

Marcus Edvardsen & Christian Karlsen

# Langsiktige Kraftframskriving i Norge

Evaluering av SARIMAX, Prophet og Offentlige  
Energimodeller

Masteroppgave i Samfunnsøkonomi

Veileder: Leif Anders Thorsrud

Juni 2024



Marcus Edvardsen & Christian Karlsen

# Langsiktige Kraftframskriving i Norge

Evaluering av SARIMAX, Prophet og Offentlige  
Energimodeller

Masteroppgave i Samfunnsøkonomi  
Veileder: Leif Anders Thorsrud  
Juni 2024

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Fakultet for økonomi  
Institutt for samfunnsøkonomi



Kunnskap for en bedre verden



## Forord

Denne masteroppgaven markerer avslutningen på vårt mastergrad studie i Samfunnsøkonomi ved NTNU. Arbeidet med oppgaven har vært en lærerik og en utfordrende reise, og vi ønsker å takke de som har hjulpet oss på veien.

Først og fremst vil vi rette en stor takk til vår veileder, Leif Anders Thorsrud, for veiledning, innsiktsfulle tilbakemeldinger og oppmuntrende ord. Din ekspertise og tålmodighet har vært avgjørende for gjennomføringen av dette prosjektet. Vi ønsker også å takke våre medstudenter for deres støtte og samarbeid. Diskusjonene har vært svært verdifulle og har bidratt til å forme innholdet i denne oppgaven.

En takk takk går til våre familier og venner. Deres tålmodighet og oppmuntring har vært en utslagsgivende kilde til støtte, spesielt i de mest krevende periodene av arbeidet. En spesiell takk går til Sigri Søfting, Sandra Iversen, Heidi og Andreas Karlsen for deres litterære revisjon. Denne oppgaven har økt vår interesse for energisektoren og analyse, og vi håper funnene kan bidra til videre forskning og utvikling innenfor feltet.

## Sammendrag

Formålet med denne oppgaven er å undersøke effektiviteten av å fremskrive kraftproduksjon og -forbruk i Norge ved hjelp av tidsseriemodellene SARIMAX og Prophet, sammenlignet med de energimodellene som brukes av offentlige myndigheter. Oppgaven vurderer om disse top-down-modellene kan produsere nøyaktige framskrivninger av kraftbalansen frem til 2040. NVE bruker store energimodeller som TIMES og LEAP, som baserer seg på bottom-up-metodikk med mappestruktur, scenarioanalyser, og krav om mange tilleggsantakelser. Disse tilleggsantakelsene kan medføre større risiko for feil, som gir rom for å undersøke om en top-down-metodikk basert på aggregert data kan fremskrive kraftframskrivninger med færre antagelser.

Energisektoren står overfor et grønt skifte, og fremskrivning av kraft er essensielt for å balansere produksjon og forbruk i henhold til kraftregnskapet. For å undersøke framskrivning ved bruk av en top-down-metodikk har vi analysert månedlig aggregert data av kraftproduksjon og -forbruk i Norge, samtidig har vi vurdert makrodrivere for kraftproduksjon og -forbruk. Modellene testes teoretisk med bruk av evalueringsmålne MAE, MAPE, MSE og RMSE. Videre er framskrivningene sammenlignet med NVE sin siste rapport for framskrivning av kraftproduksjon og -forbruk.

Resultatene fra analysen indikerer at SARIMAX-modellen er best egnet til langsiktige prediksjoner av kraftproduksjon og -forbruk, gitt modellens evne til å håndtere sesongvariasjoner og eksogene variabler. Prophet-modellen viste lavere nøyaktighet totalt sett basert på resultatene og kryssvalideringen med NVE sine kraftprognoser, SARIMAX-modellen viste bedre nøyaktighet og tilpasningsevne. Det er viktig å påpeke at all predikering innebærer en viss grad av usikkerhet. Uforutsette faktorer som økonomiske endringer, teknologisk utvikling og klimaforhold kan påvirke nøyaktigheten av framskrivninger, spesielt ved bruk av top-down-metodikk. Oppgaven konkluderer med en top-down tilnærming kan være et verdifullt supplement til eksisterende energimodeller for predikering av kraftproduksjon og -forbruk, gjennom bruk av færre ressurser og mer brukervennlighet.

## Abstract

This thesis aims to research the effectiveness of forecasting power production and consumption in Norway using time series models SARIMAX and Prophet, compared to the energy models used by public authorities. The thesis assesses whether top-down models can produce accurate forecasts of the power balance until 2040. NVE uses large energy models such as TIMES and LEAP, which are based on bottom-up methodology with mapping structure, scenario analyses, and the requirement for many additional assumptions. These additional assumptions can entail a greater risk of error, providing an opportunity to examine whether a top-down methodology based on aggregated data can forecast power with fewer assumptions.

The energy sector is facing a green transition, and forecasting power is essential to balance production and consumption. To examine forecasting using top-down methodology, we analyzed monthly aggregated data of power production and consumption in Norway, while also considering macro drivers. The models are tested theoretically using evaluation metrics MAE, MAPE, MSE, and RMSE. Furthermore, the forecasts are compared with NVE's latest power production and consumption projections report.

The analysis results indicate that the SARIMAX model is best suited for long-term predictions of power production and consumption, given the model's ability to handle seasonal variations and exogenous variables. The Prophet model showed lower accuracy overall based on results and cross-validation with NVE's power forecasts, with the SARIMAX model demonstrating better accuracy and adaptability. It's important to note that all predictions involve a certain degree of uncertainty. Unforeseen factors such as economic changes, technological developments, and climatic conditions can affect the accuracy of projections, especially when using a top-down methodology. The thesis concludes that a top-down approach can be a valuable supplement to existing energy models for predicting power production and consumption, by using fewer resources and being more user-friendly.

# Innholdsfortegnelse

<b>Tabelliste</b>	<b>vi</b>
<b>Figurliste</b>	<b>vii</b>
<b>1 Introduksjon</b>	<b>1</b>
1.1 Det grønne skiftet . . . . .	2
1.2 En grønnere energipolitikk . . . . .	3
1.3 Tildelingsbrevet til Norges vassdrags- og energidirektorat . . . . .	5
1.4 Tidligere litteratur . . . . .	5
<b>2 Kraftsystemet i Norge og metoder for fremskrivning</b>	<b>7</b>
2.1 Kraftsystemer i Norge . . . . .	7
2.2 Kraftbalansen . . . . .	7
2.3 Den norske kraftverksflåten . . . . .	9
2.4 Drivere av energiforbruk på makronivå . . . . .	9
2.5 NVE's LEAP- og Times-modeller . . . . .	10
2.5.1 LEAP-Norge modellen . . . . .	10
2.5.2 TIMES-modellen . . . . .	13
2.5.3 Samarbeidet mellom LEAP og TIMES . . . . .	13
2.6 NVE's prognoser . . . . .	14
2.7 NVE's siste langtidsprognose for Kraftmarkedet . . . . .	16
<b>3 Data</b>	<b>19</b>
3.1 Energitilførsel og -forbruk . . . . .	19
3.2 Befolkningstall . . . . .	19
3.3 BNP per innbygger . . . . .	20
3.4 Værdata . . . . .	20
3.5 Stasjonaritets testing . . . . .	21
3.5.1 Augmented Dickey-Fuller test (ADF) . . . . .	21
3.5.2 Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin-test (KPSS-test) . . . . .	22
3.5.3 Hvordan tolke ADF-testen og KPSS-testen . . . . .	23
3.5.4 Oppsett av ADF og KPSS . . . . .	24
3.5.5 Autokorrelasjonsfunksjon (ACF) og Partiell Autokorrelasjonsfunksjon (PACF). . . . .	28
3.6 Deskriptiv Statistikk . . . . .	30
3.7 Korrelasjon og multikollinearitet . . . . .	31
<b>4 Metodikk-tidsserie</b>	<b>33</b>
4.1 Autoregressiv integrert glidende metode (ARIMA) . . . . .	33
4.1.1 Sesongmessig autoregressive integrert glidende gjennomsnitt med eksogene variabler (SARIMAX) . . . . .	34
4.2 Prophet-modellen . . . . .	36
4.2.1 Trendkomponenten . . . . .	37
4.2.2 Sesongvariasjons komponenten . . . . .	37
4.2.3 Helligdager og spesielle hendelser . . . . .	38
4.3 Evalueringsmål . . . . .	38
4.3.1 MAE . . . . .	39
4.3.2 MAPE . . . . .	39
4.3.3 MSE . . . . .	40



4.3.4	RMSE . . . . .	40
4.3.5	Prosess for evalueringsmål . . . . .	40
<b>5</b>	<b>Resultater</b>	<b>41</b>
5.1	Evalueringsmålene . . . . .	41
5.2	Framskrivningene . . . . .	44
<b>6</b>	<b>Diskusjon</b>	<b>46</b>
6.1	Fordeler og ulemper med top-down tilnærming . . . . .	46
6.2	Sammenligning av SARIMAX og Prophet . . . . .	47
6.3	Analysens fremskrivninger sammenlignet med NVE . . . . .	49
6.4	Videre analyse og begrensninger . . . . .	50
6.5	Muligheter for å styrke kraftbalansen . . . . .	51
<b>7</b>	<b>Konklusjon</b>	<b>53</b>
	<b>Appendix</b>	<b>54</b>
A	Tidsserie månedlig data . . . . .	54
B	OLS-regresjon . . . . .	54
B.1	OLS kraftforbruk . . . . .	55
B.2	OLS kraftproduksjon . . . . .	56
C	Sammenligning Prophet og SARIMAX . . . . .	57
C.1	Kraftforbruk . . . . .	57
C.2	Kraftforbruk . . . . .	58
	<b>Referanser</b>	<b>59</b>

## Tabelliste

1	NVE samlet prediksjoner for kraftproduksjon . . . . .	17
2	NVE samlet prediksjoner for kraftforbruk . . . . .	17
3	ADF Test Kraftforbruk Resultater uten Trend . . . . .	24
4	ADF Test Kraftforbruk Resultater med Trend . . . . .	24
5	KPSS Test Kraftforbruk Resultater uten Trend . . . . .	25
6	KPSS Test Kraftforbruk Resultater med Trend . . . . .	25
7	ADF Test kraftproduksjon Resultater uten Trend . . . . .	26
8	ADF Test kraftproduksjon Resultater med Trend . . . . .	26
9	KPSS Test kraftproduksjon Resultater uten Trend . . . . .	26
10	KPSS Test kraftproduksjon Resultater med Trend . . . . .	27
11	ADF Test av kraftproduksjon differensiert . . . . .	28
12	KPSS Test av kraftproduksjon differensiert . . . . .	28
13	ADF Test av kraftforbruk differensiert . . . . .	28
14	KPSS Test av Kraftforbruk differensiert . . . . .	28
15	Deskriptiv statistikk . . . . .	31
16	Korrelasjonstabell . . . . .	32
17	Modellenes evalueringsmål . . . . .	41
18	Modellenes framskrivninger fra 2024-2040 med kraftbalanse . . . . .	44
19	Framskrivning sammenlignet med NVE(Produksjon) . . . . .	49
20	Framskrivning sammenlignet med NVE(Forbruk) . . . . .	49

## Figurliste

1	Mappestruktur LEAP-Norge[Lien et al., 2018a]	11
2	ACF kraftforbruk	29
3	PACF kraftforbruk	29
4	ACF kraftproduksjon	30
5	PACF kraftproduksjon	30
6	Visualisering av evalueringsmål	43
7	Sammenligning av SARIMAX og Prophet	45
8	Tidsserie månedlig av kraftproduksjon og forbruk fra 2006-2023	54
9	Sammenligning av forbruk Prophet og SARIMAX	58
10	Sammenligning av produksjon Prophet og SARIMAX	58

# 1 Introduksjon

Bærekraft og klimaendringer har vært sentrale temaer i samfunnsdebatten i en årrekke, og betydningen øker stadig. Særlig søkelyset på klimaendringer og overgangen til en grønnere økonomi, herunder er forståelse av energibalanse og økonomisk aktivitet er essensielt. Formålet med masteroppgaven er å bidra med meningsfull innsikt for energisektoren ved å utføre en tidsserieanalyse med framskrivning av kraftbalansen i Norge. Motivasjonen bak oppgaven er å utvide vår kunnskap innen tidsserieanalyse og omstillingen av energisektoren. Dette er områder som har høy relevans i dagens arbeidsmarked og er fundamentale for å forstå dagens samfunn, og morgendagens samfunnsutvikling.

Norge har målsetninger og strategier gjennom klimaloven[Norges lover, 2017], herunder å redusere klimagassutslipp med minst 55% innen 2030 fra referanseåret 1990. Innen 2050 er målet at Norge skal bli et lavutslippssamfunn, hvor utslippsnivået skal være redusert med 90-95% fra referanseåret 1990[Norges lover, 2017]. Norge er i gang med det grønne skiftet for en lavkarbonfremtid. Dette vil påvirke energisystemet i stor grad, som har en direkte effekt på økonomien i Norge[Schäffer et al., 2020].

Overgangen til et lavutslippssamfunn vil kreve en betydelig omstilling av norsk økonomi og energiøkonomi. Hvordan norsk økonomi ser ut om 5, 10, 20 år frem i tid i henhold til den grønne omstillingen analyseres årlig og det utgis løpende rapporter om emnet. Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) bruker avanserte optimaliseringsmodeller for å prognostisere kraftproduksjon og -forbruk i Norge. Modellene de bruker er blant annet LEAP-Norge[Jon Gustav Kirkerud, 2023] og Times-Norge[Jon Gustav Kirkerud, 2023].

Modellene samhandler for å lage analyser av kraftproduksjon og kraftforbruket, samt kraftbalansen i Norge ved hjelp av bottoms-up scenarioanalyser i en mappestruktur [Lien et al., 2018b]. Modellene er meget avanserte med flere tilleggsantakelser som påvirker framskrivningene i både stor og liten grad. Endringer i disse tilleggsantakelsene kan ha innvirkning på store deler av framskrivningen.

I denne masteroppgaven undersøker vi framskrivningen av Norges kraftbalanse ved hjelp av et tidsserie-rammeverk og en top-down-metodikk. I analysen benyttes månedlig ag-

gregert historisk data fra perioden 2006-2023, uten å gjøre tilleggsantakelser på mikronivå som kan føre til feil.

Problemstillingen er å gjennomføre en framskrivning av kraftproduksjon og kraftforbruk til 2040 ved bruk av tidsserieanalyse og sammenligne resultatene med framskrivningene rapportert av Norges vassdrags- og energidirektorat. Målet er å vurdere om framskrivninger av kraft kan utføres nøyaktig med en top-down-metode, og om denne tilnærmingen kan redusere ressursbruk.

## 1.1 Det grønne skiftet

Det grønne skiftet omhandler hvordan Norge skal bli et lavutslippsland innen 2050[Regjeringen, 2024]. For at Norge skal klare å gjennomføre dette må det skje flere omstillinger, blant annet knyttet til kraftforbruket og -produksjon. Stadig flere industrier krever en grønnere omstilling for verdiskaping av produkter og tjenester, som vil forlange et mer elektrifisert industri-Norge.

Statnett har skrevet en analyserapport i 2019 om et elektrisk Norge – fra fossilt til strøm.[Kringstad and Holmefjord, 2019] Det er fortsatt stor usikkerhet rundt omfanget av det samlede kraftforbruket ved en omstilling til elektrifisering av Norge. Likevel har Statnett i sin analyse undersøkt forenklete scenarier hvor elektrisitet vinner frem som den foretrukne kraftkilden for å kutte klimautslipp. Elektrifisering av Norge antas å kunne føre til et økt kraftforbruk på 40 TWh ved overgang fra fossil energibruk, selv om Statnett anslår forbruket til å være mellom 30 og 50 TWh som følge av analysens forenklinger. Med elektrifisering blir det energieffektivt i den betydning at elektrisk energi er mer energibesparende enn fossilt, dette med en reduksjon på 55 TWh ifølge Statsnett sin analyse.[Kringstad and Holmefjord, 2019]

Elektrifisering av kraftforbruket i Norge vil ha konsekvenser for kraftsystemet og kraftbalansen[Haukeli et al., 2020]. Som nevnt tidligere vil en elektrifisering føre til nytt og større forbruk av kraft. Dette fører med seg en ekstra belastning på transmisjonsnettet på grunn av geografisk fordeling, temperaturavhengighet, prisfølsomhet og etterspørsel, samt hvor fort utviklingen vil gå.

Det er viktig å nevne at utviklingen av fornybare energiprojekter har blitt økonomisk bedre med tanke på læringseffekter og stordriftsfordeler[Andre K. Gill, 2023]. Kostnadene for å øke produksjonen av fornybar energi blir lavere, spesielt for landbasert vindkraft og solkraft. I tillegg får en flere alternativer av fornybar energi. På den andre siden er det politiske utfordringer i forbindelse at det ikke ønskes vindkraft på land, og at det ikke ønskes solkraft som tar arealområder, uten at det produserer like mye kraft som andre kilder[Andre K. Gill, 2023].

I henhold til Thema[Thema consulting group, 2021] sin rapport vil en elektrifisering for å nå klimamålene for 2023, med 55% lavere utslipp sammenlignet med 1990, innebære et økt kraftforbruk på 45 TWh. Dette fordeles med 19 TWh i transportsektoren, 17 TWh gjennom elektrifisering av sokkelen, og 9 TWh for å elektrifisere eksisterende industri. Ny industri med høy kraftintensitet, som hydrogenproduksjon, batterifabrikker og datasentre, vil komme i tillegg til disse beregningene. Samtidig viser rapporten at offentlige etater ikke vet hvor stor og rask veksten i elektrisk kraftforbruk vil bli, som illustrerer graden av usikkerhet rundt omstillingen av kraftproduksjon og -forbruk. Offentlige myndigheter er samtidig sikre på at dette vil redusere Norges kraftoverskudd[Olje- og energidepartementet, 2023].

## **1.2 En grønnere energipolitikk**

Norges klimapolitikk er relatert til EUs miljø- og klimapolitikk. Etter at Norge inngikk EØS-avtalen som trådte i kraft 1994, ble store deler av EUs miljøregelverk samordnet med norsk lovverk[Norges Lover, 1992]. EØS-avtalen fører til at Norge er en del av EUs indre marked, herunder energimarkedet. Dette innebærer at Norge har akseptert at EUs regulering av energimarkedet fortløpende tas inn EØS-avtalen[Norges Lover, 1992].

EU har et energibehov som hovedsakelig dekkes gjennom import og deres energipolitikk handler om å sikre økt konkurransevne, bærekraft og forsyningssikkerhet. For Norges del sikrer EØS-avtalen Norges produksjons- og eksport-interesser. Norge står for om lag en tredjedel av EUs import av gass[European Council, 2024]. Norge er derfor en av de viktigste samarbeidspartnere angående energiforsyninger til EU[Regjeringen, 2023].

Norges tradisjonelle miljøpolitikk, som har hatt fokus på inntjening, arbeidsplasser og industriell utvikling, står nå ovenfor moderne utfordringer. Norges tilnærming kolliderer med EUs mål om en bærekraftig omstilling til en grønnere økonomi[Austvik and Gunnar, 2022].

I oljepolitikken har miljøspørsmål vært tema i flere år. Allerede ved vedtakelsen av ”de ti oljebud” i 1970 ble det i punkt fire skrevet ”*At utviklingen av en oljeindustri må skje under nødvendig hensyn til eksisterende næringsvirksomhet og natur- og miljøvern*”[Stortinget, 1971]. I nyere tid er særlig Parisavtalen viktig[FN, 2015] for at klima og miljø har fått et større fokus i energipolitikken. Parisavtalen ble ratifisert i Norge i 2016[Stortinget, 2016] og forplikter Norge til å redusere klimautslippene. Avtalen har bidratt til Norges klimaplan[Klima -og miljødepartementet, 2021] for 2021-2030 hvor Norge og EU sammen har inngått et samarbeid om å kutte utslippene frem til 2030. En av disse planene er å kutte ikke-kvoteringspliktige utslipp med 45% innen 2030[Klima -og miljødepartementet, 2021]. Klimaplanen er slik Norge planlegger å oppfylle Norges mål under Parisavtalen.

For at energipolitikken skal være bærekraftig er det særlig tre kriterier som fremheves som viktige nemlig miljø, velferd og økonomisk vekst. Det har imidlertid ofte vist seg å være vanskelig å finne en balanse mellom alle tre kriteriene, og som regel står økonomisk vekst øverst på prioriteringslisten[Energifakta Norge, 2021]. Dersom det oppstår en svekkelse i en av komponentene, vil energipolitikken miste sin balanse. Eksempelvis vil en politikk som fokuserer på miljøvern uten å ha fokus på økonomisk vekst ikke være bærekraftig[FN, 2024]. Norges klimapolitikk er sterkt knyttet til petroleumssektoren som får mye omtale på grunn av utslipp. Det vil imidlertid ikke løse miljøutfordringene ved å legge ned petroleumssektoren, og det vil heller ikke være bærekraftig. Sektoren kan alternativt bidra til å bedre miljøproblemet, gjennom å håndtere utslippsproblemene med utvikling i teknologi. Dette kan fjerne negative eksternaliteter sektoren påfører. Dette inngår i energipolitikken. Myndighetene har derfor argumentert for at Norge som nasjon skal forbli en betydelig olje- og gassseksportør[Norsk Petroleum, 2024]. Det skal tas hensyn til EUs klimamål og politikk, samtidig som det argumenteres for at utnyttelse av norsk naturgass er en viktig faktor for at man kan redusere bruken av blant annet kull i

EU.

Miljø- og klimahensynene har gradvis gjort Norges energipolitikk mer samarbeidskompleks mellom Klima- og miljødepartementet (KLM), Justisdepartementet og Utenriksdepartementet (UD) i samspill med EU. Dette er en forandring fra en sektorpolitikk med Oljedirektoratet og finansdepartementet[Austvik, 2022].

### **1.3 Tildelingsbrevet til Norges vassdrags- og energidirektorat**

I tildelingsbrevet[Olje- og energidepartementet (OED), 2023] til Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) for 2023 fra Olje -og energidepartementet (OED) vises det til mål, styringsparametere og rapporteringskrav NVE må følge til OED. Av de målene som er satt i tildelingsbrevet er det delt inn i delmål. I disse delmålene vises det til at NVE sine oppgaver er å «overvåke og analysere utviklingen i kraft -og effektbalansene på kort og lang sikt[Olje- og energidepartementet (OED), 2023]». Dette omhandler at NVE skal forstå den kortsiktige og langsiktige utviklingen av kraftbalansen i Norge. Derfor leverer NVE en rapport hvert år siden 2016, med nåværende status på kraftbalansen i Norge og langsiktig prognose. Frem til nå er den langsiktige prediksjonen frem til 2040[Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE), 2024b].

### **1.4 Tidligere litteratur**

Det har gjennom flere tiår vært et viktig forskningstema å studere energibalanse, samt forutsi denne av forskjellige årsaker. Ettersom energidata utgis fortløpende er de flere studier gjort ved hjelp av tidsseriedata med prediksjoner. Det varierer i bruk av tidsserie-modeller, samtidig er det hovedsakelig tre forskjellige synsvinkler på prediksjonen av studiene, kort-, mellom- og langsiktige prognoser.

I Tyrkia har Ediger, Akar og Uğurlu gjennomført en studie for å forutsi produksjonen av fossile brenselkilder ved hjelp av tidsseriedata fra 1950 til 2003, med mål om å bistå politisk beslutningstaking[Ediger and Akar, 2005]. Studien demonstrerer hvordan man kan forutsi den mest sannsynlige utviklingen for innenlandsk produksjon av fossilt brensel. I artikkelen benyttes enkel regresjon, samt ARIMA- og SARIMA-modeller for å lage



prognoser for produksjonen.

Fra dette studiet refererer de også til en tidligere studie gjort av Chavez, Bernat og Coalla[Chavez et al., 1999]. I denne forskningsstudien ble det gjort et forsøk på å modellere og forutsi fremtidig energiproduksjon- og forbruk i Asturias[Chavez et al., 1999] som er en region i nord-Spania. Regionen bruker svartkull som produksjon av primærkilde til energi, etterfulgt av vannkraft. Denne studien brukte månedlige data fra 1980 – 1996, hvor tidsseriedata inkluderer trend- og sesongvariasjoner. Dette tillot bruk av autoregressiv integrert glidende metode forkortet til ARIMA-modellen for fremtidig prediksjon med tidsperiode fra januar 1997 til desember 1998.

En modellering for prognose av energiforbruk i det østlige Saudi-Arabia. I artikkelen til R.E. Abdel-Aal[Abdel-Aal and Al-Garni, 1997] gjennomføres en prediksjon av månedlig energiforbruk ved bruk av univariante Box-Jenkins tidsserieanalyse i sammenligning med maskinlæringsmodell. ARIMA modellen ble utviklet ved bruk av data for 5 år og laget en prediksjon av det 6 året. Artikkelen viser at ARIMA modellen er ledende i henhold til regresjonsanalysen og maskinlærings metoden.

Artikkelen skrevet av Chaturvedi, Shobhit, et al.[Chaturvedi et al., 2022] er det en studie på hvilken metode for prognose av energietterspørsel som er passende for India som område. Modellene ble trent på historiske månedlige data over 108 måneder fra 2008 til 2017 for å skape en prediksjon på 24 måneder. I studien presenteres en komparativ vurdering av SARIMA-, LSTM RNN- og Prophet-modellen, sammen med den nåværende trendbaserte modellen fra Central Energy Agency (CEA). Det ble funnet at LSTM RNN-prognosene ikke ble funnet pålitelige på grunn av store prediksjonsfeil. SARIMA-prognosen ble gitt til MAPE 4,12%, og Prophet-modellen ga prognose med en MAPE på 3,04%. Studien finner at Prophet-modellen presterer godt for prognoser av månedlig total- og toppetterspørsel av energi.

## 2 Kraftsystemet i Norge og metoder for fremskrivning

### 2.1 Kraftsystemer i Norge

Norges strømnnett er koblet sammen med Skandinavia i et og samme strømnnett. Dette kalles for det ”Nordiske nettet” som igjen er koblet på strømnettet til resten av Europa. I følge NVE kalles sammenkoblingen mellom strømnettene for «verdens største maskin[Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE), 2024c]». Da Norge, Sverige, Finland og Danmark er koblet sammen på samme strømnnett betyr det at produksjon og forbruk må være likt på hele området til enhver tid, altså vi må ha energibalanse mellom alle landene som er koblet på strømnettet.

I Norge er vi historisk heldig med å ha et kraftoverskudd som gjør at vi eksporterer strøm til andre land. Om Norge har et kraftunderskudd, er import av kraft helt avgjørende. Dette vil si at Norge er avhengig av at andre land kan eksportere sin kraft til Norge i det øyeblikket Norge har et kraftunderskudd. Derfor er det viktig at det er en likevekt av kraft mellom landene på strømnettet.

### 2.2 Kraftbalansen

Kraftbalanse er landets oppstilling som viser forholdet mellom kraftsystemene som landet har til produksjon og forbruket av energi i landet [Energifakta Norge, 2024]. Kraftbalansen kan være både negativ og positiv, og vil variere periodisk[Olje- og energidepartementet, 2023]. Er kraftbalansen positiv vil dette muliggjøre for krafteksport til andre land. Er kraftbalansen negativ, er landet nødt til å dekke kraftunderskuddet med import av kraft. Forbruket av kraft varierer i stor grad og faktorer som spiller stor innvirkning er temperatur. Kraftproduksjonssystemet i Norge er hovedsakelig basert på fornybar kraft som varierer årlig av mengden vann, og vindforholdene. Variasjonen i fornybar kraft er en grunnleggende faktor da tilgangen til energikildene er upålitelige[Olje- og energidepartementet, 2023]. Dette fører til et skille mellom den underliggende kraftbalansen, som vurderer produksjonsevnen og ressursituasjonen av et gjennomsnittså, og den væravhengige kraftbalansen, som beskriver ressursituasjonen i et enkeltår inkludert effektene av været.

Norge har en stor andel regulerbar, fornybar vannkraft som blir supplert med ikke-regulerbar kraft fra vind, småkraft og sol. Det blir stadig høyere etterspørsel etter kraft i Norge, samtidig vil industrinæring ha grønn omstilling gjennom elektrifisering. Dette har innvirkning på kraftbalansen, samt problemet med å forsyne tilstrekkelig kraft over hele landet i fremtiden[Thema consulting group, 2021].

Norge som nasjon har stort sett vært nettoeksportører av energi i normalår [Energi- og miljøkomiteen, 2022]. Dette innebærer at Norge har en positiv kraftbalanse, og kan eksportere mer kraft totalt enn det importeres i løpet av et år. Siden forbrukersiden er i endring og mer industrinæring elektrifiseres påpeker flere prognoser at kraftoverskuddet Norge har blir mindre og mindre[Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE), 2023]. Det kreves derfor utvikling av ny kraftproduksjon for å dempe den økte etterspørselen etter kraft.

Siden produksjon varierer årlig, brukes begrepene normalår og tørrår. Tilsig er et begrep som ofte blir nevnt i forbindelse med vannkraftproduksjon. Dette refererer til mengden vann som samlet renner til et vassdrags totale nedbørsfelt i løpet av et år[Rosvold and Halleraker, 2024]. Mengden tilsig varierer årlig. Generelt sett er det mye tilsig om våren grunnet snøsmelting, mens mengden avtar fra høst til vinter.

Normalår blir bestemt av tilsiget hvert år i forhold til gjennomsnittet av tilsig i en periode på ofte 30 år. Den opprinnelige definisjonen på et tørrår er et år hvor nedbøren eller avløpet er vesentlig mindre enn normalt[Johansson, 1984]. Denne definisjonen er vag og gir ikke eksakte tall på hva et tørrår er. I henhold til NVE er et tørrår beregnet ut fra vannkraftproduksjonen. Tørrår er da beregnet som det året i en tilsigserie på 30 år hvor produksjonen er minst[Resources and (NVE), 2003]. Det kan også forekomme ekstreme tørrår som bestemmes av en prosentvis reduksjon av produksjonen fra normalår på 20%. Det er viktig å nevne at det er forskjeller i variasjon fra år til år angående vannproduksjon og tilsig. Ettersom det kan lagres vann i et magasin vil det være mindre variasjoner i vannproduksjon enn i tilsig. Tilsig kan lagre vann tilsvarende normal produksjon i et tørrår, derimot vil variasjonen i tilsiget være større.

### 2.3 Den norske kraftverksflåten

I Norge ved inngangen av 2022 er det 1832 kraftverk. Ved normalvær vil disse ha en forventet produksjon på 156,9 TWh[Energikommisjonen, 2023]. Av disse 1832 kraftverkene er det de 1739 vannkraftverkene som gir størst tilskuddet av kraft til Norsk kraftnett med 137,9 TWh per 1.1.2022[Energikommisjonen, 2023]. Den nest største kraftproduksjonen er vindkraft med 64 kraftverk og 1305 turbiner, som gir en samlet produksjon på 15,4 TWh per 1.1.2022 [Energikommisjonen, 2023]. Det er 29 termiske kraftverk med en samlet produksjon på 3,5 TWh[Energikommisjonen, 2023]. Termisk kraftproduksjon ikke er væravhengig og kan holdes konstant. Ved termisk kraftproduksjon brukes naturgass, varmegjenvinning, bioenergi og avfallsforbrenning for å generere kraft[Energikommisjonen, 2023].

For å opprettholde balanse i energisystemet til Norge kreves det at kapasiteten for kraftproduksjon alltid er tilstrekkelig i forhold til kraftforbruket. Dette avhenger ikke bare av fleksibilitet i produksjon, men også forbruksmønstre. Bedre fleksibilitet gjør det enklere å importere kraft under tørrår for å dekke forbruksbehovet og opprettholde balansen[Olje- og energidepartementet, 2023]. Tilsvarende i våte år, blir eksporten av kraft viktig for å håndtere overskuddet.

### 2.4 Drivere av energiforbruk på makronivå

I rapporten for Makroøkonomiske drivere for utviklingen av energiforbruket som er utarbeidet i samarbeid med Statistisk sentralbyrå og Olje- og energidepartementet, legger de til grunn hva som er de viktigste driverne av energiforbruket i Norge[Bjertnæs and Hagem, 2016]. I denne rapporten har de tatt et utgangspunkt i følgende identiteter som hoved-driverne for energiforbruket og utviklingen.

$$\text{Energiforbruket}(E) = \text{Befolkning}(B) \cdot \frac{BNP}{B} \cdot \frac{\text{Energiforbruk}}{BNP} \left( \frac{E}{BNP} \right)$$

Denne ligningen er bestående av tre ledd på høyere side som har på hver sin måte en innvirkning på energiforbruket i Norge.

Befolkning ( $B$ ) er en vesentlig del i energiforbruket på flere områder. En større befolkning i et land vil kreve en høyere andel energiforbruk naturlig vis gjennom etterspørsel til husholdninger, samtidig vil en større befolkning gi større arbeidsstyrke som kan lede til mer produksjon og dermed større etterspørsel etter energi i industri.

BNP per innbygger  $\frac{BNP}{B}$  påvirker energiforbruket gjennom at en høyere BNP gir mer sysselsetting, som vil påvirke inntekten i husholdningen, som igjen kan påvirke etterspørselen etter energi gjennom økt forbruk i husholdningen. Teknologi er også en faktor som spiller inn under BNP per innbygger. Teknologisk utvikling krever energi og påvirker BNP.

$\frac{\text{Energiforbruk}}{BNP} \left( \frac{E}{BNP} \right)$  er et uttrykk for energiintensiteten som er forholdet mellom energiforbruket og bruttonasjonalproduktet. Dette leddet forteller hvor mye energi som brukes i forhold til den økonomiske prediksjonen i landet. Dette er et ledd som kan deles inn i to deler, husholdningens energiintensitet og industriens energiintensitet. Det er fundamentalt at energiintensiteten også er påvirket av energieffekten. Om en industri har høy energiintensitet, men samtidig er energieffektiv vil de to faktorene kansellere hverandre til en viss grad. I henhold til energiintensitet i husholdninger sees det på transport, geografi og preferanser for folkegrupper. Høyere befolkning fører til høyere transportbehov og områder med store byer er områder med høyere energiintensitet.

## 2.5 NVE's LEAP- og Times-modeller

LEAP (Long-range Energy Alternatives Planning) og TIMES (The Integrated MARKAL-EFOM System) er to modeller brukt av NVE til å analysere og framskrive energibruk og -behov i Norge. Disse modellene er viktige verktøy i NVE's energiplanlegging, og de bidrar til å forstå hvordan ulike faktorer påvirker energisystemet på lang sikt[Lien et al., 2018a].

### 2.5.1 LEAP-Norge modellen

LEAP er utviklet av Stockholm Environment Institute og brukes globalt til energiplanlegging, spesielt i utviklingsland. NVE har tilpasset LEAP for å modellere energibehov og -bruk på Fastlands-Norge, derav navnet LEAP-Norge[Lien et al., 2018a].

LEAP-Norge-modellen er en bottom-up modell som består av en hovedmodell i LEAP-

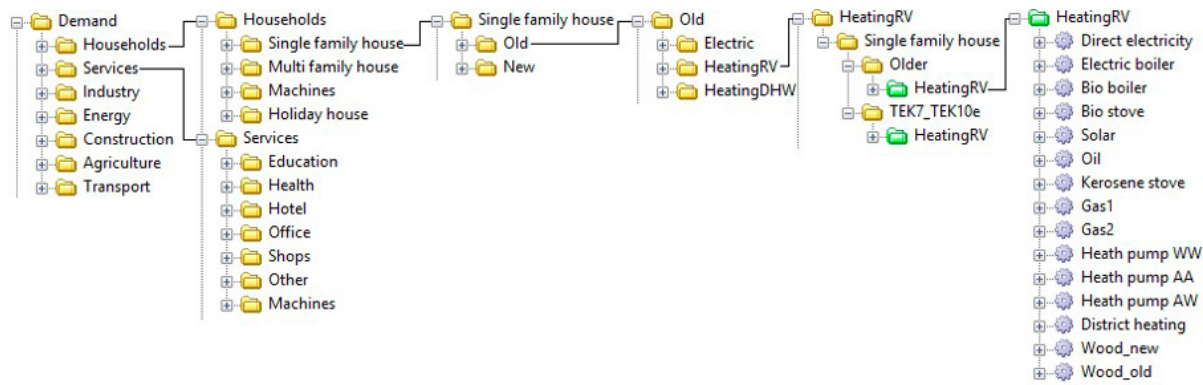


Figure 1: Mappestruktur LEAP-Norge[Lien et al., 2018a]

programvaren og tre underlagsmodeller i Excel som håndterer spesifikke sektorer: bygg, transport, og industri. Underlagsmodellene sorterer informasjon, statistikk, og input som innføres i LEAP-modellen. Dette systemet gjør det mulig å kalibrere modellen med nøyaktige data og sikre at resultatene er pålitelige.[Lien et al., 2018a]

1. **Sektorer:** LEAP-Norge er inndelt i ulike sektorer inkludert husholdninger, tjenesteyting, transport, industri, bygg og anlegg, energi (petroleum) og landbruk.
2. **Undergrupper:** Hver sektor er videre delt inn i undergrupper for å øke detaljnivået i modelleringen. F.eks. "Households" er delt inn i "Single family houses", "Multi family houses", "Machines" og "holiday houses", som igjen er delt inn i aldergrupper for bygningene.
3. **Formål og Teknologier:** Innen hver undergruppe er energibruk fordelt på forskjellige formål (for eksempel elektrisk utstyr, belysning, oppvarming) og teknologier (for eksempel varmpumper, solpaneler, elektrisitet). Dette muliggjør detaljert analyse av hvordan energibruk fordeler seg på ulike aktiviteter og teknologier.

Denne strukturen gjør det enkelt å navigere gjennom modellen og finne spesifikke data for analyser og framskrivninger. Eksempel på mappestruktur kan ses i figur 1.

Scenarier i LEAP-Norge brukes for å modellere og analysere fremtidige utviklingsbaner for energibehov og energibruk under forskjellige forutsetninger og policy-tiltak. Scenariobrugen gir innsikt i hvordan ulike faktorer som økonomisk vekst, teknologisk utvikling, og politiske beslutninger kan påvirke energisystemet i fremtiden[Lien et al., 2018a].

Eksempel på Scenarier:

1. **Referansescenario:** Dette scenarioet representerer en fremtid der ingen nye energipolitiske tiltak innføres, og utviklingen følger dagens trender og mønstre. Det brukes som et sammenligningsgrunnlag for andre scenarier[Lien et al., 2018a].
2. **Politiske Tiltak:** Scenarier kan inkludere spesifikke politiske tiltak som innføring av nye energispareprogrammer, subsidier for fornybar energi, eller CO<sub>2</sub>-avgifter. Dette hjelper til å forstå effektene av slike tiltak på energibruk og utslipp[Lien et al., 2018a].
3. **Teknologiske Endringer:** Scenarier kan også modellere fremtidige teknologiske gjennombrudd, som økt bruk av elbiler eller avanserte energilagringssystemer. Dette viser hvordan nye teknologier kan endre energilandskapet[Lien et al., 2018a].
4. **Økonomiske Forhold:** Variasjoner i økonomisk vekst og energipriser kan analyseres gjennom ulike scenarier. Dette inkluderer høy, medium og lav vekst i BNP, som påvirker energibehovet i forskjellige sektorer[Lien et al., 2018a].

Scenariene i LEAP-Norge bygges opp ved å definere forutsetninger og variabler i mappestrukturen. For eksempel, i et scenario som fokuserer på energieffektivisering, kan energibehov per kvadratmeter bygg settes lavere enn i referansescenarioet. Scenariene kan også justere andelen av energibehov som dekkes av ulike teknologier, som økt bruk av varmepumper eller solenergi fremfor tradisjonelle oppvarmingsteknologier[Lien et al., 2018a].

Resultatene fra scenariene analyseres for å vurdere konsekvensene av de ulike antagelsene og tiltakene. For eksempel kan scenarieresultater vise potensielle reduksjoner i energibruk og utslipp, økonomiske kostnader, og effekter på energiforsyningsikkerhet. Disse resultatene brukes av NVE til å informere beslutningstakere og påvirke politikkutforming på energiområdet[Lien et al., 2018a].

NVE's bruk av LEAP-modellen er hovedsakelig rettet mot å modellere etterspørselssiden av energisystemet. Produksjonssiden, inkludert transmisjon og omgjøring, er ikke

modellert i NVEs versjon av LEAP. Modellen fremskrifer årlig energibehov (nyttiggjort energi) og energibruk (levert energi) for forskjellige sektorer, inkludert husholdninger, tjenesteyting, transport, industri, bygg og anlegg, energi (petroleum), og landbruk[Lien et al., 2018a].

### **2.5.2 TIMES-modellen**

TIMES er en teknisk-økonomisk bottom-up modell av energisystemet. Den brukes til å finne hvilke energiformer brukerne vil velge under forskjellige energipriser. TIMES-modellen er utviklet av Institutt for energiteknikk (IFE) i samarbeid med NVE og gir en detaljert analyse av hvordan energibruk kan utvikle seg under forskjellige forutsetninger[Lien et al., 2018a].

TIMES bruker en likevektsmetode som inkluderer energibehov, kostnader og ressurser som input for å fremskrive bruken av ulike energivarer. Denne modellen benyttes for å kostnadsoptimere energibruk og teknologivalg i forskjellige sektorer. TIMES integrerer resultatene fra LEAP-modellen, spesielt data om energibehov, for å analysere energibruk mer detaljert og nøyaktig[Lien et al., 2018a].

### **2.5.3 Samarbeidet mellom LEAP og TIMES**

NVE bruker LEAP til å lage fremskrivninger av energibehov som deretter brukes som input i TIMES-modellen. Dette samspillet gir en helhetlig forståelse av energisystemet fra både et behovs- og brukersperspektiv. Mens LEAP fokuserer på scenariobasert analyse av energibehov, bruker TIMES disse fremskrivingene til å optimere energibruk basert på kostnader og teknologiske valg[Lien et al., 2018a].

NVE bruker LEAP og TIMES for flere formål, inkludert langsiktig kraftmarkedsanalyse, vurdering av energieffektiviseringstiltak, og analyser av fornybar energibruk. For eksempel, i NVEs fremskrivninger av strømforbruk og energibruk, beregnes energibehovet til bygg i LEAP, mens TIMES bruker disse fremskrivingene til å beregne energibruk i bygg. For andre sektorer som industri og transport, brukes en kombinasjon av direkte modellering i LEAP og dataoverføring til TIMES[Lien et al., 2018a].



## 2.6 NVE's prognoser

NVE har hvert år siden 2016 foruten 2022 gitt ut en rapport med en langsiktig kraftmarkedsanalyse, hvor de ser på utviklingen og foretar prognoser på kraftbalanse og kraftpriser. Fra 2016 – 2018 var disse rapportene langsiktige frem til 2030, fra 2019 har disse rapportene gjennomført prognoser frem til 2040. Rapportene er utført i oppdrag fra Olje- og energidepartementet. I analysen benyttes energi- og kraftmarkedsmodeller[Bartnes et al., 2017] hvor datasettene er opparbeidet med detaljerte forutsetninger om produksjon, forbruk, nett og brenselpriser for 18 europeiske land. Formålet er ikke å gi en helt presis beskrivelse på hvordan kraftsystemet ser ut i fremtiden, men hvordan viktige utviklingstrekk kan påvirke kraftsystemet i fremtidige år og nasjonal politikk[Lien et al., 2018b].

Ved framskrivning av kraftforbruk -og produksjon i Norge skiller NVE mellom kraftforbruk og produksjon. Innenfor kraftforbruket skilles det mellom ulike sektorer ved framskriving av energiforbruket. Sektorene de tar for seg er bygg, transport, og andre store kraftforbrukere[Jon Gustav Kirkerud, 2023]. Framskrivningen av produksjon blir delt opp i de forskjellige kraftproduksjonsmetodene. Disse består av solkraft, vannkraft, vindkraft på land og vindkraft til havs, samtidig ser de på effektivitetsbalansen. Framskrivningen om utviklingen i norske bygninger fremskrives i to hovedsteg. Først lages en framskrivning av energibehovet, basert på antagelser i den norske for utvikling i den norske bygningsmassen og ulike bygningstyper sitt energibehov per areal. Videre bruker de modellen TIMES til å fremskrive kraftforbruket som billigst dekker dette behovet. Dette er gjort ved en rekke forutsetninger som TIMES-modellen bruker for å gjennomføre sine beregninger. Sammen med modellen brukes skjønnsmessige vurderinger for å gi en endelig framskrivning.[Lien et al., 2018b]

For transportsektoren brukes TIMES-modellen også. Her ser de på kjøretøykilometer med ulike transportteknologier som gir et visst energiforbruk. Samme som ved bygg brukes skjønnsmessige vurderinger for å legge frem en endelig framskrivning for denne sektoren.

I forhold til store kraftforbrukere grunnlegger NVE seg i stor grad på eksisterende forbruk[Lien et al., 2018b], og kjente planer for utvidelse og ny aktivitet. Siden planer ofte er uavklarte og innebærer en viss grad av usikkerhet legger de inn en sannsynlighet-sjustering i forbruket. Da vil den kombinerte forbruksveksten representere fremtidig forbruk.

Ved produksjons-framskrivninger av solkraft skilles det mellom takmontert solkraft, ikke konsesjonspliktig- og konsesjonspliktig solverks kraft[Lien et al., 2018b] . Sistnevnte er solkraftverk som har spenning på mer en 1 kV og må etter energiloven etablere et høyspenningsanlegg for å få kraften ut. Solkraftverk som kan tilkobles med lavspenningsanlegg går under definisjonen ikke konsesjonspliktig solkraftverk[Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE), 2024a]. Med takmontert solkraft og ikke-konsesjonspliktig solkraftverk baserer NVE seg på data fra Elhub[Jon Gustav Kirkerud, 2023]. De har gjort antagelser om den eksponentielle veksten fra tidligere år vil vedvare, og om hvor raskt den vil avta. For bakkemonterte konsesjonspliktig solkraftverk bruker de utgangspunkt fra prosjekter som er kjent fra konsesjonsbehandling. De antar at ca. 50% som søker om konsesjon vil bli godkjent. Siden kostnaden av produksjon av solcelleanlegg faller[John Doe, 2021], har flere solkraftverk blitt mer aktuelle i Norge. Det vil være flere usikkerhetsmomenter i henhold til utvikling av solkraft som areal, lønnsomhet og interesser som fører til at det er stor usikkerhet i framskrivningene til NVE på dette feltet.

Framskrivning av ny vannkraftproduksjon er blant annet basert på en forenkling av et samlet datagrunnlag på nesten 40 TWh potensiell ny vannkraftproduksjon [Jon Gustav Kirkerud, 2023]. Dette er basert på prosjekter som er godkjent av offentlig myndighet som innebærer utvidelse av eksisterende kraftverk og helt nye vannkraftverk. Vilårsrevisjoner og økt tilsig som følge av klimaendringer er også medberegnet i datagrunnlaget. Av de prosjektene som ikke er begynt på eller ferdig realisert i løpet av kort tid beregner NVE at bare 50% av prosjektene i planleggingsfasen vil bli gjennomført[Jon Gustav Kirkerud, 2023]. Alle øvrige prosjekter som har godkjenning av offentlig myndighet antar de at vil bli realisert. I forhold til utvidelse av eksisterende

kraftverk, vil dette innebære en større skala produksjon, men også utbytte av mer effektive turbiner og effektivutvidelser.

For vindkraft på land antar NVE at kun de prosjektene som har fått godkjenning av myndigheter vil bli realisert i tidsrommet frem til 2030 og at de er oppe i kraftproduksjon innenfor fristen for prosjektet. For tidsrommet mellom 2030 – 2040 har NVE basert framskrivningen i utgangspunktet til kjente prosjekter som er til behandling hos NVE eller OED som ikke har fått offentlig myndighets godkjenning enda[Jon Gustav Kirkerud, 2023].

For vindkraft til havs har NVE i mellomrommet brukt utgangspunktet i de utlyste områdene Sørlege Nordsjø II fase I og Utsira Nord[Jon Gustav Kirkerud, 2023]. Disse er ment å være realisert innenfor tidsrommet mellom 2030 – 2035. For tidsrommet mellom 2035 – 2040 antar de at det vil komme tre vindkraftverk i drift til havs. Framskrivningen av disse grunnes i vurdering av antatte ledetider for utlysning, behandling av godkjenning fra offentlig myndighet, utbygging og med hensyn til da de blir satt i drift[Jon Gustav Kirkerud, 2023][John Doe, 2021].

## **2.7 NVE's siste langtidsprognose for Kraftmarkedet**

NVE publiserte den siste oppdaterte kraftmarkedsanalysen i 2023[Jon Gustav Kirkerud, 2023]. Denne rapporten presenterer utviklingen av kraftmarkedet i Norge, Norden og Europa, med prediksjoner for flere segmenter innenfor kraftmarkedet. I denne oppgaven fokuseres det på produksjon og forbruk av kraft i Norge, samt kraftbalansen fremover i tid. Fra 2021-rapporten til 2023-rapporten er det en oppjustering av forbruket av elektrisk kraft i NVEs analyse.

I analysen forventer NVE en betydelig vekst i forbruket mot 2030 og 2040. Denne forventede økningen skyldes hovedsakelig nye kraftintensive næringer og endringer i eksisterende næringer, som blir mer kraftintensive. NVE anslår at forbruket vil øke til 163 TWh i 2030 og til 191 TWh i 2040 som følge av denne forventede veksten[Kirkerud et al., 2023]. Det presiseres at det er stor usikkerhet i prediksjonene av fremtidig energiforbruk i Norge, grunnet faktorer som byggetid for prosjekter og økt energieffektivisering. Samtidig

påpekes det at offentlige myndigheter kan innføre tiltak og virkemidler i denne perioden for å nå klimamål, som kan påvirke forbruket av elektrisk kraft.

For produksjon av elektrisk kraft i Norge har NVE forutsatt at den totale produksjonen øker til 203 TWh i 2040[Kirkerud et al., 2023]. De oppjusterte anslaget fra den lang-siktige kraftmarkedsanalysen i 2020, hovedsakelig på grunn av en fremtidsrettet økning i havvindutbygging. Anslaget viser en økning i produksjonen til 164 TWh i 2030 og 180 TWh i 2035[Kirkerud et al., 2023]. Dette indikerer en sterkere vekst i produksjon av elektrisk kraft i Norge etter 2030 enn før 2030. Dette begrunnes med planlagt utbygging og opprustning av eksisterende produksjonsanlegg.

I henhold til prognosene fra NVE vil kraftbalansen i Norge være 1 TWh i 2030, og øke til 4 TWh i 2035. Den mest betydelige økningen er forventet innen 2040, hvor de forutsier en positiv energibalanse på 14 TWh i Norge[Kirkerud et al., 2023].

Av tidligere prediksjoner publisert av NVE i rapportene for langsiktig kraftmarkedsanalyse, har vi for oppgaven samlet alle prediksjonene for produksjon og forbruk av kraft siden 2019<sup>1 2 3 4</sup>. Dette var året NVE begynte å framskrive frem til 2040.

Produksjon i TWh	Prediksjon (2019)	Prediksjon (2020)	Prediksjon (2021)	Prediksjon (2023)
2022	164	164	-	-
2025	169	167	164	-
2030	174	169	166	165
2035	-	-	-	180
2040	184	182	184	203

Table 1: NVE samlet prediksjoner for kraftproduksjon

Forbruk i TWh	Prediksjon (2019)	Prediksjon (2020)	Prediksjon (2021)	Prediksjon (2023)
2022	142	142	-	-
2025	150	149	146	-
2030	153	155	159	163
2035	-	-	-	176
2040	159	163	174	191

Table 2: NVE samlet prediksjoner for kraftforbruk

<sup>1</sup><https://publikasjoner.nve.no/rapport/2021/rapport2021.29.pdf>

<sup>2</sup><https://publikasjoner.nve.no/rapport/2020/rapport2020.37.pdf>

<sup>3</sup><https://publikasjoner.nve.no/rapport/2019/rapport2019.41.pdf>

<sup>4</sup><https://publikasjoner.nve.no/rapport/2023/rapport2023.25.pdf>

Tabell 1 og tabell 2 viser til at NVE har gjort justeringer i sine prediksjoner av elektrisk kraft i Norge over tid. Dette skjer på bakgrunn av for eksempel ny data og endrende forutsetninger. I tabellen for produksjon observeres spesielt at det er en stor økning i forventet produksjon etter 2030. For prediksjonen i 2023 viser oppsummeringen en mer aggressiv vekst enn i de forekommende årene.

## 3 Data

### 3.1 Energiproduksjon og -forbruk

I den empiriske analysen har vi benyttet data som er innhentet fra Statnett's database for produksjon og forbruk av elektrisk kraft i Norge<sup>5</sup>. I dialog med en representant fra NVE ble data fra Statnett besluttet som best for analysearbeidet i denne oppgaven. Statnett genererer data for produksjon og forbruk av elektrisk kraft time for time, som kan aggregeres til ukentlige data, månedlige data eller kvartalsdata blant annet. Datagrunnlaget hentet i forbindelse med denne oppgaven er månedlig frekvensdata fra 2006 til 2023. Det er tatt forbehold om at det kan forekomme mindre avvik i Statnett's data. Produksjons- og forbruksdata av kraft er viktig for analyser om kraftbalansen og kraftregnskapet for et land.

### 3.2 Befolkningstall

Befolkningsdataen for analysen er hentet fra offisielle statistikkbanken til Statistisk sentralbyrå<sup>6</sup>. Dataene er årlig total befolkning i Norge innværende år fra 1951-2024. Befolkningstallet inkluderer alle som er bosatt i Norge 1.januar og har bodd i Norge fast i et halvt år med gyldig oppholdstillatelse. Befolkningstallet inkluderer ikke personer som har innvandret til Norge for å jobbe i landet i mindre en et halvt år.

Tidsserieanalysen for oppgaven krever månedlige observasjoner for å korrelere med månedlige energidata, og derfor er årlig befolkningsdata tilpasset til tidsserieanalysen for å utføre videre predikeringer. Metoden som ble benyttet kalles interpolering[Lepot et al., 2017] for å transformere årlig data til månedlig data. Dette benyttes fordi interpolering er en effektiv og enkel metode for å transformere data, slik at de passer til analysedata.

Dette gjøres ved hjelp av R-studio datapakken 'zoo', og er en fleksibel metode som tillater håndtering av tidsseriedata. For å tilpasse befolkningsdata slik at den korrelerer med energidata bruker vi 'zoo' pakken til å konvertere månedlige tidspunkter for siste dag av

<sup>5</sup>Statnett, *Kraftproduksjon og forbruk* <https://www.statnett.no/for-aktorer-i-kraftbransjen/tall-og-data-fra-kraftsystemet/>

<sup>6</sup>Statistisk sentralbyrå (SSB), *Befolkning* <https://www.ssb.no/statbank/list/folkemengde>

hver måned fra januar 2006 til desember 2023. Gjennom bruk av ‘approx’ funksjonen i R-studio foretar vi en lineær interpolering mellom kjente årlige data observasjoner for å skape estimater for befolkningstall for hver måned. Interpoleringen estimerer hver verdi ved å trekke en rett linje mellom to kjente punkter og beregner mellomverdiene langs denne linjen. Dette resulterer i en jevn endring over tid. Siden vi har to kjente variabelpunkter i  $x_1$  og  $x_2$  som er år, og  $y_1$  og  $y_2$  som er befolkningstall, vil  $x$  være hver måned mellom år,  $y$  vil være estimert månedsverdi. Matematisk kan det vises som:

$$y = y_1 + (x - x_1) \frac{(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)}$$

Ved å interpolere befolkningsdataene vil dette gjøre modellen for prediksjon av produksjon og forbruk elektrisk kraft i Norge mer robust.

### 3.3 BNP per innbygger

BNP per innbygger i kroner er hentet fra Statistisk sentralbyrå sin offisielle statistikkbank<sup>7</sup>. Datasettet inkluderer årlig BNP per innbygger, beregnet i norske kroner, fra 1970-2023. Disse dataene er essensielle for å kartlegge makroøkonomiske effekter på kraftforbruket i Norge. På samme måte som med befolkningsdata er datasettet interpolert for å tilpasses med tidsserie dataene som krever månedlige data. Ved å interpolere dataene kan datasettet brukes til å analysere sammenhengen mellom økonomisk vekst og kraftforbruk i Norge. Dataene brukt i analysen er månedlige tall for siste dag av hver måned fra januar 2006 til desember 2023 i tråd med resten av dataene.

### 3.4 Værdata

Værdata er hentet ved bruk av Frost API [MET Norway, 2024], Norges Meteorologiske institutts database. Observasjonsdata i JSON-format hentes ved å spesifisere tre essensielle variabler: tidsrammen, ønskede meteorologiske målparameterne (f.eks. temperatur, vindhastighet, nedbør) og værstasjonene. Et bredt spekter av stasjoner sikrer representativ dekning for hele Norge. Frost API støtter omfattende stasjonslister og variabler

<sup>7</sup>Statistisk sentralbyrå (SSB), *Bruttonasjonalprodukt kr per innbygger*, <https://www.ssb.no/statbank/table/09842/>

presentert som kommaseparert liste i forespørselen. Analyseperioden strekker seg fra 2006 til 2023. Daglig datainnsamling, drevet av det store antallet stasjoner, begrenser tidsrammen, selv om månedlig frekvens ville tillatt en utvidelse av perioden.

Etter å ha definert forespørselparameterne, utføres datainnsamlingen for hver stasjon, og resultatene aggregeres. En enkelt forespørsel for alle stasjoner ville overgå API-grensen. De innsamlede dataene behandles for enkel integrasjon med produksjonsdata, omorganisert med variabler som kolonner og lagt til med stasjons-ID og dato. Hver oppføring i datasettet inneholder en unik kombinasjon av stasjons-ID og dato, til tross for duplikater i hver kolonne.

Rensing av datasettet er kritisk for å fjerne ufullstendige verdier. Noen stasjoner mangler målinger for enkelte variabler, som krever ytterligere filtrering. Stasjoner med over 66% manglende verdier for noen variabel utelates. Dette trinnet ekskluderte snødata på grunn av sjeldenhet, som ville ha resultert i ekskludering av mange stasjoner. Det endelige datasettet er begrenset til stasjoner med høy dataintegritet. Isolerte NaN-verdier, muligens på grunn av sensorfeil, håndteres selektivt; oppføringer med manglende vind- og nedbørsdata forkastes.

### **3.5 Stasjonaritetstesting**

For å vurdere stasjonaritet til tidsserie dataene, benyttes visualisering av tidsserien og to statistiske tester Augmented Dickey-Fuller (ADF) testen og Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (KPSS) testen. Det foretas også visuell kontroll av tidsseriens Autokorrelasjonsfunksjon (ACF) og Partiell Autokorrelasjonsfunksjon (PACF).

#### **3.5.1 Augmented Dickey-Fuller test (ADF)**

Augmented Dickey-Fuller-testen, også kjent som ADF-testen, er en utvidelse av Dickey-Fuller-testen [Wooldridge, 2020]. Ved å gjennomføre ADF-testen sjekker vi om det er en enhetsrot til stede i tidsseriedataene. Nullhypotesen er at tidsserien er ikke-stasjonær/ har en enhetsrot. Alternativhypotesen er at tidsserien er stasjonær/ ikke har en enhetsrot. Inneholder tidsserien enhetsrot, vil det innebære stokastiske prosesser som kan forårsake



komplikasjoner i tidsseriemodellen. For å avvise nullhypotesen må den kritiske verdien og p-verdien være mindre enn signifikansnivået på 5%.

I samsvar med Dickey-Fuller-testen inkluderer ADF-testen en høyordens autoregressiv prosess i modellen. Dette gir en mer robust tilnærming for å vurdere stasjonariteten til tidsserien.

$$\Delta y_t = \alpha + \beta t + \gamma y_{t-1} + \sum_{i=1}^p \delta_i \Delta y_{t-i} + \epsilon_t$$

Hvor  $\Delta y_t$  er første differanse av tidsserien.  $\alpha$  er konstantleddet, og  $\beta_t$  er koeffisienten for en tidstrend.  $\gamma y_{t-1}$  er koeffisienten for det laggede nivået av tidsserien.  $\delta_i \Delta y_{t-i}$  representerer koeffisienten for de laggede første differansene av tidsserien og  $\epsilon_t$  er feilleddet.  $\gamma$  er koeffisienten som testes for enhetsrot, og  $\gamma = 0$  er nullhypotesen om at det er enhetsrot i tidsserien. Da vi tester for stasjonaritet uten trend, er  $\beta = 0$ .

Om p-verdien er mindre en signifikantnivået, avviser vi nullhypotesen om enhetsrot, og tidsserien anses som stasjonær. Om p-verdien er høyere en signifikantnivået, kan vi ikke avvise nullhypotesen, og tidsserien anses som ikke-stasjonær.

### 3.5.2 Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin-test (KPSS-test)

Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin-testen forkortet KPSS-test undersøker nullhypotesen om tidsserien er stasjonær rundt deterministisk trend [Kwiatkowski et al., 1992]. Alternativhypotesen er at tidsserien ikke er stasjonær. Dette er i kontrast med ADF-testen som tester den motsatte nullhypotesen [Machine Learning Plus, 2021].

Teststatistikken for KPSS-testen er basert på residualene fra regresjonen av tidsserien på en konstant eller en konstant og en trend. Da vi utfører KPSS-testen, kan vi velge å inkludere eller utelukke en trendkomponent.

KPSS-test uten trendkomponent er en test på om tidsserien er stasjonær rundt et konstant gjennomsnitt. Testen er gitt som.

$$y_t = \mu + e_t$$

Hvor  $y_t$  er verdien av tidsserien ved tid,  $\mu$  er det konstante leddet, altså gjennomsnittsnivået og  $e_t$  er residualen. Teststatistikken  $\eta$  er gitt som da.

$$\eta = \sum_{t=1}^T \left( \frac{S_t}{\hat{\sigma}^2} \right)^2$$

Hvor  $S_t$  er den kumulative summen av residualene og  $\hat{\sigma}^2$  er variansen til residualene.

KPSS-test med trendkomponent tester om tidsserien er stasjonær rundt en lineær trend. gjennom denne testen antar vi at tidsserien inkluderer både en konstant middelvei og en lineær trendkomponent. Testen er gitt som:

$$y_t = \mu + \beta t + e_t$$

Hvor det er inkluderte et trendledd med  $\beta$  ved tid  $t$ . Teststatistikken  $\eta$  er gitt likt som ved uten Trendkomponent.

### 3.5.3 Hvordan tolke ADF-testen og KPSS-testen

Både ADF-testen og KPSS-testen benyttes for å teste om tidsseriedata er stasjonær eller ikke stasjonær. Resultatet av hver individuell test er avgjørende for hvordan vi tolker tidsserien. Det er fire mulige måter å tolke resultatene av disse testene.

Om ADF-testen og KPSS-testen er begge stasjonær i henhold til den kritiske verdien vil vi tolke dette som at tidsserien er stasjonær.

Hvis ADF-testen finner en enhetsrot og tolkes som ikke-stasjonær og KPSS-testen tolkes som stasjonær kan man anta at tidsserien er stasjonær rundt en trend. Dette kan tyde på at tidsserien er det som kalles trendstasjonær. Ved transformasjon av tidsseriedataene kan ADF-testen gjøres stasjonær.

Finner ADF-testen ikke en enhetsrot og tolkes som stasjonær, samtidig som KPSS-testen tolkes som ikke-stasjonær kan dette være på grunn av en stokastisk trend eller økende varians over tid. Dette tyder på at det kreves ytterligere differensiering og transformering for å oppnå stasjonaritet.

Til slutt kan begge testene indikere at tidsserien er ikke-stasjonær. Dette er en sterk indikasjon på at tidsserien har ikke stasjonære egenskaper. Da må tidsserien differensieres og transformeres for å kunne modelleres til de analytiske målene man bruker tidsserien til.

### 3.5.4 Oppsett av AFD og KPSS

Ved å utføre stasjonaritetstester på produksjon og forbruk av kraft i Norge får analysen en forståelse av tidsseriens egenskaper. Gjennom bruk av ADF-testen og KPSS-testen ble følgende resultater for elektrisitetsforbruk rapportert:

Table 3: ADF Test Kraftforbruk Resultater uten Trend

ADF Test Resultater uten Trend	Verdi
Teststatistikk	-2.512947
p-verdi	0.112356
Antall brukte lags	14
Antall observasjoner brukt	201
Kritisk verdi (1%)	-3.463309
Kritisk verdi (5%)	-2.876029
Kritisk verdi (10%)	-2.574493

I Tabell 3 er det testet for stasjonaritet med ADF-test uten trend. Teststatistikken viser til -2.512947, som er høyere enn de kritiske verdiene på 1%, 5%, og 10%, samtidig som p-verdien er høyere enn 0,05. Dette indikerer at vi ikke kan forkaste nullhypotesen om at tidsserien har enhetsrot.

Table 4: ADF Test Kraftforbruk Resultater med Trend

ADF Test Resultater med Trend	Verdi
Teststatistikk	-4.316543
p-verdi	0.002965
Antall brukte lags	14
Antall observasjoner brukt	201
Kritisk verdi (1%)	-4.004530
Kritisk verdi (5%)	-3.432562
Kritisk verdi (10%)	-3.140014

Tabell 4 er en ADF-test med trend. Denne testen gir en teststatistikk på  $-4.316543$  og en p-verdi på  $0.002965$ . Teststatistikken er lavere enn de kritiske verdiene ned til 1%, og p-verdien er lavere enn 0,01. Dette indikerer at vi kan forkaste nullhypotesen om enhetsrot og antyder at tidsserien er trend-stasjonær.

Table 5: KPSS Test Kraftforbruk Resultater uten Trend

KPSS Test Resultater uten Trend	Verdi
Teststatistikk	0.308009
p-verdi	0.100000
Antall brukte lags	6
Kritisk verdi (10%)	0.347000
Kritisk verdi (5%)	0.463000
Kritisk verdi (2.5%)	0.574000
Kritisk verdi (1%)	0.739000

KPSS-testen i Tabell 5 uten trend viser en teststatistikk på  $0.308009$ , som er lavere enn de kritiske verdiene ved 1%. Dette indikerer at vi ikke kan forkaste nullhypotesen om at tidsserien er nivåstasjonær.

Table 6: KPSS Test Kraftforbruk Resultater med Trend

KPSS Test Resultater med Trend	Verdi
Teststatistikk	0.012509
p-verdi	0.100000
Antall brukte lags	6
Kritisk verdi (10%)	0.119000
Kritisk verdi (5%)	0.146000
Kritisk verdi (2.5%)	0.176000
Kritisk verdi (1%)	0.216000

I Tabell 6 med KPSS-test med trend viser teststatistikken et nivå på  $0.012509$ , som er lavere enn den kritiske verdien ved 1%. Dette indikerer at vi ikke kan forkaste hypotesen om at tidsserien er trendstasjonær.

For kraftforbruk antyder resultatene fra ADF- og KPSS-testen at tidsserien er stasjonær da det tas hensyn til trend. Dette er betydningsfullt med hensyn til videre analyse ved bruk av SARIMAX-modellen og Prophet-modellen. Prognoser med SARIMAX forutsetter stasjonaritet, og dermed bør tidsserien differensieres for å gjøre tidsserien stasjonær og fjerne trender. Prophet-modellen kan håndtere både trender og ikke-stasjonaritet, derfor kan tidsserien brukes direkte med originaldata uten ytterligere endringer.

ADF- og KPSS-testene for produksjon av elektrisk kraft rapporterer følgende resultater.

Table 7: ADF Test kraftproduksjon Resultater uten Trend

ADF Test Resultater uten Trend	Verdi
Teststatistikk	-3.196240
p-verdi	0.020203
Antall brukte lags	14
Antall observasjoner brukt	201
Kritisk verdi (1%)	-3.463309
Kritisk verdi (5%)	-2.876029
Kritisk verdi (10%)	-2.574493

I Tabell 7 med ADF-test uten trend for produksjon av elektrisk kraft gir teststatistikken en verdi på -3.196240, som er lavere enn den kritiske verdien på 5%, men ikke lavere enn den kritiske verdien på 1%. P-verdien på 0.020203 er mindre enn 0,05, som indikerer at vi kan forkaste nullhypotesen om enhetsrot. Tidsserien antas å være stasjonær med et signifikansnivå på 5%.

Table 8: ADF Test kraftproduksjon Resultater med Trend

ADF Test Resultater med Trend	Verdi
Teststatistikk	-4.316080
p-verdi	0.002970
Antall brukte lags	14
Antall observasjoner brukt	201
Kritisk verdi (1%)	-4.004530
Kritisk verdi (5%)	-3.432562
Kritisk verdi (10%)	-3.140014

ADF-testen i Tabell 8 med trend gir en teststatistikk på -4.316080 og er lavere enn den kritiske verdien på 1%. P-verdien er på 0.002970, og vi forkaster nullhypotesen om enhetsrot med et 1% signifikansnivå. Dette antyder at tidsserien er trendstasjonær ved et signifikansnivå på 1%.

Table 9: KPSS Test kraftproduksjon Resultater uten Trend

KPSS Test Resultater uten Trend	Verdi
Teststatistikk	0.90913
p-verdi	>0.010000
Antall brukte lags	7
Kritisk verdi (10%)	0.347000
Kritisk verdi (5%)	0.463000
Kritisk verdi (2.5%)	0.574000
Kritisk verdi (1%)	0.739000

Tabell 9 tar for seg KPSS-test uten trend. Resultatene fra testen viser en teststatistikk

på 0.90913, som er høyere enn alle de kritiske verdiene. P-verdien er lavere enn 0,01, som indikerer at vi forkaster nullhypotesen og tyder på at tidsserien er ikke-stasjonær uten trendkomponent.

Table 10: KPSS Test kraftproduksjon Resultater med Trend

KPSS Test Resultater med Trend	Verdi
Teststatistikk	0.031297
p-verdi	<0.100000
Antall brukte lags	7
Kritisk verdi (10%)	0.119000
Kritisk verdi (5%)	0.146000
Kritisk verdi (2.5%)	0.176000
Kritisk verdi (1%)	0.216000

KPSS-testen med trend rapporterer et resultat med en teststatistikk på 0.031297, som er lavere enn den kritiske verdien på 1%. P-verdien er høyere enn 0,1, som viser at nullhypotesen ikke kan forkastes. KPSS-testen med trend viser at tidsserien er stasjonær med trend.

Tidsseriedataene for produksjon av kraft viser å være stasjonære da trendkomponent er inkludert i testen. Dette tyder på at tidsserien er trendstasjonær i likhet med tidsserien for forbruk av kraft. For SARIMAX-modellen er det krav om differensiering for bruk av modellen for å gjøre serien stasjonær. Prophet-modellen kan vi, i likhet med forbruk av kraft, bruke original tidsseriedata for kraftproduksjon direkte i modellen.

Antall differensieringer som kreves for å gjøre tidsseriedataene stasjonær, er relevant for bruken av modeller. SARIMAX-modellen krever en stasjonær tidsserie og dermed differensiering. Ved å teste tidsserien på nytt for å se om den er stasjonær etter differensiering, kan det konkluderes om dataene må differensieres flere ganger. I tabell 11,12,13 og 14 rapporteres resultatene for ADF-testen og KPSS-testen med differensiert tidsseriedata. Resultatene fra alle testene viser at tidsseriene for kraftproduksjon og kraftforbruk er stasjonære etter differensiering. ADF-testen viser at Kraftproduksjon og kraftforbruk er signifikant ved 1%. KPSS-testene for kraftproduksjon og kraftforbruk er ikke signifikante, som indikerer at nullhypotesen om at tidsserien er ikke-stasjonær ikke kan avvises. Dette antyder at det ikke er behov for mer enn én differensiering av dataene for å gjøre den stasjonær.

Table 11: ADF Test av kraftproduksjon differensiert

ADF Test Resultater med differensiering	Verdi
Teststatistikk	-4.507200
p-verdi	0.000191
Antall brukte lags	13.000000
Antall observasjoner brukt	201.000000
Kritisk verdi (1%)	-3.463309
Kritisk verdi (5%)	-2.876029
Kritisk verdi (10%)	-2.574493

Table 12: KPSS Test av kraftproduksjon differensiert

KPSS Test Resultater med differensiering	Verdi
Teststatistikk	0.023137
p-verdi	0.100000
Antall brukte lags	4
Kritisk verdi (10%)	0.347000
Kritisk verdi (5%)	0.463000
Kritisk verdi (2.5%)	0.574000
Kritisk verdi (1%)	0.739000

Table 13: ADF Test av kraftforbruk differensiert

ADF Test Resultater med differensiering	Verdi
Teststatistikk	-5.344445
p-verdi	0.000004
Antall brukte lags	13
Antall observasjoner brukt	201
Kritisk verdi (1%)	-3.463309
Kritisk verdi (5%)	-2.876029
Kritisk verdi (10%)	-2.574493

Table 14: KPSS Test av Kraftforbruk differensiert

KPSS Test Resultater med differensiering	Verdi
Teststatistikk	0.031716
p-verdi	0.100000
Antall brukte lags	6
Kritisk verdi (10%)	0.347000
Kritisk verdi (5%)	0.463000
Kritisk verdi (2.5%)	0.574000
Kritisk verdi (1%)	0.739000

### 3.5.5 Autokorrelasjonsfunksjon (ACF) og Partiell Autokorrelasjonsfunksjon (PACF).

Autokorrelasjonsfunksjon (ACF) måler korrelasjonen mellom tidsserien og tidsseriens egen forsinkelse, også kjent som lags. ACF er praktisk for å kunne se mønstre i tidsserie dataene. Partiell autokorrelasjonsfunksjon (PACF) gir korrelasjonen mellom to punkter i tidsserien, det vil si mellom tidsserien og dens egne forsinkelser. Den tar hensyn til

og fjerner effekten av eventuelle mellomliggende forsinkelser [Wooldridge, 2020]. Målene i AFC og PAFC er med på å identifisere parameterne SARIMAX modellene  $(p,d,q)$ .

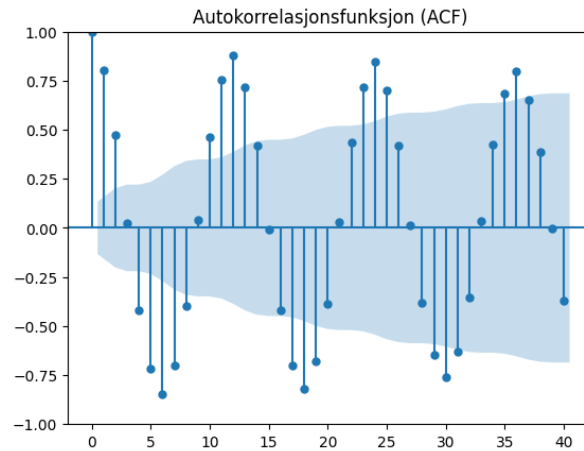


Figure 2: ACF kraftforbruk

For kraftforbruk er ACF gitt i figur 2. Den viser til flere signifikante korrelasjoner ved forskjellige forsinkelser. Det er derfor grunn til å antyde at det er en sterk sesongmessighet eller trend i tidsserien for kraftforbruk.

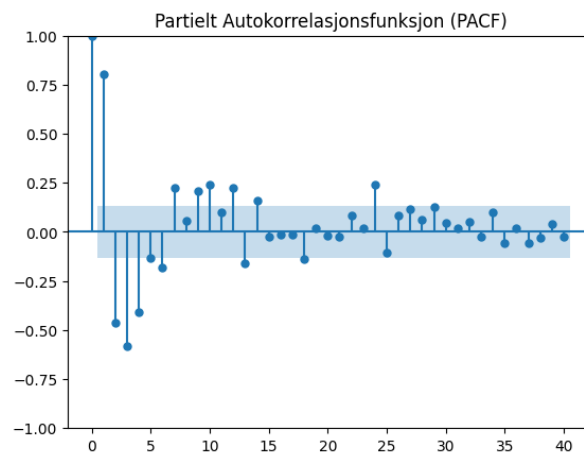


Figure 3: PACF kraftforbruk

I figur 3 viser PACF signifikante korrelasjoner ved lave forsinkelser som er svært høye positive. Dette indikerer at den første forsinkelsen har sterk innflytelse på nåværende verdi. Etter første forsinkelse er det en rask reduksjon, og korrelasjonene ligger nærmere null eller er ikke signifikante.



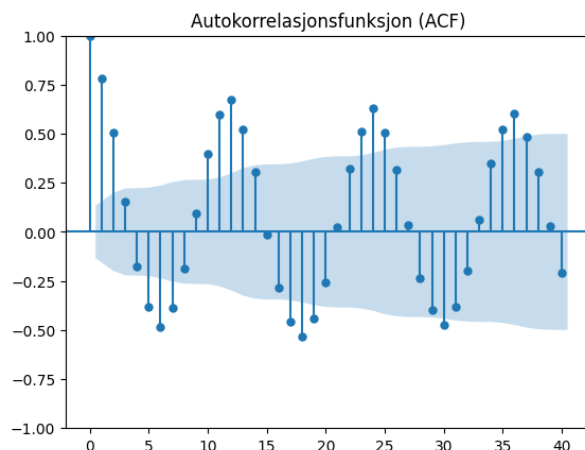


Figure 4: ACF kraftproduksjon

For ACF av kraftproduksjon i figur 4 er det sterke sesongmessig med sykliske mønstre, som kan indikere sterk sammenheng mellom tidsserie data-en på tvers av periodene.

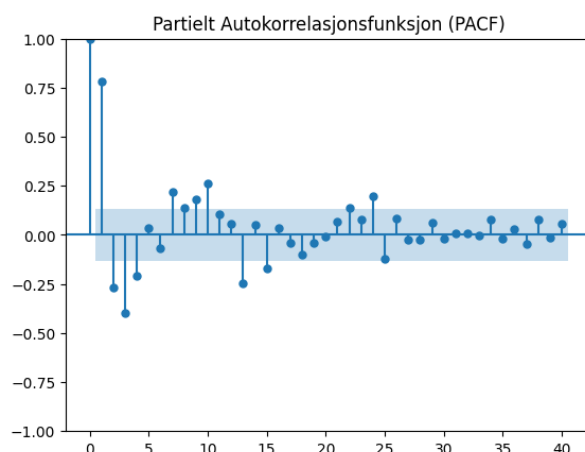


Figure 5: PACF kraftproduksjon

Figur 5 viser at PACF har svært høy signifikant korrelasjon ved første forsinkelse. PACF støtter opp om sterke sesongmessige mønstre som ACF indikerer.

### 3.6 Deskriptiv Statistikk

Datasettet inneholder 216 observasjoner med månedlig data i tidsperioden 2006 til og med 2023.

Fra tabell 15 observeres det at kraftproduksjon varierer betydelig med minimumverdi på rundt 6,9 TWh per måned og en maksimumverdi på 17.5 TWh per måned. Dette viser til variasjonene i kraftproduksjon fra måned til måned, som indikerer at tidsserien for

VARIABLER	Minimum	25-kvartil	50-kvartil (Median)	75-kvartil	Maksimum
Kraftproduksjon TWh	6.879176	10.237120	11.483556	13.071121	17.514542
Kraftforbruk TWh	7.038243	7.038243	10.682303	12.517217	15.650031
BNP per innbygger i NOK	435,736.0	537,238.6	603,957.5	662,535.6	1,046,006.0
Befolkning	4,643,582	4,892,782	5,167,704	5,348,462	5,550,035
Temperatur	-7.42	-0.08	4.71	11.42	17.62
Nedbør	18.834	71.166	95.012	131.269	357.056
Vindstyrke gjennomsnitt	2.53	3.19	3.53	3.98	5.25
Vindkast gjennomsnitt	4.73	5.86	6.41	7.22	9.67
Antall observasjoner	216				
Tidsperiode	2006-01-31	2023-12-31			
Tidsfrekvens	Månedlig				

Table 15: Deskriptiv statistikk

kraftproduksjon inneholder store sesongvariasjoner. Medianen viser en kraftproduksjon på 11.48 TWh, som indikerer at halvparten av av månedene i året produseres det mindre kraft en medianverdien, og halvparten over medianverdien.

Minimumsverdien for kraftforbruket i Norge i tidsperioden 2006-2023 er rundt 7.0 TWh per måned, mens maksimumsverdien viser en verdi på 15.65 TWh. Dette viser i likhet med Kraftproduksjon at Kraftforbruket inneholder sesongvariasjoner. Dette antas som logisk med tanke på hvordan sesongene i Norge utspilles. Medianen for kraftforbruket var 10,68 TWh, som tyder på at det forekommer måneder med betydelig høyere forbruk. Dette er realistisk, da kraftforbruket typisk øker i de kaldere månedene av året.

Befolkningen har økt jevnt fra 4,643,582 til 5,550,035 over tidsperiodenperioden. Temperaturen varierer betydelig, fra -7.42 °C til 17.62 °C, mens Medianen er 4.71 °C. Temperaturen er basert på snittdata fra hele Norge. BNP per innbygger viser en positiv økning i tidsperioden. Nedbør viser en minimumverdi på 18.834 mm nedbør, og en maksimumsverdi på 357.056 mm. Denne store variasjonen i nedbør indikerer at perioder med mye nedbør kan påvirke kraftproduksjonen betydelig, ettersom vannmengden kan lagres i reservoarer.

### 3.7 Korrelasjon og multikollinearitet

Korrelasjon beskriver den statistiske sammenhengen mellom to variabler, som viser hvordan endringer i en variabel er relatert til endringer i en annen. Korrelasjonskoeffisienten, som går fra -1 til 1, måler styrken og retningen på denne sammenhengen. En koeffisient nær -1 indikerer sterk negativ korrelasjon, der en økning i én variabel tilsvarer

en reduksjon i den andre. En koeffisient nær 1 indikerer sterk positiv korrelasjon, der en økning i én variabel tilsvarer en økning i den andre. En koeffisient nær 0 indikerer ingen lineær sammenheng mellom variablene [Wooldridge, 2020].

	Kraftproduksjon	Kraftforbruk	Temperatur	Nedbør	Vindstyrke gjennomsnitt	Vindkast gjennomsnitt	Befolkning	Bruttonasjonalprodukt
Kraftproduksjon	1.000000	0.947097	-0.004040	0.291324	0.092448	0.113892	0.698548	0.671616
Kraftforbruk	0.947097	1.000000	-0.088281	0.311280	0.082831	0.106255	0.675788	0.661717
Temperatur	-0.004040	-0.088281	1.000000	-0.205717	-0.040157	-0.005271	0.295361	0.281656
Nedbør	0.291324	0.311280	-0.205717	1.000000	0.045950	0.018143	0.219520	0.218348
Vindstyrke gjennomsnitt	0.092448	0.082831	-0.040157	0.045950	1.000000	0.896049	0.040508	0.046581
Vindkast gjennomsnitt	0.113892	0.106255	-0.005271	0.018143	0.896049	1.000000	0.052162	0.059685
Befolkning	0.698548	0.675788	0.295361	0.219520	0.040508	0.052162	1.000000	0.994794
Bruttonasjonalprodukt	0.671616	0.661717	0.281656	0.218348	0.046581	0.059685	0.994794	1.000000

Table 16: Korrelasjonstabell

Multikollinearitet viser til den graden av lineær sammenheng mellom flere forklaringsvariabler [Wooldridge, 2020]. Om flere variabler har høy positiv korrelasjon kan dette forsake et multikollinearitetsproblem, altså om det er sterk sammenheng mellom flere av forklaringsvariablene som blir inkludert i modellen på samme tid. Dette kan skape problemer med å isolere en årsakssammenheng som en variabel har på koeffisienten.

I tabell 16 vises det til sterk korrelasjon mellom produksjon og forbruk av kraft. Dette er forventet da produksjon av kraft tilpasses etter forbruk av kraft. Vi ser at BNP per innbygger har positiv korrelasjon på forbruk av kraft. Dette indikerer at ved høyere økonomisk aktivitet er assosiert med høyere kraftforbruk. Nedbør viser en korrelasjon som indikerer at mer nedbør gir høyere kraftproduksjon som er realistisk i henhold til hvordan kraftproduksjonen i Norge i hovedsaklig består av vannkraft.

## 4 Metodikk-tidsserie

### 4.1 Autoregressiv integrert glidende metode (ARIMA)

$$\Delta^d X_t = (1 - L)^d X_t = Z_t, t = 1, 2, \dots, T$$

Box-Jenkins-prosessen [Box et al., 2015] er en matematisk prosess som er utviklet for å kunne predikere fremtidig data basert på tidsseriedata. Metodikken i modellen baserer seg på å identifisere trender gjennom å bruke autoregresjon, glidende gjennomsnitt og sesongforskjeller for å predikere. Box-Jenkins-prosessen estimerer ved bruk av autoregressive (AR), integrerte (I), og glidende gjennomsnitts (MA). Disse prinsippene er kjent gjennom (p,d,q) som blir til Autoregressiv integrert glidende metode [Zolboo et al., 2019].

Autoregressiv integrert glidende metode også kalt ARIMA er en analysemodell hvor en bruker tidsseriedata for å forstå og fremskrive trender i tidsserie dataene [Robert Nau, 2024]. Denne modellen er innenfor rammen til Box-Jenkins-prosessen. ARIMA-modellen er en av de mest brukte modellene for å gjennomføre analyser av tidsserieframskrivninger. ARIMA er bygget på den autoregressive modellen (AR) som er en modell hvor endrende variabler regresserer på sine laggede variabler. Den glidende gjennomsnittsmoellen (MA) som inkluderer avhengigheten mellom observasjon og residualfeil for en modell med laggede observasjoner og en kombinasjon av disse to modellene ARMA-modellen. I tillegg kommer integrert (I) inn som representerer differensieringen av observasjoner for å gjøre den stasjonær, altså verdier i datasettet erstattes med differansen mellom verdiene i dataene og de foregående verdiene.

En standard antagelse for tidsseriemodeller er å ha stokastisk utvikling i tidsserien [Wooldridge, 2020]. Dette vil si at verdiene i tidsserien er delvis tilfeldig og påvirket av sannsynlighetsfordelinger. De stokastiske prosessene inkluderer den autoregressive modellen (AR), glidende gjennomsnittsmoellen (MA), og ARIMA-modellen for å beskrive og fremskrive tidsserier. ARIMA-modellen er kategorisert av tre termer som er p, d, q.

- $p$  er rekkefølgen til AR.
- $q$  er rekkefølgen til MA

- $d$  er antallet differensieringer som kreves for å gjøre tidsserien stasjonær

Ved en ARIMA-modellering er en viktig del å undersøke om tidsserien er stasjonær eller ikke [Box et al., 2015]. Ved stasjonære tidsseriedata menes at variablene i tidsserie dataene vil variere rundt forventet verdi, blir den utsatt for sjokk vil den konvergere tilbake til initielle forventningsverdi over tid. Motsatt vil det være med ikke-stasjonære tidsseriedata, da vil egenskapene til verdiene endre seg med tiden etter et sjokk og ikke komme tilbake til initiell forventningsverdi. Dette vil samtidig påvirke resultater i forskjellig grad. For å kontrollere om en tidsserie er stasjonær eller ikke-stasjonær er Augmented Dickey-Fuller test (ADF) en metode som gir svar på dette.

For at en tidsserie skal være stasjonær, må den oppfylle visse statistiske kriterier konstant over tid [Wooldridge, 2020].

1. Første kriterium er **konstant gjennomsnitt** over tid. Dette innebærer at forventningsverdien til tidsserien ikke endrer seg uavhengig av tidsrommet man tar for seg.
2. Det skal være **konstant varians**, som betyr at variansen (spredningen) i tidsseriedataene ikke endrer seg over tid.
3. Til slutt skal det være **konstant kovarians**. Dette innebærer at korrelasjonen mellom tidsseriedata i forskjellige perioder kun avhenger av deres tidsforskyvning (lag) og ikke de spesifikke tidspunktene.

Autokovariansen måler hvor mye to observasjoner i tidsseriedataene, adskilt av et visst lag, avviker fra sine gjennomsnitt i fellesskap over tid. Er alle kriteriene oppfylt, vil tidsserien være ‘strengt’ stasjonær. Siden det er uvanlig å arbeide med tidsseriedata som er ‘strengt’ stasjonær, er det mer vanlig å arbeide med tidsseriedata som er ‘svakt’ stasjonær. Dette betyr at tidsseriedataene har konstant gjennomsnitt og konstant varians, men ikke nødvendigvis konstant kovarians.

#### 4.1.1 Sesongmessig autoregressive integrert glidende gjennomsnitt med eksogene variabler (SARIMAX)

$$(1 - \phi_1 B)(1 - \phi_1 B_1 2)(1 - B)(1 - B_1 2)X_t = (1 + \theta_1 B)(1 + \Theta_1 B_1 2)$$

[Alqatawna et al., 2023]

- $\phi_1$  er det ikke-sesongmessige AR-parameteret.
- $\theta_1$  er det ikke-sesongmessige MA-parameteret.
- $\Phi_1$  er det sesongmessige AR-parameteret.
- $\Theta_1$  er det sesongmessige MA-parameteret.
- $B$  er tilbakeskift-operatoren.
- $\epsilon_t$  er feilleddet.

ARIMA-modellen er en god modell som nevnt bruker tidsseriedata for å forstå og fremskrive trender i tidsseriedataene. Ved å inkludere eksogene variabler til modellen kan resultatene bli mer robuste. Fordi ARIMA-modellen antar stasjonærhet i tidsseriedataen kan en utvidelse av ARIMA-modellen brukes.

Sesongmessige forhold i tidsserie data handler om gjengående forutsigbare mønstre i dataene over tid [Hyndman and Athanasopoulos, 2018]. Ved betraktning av data som inneholder sesongmessige forhold tyder det på at systematisk variasjon som repeterer seg i henhold til tidsrammen i dataene. Dette kan betraktelig påvirke den overordnede trenden for tidsserien, og derfor er det viktig å forstå sesongmessige forhold for å kunne nøyaktig predikere ved hjelp av å forstå den naturlige syklusen og få den med i prediksjonen.

Gjennom å inkludere eksogene variabler og sesongmessige forhold, legger vi til S og X i ARIMA [StatsModels, 2024]. I SARIMAX-modellen blir tilleggsforsinkelsene justert etter frekvens. Det tillater differensiering av data etter sesongfrekvens, men også etter ikke-sesongfrekvens. Eksogene variabler blir inkludert og medberegnet da det skal gjennomføres prediksjoner med modellen.

For å gjennomføre SARIMAX-modellen har vi benyttet oss av programmeringsprogrammet Python og bibliotekpakken SARIMAX fra Statsmodels [StatsModels, 2024]. Ved bruk av denne pakken kan vi gjennomføre modellen ved bruk av effektive koder i Python.

For å finne den beste rekkefølgen for SARIMAX-modellen (p,d,q), innebærer det å bestemme antall AR-parametere, differensieringer og MA-parametere. Standard for AR(1)-modellen er (1,0,0) [StatsModels, 2024]. Gjennom Autokorrelasjonsfunksjon (ACF) og Partiell Autokorrelasjonsfunksjon (PACF) kan vi identifisere den beste parameterkombinasjonen for SARIMAX-modellen. Hvilke parametere som egner seg best, må besluttes både teoretisk og gjennom praktisk visualisering. For sesonglengde er m satt lik 12 for månedsfrekvens.

## 4.2 Prophet-modellen

Prophet-modellen er en tidsserie-prognosemodell som ble introdusert av Facebook (nå META) [Taylor and Letham, 2017]. Modellen fungerer best med tidsserier som har sterke sesongvariasjoner og flere sesonger med historiske data. Prophet er betraktet som en ikke-lineær regresjonsmodell og vises matematisk på formen:

$$y_t = g_t + s(t) + h(t) + \epsilon_t [\text{Taylor and Letham, 2018}]$$

$g_t$  er trend som viser til den generelle retningen tidsserien beveger seg mot over tid. Om det er økende trend over tid vil trenden være oppadgående.  $s(t)$  viser til sesongmessigheten, det vil si at det er mønstre som repeterer seg over bestemte tidsperioder.  $h(t)$  er effekten av helligdager eller spesielle dager.  $\epsilon_t$  er feilbegrep for hvitt støy, dette er tilfeldige variasjoner som ikke kan forklares av modellen.

Viktige funksjoner ved modellen er:

- Sesongvariasjon
- Trend
- Helligdager og hendelser
- Håndtering av outliers
- Manglende data

### 4.2.1 Trendkomponenten

Trendkomponenten i Prophet fanger opp den generelle retningen tidsserien beveger seg i [Taylor and Letham, 2018]. Den kan modelleres på to hovedmåter:

1. Lineær vekst antar en konstant økning eller reduksjon over tid. Dette er egnet for data som vokser eller minker i en jevn hastighet uten å nå en metningsgrense. Matematisk er det representert som:

$$g(t) = kt + m \text{ [Taylor and Letham, 2018]}$$

Hvor  $k$  er stigningstallet som angir hvor mye verdien endres ved hvert tids-steg, og  $m$  er forskyvningen/skjæringspunktet som representerer verdien ved startpunktet av tidsserien.

2. Logisk vekst, egnet for scenarier der vekst mettes med en maksimal kapasitet, som for eksempel befolkningsvekst i et begrenset miljø. Dette modelleres som:

$$g(t) = \frac{C}{(1 + \exp(-k(t - m)))} \text{ [Taylor and Letham, 2018]}$$

Der  $C$  er bærekapasiteten,  $k$  er veksthastigheten og  $m$  er midtpunktet hvor veksthastigheten endrer seg fra økning til reduksjon.

### 4.2.2 Sesongvariasjons komponenten

Sesongvariasjons komponenten modellerer periodiske svingninger i dataene. Prophet inkluderer innebygd støtte for årlige, månedlige, ukentlige og daglige sesongvariasjoner som kan fange opp regelmessige mønstre som oppstår ved disse intervallene [Taylor and Letham, 2018]. Sesongvariasjoner modelleres ved hjelp av Fourier-serier som effektivt fanger opp sykliske mønstre. Denne modelleres slik:

$$s(t) = \sum_n \left( a_n \cos \left( \frac{2\pi nt}{P} \right) + b_n \sin \left( \frac{2\pi nt}{P} \right) \right) \text{ [Taylor and Letham, 2018]}$$



Hvor  $P$  er perioden, for eksempel 12 for månedlig data,  $N$  er antallet Fourier-komponenter og  $a_n$  og  $b_n$  er koeffisientene for de respektive sinus og cosinuskomponentene.

### 4.2.3 Helligdager og spesielle hendelser

Helligdager og spesielle hendelser kan ha betydelige effekter på tidsseriedata, og kan forårsake avvik fra regelmessige mønstre. Modellen tar for seg dette som en sum av indikatorfunksjoner for hver helligdag eller hendelse og modelleres som [Taylor and Letham, 2018]:

$$h(t) = \sum_{i=1}^h \delta_i \mathbf{1}_{\{t \in D_i\}} \text{ [Taylor and Letham, 2018]}$$

Hvor  $H$  er antallet unike helligdager eller hendelser,  $\delta_i$  er effekten av den  $i$ -te helligdagen eller hendelsen og leddet  $\mathbf{1}_{\{t \in D_i\}}$  er indikatorfunksjon som er 1 hvis  $t$  faller på datoen  $D_i$ , og 0 ellers.

## 4.3 Evalueringsmål

Bruken av verktøy som Mean Absolute Error (MAE), Mean Absolute Percentage Error (MAPE), Mean Squared Error (MSE) og Root Mean Squared Error (RMSE) for å teste en modell er avgjørende for å evaluere ytelsen og nøyaktigheten til predikative modeller i statistikk [Wooldridge, 2020]. Disse feilmålingene gir ulike perspektiver på hvor godt en modell forutsier data, og deres bruk kan avsløre ulike aspekter ved modellens ytelse.

- **MAE** måler gjennomsnittet av de absolutte avvikene mellom predikerte og faktiske verdier. Det gir en enkel og intuitiv forståelse av gjennomsnittlig feilmargin, som gjør det enkelt å tolke [Wooldridge, 2020].
- **MAPE** tar det et skritt videre ved å uttrykke feilen som en prosentandel, som er nyttig for å forstå den relative feilen uavhengig av dataenes skala [Wooldridge, 2020].
- **MSE**, derimot, kvadrerer feilene før gjennomsnittet av dem, som gir større vekt på større feil. Dette kan være fordelaktig i situasjoner hvor store avvik skal straffes strengere enn små [Wooldridge, 2020].

- **RMSE**, som er kvadratroten av MSE, gir en feilmetrikk i samme enhet som den opprinnelige variabelen, som kan gjøre resultatene mer forståelige og sammenlignbare i praktisk anvendelse [Wooldridge, 2020].

Disse ulike beregningene er komplementære og kan gi en bredere forståelse av en modells ytelse. MAE og MAPE er spesielt nyttige for å få en intuitiv følelse av gjennomsnittsfeil, mens MSE og RMSE kan være mer informative i tilfeller hvor større feil har en betydelig negativ innvirkning. Ved å bruke disse beregningene i kombinasjon kan en få en helhetlig vurdering av modellens presisjon og robusthet, og dermed ta bedre informerte beslutninger om modellens anvendelighet og pålitelighet i praksis.

#### 4.3.1 MAE

Mean absolute error (MAE) [Wooldridge, 2020] er gjennomsnittet av de absolutte forskjellene mellom de faktiske verdiene og de predikerte verdiene. Det måler gjennomsnittlig størrelse på feilene uten å ta hensyn til deres retning [Wooldridge, 2020]. Matematisk kan det vises som:

$$\text{MAE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i|$$

Hvor  $y_i$  er de faktiske verdiene og  $\hat{y}_i$  er de predikerte verdiene, og  $n$  er antallet observasjoner.  $|y_i - \hat{y}_i|$  er absolutt differanse mellom faktisk og predikert verdi for observasjon  $i$ .

#### 4.3.2 MAPE

Mean absolute percentage error (MAPE) [Kim and Kim, 2016] gir gjennomsnittet av de absolutte prosentvise forskjellene mellom de faktiske verdiene og de predikerte verdiene. Det måler nøyaktigheten som en prosentandel, som gjør det skaleringsuavhengig og lettere å tolke på tvers av forskjellige datasett. Formelen er som følger:

$$\text{MAPE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \times 100$$

Hvor forskjellen på MAPE og MAE er leddet  $\left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right|$  som er absolutt prosentvis feil for observasjonen  $i$ .

### 4.3.3 MSE

MSE står for mean squared error [Wooldridge, 2020] som er gjennomsnittet av kvadratet til feilen, hvor feilen er forskjellen mellom den faktiske verdien og den predikerte verdien.

$$\text{MSE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$$

Hvor  $y_i$  er de faktiske verdiene og  $\hat{y}_i$  er de predikerte verdiene, og  $n$  er antallet observasjoner. Leddet  $(y_i - \hat{y}_i)^2$  er kvadrert differanse mellom faktisk og predikert verdi for observasjon  $i$ .

### 4.3.4 RMSE

RMSE står for root mean squared error og er kvadratroten av MSE [Wooldridge, 2020]. Det gir et mål på gjennomsnittlig størrelse på feilen.

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}$$

Denne er helt lik som MSE, forutenom at vi har kvadraturen  $\sqrt{\quad}$  som brukes i RMSE for å bringe enheten tilbake til samme skala som de opprinnelige dataene.

### 4.3.5 Prosess for evalueringsmål

Datasettet deles i to deler: et treningssett og et testsett [Weiss, 2021]. Treningssettet benyttes for å trene modellen til å gjøre fremskrivninger. Testsettet anvendes deretter for å evaluere modellens nøyaktighet og pålitelighet. Størrelsen på testsettet kan variere avhengig av datasettes karakteristika eller modellens spesifikasjoner. Evalueringskriteriene baserer seg på modellens prediksjoner fra testsettet og benyttes til å vurdere hvor godt modellen kan fremskrive ny data.

## 5 Resultater

### 5.1 Evalueringsmålene

I denne analysen ble to ulike fremskrivningsmodeller, SARIMAX og Prophet, evaluert for å forutsi kraftforbruk og -produksjon i Norge. Disse modellene ble vurdert basert på fire evalueringsmål: MSE, RMSE, MAPE og MAE, som samlet sett gir forståelse for modellenes nøyaktighet og pålitelighet. Evalueringsperioden for Prophet-modellen er 36 måneder, mens den er 12 måneder for SARIMAX-modellen. Prophet-modellen er satt opp med en hyperparameter for trendens fleksibilitet lik 0.1. Dette indikerer at modellen tillater en viss grad av trender uten å være for sensitiv mot støy. En lavere verdi ville gjort modellen mer rigid med hensyn til å tillate trender. SARIMAX-modellens prediksjon er utført med parameterne (1,1,1) for kraftforbruk og (1,1,2) for kraftproduksjon. AR-leddet og MA-leddet ble bestemt etter gjennomføringen av ACF og PACF. SARIMAX-modellen er satt til å førstedifferensiere for å fjerne trender og gjøre dataene stasjonære etter vurderingene gjort i ADF- og KPSS-testene. Differensieringsleddet,  $d$ , er satt til 1, med begrunnelse i at dataene trengte å differensieres en gang for å bli stasjonære.

Evalueringsmålene er gitt i tabell 17:

Mål	Model	MSE	RMSE	MAPE	MAE
Forbruk	SARIMAX	3,095,509,492,879	1,759,406	12.71%	1,543,852
	Prophet	2,258,384,370,582	1,502,792	12.29%	1,287,170
Produksjon	SARIMAX	770,193,725,365	877,607	5.41%	687,950
	Prophet	4,969,234,185,566	2,229,178	14.67%	1,888,025

Table 17: Modellenes evalueringsmål

Resultatene fra evalueringsmålene indikerer at det er ulike modeller som gir best ytelse for prediksjon for forskjellige typer bruk. SARIMAX-modellen viser bedre ytelse ved prediksjon av kraftproduksjon i Norge. Derimot viser Prophet-modellen til bedre ytelse for kraftforbruket i Norge ut fra evalueringsmålene.

For kraftforbruk viser MSE-verdien en lavere verdi for Prophet-modellen med 2.26 billioner MWh<sup>2</sup> sammenlignet med SARIMAX-modellen med 3.01 billioner MWh<sup>2</sup>. Dette indikerer at Prophet-modellen tilpasser seg bedre tidsserien for kraftforbruk. RSME

verdien indikerer også at Prophet modellen har mer nøyaktighet i fremskrivningen for kraftforbruk i Norge. Dette er en indikasjon som blir styrket av MAPE som viser 12.29% prosent med en MAE-verdi på 1,287,169 MWh versus SARIMAX som her en MAPE på 12.71% med MAE verdi på 1,543,852 MWh. Dette understreker Prophet-modellens sterkere presisjon for prediksjon av kraftforbruk i Norge.

Resultatene av evalueringsmålene til kraftproduksjon i Norge viser MSE-verdien en vesentlig lavere verdi for SARIMAX-modellen på 0.77 billioner MWh<sup>2</sup> sammenlignet med Prophet-modellen på 4.97 billionerMWh<sup>2</sup>. Resultatet indikerer en betydelig bedre modelltilpasning for SARIMAX modellen hva gjelder kraftproduksjon. RMSE-verdien viser en høyere nøyaktighet av SARIMAX-modellen. I henhold til Nøyaktige prosentvise fremskrivningen viser MAPE en betydelig lavere prosentandel på 5.41% sammenlignet med Prophet-modellen på 14.67% som indikerer at SARIMAX har en mye mer nøyaktig predikasjon i henholdt til tidsserien. Dette blir styrket av resultatet i MAE hvor verdien på SARIMAX-modellen er 687,950 MWh versus Prophet-modellen med verdi på 1,888,024 MWh.

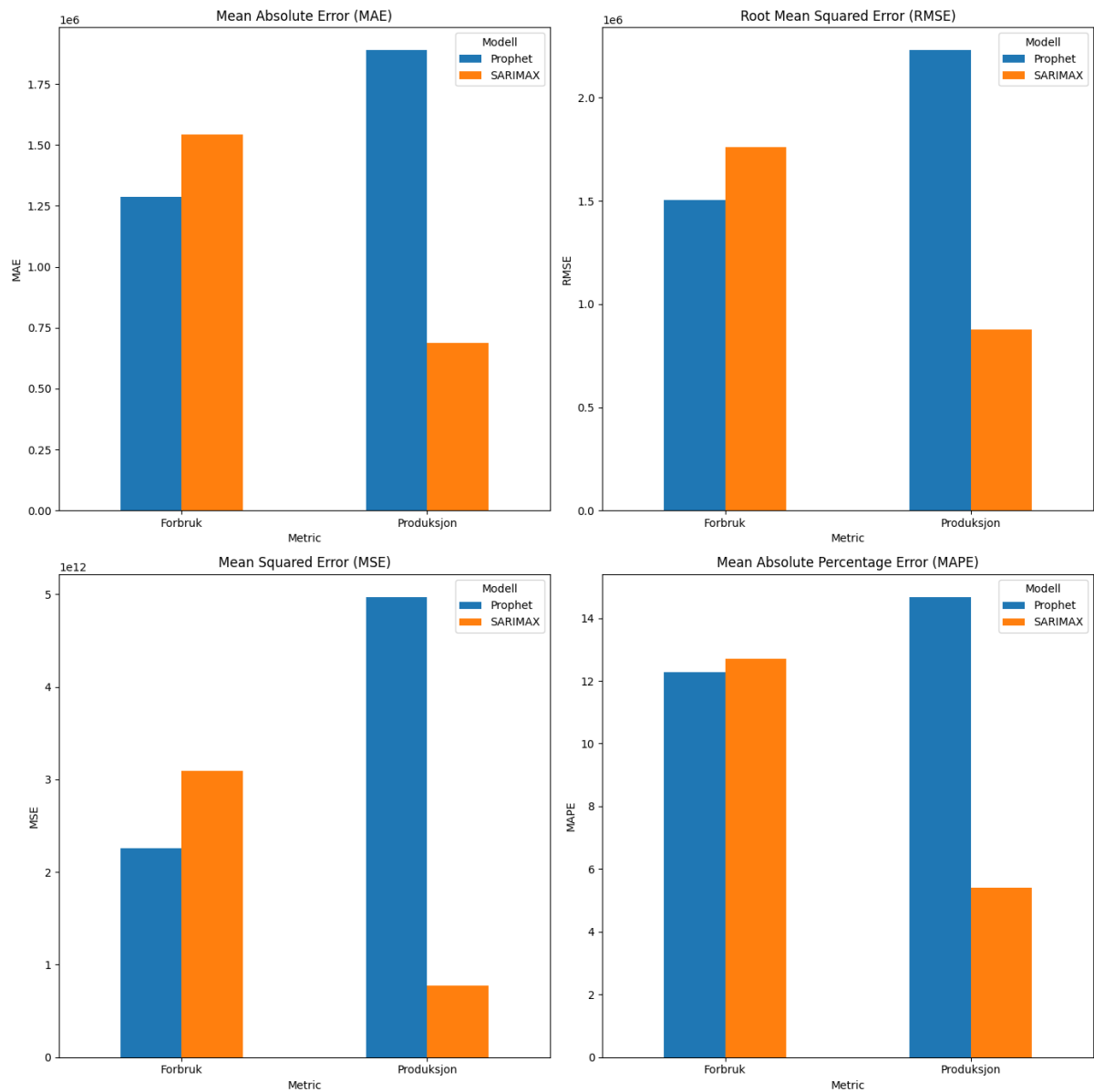


Figure 6: Visualisering av evalueringsmål

Det kan diskuteres hvorvidt evalueringsmålene er meningsfulle for hensikten til modellene. Målene evaluerer hvor godt modellen trener og predikerer basert på tidsseriens verdier. Det praktiske problemet ligger likevel i å forutsi fremtidig kraftforbruk og -produksjon mest nøyaktig mulig, for å gi fremtidsutsikter for kraftbalansen i Norge.

## 5.2 Framskrivningene

Gjennom å analysere resultatene av modellene for forbruk og produksjon av kraft i Norge får vi et praktisk bilde av hvordan modellene fremskriver i henhold til hverandre. I tabell 18 presenteres resultatene av fremskrivningen for hver modell fra 2024 frem til 2040. Dette tilsvarer 206 perioder<sup>8</sup> med framskrivning i modellene. Basert på aggregerte data fra 216 tidligere perioder.

Dato	Prophet Kraft-produksjon	Prophet Kraftforbruk	SARIMAX Kraft-produksjon	SARIMAX Kraftforbruk	Prophet Balanse	SARIMAX Balanse
2024	150.397435	142.129602	148.806191	137.611355	8.267833	11.194836
2025	154.704729	144.862778	150.468407	140.311517	9.841951	10.156890
2026	159.666126	149.317988	149.865964	147.282982	10.348138	2.582982
2027	165.597022	154.780235	161.361885	159.468361	10.816787	1.893524
2028	168.139917	156.530377	157.322815	153.937111	11.609540	3.385704
2029	174.184046	160.236956	163.756032	162.478458	13.947090	1.277574
2030	179.015872	160.089171	167.179990	164.209146	18.926701	2.970844
2031	180.683291	155.787003	166.984324	163.869057	24.896288	3.115267
2032	183.218533	157.082201	172.713925	171.652571	26.136332	1.061354
2033	181.779380	152.297702	178.569771	178.591796	29.481678	-0.022025
2034	180.367515	151.641537	183.786115	182.768120	28.725978	1.017995
2035	181.791449	158.231042	187.916832	183.940942	23.560407	3.975890
2036	183.763267	159.547803	189.667780	187.781494	24.215464	1.886286
2037	189.311007	171.753732	190.186956	190.159735	17.557275	0.027221
2038	196.351996	183.481493	201.392276	194.266560	12.870503	7.125716
2039	201.821391	189.172752	197.693274	184.373839	12.648639	13.319435
2040	204.603243	191.570732	205.246595	189.381855	13.032511	15.864740

Table 18: Modellenes framskrivninger fra 2024-2040 med kraftbalanse

Resultatene for fremskrivning av modellene for kraftforbruk og -produksjon viser en økning i begge analysene fra 2024 til 2040. Av fremskrivningene viser tabell 18 at Prophet-modellen får vi en logisk vekst, altså en s-formet vekstkurve, for kraftproduksjon og -forbruk. Kraftproduksjon med Prophet-modellen viser en jevn økning med en liten nedgang fra 2032, før den igjen har økende vekst fra 2035. For Prophet-modellen med hensyn på forbruk, viser resultatene en stigende vekst. Det er en nedgang i prediksjonen fra 2030 til 2034, før prediksjonen går opp igjen. Denne nedgangen fører til et stort kraftbalanseoverskudd ifølge Prophet-modellen i dette tidsintervallet.

Resultatene for SARIMAX-modellen er også jevnt økende som Prophet-modellen, men med kraftigere stigning. Resultatene viser en rask nedgang i 2028 og i 2039 for både

<sup>8</sup>17\*12=206

forbruks- og produksjonsresultatene. Disse nedgangene følger etter en rask økning som antagelig skyldes en trend som modellen fanger opp. Dette ser en tydeligere i figur 7

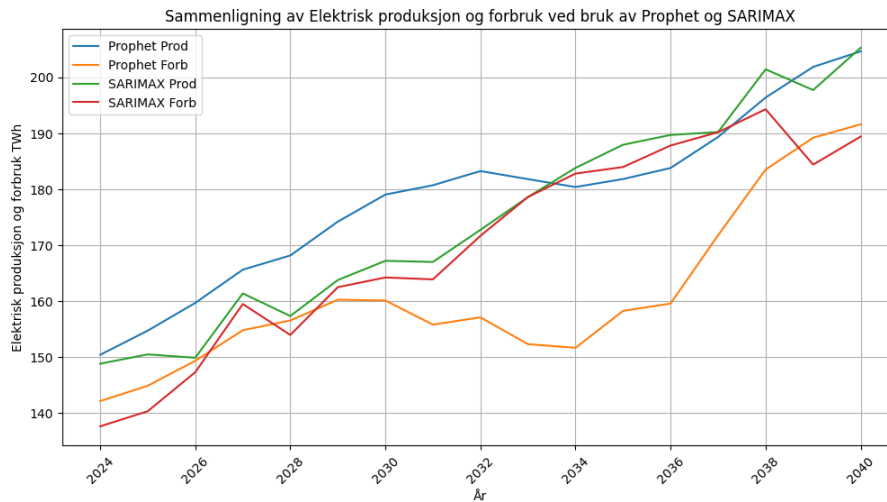


Figure 7: Sammenligning av SARIMAX og Prophet

For begge modellene viser resultatene av framskrivningen en positiv kraftbalanse i alle år frem til 2040, bortsett fra SARIMAX-modellen i 2033 hvor det er et underskudd på 0,022025 TWh. Vi ser likevell forskjeller i begge modellene, hvor Prophet-modellen har en mer positiv kraftbalanse enn SARIMAX-modellen over hele tidsperioden. SARIMAX-modellen har derimot en mer jevn positiv kraftbalanse enn Prophet-modellen, som viser flere svingninger, spesielt på grunn av at forbruket av elektrisk kraft får en periode med nedgang i den predikerte tidsperioden.



## 6 Diskusjon

I denne analysen har vi arbeidet med å forutsi fremtidig kraftproduksjon og -forbruk i Norge ved bruk av tidsseriemodellering og en top-down tilnærming, som en alternativ løsning til NVE sin bottom-up-tilnærming. En tilnærming uten å pålegge modellen mange tilleggsantakelser som kan føre til feil, er viktig å diskutere med et kritisk blikk. Dette diskusjonskapittelet vil drøfte fordeler og ulemper ved en top-down tilnærming sammenlignet med en bottom-up-tilnærming. Videre vil modellenes robusthet og pålitelighet diskuteres for å reflektere over praktiske problemstillinger angående framskrivning av kraft i Norge.

### 6.1 Fordeler og ulemper med top-down tilnærming

Fordelen med en relativt enkel tidsserietilnærming for framskrivning av fremtidige observasjoner er at risikoen for feil reduseres. Ved bruk av en bottom-up-tilnærming bygges modellen opp fra bunnen ved hjelp av detaljert data om hver enkelt del av systemet. En top-down-modell benytter aggregert data som allerede er tilgjengelig og forutsetter predikering basert på data av energisystemet. Bottom-up-tilnærmingen krever store ressurser gjennom datainnsamling på mikronivå[Lien et al., 2018a], i motsetning til top-down modellen som krever eksisterende data på makronivå og er relativt enkelt å samle inn med lavere ressursbruk. Eksisterende makrodata gir rask innsikt i sesongvariasjoner og trender som er vesentlig for analyse av kraftproduksjon og -forbruk.

Samtidig er det ulemper knyttet til bruk av top-down-tilnærming når det gjelder data og datainnsamling sammenlignet med bottom-up-tilnærmingen. Top-down-tilnærmingen er avhengig av at det er god kvalitet på de historiske dataene som skal benyttes i analysen. Den krever fullstendige datasett som ikke har unøyaktigheter, da dette påvirker modellens evne til å predikere fremtidige observasjoner. Eksterne faktorer som politiske beslutninger og teknologisk utvikling blir utelatt ved bruk av en top-down tilnærming, og kan påvirke modellens nøyaktighet[Böhringer and Rutherford, 2008]. En vesentlig utfordring med top-down-tilnærmingen er manglende detaljnivå. Med aggregert data blir lokale variabler oversett som kan ha innvirkning på kraftproduksjon og -forbruk. Dette

kan føre til at analysen får mindre nøyaktighet i prediksjonene.

## 6.2 Sammenligning av SARIMAX og Prophet

Det finnes flere typer tidsseriemodeller som er egnet til en top-down-tilnærmingen knyttet til kraftproduksjon og -forbruk. I analysen er det benyttet to modeller: Prophet- og SARIMAX-modellen. Prophet-modellen er benyttet for sin evne til å håndtere tidsserier med sterke sesong- og trendkomponenter, samtidig som modellen tilbyr høy brukervennlighet med færre manuelle justeringer. SARIMAX-modellen er inkludert i analysen for sin fleksibilitet med hensyn til eksogene variabler og detaljerte diagnostiske evner. Den har samtidig en evne til å håndtere sesongmessige mønstre i dataene. SARIMAX krever en høyere statistisk forståelse for riktig tolkning av modellens diagnostikk og manuell justering av modellens innstillinger basert på diagnostikken.

Prophet er spesielt egnet for brukere som ønsker raske og enkle prediksjoner uten å dykke dypt ned i modellparametere. Denne tilnærmingen er ideell for datasett med tydelige sesongmønstre, samt da helligdager og spesielle hendelser har betydelige påvirkninger. Prophet tilbyr også en intuitiv visuell fremstilling av trend- og sesongkomponenter, som kan være verdifull for framstilling av funn.

På den andre siden er SARIMAX bedre egnet for avanserte brukere med solid kunnskap innen tidsseriemodellering og som krever detaljert kontroll over modellspesifikasjoner. SARIMAX er spesielt effektiv for datasett med komplekse dynamikker som krever modellering av både sesong- og autoregressive komponenter. Denne modellen gir også muligheten til å integrere eksterne regressorer som vær og økonomiske indikatorer, som kan forbedre nøyaktigheten. Ved å bruke begge modellene og sammenligne resultatene kan man få et helhetlig bilde av deres ytelse under ulike forhold.

ADF-testen og KPSS-testen indikerte at tidsserien som ble analysert, er trendstasjonær. Modellene i analysen har forskjellige forutsetninger til å håndtere utfordringer rundt stasjonaritet. Prophet håndterer trend-stasjonær tidsserie naturlig ved å modellere sesongkomponenter eksplisitt. SARIMAX har et krav om stasjonaritet og bruker differensiering gjennom integrering for å håndtere denne trendstasjonariteten. Ved å sette

(d) parameteren i SARIMAX lik 1, tvinges modellen til å differensiere tidsserien slik at modellen selv justerer for trendstasjonaritet.

I analysen indikerer resultatene fra evalueringsmålene at modellene kan være effektive for å predikere fremtidig kraftproduksjon og -forbruk i Norge. Evalueringsmålene MSE og RMSE viser modellenes evne til å håndtere store avvik. Resultatene viser at hver prognosemodell er best egnet for hvert sitt formål. SARIMAX utmerker seg bedre i forhold til predikering av kraftproduksjon. Prophet viser seg å være bedre enn SARIMAX til å håndtere de største avvikene for kraftforbruk. Disse resultatene gjenspeiles i MAE og MAPE testene, som gir en forståelse av modellenes evne til å forstå feilmarginer. Modellene scorer relativt likt på evalueringsmålene for kraftforbruk med henholdsvis 12,71% for SARIMAX og 12,29% for Prophet, se tabell 17. Derimot er det en tydelig forskjell i kraftproduksjon, hvor SARIMAX har en feilrate på 5,41% sammenlignet med Prophet som har en feilrate på 14,67%, se tabell 17.

Evalueringsmålene indikerer at tidsseriemodellene teoretisk sett gir en relativt nøyaktig framskrivning av kraftproduksjon og -forbruk i Norge. Det er imidlertid vesentlig å diskutere om de også er nøyaktige i praksis. Basert på evalueringsmålene fra tabell 17 viser modellen lovende resultater, samtidig observeres det betydelige forskjeller i prediksjonene mellom Prophet og SARIMAX. Evalueringsmålene viser mest likhet mellom Prophet og SARIMAX ved predikering av kraftforbruk. Figur 9 viser sammenligning av Prophet og SARIMAX for kraftforbruk, og illustrerer at selv om begge modellene ender omtrent på samme predikerte verdier i 2040, er det store forskjeller i prediksjonene frem til 2040. Prophet-modellen viser en betydelig nedgang i kraftforbruket i en femårsperiode før kraftforbruket øker igjen fra 2034, som resulterer i et stort energioverskudd i denne perioden. Prophet-modellen er følsom for sesongvariasjoner og trendendringer som kan forklare hvorfor modellen viser til en midlertidig nedgang. SARIMAX viser til en energibalanse som ligger omtrentlig balansert rundt null, med unntak av de to første prediksjonsårene 2024-2025 og de to siste 2039-2040. I disse årene viser prediksjonen til en positiv kraftbalanse på over 10 TWh. Forskjellene mellom modellene fremhever viktigheten av å vurdere modellenes praktiske nøyaktighet.

### 6.3 Analysens fremskrivninger sammenlignet med NVE

I sammenligning av tidsseriemodellene med NVE sine prognoser fra den siste rapporten i 2023 for langsiktig kraftmarkedsanalyse for Norge, viser NVE en prediksjon på 165 TWh for kraftproduksjon i 2030 som vist i tabell 19 <sup>9</sup>. Prophet-modellen viser en kraftproduksjon på 179 TWh, som er vesentlig høyere enn NVE sin prediksjon. SARIMAX-modellen, derimot viser en kraftproduksjon på 167 TWh, 2 TWh mer enn NVE sine prediksjoner. For kraftforbruk viser NVE sin rapport til et forbruk på 163 TWh som vist i tabell 20. Prophet predikerer et kraftforbruk på 160 TWh, mens SARIMAX predikerer et kraftforbruk på 164 TWh.

Produksjon i TWh	NVE (2019)	NVE (2020)	NVE (2021)	NVE (2023)	Prophet	SARIMAX
2022	164	164	-	-	-	-
2025	169	167	164	-	154	150
2030	174	169	166	165	179	167
2035	-	-	-	180	181	187
2040	184	182	184	203	204	205

Table 19: Framskrivning sammenlignet med NVE(Produksjon)

Forbruk i TWh	NVE (2019)	NVE (2020)	NVE (2021)	NVE (2023)	Prophet	SARIMAX
2022	142	142	-	-	-	-
2025	150	149	146	-	144	150
2030	153	155	159	163	160	164
2035	-	-	-	176	158	183
2040	159	163	174	191	191	189

Table 20: Framskrivning sammenlignet med NVE(Forbruk)

I forhold til energibalansen for prediksjonene, viser SARIMAX en positiv balanse på 3 TWh, mens Prophet viser en energibalanse på 19 TWh, som er betydelig større. Sammenlignet med NVE sin predikerte kraftbalanse på 2 TWh i overskudd, viser dette til modellene gir ulike resultater i forhold til hverandre og NVE i 2030.

I NVE sin neste prognose for 2035 forutses en kraftproduksjon på 180 TWh og et kraftforbruk på 176 TWh. Dette gir en kraftbalanse med overskudd på 4 TWh som er en økning fra 2030. Prophet-modellen predikerer en kraftproduksjon på 182 TWh og et kraftforbruk på 158 TWh i 2035, som gir et kraftoverskudd på 23 TWh. SARIMAX-modellen viser en

<sup>9</sup>For enkelhetens skyld er verdiene rundet til nærmeste TWh fra verdiene gitt i tabell 18.

større vekst i kraftproduksjon med 188 TWh og et økt kraftforbruk på 184 TWh. Dette gir et kraftoverskudd på 4 TWh.

Det siste året for prediktering gjort av NVE er 2040. Kraftproduksjonen er predikert til å ligge på 203 TWh, med et kraftforbruk på 191 TWh. Kraftoverskuddet er dermed predikert til å ligge på 12 TWh for 2040 i henhold til NVE sine prediksjoner. Prophet-modellen predikerer en kraftproduksjon på 205 TWh, og et kraftforbruk på 192 TWh. Dette gir et estimert kraftoverskudd på 13 TWh. SARIMAX predikerer en kraftproduksjon på 205 TWh med et kraftforbruk på 189 TWh. Kraftbalansen for SARIMAX blir estimert til å være 16 TWh.

Ved sammenligning av resultatene fra begge tidsseriemodellene i forhold til NVE sine prediksjon som benchmark, observeres det mindre variasjon i energibalansen ved predikering med SARIMAX-modellen enn med Prophet-modellen. Dette kan indikere at SARIMAX-modellen har bedre evner til å fange opp og justere for mønstre og svingninger i dataene. Modellen fremstår til å mer effektivt tilpasse seg sesongvariasjoner som påvirker kraftproduksjon og -forbruk, som er viktig for nøyaktige kraftprediksjoner. Under samme betingelser presterer Prophet mindre presist om modellen ses imot NVE sine prediksjoner. Dette kan forklares med at Prophet-modellens struktur og tilnærming til sesongkomponenter og trendjusteringer ikke er like robuste som SARIMAX. Det skal bemerkes at Prophet er en modell som er mer håndterbar og lettere å anvende enn SARIMAX, og derfor kan være egnet for andre typer tidsserieanalyser.

#### **6.4 Videre analyse og begrensninger**

For å øke nøyaktigheten av modellen, kan det være nødvendig å inkludere flere relevante variabler og forbedre databehandlingen. Spesielt kan strømpris være en variabel med betydelig innvirkning på energiforbruk og -produksjon. Ved å integrere historiske strømpriser i datasettet, kan man potensielt fange opp markedsdynamikker som påvirker både forbruk og produksjon. Videre kan det være fordelaktig å inkludere forsinkede verdier av strømprisen for å modellere tidsforsinkede effekter. Avansert feature engineering, som å lage interaksjonsvariabler mellom strømpris og værforhold, kan også bidra til

å forbedre modellens nøyaktighet.

Sortering av data i prisområder (som NO1, NO2, NO3, NO4, NO5) kan være svært fordelaktig for modelleringen av energiforbruk og -produksjon. Hver prissone representerer en geografisk region med sine egne unike markedsforhold, forbruksmønstre og produksjonskapasiteter. Ved å segmentere dataene i disse prisområdene kan man oppnå flere fordeler, spesielt i et land som Norge med sine varierte værforhold og geografiske forskjeller, og med dette få mer presise resultater. Dette ble ikke gjennomført da vi ikke hadde tilgang til data segmentert etter prisområder for forbruk og produksjon.

Med hensyn til modelleringsteknikker, kan det være fordelaktig å utforske mer avanserte metoder. Selv om SARIMAX og Prophet er kraftige verktøy, kan maskinlæringsmodeller som Random Forest, XGBoost og nevralt nettverk gi forbedringer ved å fange opp ikke-lineære forhold og komplekse interaksjoner mellom variabler. Ensemblemetoder, som kombinerer flere modeller, kan også bidra til å redusere overtilpasning og øke robustheten i prediksjonene. Regelmessig hyperparametertuning og bruk av kryssvalidering vil sikre at modellene er optimalt innstilt og generaliserer godt på ukjente data.

## 6.5 Muligheter for å styrke kraftbalansen

Ved betraktning av fremtidsutsiktene for økning av produsert energi i Norge er det ikke kommet store lovnader om det før 2030[NVE, 2022]. Innenfor vannkraft tar det lang tid å etablere nye prosjekter, samtidig er det ikke noen sannsynligheter for investering i vannkraftsektoren. Solkraft er en viktig del av å gjøre problemet med energibalansen bedre, men det er lite produksjon av solkraft under vintermånedene. Dette vil si at for Norge sin del er ikke solenergiproduksjonen stor nok til at den kan bidra som en løsning for energibalanse problemet, men som en slags bidragsyter. Vindkraft er den krafttypen med mest potensiale for utbygging. Likevel er det betydelig motstand av utbygging i henhold til vindkraft på land flere steder i Norge. Derfor ligger potensialet for vindkraft sannsynligvis til havs, samtidig som det er satt politiske mål om å legge til rette for utbygging av vindkraft. På grunn av den betydelige motstanden for utbygging på land og kompleksiteten rundt utbygging til havs vil det ta lang tid før investeringene

for utbygging vil komme på plass.

Av de nevnte kraftproduksjonsmetodene er solcelleproduksjon den typen som mest sannsynlig kan realiseres før 2030[NVE, 2022]. Samtidig kan småkraft og energiefektivisering bidra til å bedre energibalansen, noe som også er mulig å realisere før 2030[NVE, 2022].

## 7 Konklusjon

I denne oppgaven har vi undersøkt om kraftbalansen kan fremskrives gjennom en tidsserie top-down-metodikk. Modellene SARIMAX og Prophet er brukt for denne analysen. Hovedfunnene viser at SARIMAX egner seg best for langtidsfremskrivning, sammenlignet med Prophet-modellen basert på evalueringsmål. SARIMAX-modellen gir også i større grad nøyaktige fremskrivninger sammenlignet med NVEs prognoser. Disse resultatene indikerer at SARIMAX-modellen kan bidra til analyser for langsiktig fremskrivning av kraftproduksjon og -forbruk, som er avgjørende for å vurdere kraftbalansen. Denne analysen gir et innblikk i en metode som krever færre ressurser og er enklere å håndtere enn bottom-up-metodene som benyttes i dag. Det er likevel ikke uten begrensninger. Teknologisk utvikling, klimautvikling, politiske beslutninger og strømpriser er faktorer som kan påvirke fremskrivningene. Videre forskning bør adressere disse begrensningene ved å bruke mer avanserte metoder som inkluderer disse faktorene. Avslutningsvis viser denne studien at SARIMAX-modellen har potensial for å bidra til langsiktige kraftbalanseprognoser. Implementeringen av denne modellen gjør det mulig å produsere fremskrivninger som kan benyttes til beslutningstaking i energisektoren med lavere ressursbruk og mindre omfattende data. Fremtidig forskning og utvikling innen dette området vil være avgjørende for å møte de stadig skiftende utfordringene i energimarkedet.



# Appendix

## A Tidsserie månedlig data

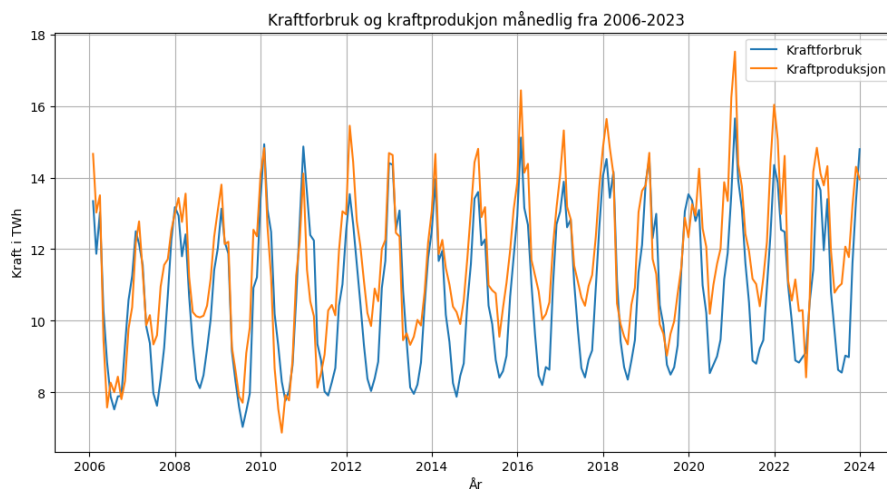


Figure 8: Tidsserie månedlig av kraftproduksjon og forbruk fra 2006-2023

## B OLS-regresjon

Analysen benytter Ordinary Least Squares (OLS) regresjon som metode for å undersøke faktorer som påvirker kraftproduksjon og -forbruk. OLS-regresjon brukes til å analysere lineære sammenhenger mellom de avhengige variablene i analysen, kraftproduksjon og -forbruk, og de uavhengige variablene [Wooldridge, 2020]. Kraftproduksjon og -forbruk påvirkes av flere variabler som vind, temperatur, nedbør, BNP per innbygger og befolkning. Ved å gjennomføre en OLS-regresjon kan analysen gi en kvantitativ forståelse av hvordan disse faktorene påvirker kraftproduksjon og -forbruk.

For kraftproduksjon benyttes følgende OLS-regresjonsmodell:

$$\text{Produksjon} = \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{Forbruk} + \beta_2 \cdot \text{Nedbør} + \beta_3 \cdot \text{Vindstyrke gjennomsnitt} + \beta_4 \cdot \text{Vindkast gjennomsnitt} + \epsilon$$

For kraftforbruk benyttes følgende OLS-regresjonsmodell:

$$\text{Forbruk} = \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{Temperatur} + \beta_2 \cdot \text{BNP per innbygger} + \beta_3 \cdot \text{Befolkning} + \epsilon$$

## B.1 OLS kraftforbruk

### OLS-regresjon kraftforbruk

---

<b>Dep. Variable:</b>	Kraftforbruk					
<b>Model:</b>	OLS					
<b>Method:</b>	Least Squares					

---

<b>R-squared:</b>	0.936					
<b>Adj. R-squared:</b>	0.935					
<b>F-statistic:</b>	1040					
<b>Prob (F-statistic):</b>	$1.69 \times 10^{-126}$					
<b>Log-Likelihood:</b>	-166.49					
<b>No. Observations:</b>	216					
<b>AIC:</b>	341					
<b>BIC:</b>	354					
<b>Df Residuals:</b>	212					
<b>Df Model:</b>	3					
<b>Covariance Type:</b>	nonrobust					

---

	<b>coef</b>	<b>std err</b>	<b>t</b>	<b>P&gt; t </b>	<b>[0.025,</b>	<b>0.975]</b>
<b>Const</b>	3.2412	1.032	3.142	0.002	1.218	5.275
<b>Temperatur</b>	-0.3138	0.006	-54.971	0.000	-3.25	-0.303
<b>Befolkning</b>	$1.973 \times 10^{-6}$	2.48	7.970	0.000	1.48	2.46
<b>BNP per innbygger</b>	$-1.427 \times 10^{-6}$	4.79	-2.978	0.003	-2.37	-4.82

---

<b>Omnibus:</b>	5.736
<b>Prob(Omnibus):</b>	0.057
<b>Skew:</b>	0.005
<b>Kurtosis:</b>	2.400
<b>Durbin-Watson:</b>	1.714
<b>Jarque-Bera (JB):</b>	3.236
<b>Prob(JB):</b>	0.198
<b>Cond. No.:</b>	$1.48 \times 10^8$

---

OLS-regresjonen estimerer kraftforbruk som en funksjon av temperatur, befolkning og BNP. Modellen oppnådde en R-kvadrat på 0,936, som indikerer at 93,6% av variansen i kraftforbruket kan forklares av de inkluderte forklaringsvariablene. Den justerte R-kvadrat-verdien er 0,935, som tar hensyn til antall forklaringsvariabler og bekrefter modellens evne til å forklare variasjon i kraftforbruket. F-statistikken for modellen er 1040 med en p-verdi på  $1,69e-126$ , som viser at modellen er statistisk signifikant og at minst én av forklaringsvariablene har en signifikant effekt på den avhengige variabelen.

Temperatur er en drivende faktor for kraftforbruket i et land som Norge. Koeffisienten for temperatur er -0,3138 med en standardfeil på 0,006 og en t-verdi på -54,971. Dette resultatet viser at temperatur er statistisk signifikant på et 1% signifikansnivå. En økning i temperaturen på 1 grad Celsius vil redusere kraftforbruket med 0,3138 TWh, forutsatt

at alle andre variabler holdes konstante. Dette er konsistent med antakelsen om at høyere temperaturer fører til redusert behov for oppvarming og dermed lavere kraftforbruk.

Koeffisienten for befolkning er  $1,973e-06$  med en standardfeil på  $2,48e-07$  og en t-verdi på 7,970. Befolkning er statistisk signifikant og indikerer at økt befolkning øker kraftforbruket i Norge. BNP per innbygger har en koeffisient på  $-1,427e-06$  med en standardfeil på  $4,79e-07$  og en t-verdi på -2,978. BNP per innbygger er signifikant på et 1% signifikansnivå.

Resultatene fra OLS-regresjonen viser at modellen har god forklaringskraft og at alle inkluderte forklaringsvariabler er statistisk signifikante.

## B.2 OLS kraftproduksjon

### OLS-regresjon kraftproduksjon

<b>Dep. Variable:</b>	Kraftproduksjon					
<b>Model:</b>	OLS					
<b>Method:</b>	Least Squares					
<b>R-squared:</b>	0.775					
<b>Adj. R-squared:</b>	0.771					
<b>F-statistic:</b>	182.2					
<b>Prob (F-statistic):</b>	$2.99 \times 10^{-67}$					
<b>Log-Likelihood:</b>	-296.45					
<b>No. Observations:</b>	216					
<b>AIC:</b>	602.9					
<b>BIC:</b>	619.8					
<b>Df Residuals:</b>	211					
<b>Df Model:</b>	4					
<b>Covariance Type:</b>	nonrobust					
	<b>coef</b>	<b>std err</b>	<b>t</b>	<b>P&gt; t </b>	<b>[0.025, 0.975]</b>	
<b>const</b>	2.5037	0.482	5.193	0.000	1.553	3.454
<b>Nedbør</b>	0.0040	0.002	2.611	0.010	0.001	0.007
<b>Vindstyrke gjennomsnitt</b>	-1.3817	0.650	-2.126	0.035	-2.663	-0.100
<b>Vindkast gjennomsnitt</b>	0.6134	0.375	1.634	0.104	-0.127	1.353
<b>Kraftforbruk</b>	0.8992	0.042	21.350	0.000	0.816	0.982
<b>Omnibus:</b>	18.416					
<b>Prob(Omnibus):</b>	0.000					
<b>Skew:</b>	-0.757					
<b>Kurtosis:</b>	3.170					
<b>Durbin-Watson:</b>	0.654					
<b>Jarque-Bera (JB):</b>	20.905					
<b>Prob(JB):</b>	$2.89 \times 10^{-5}$					
<b>Cond. No.:</b>	$1.36 \times 10^3$					

OLS-regresjonen for å estimere kraftproduksjon som en funksjon av nedbør, vindstyrke, vindkast og kraftforbruk viser en R-kvadrat på 0,775. Dette indikerer at 77,5% av variansen i kraftproduksjonen kan forklares av de inkluderte variablene. Den justerte R-kvadrat-verdien er 0,771, som tar hensyn til antall forklaringsvariabler og bekrefter modellens forklaringskraft.

Nedbør har en koeffisient på 0,0040 med en standardfeil på 0,002 og en t-verdi på 2,611. Dette viser at nedbør er signifikant med en p-verdi på 0,010. For hver millimeter økning i nedbør øker kraftproduksjonen med 0,0040 TWh, forutsatt at alle andre variabler holdes konstante. Dette er i tråd med antagelsen om at økt tilsig fra nedbør fører til økt kraftproduksjon.

Kraftproduksjon reguleres etter kraftforbruk, og koeffisienten for kraftforbruk er 0,8992 med en standardfeil på 0,042 og en t-verdi på 21,350. Dette er signifikant på et signifikansnivå på 1% med en p-verdi på 0,000. Resultatet støtter antagelsen om at økt kraftforbruk krever økt kraftproduksjon.

Koeffisienten for gjennomsnittlig vindstyrke er -1,3817 med en standardfeil på 0,650 og en t-verdi på -2,126. Dette resultatet er statistisk signifikant med en p-verdi på 0,035, som indikerer at for hver enhet økning i gjennomsnittlig vindstyrke (m/s), reduseres kraftproduksjonen med 1,3817 TWh. Koeffisienten for gjennomsnittlig vindkast er 0,6134 med en standardfeil på 0,375 og en t-verdi på 1,634. Dette resultatet er ikke statistisk signifikant med en p-verdi på 0,104, som betyr at effekten av vindkast på kraftproduksjon ikke er signifikant på 10%.

## **C Sammenligning Prophet og SARIMAX**

### **C.1 Kraftforbruk**

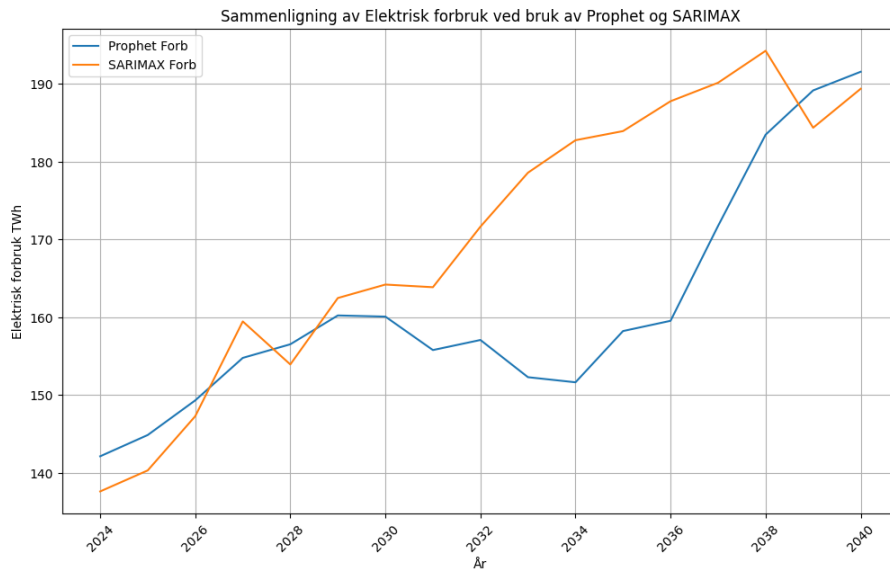


Figure 9: Sammenligning av forbruk Prophet og SARIMAX

## C.2 Kraftforbruk

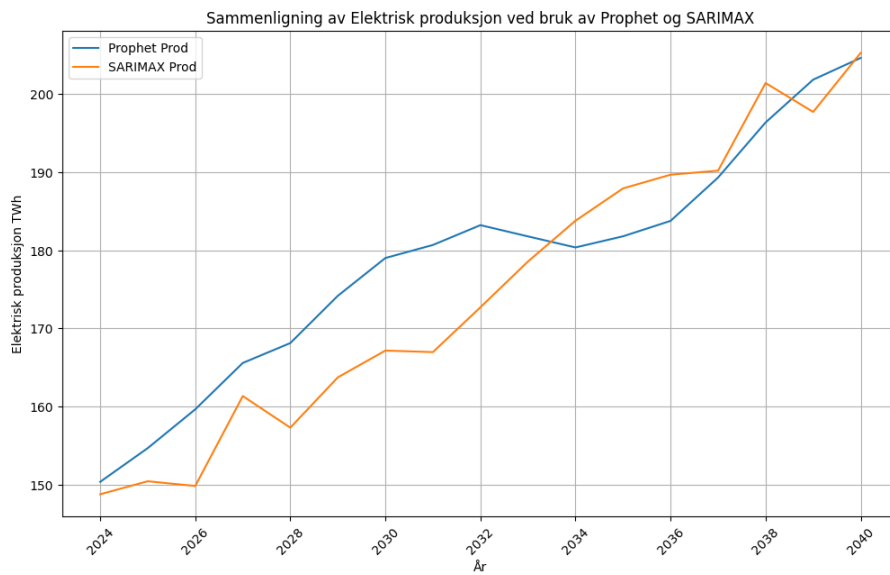


Figure 10: Sammenligning av produksjon Prophet og SARIMAX

## Referanser

- [Abdel-Aal and Al-Garni, 1997] Abdel-Aal, R. and Al-Garni, A. Z. (1997). Forecasting monthly electric energy consumption in eastern saudi arabia using univariate time-series analysis. *Energy*, 22(11):1059–1069.
- [Alqatawna et al., 2023] Alqatawna, A., Abu-Salih, B., Obeid, N., and Almiani, M. (2023). Incorporating time-series forecasting techniques to predict logistics companies' staffing needs and order volume. *Computation*, 11(7):141.
- [Andre K. Gill, 2023] Andre K. Gill (2023). Kraft nok til det grønne skiftet. <https://www.pwc.no/no/pwc-aktuelt/kraft-nok-til-det-groenne-skiftet.html>.
- [Austvik and Gunnar, 2022] Austvik and Gunnar, O. (2022). En energinasjon og verden omkring: noen norske energipolitiske utfordringer.
- [Austvik, 2022] Austvik, O. G. (2022). En energinasjon og verden omkring: noen norske energipolitiske utfordringer.
- [Bartnes et al., 2017] Bartnes, G., Amundsen, J. S., Endresen, H., Ericson, T., Fidje, A., Weir, D., and Øyslebø, E. V. (2017). Kraftmarkedsanalyse 2017 - 2030: Underlagsrapport med detaljerte forutsetninger. Technical Report 78, Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE).
- [Bjertnæs and Hagem, 2016] Bjertnæs, G. H. M. and Hagem, C. (2016). Makroøkonomiske drivere for utviklingen i energiforbruket. <https://www.ssb.no/energi-og-industri/artikler-og-publikasjoner/attachment/263405?ts=154297e4a18>.
- [Böhringer and Rutherford, 2008] Böhringer, C. and Rutherford, T. F. (2008). Combining bottom-up and top-down. *Energy Economics*, 30(2):574–596.
- [Box et al., 2015] Box, G. E., Jenkins, G. M., Reinsel, G. C., and Ljung, G. M. (2015). *Time series analysis: forecasting and control*. John Wiley & Sons.
- [Chaturvedi et al., 2022] Chaturvedi, S., Rajasekar, E., Natarajan, S., and McCullen, N.

- (2022). A comparative assessment of sarima, lstm rnn and fb prophet models to forecast total and peak monthly energy demand for india. *Energy Policy*, 168:113097.
- [Chavez et al., 1999] Chavez, S. G., Bernat, J. X., and Coalla, H. L. (1999). Forecasting of energy production and consumption in asturias (northern spain). *Energy*, 24(3):183–198.
- [Ediger and Akar, 2005] Ediger, V. S. and Akar, S. (2005). Forecasting production of fossil fuel sources in turkey using a comparative regression and arima model. *Energy Policy*, 33(18):3850–3859.
- [Energi- og miljøkomiteen, 2022] Energi- og miljøkomiteen (2022). Innstilling fra energi- og miljøkomiteen om meld. st. 36 (2020–2021) energi til arbeid – langsiktig verdiskaping fra norske energiressurser, meld. st. 11 (2021–2022) tilleggsmelding til meld. st. 36 (2020–2021). Technical report, Stortinget.
- [Energifakta Norge, 2021] Energifakta Norge (2021). Verdt å vite om norsk energipolitikk. <https://energifaktanorge.no/om-energisektoren/verdt-a-vite-om-norsk-energipolitikk/>.
- [Energifakta Norge, 2024] Energifakta Norge (2024). Kraftforsyningen. <https://energifaktanorge.no/norsk-energiforsyning/kraftforsyningen/>.
- [Energikommisjonen, 2023] Energikommisjonen (2023). Mer av alt – raskere. <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/nou-2023-3/id2961311/?ch=6>.
- [European Council, 2024] European Council (2024). Where does the eu’s gas come from? <https://www.consilium.europa.eu/en/infographics/eu-gas-supply/: :text=In>
- [FN, 2015] FN (2015). Parisavtalen. <https://fn.no/avtaler/miljoe-og-klima/parisavtalen>.
- [FN, 2024] FN (2024). Bærekraftig utvikling. <https://fn.no/tema/baerekraftig-utvikling-fattigdom-og-befolkning/baerekraftig-utvikling>.
- [Haukeli et al., 2020] Haukeli, I. E., Stavseng, A., Spilde, D., Hole, J., Skaansar, E., Skotland, C. H., Holm, I., Heien, M. H., Verlo, K. R., and Røv, V. (2020). Elektrifiseringstiltak i norge: Hva er konsekvensene for kraftsystemet? Technical Report 36, Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE).

[https://publikasjoner.nve.no/rapport/2020/rapport2020\\_36.pdf](https://publikasjoner.nve.no/rapport/2020/rapport2020_36.pdf).

[Hyndman and Athanasopoulos, 2018] Hyndman, R. J. and Athanasopoulos, G. (2018). *Forecasting: principles and practice*. OTexts.

[Johansson, 1984] Johansson, I., editor (1984). *Nordic glossary of hydrology: English, Danish, Finnish, Icelandic, Norwegian, Swedish with definitions in English*. Almqvist & Wiksell Internat.

[John Doe, 2021] John Doe, J. S. (2021). Analysis of water flow. Technical Report 29, Norwegian Water Resources and Energy Directorate (NVE). [https://publikasjoner.nve.no/rapport/2021/rapport2021\\_29.pdf](https://publikasjoner.nve.no/rapport/2021/rapport2021_29.pdf).

[Jon Gustav Kirkerud, 2023] Jon Gustav Kirkerud, e. (2023). Langsiktig kraftmarkedsanalyse 2023: Energiomstillingen – en balansegang. NVE Rapport nr. 25/2023.

[Kim and Kim, 2016] Kim, S. and Kim, H. (2016). A new metric of absolute percentage error for intermittent demand forecasts. *International Journal of Forecasting*, 32(3):669–679.

[Kirkerud et al., 2023] Kirkerud, J. G., Buvik, M., Holm, I., Spilde, D., Sørbye, M., Skaansar, E., Kvandal, H., Birkelund, H., Skulstad, H., Petrusson, L., Fjær, K., and Darras, C. (2023). Langsiktig kraftmarkedsanalyse 2023: Energiomstillingen – en balansegang. Technical Report 25/2023, Norges vassdrags- og energidirektorat, Oslo, Norway.

[Klima -og miljødepartementet, 2021] Klima -og miljødepartementet (2021). Klimaplan for 2021–2030. Meld. St. 13 (2020-2021), Tilråding frå Klima- og miljødepartementet 8. januar 2021, godkjend i statsråd same dagen. (Regjeringa Solberg).

[Kringstad and Holmefjord, 2019] Kringstad, A. and Holmefjord, V. (2019). Et elektrisk norge - fra fossilt til strøm. <https://www.statnett.no/globalassets/for-aktorer-i-kraftsystemet/planer-og-analyser/et-elektrisk-norge-fra-fossilt-til-strom.pdf>.

[Kwiatkowski et al., 1992] Kwiatkowski, D., Phillips, P. C., Schmidt, P., and Shin, Y.



(1992). Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root: How sure are we that economic time series have a unit root? *Journal of econometrics*, 54(1-3):159–178.

[Lepot et al., 2017] Lepot, M., Aubin, J.-B., and Clemens, F. H. (2017). Interpolation in time series: An introductory overview of existing methods, their performance criteria and uncertainty assessment. *Water*, 9(10).

[Lien et al., 2018a] Lien, S. K., Langseth, B., Spilde, D., and Lindberg, K. B. (2018a). LEAP-NORGE 2016: Modelling Future Energy Demand in Norway Using the LEAP Tool. Technical Report 88-2018, Norges vassdrags- og energidirektorat, Middelthunsgate 29, Postboks 5091 Majorstua, 0301 OSLO, Norway. Rapport 88/2018.

[Lien et al., 2018b] Lien, S. K., Spilde, D., and Ericson, T. (2018b). Dokumentasjon av nves energibruksframskrivinger 2016-2035. Technical Report 89, Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE).

[Machine Learning Plus, 2021] Machine Learning Plus (2021). Kpss test for stationarity. <https://www.machinelearningplus.com/time-series/kpss-test-for-stationarity/>.

[MET Norway, 2024] MET Norway (2024). Frost api. Tilgjengelig fra MET Norway nettside.

[Norges Lover, 1992] Norges Lover (1992). Lov om gjennomføring i norsk rett av hoveddelen i avtale om det europeiske økonomiske samarbeidsområde (eøs) m.v. (eøs-loven).

[Norges lover, 2017] Norges lover (2017). Klimaloven. § 1. Formål. Loven skal fremme gjennomføring av Norges klimamål som ledd i omstilling til et lavutslippssamfunn i Norge i 2050. Loven skal fremme åpenhet og offentlig debatt om status, retning og framdrift i dette arbeidet. Loven skal ikke være til hinder for at klimamål fastsatt i eller i medhold av denne lov kan gjennomføres felles med EU.

[Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE), 2023] Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) (2023). Nves forventninger om utvikling av kraftbalansen til 2028. Technical report, NVE. Accessed: 2024-06-09.

- [Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE), 2024a] Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) (2024a). Konesjonsbehandling av solkraftverk. <https://www.nve.no/konesjon/konesjonsbehandling-av-solkraftverk/>.
- [Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE), 2024b] Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) (2024b). Langsiktig kraftmarkedsanalyse. <https://www.nve.no/energi/analyser-og-statistikk/langsiktig-kraftmarkedsanalyse/>. Accessed: 2024-06-09.
- [Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE), 2024c] Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) (2024c). Slik fungerer kraftsystemet. <https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten/slik-fungerer-kraftsystemet/>.
- [Norsk Petroleum, 2024] Norsk Petroleum (2024). Eksport av olje og gass. <https://www.norskpetroleum.no/produksjon-og-eksport/eksport-av-olje-og-gass/>.
- [NVE, 2022] NVE (2022). Norsk og nordisk effektbalanse fram mot 2030.
- [Olje- og energidepartementet, 2023] Olje- og energidepartementet (2023). Nou 2023: 3 - mer av alt – raskere — energikommisjonens rapport. <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/nou-2023-3/id2961311/?ch=12>.
- [Olje- og energidepartementet (OED), 2023] Olje- og energidepartementet (OED) (2023). Tildelingsbrev til Norges vassdrags- og energidirektorat for 2023. Technical report, Olje- og energidepartementet. <https://www.regjeringen.no/contentassets/267dd4d3be4342ca8f34e96325a7ad84/tildelingsbrev-norges-vassdrags-og-energidirektorat-2023.pdf>.
- [Regjeringen, 2023] Regjeringen (2023). EØS-strategi (oed). [https://www.regjeringen.no/contentassets/5d79790757084e0da08a8543af42f678/eos\\_strategi\\_oed.pdf](https://www.regjeringen.no/contentassets/5d79790757084e0da08a8543af42f678/eos_strategi_oed.pdf).
- [Regjeringen, 2024] Regjeringen (2024). Klima og miljø. <https://www.regjeringen.no/no/tema/naringsliv/omstillingstempen/klima-og-miljo/id2967602/: :text=Det>
- [Resources and (NVE), 2003] Resources, N. W. and (NVE), E. D. (2003). Oppdragsrapport

- a 2003:10. <https://publikasjoner.nve.no/oppdragsrapportA/2003/oppdragsrapportA200310.pdf>.
- [Robert Nau, 2024] Robert Nau (2024). Arima models. <https://people.duke.edu/~rnau/411arim.htm>arima010.
- [Rosvold and Halleraker, 2024] Rosvold, K. A. and Halleraker, J. H. (2024). Tilsig. Store norske leksikon. <https://snl.no/tilsig>.
- [Schäffer et al., 2020] Schäffer, L. E., Rosenberg, E., Pisciella, P., Damman, S., Espegren, K. A., Fodstad, M., Graabak, I., Perez-Valdes, G. A., Sandberg, E., Johansen, U., Seljom, P. M. S., and Tomasgard, A. (2020). Veikart for energi i norge mot 2050.
- [StatsModels, 2024] StatsModels (2024). Sarimax: Seasonal autoregressive integrated moving average with exogenous regressors model. <https://www.statsmodels.org/dev/generated/statsmodels.tsa.statespace.sarimax.SARIMAX.html>.
- [Stortinget, 1971] Stortinget (1971). Stortingsforhandlinger 1970-71.
- [Stortinget, 2016] Stortinget (2016). Samtykke til ratifikasjon av parisavtalen av 12. desember 2015 under fns rammekonvensjon om klimaendring av 9. mai 1992. <https://www.stortinget.no/no/Saker-og-publikasjoner/Saker/Sak/?p=65501>. Prop. 115 S (2015-2016), Innst. 407 S (2015-2016).
- [Taylor and Letham, 2017] Taylor, S. J. and Letham, B. (2017). Prophet: Automatic forecasting procedure. <https://github.com/facebook/prophet>.
- [Taylor and Letham, 2018] Taylor, S. J. and Letham, B. (2018). Forecasting at scale. *The American Statistician*, 72(1):37–45.
- [Thema consulting group, 2021] Thema consulting group (2021). Har vi fleksibilitet nok til å balansere kraftsystemet fram mot 2050? <https://www.regjeringen.no/contentassets/5f15fcec3143d1bf9cade7da6afe6e/no/sved/vedlegg4.pdf>.
- [Weiss, 2021] Weiss, C. H. (2021). Time series modelling.
- [Wooldridge, 2020] Wooldridge, J. M. (2020). Introductory econometrics : a modern ap-

proach.

[Zolboo et al., 2019] Zolboo, G., Adiya, B., and Bilguun, E. (2019). The energy consumption forecasting in mongolia based on box-jenkins method (arima model). *Energy Policy Studies*, (1 (3):70–77.

