften er ikke ubetydelig, men oppfatningen er at eksisterende rammevilkår/regulering ikke gir de riktige insentivene for å utnytte dette potensialet. Det er derfor noe usikkerhet rundt hvor mye ny vannkraftkapasitet man vil få i Norge på lenger sikt. I tillegg fører klimaendringer og større værvariasjoner til en større hydrologisk usikkerhet knyttet til driften og hvor mye vannkraft som faktisk vil være tilgjengelig fra år til år.
- **Solkraft:** i norsk sammenheng forventer ikke analysemiljøene i særlig grad at solkraft vil utgjøre en betydelig andel av produksjonen. I europeisk sammenheng derimot er det store ambisjoner for solkraft og det er snakk om potensielt store volum. Solkraft vil ha en indirekte påvirkning ved at det blir mer uregulerbar kraft i det kontinentale systemet og på prisdannelsen i enkelte timer. Som nevnt kan teknologi- og kostnadsutviklingen og eventuelt effektivitetspotensial man klarer å utnytte påvirke hvor mye sol som kommer (og eventuelt på bekostning av havvind og landvind).
- **Kullkraft, gasskraft, varmekraft (CHP):** de fossile energikildene forventes å bli mindre viktige jo lenger man kommer med nullutslippsplanene og overgangen til et mer fornybart energisystem. Det er mer usikkerhet forbundet med gass på kort sikt, med tanke på tilgangen til gassressurser, men også hvilken rolle gasskraft vil ha som såkalt broteknologi i overgangsfasen til man får på plass andre løsninger for fleksibilitet og «base load» i stor skala. Kull er allerede mindre viktig og forventes å fortsatt synke i viktighet.
- **Kjernekraft:** dette er en av teknologiene som trekkes frem som en joker av et par av analysemiljøene og potensielt ventes å kunne bli viktigere i fremtiden. Usikkerheten er imidlertid stor, da kapasitetsutviklingen for kjernekraft også preges i stor grad av sosial og politisk aksept særlig knyttet til sikkerhet og avfallshåndtering.

4.1.2 Kraftetterspørselen fra industri forventes å ha en sentral rolle i utviklingen



Figur 5 De viktigste driverne og usikkerheten innenfor kraftetterspørsel

Det påpekes av noen av analysemiljøene at forbruksutviklingen har kommet mer i fokus enn tidligere, og at man har blitt mer opptatt av veksten i forbruk de siste årene på grunn av elektrifiseringen i samfunnet. Etterspørselssiden forventes å vokse kraftig, men det er usikkerhet rundt akkurat hvor raskt og hvor mye.

Det er stor enighet blant de fleste miljøene at særlig **industri** har en sentral rolle i utviklingen, både på kort og lengre sikt. De potensielle volumene er signifikante, men usikkerheten er også stor, da planer er ambisiøse og det er vanskelig å vite hva som faktisk vil realiseres og ikke, og mye av informasjonen er forretningssensitivt. Industrietablering er dessuten avhengig av mange faktorer, som modenhet og lønnsomhet for industriteknologien, tilgang på (fornybar og rimelig) kraft og nettkapasitet, rammevilkår, virkemidler, tilgang på kapital og arbeidskraft, konkurranseforhold og mer. Fordi skalaen på ett enkelt industrianlegg er så stort kan det gi et stort utslag om det blir realisert eller ikke. Det er dessuten også en del usikkerhet rundt elektrifisering av eksisterende industri.

Når det gjelder forventet utvikling i husholdninger, energieffektivitet og til en stor grad transport så anses denne utviklingen å være lettere å forutse da den forventes å være mer inkrementell. Unntaket er usikkerhet rundt transport knyttet til hvor mye som eventuelt vil gå på andre type drivstoff som hydrogen og e-fuels som kan ha en betydelig påvirkning på etterspørsel.

Et annet punkt som ikke var i den oversikten som ble presentert for intervjuobjektene, men som ble tatt opp av noen få var **oppvarming** i Europa (også Nord-Europa) som i dag utgjør en betydelig andel

av energiforbruket og som forsynes med fossile kilder. Hvilke løsninger som vil benyttes for å redusere utslipp fra oppvarmingen og i hvilken takt omleggingen vil foregå kan ha mye å si for etterspørselen etter kraft, noe som vil ha en indirekte påvirkning på det norske kraftsystemet selv om problemstillingen knyttet til oppvarmingen ikke gjelder i særlig stor grad i Norge.

4.1.3 Lagring og fleksibilitet er nøkkeldrivere – hydrogen er jokeren



Figur 6 De viktigste driverne og usikkerheten innenfor energilagring, forbruksfleksibilitet og infrastruktur

Lagring og fleksibilitet generelt anses som en nøkkeldriver for hvor mye fornybar strøm som kan bygges ut, ettersom det er helt nødvendig for at man skal klare å opprettholde balanse og stabilitet i kraftsystemet. Lagring omhandler både lenger og kortere sikt, og er gitt av teknologien det er snakk om (batterier eller hydrogen f.eks.). Videre er det konsensus om at forbruksfleksibilitet vil bli viktigere desto mer av strømproduksjonen som vil være uregulerbar, og at det er særlig industri som blir forventet å ha et betydelig potensial.

- **Hydrogen:** det er ikke tvil om at hydrogen forventes å ha en sentral rolle, både når det gjelder fleksibilitet/lagring av energi, men også på kraftetterspørselen, og det forventes å bli viktigere på lenger sikt (mot 2050). Hydrogenproduksjon kan påvirke lokasjon for fornybar strøm og/eller bli påvirket av tilgangen på fornybar kraft (dette er litt «høna og egget» problematikk). Det er mye snakk om hydrogen, men som for mange av de andre usikre driverne er det også i dette tilfellet et spørsmål om når, hvor mye og hvor. Det er litt uenighet om hvilken rolle hydrogen vil ha direkte i norsk sammenheng. På den ene siden har Norge gode forutsetninger for å produsere grønt hydrogen med fornybare energikilder. På den andre siden har man

vannkraften som gjør hydrogen relativt mindre attraktivt for fleksibilitetshensyn i det nasjonale systemet. Det avhenger også av om andre land er raskere med å utvikle sine hydrogenneringer og at man dermed får tak i billigere hydrogen fra andre steder, krav til selvforsyning og forsyningsikkerhet, teknologi- og kostnadsutvikling, bruken av hydrogen nedstrøms i andre næringer, for å nevne noen usikkerhetsmomenter.

- **Batterier** (for lagring og fleksibilitet) anses ikke som like viktige i norsk sammenheng av flere, hvert fall ikke i særlig stor skala. Vannkraften har stor fleksibilitet og prisvolatiliteten over døgnet er forholdsvis liten, noe som gjør at batterier i mange tilfeller ikke er et kostnadseffektivt alternativ. Batterier egner seg heller ikke for å lagre større energimengder over lengre tid (uker, måneder). Batterier kan imidlertid bli en viktig bidragsyter i balansemarkedene og for husholdninger som ønsker å investere i solkraft og lagre energien fra dagtid til ettermiddag/kveld. Det er noe usikkerhet på kort sikt knyttet til den teknologiske utviklingen og kostnadsutviklingen for hvilke roller batterier vil ha i nordisk eller europeisk sammenheng.

Infrastruktur generelt anses som en viktig underliggende driver for både produksjon og forbruk. På kort sikt er det tydelig at intern nettkapasitet påvirker strømutveksling mellom de ulike kraftprisområdene i Norge, samt at mellomlandsforbindelsene knytter også tettere til det som skjer i våre naboland og på kontinentet. Begge deler er med på å påvirke strømprisen som man har sett den siste tiden. Usikkerheten er større på lang sikt ettersom planene er mer eller mindre gitt for de neste ti årene, og det tar tid å planlegge og bygge ut ny infrastruktur.

- **Mellomlandsforbindelser:** det er særlig forbindelser knyttet til havbasert vindkraft som er interessant her og potensielt kan bli veldig viktige drivere og som per nå er veldig usikre. Man vet ikke hvor de vil bygges, om det vil være radialer til land eller masket nett og evt. tilkoblingspunkter delt med andre land, hvem som skal eie og drifte forbindelsene osv. Havvindplanene er ambisiøse, men helt avhengig av nett for å kunne frakte ut strømmen dersom det ikke er snakk om elektrifisering av olje- og gassplattformer eller samlokalisert hydrogenproduksjon. Flere kabler til våre nabomarkeder er også høyst usikkert, igjen mye knyttet til sosial og politisk aksept.
- **Internt nett i Norge:** dette er som nevnt viktig for balansen mellom de ulike kraftprisområdene, men vil også påvirke om og hvor man får av ny industri. Det trekkes frem at tilgang til kraft med konkurransedyktige kraftpriser vil være avgjørende for industrien. Analysemiljøene peker på at industrien enten vil etablere seg ved kraftproduksjonen, eller så er man avhengig av å bygge nett for å transportere kraften fra kraftverkene til forbruket. Dermed er nettutbygging, tilgang til nett og rammebetingelser for nettknytning identifisert som viktige faktorer for industrien.

4.1.4 EU-mål er toneangivende for utviklingen i Norge



Figur 7 De viktigste driverne og usikkerheten innenfor brenselpriser, politikk og regulering/virkemidler

Brensel- og CO₂-priser: på kort sikt er det bred enighet om at brensel- og CO₂-priser er viktige, ettersom dette indirekte påvirker kraftprisdannelsen i Norge gjennom utveksling med kontinentet. Dette gjelder særlig gassprisen sammen med CO₂-prisen, da denne forventes å sette kraftprisen i mange timer i Europa, blant annet Tyskland. Det har alltid vært usikkerhet knyttet til gassprisen, men denne er på kortere sikt blitt mer usikker som følge av krigen i Ukraina og energikrisen. Ettersom fossile energikilder til kraftproduksjon fases ut, vil brenselprisene bli mindre og mindre viktige. Kull fases ut raskere enn gass, men kan ha en større rolle på kort sikt enn tidligere antatt grunnet knapphet på gass. CO₂-prisen forventes også å bli mindre viktig for prisdannelsen, og at sensitiviteten for CO₂-prisen reduseres, men den forventes å fortsatt være viktig på lang sikt som en barriere mot teknologi og aktivitet med utslipp. Denne forventes samtidig å bli mer usikker etter hvert, da dette er avhengig av både politikk og virkemidler og takten på omstillingen til nullutslipp.

Politikk, regulering og virkemidler: politiske målsetninger, planer og ambisjoner knyttet til klima, energi, fornybar energi er helt sentralt for utviklingen av kraftsystemet både på kort og lang sikt. Klimamål og ambisjoner for det grønne skiftet har bare blitt viktigere og viktigere de siste par tiårene. De politiske målsetningene har også plutselig blitt enda mer fremtredende på kort sikt som følge av energikrisen som pågår i Europa. De europeiske målsetningene anses som de klart viktigste, da flere aktører mener at de norske målsetningene i stor grad blir utledet av det som blir satt på europeisk nivå. Målene gir et betydningsfullt signal på hvilken retning utviklingen skal gå, til en viss grad hvordan den skal skje og hvor fort. Det er likevel mange ambisjoner som oppleves som «luftige» så det er noe

uenighet rundt hvor viktig målene i seg selv er for konkrete tiltak gjennom regulering, virkemidler og støttesystemer. Alle er enige om at konkrete tiltak også er svært viktige, mens noen altså anser målene som essensielle for at disse settes i verk mens andre vurderer de som mindre viktige. Både politikk og konkrete tiltak er underliggende drivere som påvirker alle de andre driverne, som blant annet teknologiutvikling, produksjonskapasitet, forbruksutvikling og nettutbygging. Det er derimot større usikkerhet rundt den konkrete reguleringen og tiltakene knyttet til alle de nevnte punktene, og mer usikkert jo lenger tidshorizont.

4.2 Drivere som kan påvirkes av norske myndigheter

Mange av driverne for utviklingen i kraftmarkedet og kraftprisen fremover kan direkte eller indirekte påvirkes av norsk politikk, mens andre i større grad er påvirket av internasjonale markedsforhold. Under ser vi på de driverne som det trekkes frem at norske myndigheter direkte rår over eller kan påvirke indirekte.

4.2.1 Konesjonspolitikk

Konesjonsbehandlingen skal sikre en effektiv og forsvarlig utnyttelse av naturressursene. Konesjonsbehandlingen skal avveie samfunns- og miljøinteresser mot energimålene, og konesjon skal gis dersom fordelene overstiger ulempene. Konesjonsbehandling må samtidig ivareta lovpålagte krav til prosess og faglighet basert på et godt kunnskapsgrunnlag.

«Vi har et godt eksperiment på onshore vind. Hvis man vet man får et «nei» er det ikke vits i å bruke tid og krefter på bygge noe. Viljen til å gi konesjoner eller ha virkemidler for kraftproduksjon begrenser etterspørselsutviklingen, særlig industri.»

Hvor mye kapasitet som bygges av ulike teknologier og hvor denne er plassert avhenger i stor grad av konesjonspolitikken. Et godt eksempel på dette som flere analysemiljø trekker frem er at det en periode var full stopp i vindkraftinvesteringen på land i Norge i påvente av NVEs vindkraftmelding og påfølgende lovendringer. Videre trekkes opprustning og utvidelse av norske vannkraftverk frem som gjenstand for påvirkning

av skatterregelverk og konesjonsvilkår.

Analysemiljøene ser også at det er mye regulatorisk usikkerhet rundt vind til havs som forsinker aktørene og øker usikkerheten. Det virker å være stor interesse rundt utbyggingen, men kapasiteten vil komme på plass senere enn den ellers ville fordi det fortsatt gjenstår arbeid rundt de regulatoriske rammene.

En rekke faktorer ved konesjonspolitikken vil være med å bestemme både utbyggingstakt og volumer. Aktørene vi har intervjuet trekker frem både vurderingskriterier, hva myndighetene vektlegger i konesjonsprosessen (f.eks. kvalitative kriterier ved havbasert flytende havvind), og behandlingstiden for konesjoner som viktige faktorer.

4.2.2 Nettutbygging

Når det gjelder nettutbygging pekes det på utbygging av mellomlandsforbindelser, men kanskje først og fremst usikkerheten som er skapt rundt hvordan havvindprosjekter skal knyttes til land. Om prosjektene kun kan knyttes til Norge eller om det også åpnes for at de kan knyttes til andre land vil i stor grad påvirke lønnsomheten i prosjektene og er en nøkkelfaktor når det skal tas en investeringsbeslutning.

Det pekes også på at nettutviklingen internt i Norge er viktig. Her preges svarene både av den ekstreme prisforskjellen vi ser nå mellom Nord og Sør-Norge, som en del også oppfatter at er varslet i lang tid (om enn ikke med så store forskjeller som vi nå ser) og det er tatt lite tak i.

Videre pekes det på at det er svært mange industriprosjekter som står i kø før å få nettilknytning. Det er utfordringer på flere nettnivåer og aktører opplever å ikke få knyttet seg til nettet i området der de ønsker å etablere ny industri.

4.2.3 Norske mål vs. virkemidler.

Flere trekker frem viktigheten av faktiske virkemidler og rammebetingelser for å nå de ambisiøse målene som er satt både når det gjelder utslippskutt og mål for eksempel havvind. Vi ser imidlertid at norske mål ikke blir trukket fram som veldig viktig av flere av analysemiljøene pga. at

a) norske energi- og klimamål henger tett på EUs politikk, så det som blir sagt i Brussel oppfattes som viktigere enn Norges ambisjoner, og

b) mange tallfestede målsettinger nevnes av politikere, uten at virkemidler for å nå disse målene utdypes. Dette leder til at flere analysemiljø legger til grunn vedtatt politikk og virkemidler i analysene sine, fremfor mer ambisiøse politiske mål.

«Norges evne til å ha en annen klima- og miljøpolitikk enn EU er ikke så veldig stor. Når det er sagt, har den norske evnen til å utsette implementeringen av det meste en virkning. Eksempelvis fikk vi omsider et tall på en ambisjon på offshore vind, men ingen som vet hva slags virkemidler man har tenkt å bruke for å nå det målet. Ofte er det våre naboer som har virkemidler, og det betyr at en del av den kapitalen som potensielt ville vært investert i norske tiltak kommer til å investere i land hvor det faktisk er virkemidler.»

4.2.4 Ny industri

Mye av industrien er i dag kraftintensiv. Hva norske myndigheter tenker om elektrifisering av for eksempel petroleumssektoren og ny kraftkrevende industri vil ha stor påvirkning på fremtidig kraftbalanse, særlig innenfor de forskjellige landsdelene, og også fremtidig kraftutbygging. Her pekes det på at det å legge til rette for ny «grønn industri», altså industri med lite eller ingen utslipp, vil være viktig. Vi ser også at med dagens anstrengte kraftsituasjon i Sør-Norge settes det politisk stadig oftere spørsmålstegn ved deler av elektrifiseringen, og da spesielt elektrifiseringen av petroleumssektoren.

5 Drivere og usikkerhet avdekket i litteraturstudie

Litteraturstudiet baserer seg på rapporter med ulik hensikt og omfang. Listen over de rapportene som er en del av litteraturstudien samt utgivelsesår og rapporttype ligger i kapittel **Error! Reference source not found.** Dette avsnittet beskriver vår oppfatning av hvor det er konsensus på tvers av rapportene og belyser avvik mellom dem. Vår generelle oppfatning er at det er stor konsensus om hvilke drivere som er viktige. I tillegg til de nevnte driverne nevnes også politikk og regulering. Dette antas å ha en indirekte påvirkning ved at målsetninger på nasjonalt og EU-nivå påvirker de andre driverne.

Det er verdt å nevne at rapportene vi har analysert i litteraturstudien i stor grad er publisert før energikrisen i Europa var et faktum. Det kan derfor tenkes at viktigheten av og usikkerheten ved enkelte drivere, spesielt på kort og mellomlang sikt vil være noe annerledes vektet dersom studiene var utgitt i dag.

Der det er nødvendig å presisere om en driver er viktig før 2030 eller mot 2040 og videre fram i tid, bruker vi begrepet «kort sikt» (og lignende formuleringer) om tidsrommet fram mot 2030 og «lang sikt» (og lignende formuleringer) om tidsrommet etter 2030 og lenger fram i tid.

5.1 Det er stor enighet i rapportene om hva som vil være hoveddrivere for utviklingen i kraftmarkedet fremover

Kraftkrevende industri: På kort sikt er det enighet om at forbruk fra industri vil være en viktig prisdriver. Særlig økt forbruk nord i Norden trekkes frem i flere rapporter. Redusert kraftoverskudd som følge av elektrifisering, industrivekst og datasentre vil gi et høyere prisnivå, men det er mye usikkerhet knyttet til både tidspunkt for realisering og volum på elektrifisering av kraftkrevende industri og etablering av ny industri. Likevel er det generelt konsensus om at økt forbruk fra kraftkrevende industri vil redusere kraftoverskuddet i nord. Konkrete eksempler er elektrifisering av stålindustrien i Sverige, som trekkes frem fordi det er usikkert om planene blir realisert eller forsinket, og fordi det er snakk om store volumer. Statnett (2021b) peker også på at en usikkerhet rundt utviklingen av forbruksvekst er hvordan kraftforbruket fra petroleumssektoren vil utvikle seg på lang sikt. I tillegg nevnes usikkerheter knyttet til etablering av datasentre, fiskeoppdrett på land, næringsparker m.m. Etter 2030 ventes forbruk fra kraftkrevende industri også å være en viktig driver, for å utløse mer kraftproduksjon (Statnett, 2020).

Fornybar produksjonskapasitet: Utvikling av forbruksvekst og produksjonsvekst henger ifølge rapportene som er undersøkt tett sammen, og fornybarkapasitet ventes å være en driver med stadig økende viktighet frem mot 2050. På kort sikt vil produksjonen fra vind på land i Norden og på Kontinentet bidra til å presse prisene ned i timer med høy vindkraftproduksjon. Fra et norsk perspektiv er usikkerheten på kort sikt spesielt knyttet til væravhengig produksjon, da vind og tilsigsvariasjonene bidrar til om vi vil ha et kraftunderskudd eller overskudd i enkeltår. (Prosess21, 2020). På lang sikt, etter 2030, vil en økt andel fornybarkapasitet, dominert av sol og vind på kontinentet og land- og havvind i Norden redusere gjennomsnittlige kraftprisene. Utbyggingstakten for fornybar produksjon er på lang sikt usikker grunnet blant annet begrensninger i areal, hvorvidt det er etablert løsninger for fleksibilitet og teknologiutvikling (Statnett, 2020).

Infrastruktur: Overføringskapasitet nevnes flere ganger som en sentral driver for prisforskjellene i Norden på kort sikt. I denne sammenhengen trekkes både intern handelskapasitet mellom prissoner og mellomlandsforbindelser til kontinentet fram. Det legges vekt på at det er stor usikkerhet knyttet til både hvor mye og når ny kapasitet kommer. I Statnetts kortsiktige markedsanalyse blir blant annet kapasiteten mellom nord og sør i Norden trukket frem som en sentral usikkerhetsfaktor, da det er et stort behov for overføring fra nord til sør i det norsk-svenske nettet. Planene for kapasitetsøkning

mellom SE2 og SE3 er utsatt fra 2024 til 2028, noe som illustrerer usikkerheten rundt tidspunkt for realisering. Virkningen av den nye mekanismen for å sette handelskapasiteter i det nordiske markedet, flytbasert markedskobling, er også usikker (Statnett, 2021a). I Prosess21 (2020) er det ikke et like tydelig skille mellom kort og lang sikt, men mellomlandsforbindelser trekkes også her fram som en sentral driver for kraftprisen i Norge. Rapporten legger særlig vekt på hvordan dette påvirker prissetting av vannkraften i Norge. Den største usikkerheten som vektlegges er dermed hydrologisk. På lang sikt er det flere usikkerheter som blir nevnt, blant annet at nettinvesteringer har lang ledetid, stort behov for koordinering og ofte blir møtt med offentlig motstand (Nordic Energy Research, 2020).

Fleksibilitet: Et fellestrekk ved rapportene er de nevner viktigheten av fleksibilitet på lang sikt. Flexibilitet vil spille en viktigere rolle fordi større variasjon i kraftprisen gjør det mer lønnsomt med fleksible løsninger som batterier, power-to-gas og forbrukerfleksibilitet. Det er særlig power-to-gas i form av hydrogen som løftes fram som kilde til fleksibilitet på tvers av rapportene. Hydrogen vil spille en viktig rolle for å opprettholde konkurransedyktigheten til fornybar produksjon, og vil være sentralt for å redusere kannibaliseringseffekter ved å løfte de lavest prisede timene opp fra null. Sentrale usikkerhetsfaktorer for utviklingen av hydrogen som fleksibilitetsløsning er kostnadsutvikling, etterspørsel etter hydrogen og hvorvidt man får etablert et dedikert hydrogenmarked. (EA Energy Analyses, 2022; Nordic Energy Research, 2020). Lønnsomheten til nettilknyttet hydrogenproduksjon er usikker, da den i stor grad vil være avhengig av brukstid og hvor mange tilbydere som kan bidra til å presse prisen ned (DNV, 2021). Mye av forbruksveksten som forventes vil være fleksibelt forbruk, for eksempel i form av power-to-gas.

CO2- og brenselspriser: Når det gjelder brensels- og CO2-priser, nevnes det i flere rapporter at disse vil være sentrale drivere for norske kraftpriser på kort sikt via økte marginalkostnader for termisk kraftproduksjon kombinert med overføringskapasitet til kontinentet. Viktigheten av CO2- og brenselspriser avtar etter 2030 etter hvert som termisk produksjon fases ut, samtidig som en økende fornybarandel får en stadig større innvirkning på prisen. Det er flere usikkerhetsmomenter som nevnes, blant annet usikkerhet knyttet til nivå på CO2- og brenselsprisene og i hvor stor grad prisnivået vil påvirke norske kraftpriser. Sentrale usikkerheter her er kraftbalansen i Norge og Sverige, kapasitetsmiks i Europa, omfang av fleksibelt forbruk og usikkerhet knyttet til fyllingsgrad i norske vannmagasiner. (NVE, 2021)

Driver	Kort sikt		Lang sikt			
	Viktighet	Usikkerhet	Viktighet	Usikkerhet		
Kraftkrevende industri	★★★	Utviklingen i Nord-Norge og Nord-Sverige er i fokus	Hvor mye og når?	★★★	Ståindustri i Nord-Sverige	Hvor mye og når?
Fornybarkapasitet	★★★	Landvind og sol er hovedfokus	Hvor mye og når? Værsikkerhet Volatilitet	★★★	Alle teknologier inkl. kostnader	Hvor mye og når? Værsikkerhet Volatilitet
Mellomlandsforbindelser	★★★	Prisforskjell nord-sør og import fra kontinentet	Hvor raskt øker kapasiteten nord-sør?	★★★	Likere priser, lavere volatilitet	
Fleksibilitet	★★★	Behovet for fleksibilitet øker	Værsikkerhet Volatilitet	★★★	Grønt hydrogen, fleksibelt forbruk nevnes som viktige bidragsyttere	Hvor mye og når? Værsikkerhet Volatilitet
CO2-pris	★★★	Produksjonsmiks med høy termisk andel	Hvor går prisen?	★★★	Lav termisk andel etter 2030	Hvor går prisen?
Brenselspriser*	★★★	Gass mer enn kull	Hvor går prisene?	★★★	Mindre betydning når termisk andel minker	Hvor går prisene?

De fleste rapportene peker på politikk og regulering som viktige drivere, men disse antas som regel å ha en indirekte påvirkning ved at de andre driverne endres.

* Prosess21 nevner at gasspris også er en viktig driver på lang sikt, mens viktigheten til kull avtar etter hvert som flere kraftverk legges ned

Figur 8: Oppsummering av drivere, viktighet og usikkerhet i litteraturstudien på kort og lang sikt.

5.2 Viktigheten av gassprisen vektet ulikt i de forskjellige rapportene

Generelt er det mye konsensus på tvers av rapportene. En rapport som skiller seg noe ut er Prosess21 (2020), som i sin rapport nevner brenselspriser som en av de viktige drivkreftene for nordiske kraftpriser. Det som skiller seg ut, er at de presiserer at gasspriser vil være særlig viktig på mellomlang og lang sikt. (Prosess21, 2020). Konsensusen i flere andre rapporter er en avtagende viktighet av gasspriser på sikt, mens Prosess21 antakelig antar mer gass i produksjonsmiksen på lang sikt enn det som gjøres i de andre rapportene.

6 Usikkerheten håndteres gjennom bruk av scenarier, sensitiviteter og værår

Både intervjuobjektene og litteraturen erkjenner at alle analyser av langsiktig utvikling vil være usikre. Det er flere måter å håndtere usikkerhet på som intervjuobjektene benytter seg av, og det vi ser går igjen flere steder er scenariobygging, sensitivitetsanalyser og værårssimuleringer.

Scenarier, sensitiviteter, og værårssimuleringer komplementeres gjerne med kvalitative vurderinger og resonnementer rundt resultatene. Videre, ser aktørene til en viss grad til hverandre for å sammenligne sine analyser med offentlige og kommersielt tilgjengelige analyser for Norge, Norden og Europa. Dette innebærer ikke nødvendigvis at man bruker samme antakelser, men heller at man er opptatt av å være forberedt på å kunne forklare eventuelle forskjeller i antakelser og resultater. Særlig NVE og Statnett sine langsiktige kraftmarkedsanalyser benyttes i stor grad av aktørene som en referanse. I tillegg, gjennomføres backtesting av analyseresultater for å sammenligne historikk med modellerte resultater for å kvalitetssikre modellapparatet.

6.1 Flere har et forventningsscenario, samt et «høyt» og et «lavt» scenario

Ved scenariobygging representerer man utfallsrommet for kraftpriser ved å definere ulike scenarier, som hver har et sett med unike antagelser. De fleste utvikler scenarier med flere forløp for utviklingen fremover i tid, der prisdriverne utvikler seg på internt konsistente måter innenfor scenarionarrativet. Brorparten av de vi intervjuet utvikler tekniske scenarier hvor ulike variabler varierer opp eller ned. De fleste har et forventningsscenario, og operer med et «høyt» og «lavt» scenario som legger til grunn enten vedvarende økonomisk vekst eller vedvarende resesjon. Det er ikke knyttet sannsynligheter for de ulike scenariene, men disse er bygget for å få et balansert og plausibelt bilde som tar hensyn til ytterpunktene i utviklingen. Noen få aktører vi snakket med bygger scenarier som utvikles som selvstendige historier med ulikt forløp, altså følger bestemte storylines, være seg business-as-usual, nullutslippsscenario, teknologioptimistisk scenario, eller lignende.

En gjenganger i flere av rapportene (Statnett, 2020; 2021a; 2021b; IEA 2021), er å bruke tre scenarier. Da er det gjerne ett scenario som representerer det forventningsrette utfallet, mens de to andre representerer mer ekstreme utfall. For eksempel opererer Statnett-rapportene med et teknologioptimistisk scenario, der den grønne omstillingen i stor grad drives av markedet selv, og et scenario der oppnåelse av klimamål krever aktiv involvering av myndigheter. Vi ser også eksempler på rapporter som definerer flere scenarier. Statnett (2020; 2021b) argumenterer for at høye kraftpriser vil drive lønnsomheten til fleksibilitetsløsninger og fornybarteknologier på kort og mellomlang sikt, som siden resulterer i en høy utbyggingstakt mot 2050. Dermed kan vi få en situasjon der prisnivåene reverseres i 2050, slik at scenariet med høyest priser på kort og mellomlang sikt får lavest kraftpriser på lang sikt, og motsatt.

6.2 Sensitiviteter benyttes til å vurdere virkningene av én eller noen få parametere

Det er også vanlig å bruke sensitiviteter for å belyse hvordan kraftmarkedet utvikler seg dersom man endrer én eller noen få nøkkelvariabler. Disse velger aktørene basert på spesielle temaer som er aktuelle i nyhetsbildet (noe som har skjedd, eller noe man tror blir viktig fremover), variabler det er knyttet særlig stor viktighet og/eller usikkerhet ved, særegenheter i kraftmarkedene brukerne av analysene er opptatt av, og på grunnlag av erfaringer med hva som har stor påvirkning og medfører usikkerhet i estimatene.

«Modellen er kun et verktøy – den har ikke svaret på alt. Den bør brukes som et grunnlag for diskusjonen om drivere, usikkerhet, og 'hva hvis' analyser.»

Av de undersøkte rapportene er det kun NVE (2021) som primært benytter seg av sensitivitetsanalyser for å få fram et utfallsrom for framtidige kraftpriser. Her gjøres en sensitivitetsanalyse der brensels- og CO₂-priser varierer. Både NVE-rapporten og Statnett rapportene presenterer andre sensitivitetsanalyser for å si noe om hvordan kraftpriser kan tenkes å reagere i enkelte situasjoner. En rapport som skiller seg ut fra de andre, er DNV (2021), som kun presenterer ett scenario for den framtidige utviklingen til det globale energisystemet. I den grad sensitivets- og scenarioanalyser gjennomføres, presenteres de ikke i den offentlige publikasjonen.

6.3 Værårssimulering gir et utfallsrom med forskjellige værdata

I tillegg operer de fleste av aktørene med modellering av flere værår for å fange usikkerheten i det væreavhengige norske kraftsystemet. De fleste viser til tilsigserier fra NVE på om lag 30 år som benyttes i analysene. Det brukes mye ressurser og analysekapasitet på å modellere værår, og mange bruker værår korrelert med Norden og kontinentet for å fange opp volatiliteten i vann-, vind- og solkraftproduksjon, samt krafttettersspørsmål. Kraftprisprognosen kan da oppgis som et gjennomsnitt av de ulike værårene med lik vektning, samt at resultatene for ulike værår kan ofte også vises enkeltvis. Noen av aktørene intervjuet gjør også Montecarlo-simuleringer med et utfallsrom på de viktige driverne og får ut en sannsynlighetsfordeling for ulike faktorer for kapasitet, forbruk, pris, osv.

Både NVE og Statnett peker i sine rapporter på at de nordiske og europeiske kraftsystemene er sterkt væravhengige. Derfor velger de å gjøre værårssimuleringer med omtrent 30 ulike værår for hvert av de fremtidige årene som simuleres i analysen. Årlige priser presenteres som et gjennomsnitt av værårssimuleringer. Rapportene illustrerer samtidig hvor store kraftprisvariasjoner man kan observere på tvers av ulike værår, og hvordan framtidige værårsvariasjoner kan se ut.

7 Teknologirike bottom-up modeller brukes i analysene

Kompetansen innen modellering av kraftsektoren i Norge er høy, med utgangspunkt i flere tiårs erfaring med detaljert modellering av vannkraft og kraftmarkedet. Modelleringskompetansen sitter både i norske forskningsinstitusjoner, universiteter, private analyseselskaper, kraftprodusenter og myndigheter.

Miljøene har utviklet egne modeller og også tatt i bruk modeller med åpne kildekoder for kalibrering med norske, nordiske og europeiske datasett. Modellene som brukes er bygget opp på ulike måter og er derfor egnet til ulike formål. Teknologirike "bottom-up" energimodeller gir detaljert innsikt i det fysiske energisystemet og energimarkedet, mens "top-down" likevekts økonomimodeller gir mer innsikt i et bredere sett av sektorer og markeder. I motsetning til deterministiske modeller bruker stokastiske modeller sannsynlighetsfordelinger for å representere klimatisk, økonomisk eller politisk usikkerhet.

Korttidsmodeller har horisonter fra uker til flere år og analyserer drift av systemet uten nye investeringer. Langtidsmodeller som er fokuset her, brukes til å analysere utviklingen av kraft- eller energisystemet over flere tiår med endogene eller eksogene investeringer.

Et høyt aggregeringsnivå på geografi, tidsoppløsning, teknologi eller andre faktorer forenkler modellene slik at de egner seg for hyppige kjøring til mindre detaljerte analyser. I den andre enden av skalaen kan svært detaljerte modeller ta flere dager å kjøre, noe som begrenser fleksibiliteten i analyser som krever flere titalls kjøring. Mange av modellene kan kjøres med ulik grad av aggregeringsnivå, slik at brukeren bestemmer hvilket aggregeringsnivå som er best egnet til å belyse problemstillingen. Ofte brukes et høyt aggregeringsnivå til initiale modellkjøring, mens man kjører modellen med lavt aggregeringsnivå når man har testet scenarier eller andre endringer på høyt aggregeringsnivå og ønsker mere presise analyser i slutfasen av et arbeidet med en problemstilling. For at en analyse skal dekke hele energisystemet, flere land, kort- og langtids perspektiver, eller både teknologiske og økonomiske utviklinger, må enten modellen være veldig stor og kompleks, eller flere ulike modeller må kobles sammen under like forutsetninger. En hovedutfordring er også at jo mer omfattende modellen blir, jo flere forutsetninger må man gjøre. Det ligger i sakens natur at antakelsen man gjør vil være forbundet med usikkerhet, slik at mer komplekse modeller ikke nødvendigvis vil gjøre resultatene mindre usikre, snarere tvert imot.

En modell er alltid en forenkling av virkeligheten og det er som beskrevet over på ingen måte slik at en mer kompleks modell nødvendigvis gir bedre resultater. Gode modeller gir innsikt om hvordan systemet fungerer, og hva effekter av endringer i antakelser kan være. Modellene som brukes har i stor grad blitt testet mot historiske observasjoner og mot forwardmarkedet. Analytikerene som bruker modellene har en viktig rolle både når det gjelder å gjøre en kritisk gjennomgang av dataene som går inn i modellen og av resultatene. For at en analyse skal bli god må man bruke en velfungerende modell som er egnet til å belyse problemstillingen med gode og kvalitetssikrede inputdata. Videre må resultatene kvalitetssikres, tolkes og settes inn i riktig kontekst.

De to hovedtypene av modeller som brukes i analysene er «bottom-up teknologirike optimaliseringsmodeller» og til en viss grad «top-down likevektsmodeller».

7.1 Bottom-up teknologirike optimaliseringsmodeller

Denne klassen av modeller bruker optimalisering for å representere hvordan et system, enten en enkelt sektor eller flere sammenkoblede sektorer, utvikler seg. Vanligvis optimeres både systeminvesteringer og drift samtidig ved å minimere totale kostnader for å møte en eksogent bestemt

etterspørsel etter energitjenester. Det teknologiske detaljnivået i disse modellene er vanligvis rikt. Det vil si at man modellerer alle produksjonsteknologier og i noen tilfeller helt ned på kraftverksnivå.

Typisk vil modellene finne likevekten mellom tilbud og etterspørsel med en viss tidsoppløsning. Tidsoppløsningen på modellene varierer, men de mest detaljerte finner likevekten time for time der prisen bestemmes av marginalkostnaden til det marginale kraftverket eller betalingsviljen til den marginale etterspørselsenheten, og tar hensyn til oppstartskostnader, rampingrestriksjoner og andre intertemporale beskrankninger.

Dersom man har endogene investeringer i modellen vil den langsiktige produksjonsmiksen i seg selv være en usikkerhetsfaktor ved at modellen finner et langsiktig likevektsnivå på investeringene, mens vi ofte opplever at utviklingen i produksjonsmiksen også vil være drevet av politiske målsettinger og virkemidler.

Modellene har ofte har en detaljert modellering av termiske kraftverk, inkludert start- og stoppkostnader, virkningsgrad som varierer med belastningen, restriksjoner knyttet til minimumsbelastning og så videre. I tillegg har modellene ofte detaljert vannkraftsmodellering, simulering av magasinstand, timestilgjengelighet, timestilsig, minimumsrestriksjoner, etc.

I modellene er volatil fornybarproduksjon som vind- og solkraft ofte modellert med faktisk volatilitet på timesnivå. På samme måte som termiske kraftverk og vannkraftverk kan store vindparker eller solcelleinstallasjoner modelleres individuelt med egne produksjonsprofiler og egenskaper.

Etterspørselsfunksjoner kan modelleres på ulike måter, f.eks. som lineære eller trinnvis lineære funksjoner. Etterspørselen kan ofte deles opp i ulike etterspørselskomponenter for hvert land med individuelle etterspørselsprofiler. Sluttbrukertariffer kan modelleres for å estimeres tariffenes påvirkning på sluttbrukeradferd hos konsumenter som også produserer kraft selv (prosumenter). Batterier kan modelleres med tap, lagring, lading og utladning.

Flyten på forbindelser mellom prisområder kan optimaliseres (basert på prisforskjeller), eller defineres av brukeren (for eksempel for å modellere kontraktsbasert handel). Tilgjengeligheten på mellomlandsforbindelser kan kontrolleres på timesbasis.

Modellene brukes typisk til kraftprisprognoser, analyser av effekten av utenlandskabler, investeringsanalyser, effekten av politikk og reguleringstiltak, klimapolitiske analyser, analyser av teknologiimplementering og utvikling i produksjonssammensetningen.

Multisektormodeller innenfor denne klassen analyserer samspillet mellom energibærere og sektorer, mens enkeltsektormodeller er utviklet for å bedre representere dynamikken til spesifikke energibærere (som elektrisitet).

Typisk eksogene input til modellene vil være:

- Diskonteringsrente
- Etterspørselsprognoser for kraft/energi
- Etterspørselsprofiler
- Teknologiegenskaper knyttet til potensial, effektivitet og kostnader
- Energiressurspotensialer
- Energiproduksjonsprofiler
- Brenselspriser

- Tilsigsprofiler
- Fremtidig utvikling av elektrisitetsmarkedet (utenfor de eksterne modellregionene)
- Energipolitikk, som skatter og subsidier, utslippsrestriksjoner mv

7.2 Top-down likevektsmodeller

Generelle og partielle likevektsmodeller er basert på økonomisk teori og brukes til å analysere interaksjon mellom aktører i et marked forutsatt enten perfekt konkurranse eller strategisk interaksjon.

Likevektsmodellene brukes til langsiktige framskrivninger og politikkanalyser. Modellene gjør det mulig å beregne makroøkonomisk utvikling under ulike scenarier for klima og miljøpolitikk, skatteregler, pensjon og velferdssystemer eller nærings- og handelstiltak. Modellene kan også brukes til å analysere detaljerte effekter på næringsstruktur, det offentlige finansieringsbehov eller skadeutslipp.

I disse modellene modelleres det substitusjonsmuligheter både i produksjon, dvs. mellom ulike innsatsfaktorer og i forbruk, dvs. mellom ulike varer og tjenester. I tillegg til substitusjon kan de økonomiske aktørene justere produksjons-/forbruksnivået. Dette er en hovedforskjell om vi sammenligner med bottom-up modeller der etterspørselen vanligvis er bestemt gjennom eksogene forutsetninger og er derfor uelastisk.

Det er få eksempler på at slike modeller brukes til framskrivninger i kraftmarkedet, men vi har sett at SSBs SNOW-modell brukes til å belyse enkelte problemstillinger.

7.3 Modellene har ulike styrker og svakheter

En modell er alltid en forenkling av virkeligheten og det er ikke nødvendigvis slik at en mer kompleks modell gir bedre resultater. Kompleksitet går ofte på bekostning av transparens og svært komplekse modeller kan generere pseudo-nøyaktigheter. En kritisk gjennomgang av data, både når det gjelder input og output, er avgjørende for å sikre at modellbaserte analyser er nyttige. I intervjuene kommer det også frem at det brukes (informert og erfaringsmessig) skjønn til en viss grad for både å sikre at inndata og resultater blir kalibrert eller realistiske. Det poengteres av noen av aktørene at modellen kun er et verktøy som gir et grunnlag for diskusjon og ikke et fasitsvar der man kan sette to streker under svaret. Det er derfor viktig at brukere av analysen forstår nyansene rundt forutsetninger, scenarier og sensitiviteter og at disse kommer tydelig frem.

«Datakvalitet påvirker kvaliteten på resultatene. Det er ikke nødvendigvis at modellene ikke er gode nok, men at tilgjengelig data på enkelte områder er dårlig.»

En tilbakemelding fra de fleste aktørene er at det tilgjengelige modellapparatet generelt er godt nok (med unntak av noen ønsker om utvidet funksjonalitet på enkelte områder), men at datakvaliteten inn kan være en utfordring – noe som naturlig nok påvirker kvaliteten på resultatene. Spesielt nevnes det at data rundt forbrukerfleksibilitet er utfordrende, særlig knyttet til industri, da dette er informasjon som industrien gjerne ikke velvillig deler.

Hva som anses som styrker og svakheter ved modellene avhenger i stor grad av bruksområdet og hva man ønsker å finne svar på. I det følgende beskrives ulike aspekter ved modellene og ulike styrker og svakheter knyttet til disse.

7.3.1 Tidsoppløsning

Med en økende grad av volatil fornybar kraftproduksjon er det stadig viktigere med en tidsoppløsning som får fram volatiliteten i produksjonen og markedet. Det varierer hvor detaljert tidsoppløsning bottom-up modellene har; noen er på timenivå, andre bruker et «tidsavsnitt» bestående av flere timer. Flere av modellene har muligheten til å selv definere tidsavsnitt og i så måte bestemme tidsoppløsningen i modellkjøringen, med de fordeler og ulemper det medfører (for eksempel økt regnetid ved finere tidsoppløsning). For å kunne modellere oppnådd kraftpris for et vindkraftverk er det for eksempel helt nødvendig å ha en modell med timesoppløsning, og god datakvalitet. Dette skyldes at det er en korrelasjon mellom kraftprisen i et område og vindkraftproduksjonen. Typisk er kraftprisen lav i de timene det produseres mer vindkraft, og høy når produksjonen er mindre. Denne prisseffekten blir sterkere jo større andel vindkraft man har i kraftsystemet. Aktørene vi har snakket med peker på at det kommer til å bli mer volatil kraftsystem fremover, og fremhever derfor viktigheten av at modellene må klare å fange det opp.

7.3.2 Vannkraftmodellering

Norges unike kraftsystem med stort innslag av væravhengige vannkraftverk setter større krav til vannkraftmodelleringen for dette markedet. Flere av modellene benyttet av aktørene vi har intervjuet er utviklet for spesifikt det nordisk/europeiske markedet, med ulik grad av detaljering på vannkraftproduksjonen. Skillet mellom en god og en mindre god modellering av vannkraften ligger som regel i hvorvidt modelleringen er deterministisk eller stokastisk. Ved deterministisk modellering legges til grunn perfekt fremsyn slik at tilsig antas å være kjent i forveien ved produksjonsplanlegging og modellen gir mindre variasjon i resultatene, mens ved stokastisk programmering av vannkraften vil man kunne regne ut vannverdier for å håndtere vannmagasin og få sannsynlighetsfordelinger for å representere usikkerheten i været. Det er fordeler og ulemper med begge, men sistnevnte modelleringer fordrer gjerne lenger regnetid.

Aktørene fremhever viktigheten av denne forskjellen som høyere på kort sikt, enn de i langsiktige analysene. Flere av modellene har muligheten til å kjøre ulike værår hvilket tegner opp et utfallsrom basert på værdata.

7.3.3 Sektorkobling

Mange av aktørene peker på at sektorkobling både mot varmemarkedet og et potensielt hydrogenmarked vil være svært viktig for utviklingen i kraftmarkedet på lengre sikt. Bottom-up modellene som i dag brukes har ulik grad av sektorkobling mot disse markedene. Flere av selskapene som utvikler modeller arbeider imidlertid med å utvikle og implementere denne funksjonaliteten. En svakhet som trekkes frem er at i den grad det er en kobling mot andre sektorer, så ser ikke modellen(e) på annenhåndsvirkningene i økonomien, som for eksempel effekter i industrien som følge av høye kraftpriser. Dette kan være mangelfullt dersom analysen skal benyttes f.eks. til politisk beslutningstaking.

7.3.4 Makroøkonomiske forhold

Typisk ser vi at bottom-up modellene i noen sammenhenger oppleves som for snevre ved at substitusjonsmuligheter både i produksjon og forbruk ikke er modellert i særlig detaljert grad (om det i det hele tatt er representert). Dette betyr også at kryssvirkninger i økonomien som følge av f.eks. endringer i kraftpris ikke modelleres endogent. Top-down modeller egner seg derfor bedre til bredere analyser av politikktiltak. De fleste analysene som er kartlagt i denne rapporten hensyntar makroøkonomiske forhold utenfor modellapparatet, gjerne indirekte gjennom antakelser for inndata.

Dette trekkes frem som både en styrke og en svakhet; modellen blir enklere, mer oversiktlig, og god for formålet den benyttes til, men mister «det store bildet». Vurderingene som gjøres utenfor modellen består blant annet av å basere seg på hva andre har tenkt eller lagt til grunn for de viktigste inputparameterne, benytte seg av modellresultater fra andre type modeller/verktøy (for eksempel investeringsmodeller), samt ved å bygge opp ulike scenarier.

8 Er konsensus et problem for brukerne av analysene?

Vi har både i intervjuene og litteraturgjennomgangen sett at det er veldig stor grad av konsensus i hva som er hoveddriverne for kraftmarkedet og hvor usikkerheten ligger. I tillegg brukes stort sett samme type modeller av aktørene. Det kan innvendes at en så stor grad av konsensus kan lede til et for smalt utfallsrom på analysene og at aktørene ikke er flinke nok til å «tenke utenfor boksen». Nye tiltak kan derfor i for liten grad blir «stresstestet» i lite sannsynlige ekstreme scenarier.

På den annen side ser vi at aktørene tester effekter av mindre sannsynlige utfall i sensitivitetsanalyser og på den måten adresserer et større utfallsrom. Dersom aktørene er transparente på hvilke antakelser de har gjort kan også brukerne av analyse utfordre disse og også gjøre egne betraktninger av utfallsrommet. Vi ser også at fokuset på utviklingen i driverne utvikler seg over tid ettersom man får gradvis mer informasjon. Dette viser at bildet er dynamisk og at aktørene evner å ta til seg ny informasjon og endre sitt syn på driverne.

Det kan også innvendes at man uansett ikke vil ønske å designe et kraftsystem basert på de mest ekstreme utfallene som er forbundet med svært lav sannsynlighet. Det er av flere analysemiljø nevnt at resultater fra modellene ikke må behandles som et fasitsvar med to streker under svaret, men heller et grunnlag for diskusjon. Det er umulig å forutsi fremtiden, og modellen er først og fremst et verktøy for å vise hvordan ulike aspekter henger sammen og potensielt kan utvikle seg.

9 Referanser

DNV (2021): *Energy Transition Outlook 2021*

Ea Energy Analyses (2022): *Market Value of wind-battery hybrids in the future European power system*. https://www.ea-energianalyse.dk/wp-content/uploads/2022/04/IEA-Wind-Task-26_Value-of-WindHybrids_Technical-Report.pdf

FME ZEN (2018): *European Power Market Analyses to be Carried Out Within FME ZEN*. <https://fmezen.no/wp-content/uploads/2018/06/ZEN-Report-no-1-2.pdf>. FME ZEN-rapport 2018:1

IEA (2021): *World Energy Outlook 2021*. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021>

NVE (2021): *Langsiktig kraftmarkedsanalyse 2021-2040*. <https://www.nve.no/energi/analyser-og-statistikk/langsiktig-kraftmarkedsanalyse/>

Nordic Energy Research (2021): *Nordic Clean Energy Scenarios*. <https://www.nordicenergy.org/project/nordic-clean-energy-scenarios-solutions-for-carbon-neutrality/>

Prosess21 (2020): *Kraftmarkedet*. https://www.prosess21.no/contentassets/39713b28868a41858fc2c8a5ff347c0b/nf_prosess21_ekspertgrupperapport_kraftmarkedet_def_131020.pdf

Statnett (2020): *Langsiktig markedsanalyse – Norden og Europa 2020-2050*. <https://www.statnett.no/for-aktorer-i-kraftbransjen/planer-og-analyser/langsiktig-markedsanalyse/>

Statnett (2021a): *Kortsiktig markedsanalyse 2021-26*. <https://www.statnett.no/for-aktorer-i-kraftbransjen/planer-og-analyser/kortsiktig-markedsanalyse/>

Statnett (2021b): *Langsiktig markedsanalyse 2020-2050 – Oppdatering våren 2021*. <https://www.statnett.no/for-aktorer-i-kraftbransjen/planer-og-analyser/langsiktig-markedsanalyse/>

10 Vedlegg

10.1 Intervjuobjekter

Vi har intervjuet 13 aktører under oppdraget:









- Norges vassdrags- og energidirektorat
- Statnett SF
- AFRY Management Consulting
- DNV
- THEMA Consulting Group
- Volue Insight AS
- Baringa
- Norges miljø- og biovitenskapelig universitet
- Statistisk sentralbyrå
- SINTEF Energi AS
- Eviny
- Hafslund E-CO
- Statkraft

10.2 Litteraturliste

Vi har sett på ni rapporter i litteraturstudien:

Tittel	Utgiver	Utgitt	Analyseperiode	Rapporttype
<i>Langsiktig kraftmarkedsanalyse 2021-2040</i>	NVE	Oktober 2021	2021-2040	Prognoserapport
<i>Langsiktig markedsanalyse – Norden og Europa 2020-2050</i>	Statnett	Oktober 2020, revidert juli 2021	2020-2050	Prognose-/ målrapport
<i>Kortsiktig markedsanalyse 2021-26</i>	Statnett	Desember 2021	2021-2026	Prognoserapport
<i>Energy Transition Outlook 2021</i>	DNV	September 2021	2021-2050	Prognoserapport
<i>Kraftmarkedet</i>	Prosess21	September 2020	2020-2050	Interessegrupperapport
<i>Nordic Clean Energy Scenarios</i>	Nordic Energy Research	Oktober 2021	2021-2050	Målrapport
<i>World Energy Outlook 2021</i>	International Energy Agency (IEA)	Oktober 2021	2021-2050	Målrapport
<i>Market Value of wind-battery hybrids in the future European power system</i>	Ea Energy Analyses	Mars 2022	2022-2050	Prognoserapport
<i>European Power Market Analyses to be Carried Out Within FME ZEN</i>	FME ZEN	2018	-	Scenariobeskrivelse

10.3 Modeller

Modell	Samkjørings- modellen/ Samnett*	TheMA	BID3	Plexos	SNOW	TIMES	Balmorel
Hovedutvikler	 SINTEF	 THEMA CONSULTING GROUP	 AFRY AF PØYRY	 Energy Exemplar	 Statistisk sentralbyrå Statistics Norway	 IFE Institute for Energy Technology	 Technical University of Denmark  DTU
Fundamental modell	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Bottom up modell	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓
Analyseobjektiv	Optimal langsiktig vannkraftproduksjon gitt stokastiske klimavariabler	Velferds-maksimering under et sett av bibetingelser	Minimere system-kostandene gitt et sett av bibetingelser	Minimere system-kostandene gitt et sett av bibetingelser	Hvordan ville norsk økonomi utviklet seg under gitte forutsetninger	Kostnadsoptimal utvikling av energisystemet	Velferdsoptimerende produksjon og investeringer i kraft- og varmesystemet
Sektorer	Kraftsektoren, kobling til varmesektoren, kraftnett	Kraftsektoren, kobling til hydrogenmarkedet	Kraftsektoren, kobling til vasesektoren, samt modellering av nye teknologier som hydrogen	Kraftsektoren, kan kobles til andre sektorer som gass og hydrogen	46 industrisektorer plus husholdninger og offentlig sector, samt 5 energi-produserende sektorer	Energisystemet	Energisystemet