

Miljøøkonomiske virkemidler som drivere til fornybar energi

En empirisk analyse av implementerte virkemidler i Norge

Cathrine Kristensen Mjåland

VEILEDER

Daniel Göller

Universitetet i Agder, 2023

Handelshøyskolen ved UiA

Master

Sammendrag

Med bakgrunn i den imperative rollen av fornybar energi som tilnærming for å forebygge miljøødeleggelser, er kunnskap om effekter av virkemidler avgjørende. I denne studien forsøker jeg å identifisere hvorvidt implementerte miljøøkonomiske virkemidler har en effekt på fornybar energiproduksjon i Norge. Ved anvendelse av autoregressiv distribuert lag (ARDL) modell og en feiljusteringsmodell (ECM) undersøker jeg effekter av inneværende og tidligere pris på utslipp og energirettet forskning og utvikling på produksjonen av fornybar energi i Norge for årene 2005 til 2022. Pris på utslipp måles gjennom den norske karbonavgiften og det omsettelige kvotemarkedet EU ETS. Tidligere verdier av produksjonen er også inkludert som uavhengig variabel i modellen. Jeg finner ikke støtte for kointegrerte forhold, og det er dermed ARDL-modellen som tolkes og interpreteres. Resultatene er hovedsakelig i tråd med tidligere litteratur og teori. Signifikante effekter fremkommer av karbonavgiften og FoU i inneværende og etterslepene perioder, samt tidligere produksjon. Et interessant funn er ikke signifikant effekt av EU ETS. Dette kan skyldes at utslippsreduksjonene som fastsettes under ordningen er fleksible og dermed kan forekomme andre steder enn i Norge.

Abstract

Given the imperative role of renewable energy as an approach to limit environmental degradation, knowledge of the effects of policies are crucial. In this study I seek to identify whether these policies have an effect on renewable energy production within Norway. By applying an autoregressive distributed lag (ARDL) model and an error correction model (ECM) I explore the effects of current and previous prices on emissions and energy directed research and development (R&D) on the production of renewable energy in Norway over the period of 2005 until and including 2022. Price on emissions is measured through the Norwegian emissions tax and European cap-and-trade system EU ETS. Previous levels of the production are also included in the model as an independent variable. I do not find support for cointegrating relationships; therefore, inferences and interpretations are drawn based on the ARDL model. The results are mainly in line with the literature and the theory. Significant effects are implied for the CO₂-tax and R&D, as well as previous production. An interesting takeaway is no significant effect of EU ETS. This could be due to emissions reduction under the system are flexible; and thus, can take place outside of the national borders of Norway.

Forord

Denne mastergradsavhandlingen er skrevet som avsluttende del av masterstudiet i økonomi og administrasjon – siviløkonom, ved Handelshøyskolen ved Universitet i Agder (UiA), innenfor spesialiseringen økonomisk styring.

Interessen min for fornybar energi er i stor grad dyrket gjennom studieperioden og tidligere internship i energisektoren. Samlet har det bidratt som oppvekker rundt klimaendringer og for viktigheten av det grønne skifte. Omstillingen har vært aktualisert og knyttet opp mot ulike tema i samtlige emner. Gjennom oppgaveprosessen har jeg anvendt de mindre puslebrikkene fra hvert enkelt emne, og satt de sammen i en større sammenheng.

Det er et særlig tidsaktuelt tema som igjen gjør det enda mer interessant. Målene som er fastsatt under Parisavtalen må oppnås innen tiåret er omme. Samtidig har Russlands invasjon av Ukraina belyst en ekstra utfordring mot måloppnåelse, og understreket viktigheten av forsyningsikkerhet oppi det hele.

Prosessen med oppgaven fra start til slutt har til tider vært krevende og utfordrende, men samtidig svært lærerik. Gjennom prosessen har jeg opparbeidet bredere forståelse for viktigheten av en grønn omstilling, og økonomiens rolle i oppnåelse av målene. Jeg har samtidig videreutviklet mine analytiske ferdigheter.

Jeg ønsker å rette en stor takk til Daniel Göller for god veiledning og rask respons. Jeg ønsker også å takke familie og venner for støtte i en til tider krevende prosess og for korrektur lesing ved siste innsjutt. Takk!

Cathrine Kristensen Mjåland

Kristiansand, mai 2023

Innholdsfortegnelse

1.	Introduksjon	1
1.1	Fornybar energi.....	4
1.2	Struktur og oppbygging	4
2.	Stå på skuldrene til kjemper	5
3.	Status globalt	9
3.1	Status - Globale klimamål	9
3.2	Særlig tidsrelevans – Russland	10
3.3	Status - Fornybar energi globalt og i Europa.....	10
4.	Status Norge	12
4.1	Norges energi- og klimapolitikk.....	12
4.1.1	Energipolitikk.....	12
4.1.2	Norges klimaplan	13
4.1.3	Deltakelse i internasjonale handels- og miljøavtaler.....	13
4.1.4	Nasjonalt fastsatte bidrag	13
4.2	Elektrifiseringens rolle i energiomstillingen	14
4.3	Olje og gass	16
4.4	Status - Fornybar energi i Norge	17
4.4.1	Utviklingen i etableringer – historisk perspektiv	17
4.4.2	Utviklingen i etableringer - Fremtid.....	18
5.	Miljøøkonomiske virkemidler.....	22
5.1	Avgifter og kvotesystemer.....	22
5.1.1	Norsk karbonavgift.....	23
5.1.2	EU ETS (The European Union Emissions Trading System)	24
5.2	Miljøsubsidier.....	24
5.2.1	FoU.....	25

5.2.2	Elsertifikater	26
6.	Miljøøkonomiske virkemidler i teorien.....	28
6.1	Statlig inngripen?.....	28
6.2	Optimal «mengde» er ikke å eliminere utslipp totalt	29
6.3	Verdsettelse av utslipp.....	29
6.4	Eksternaliteter	30
6.5	Teoretisk analyse	31
6.5.1	Korrigerings for negative eksternaliteter	32
6.5.2	Korrigerings for positive eksternaliteter	36
6.6	Mulige interaksjoner mellom de ulike virkemidlene.....	39
7.	Økonometrisk metode – Tidsserieanalyser	40
7.1	Hypotesetesting	40
7.2	Tidsseriedata.....	42
7.3	Stasjonaritet og ikke-stasjonaritet.....	42
7.3.1	Trender	43
7.3.2	Brudd.....	46
7.4	Rammeverk for modellseleksjon	48
7.5	ARDL	49
7.5.1	Begrenset etterslep	51
7.6	Feiljusteringsmodell	52
7.6.1	Kointegrasjon	53
7.7	Tester	56
7.7.1	R^2 , justert R^2 og F -statistikk.....	56
7.7.2	Seriekorrelasjon.....	57
7.7.3	Heteroskedastisitet	58
7.7.4	Normalfordeling	59

7.7.5	Feilspesifisering / utelatt variabel	60
8.	Datamaterialet og hypoteser	62
8.1	Behandling av data	62
8.2	Avhengig variabel.....	64
8.3	Uavhengige variabler.....	64
8.4	Mulige svakheter med materialet	65
8.5	Hypoteser.....	67
9.	Resultater.....	68
9.1	Stasjonaritet	68
9.2	Etterslep	70
9.3	Kointerasjon.....	70
9.4	Modellen.....	71
9.4.1	Modellspesifisering	72
9.4.2	Beregning	73
9.5	Tester	75
10.	Diskusjon.....	78
10.1.1	Produksjon.....	78
10.1.2	EU ETS	78
10.1.3	Karbonavgift.....	79
10.1.4	FoU Energi	80
10.1.5	Ikke langsiktige likevektsforhold	80
10.1.6	Motsatte fortegn	81
10.2	Validitet og Reliabilitet.....	82
11.	Konklusjon	84
12.	Videre forskning.....	85
13.	Referanseliste	87

14. Appendiks.....	98
--------------------	----

Figurliste

Figur 1: Global elektrisitetsproduksjon etter kilde [TWh].....	11
Figur 2: Historisk og anslag for norsk kraftforbruk mot 2040	15
Figur 3: Antall etableringer etter næring, 1993-2018.....	17
Figur 4: Økning i kraftproduksjon i Norge 2021-2040.....	18
Figur 5: Oversikt over viktige forsknings- og utviklingsinitiativer	25
Figur 6: Likevekten uten eksternaliteter.....	32
Figur 7: En riktig avgift på en negativ eksternalitet.....	34
Figur 8: En optimalt fastsatt mengde kvoter	35
Figur 9: En optimalt fastsatt subsidie	37
Figur 10: Rammeverk for modellseleksjon for tidsserieanalyse	48
Figur 11: Lineær prognose fornybar energiproduksjon	63
Figur 12: Lineær prognose FoU Energi	63
Figur 13: Konseptuelt rammeverk.....	67

Tabeller

Tabell 1: Beskrivelse av variablene og kilder	65
Tabell 2: Deskriptiv statistikk	68
Tabell 3: Test for enhetsrøtter i variablene med og uten trend	69
Tabell 4: Kointegrasjonstest ved Bounds prosedyre	71
Tabell 5: Beregning av ARDL-modellen	73
Tabell 6: diagnostiske tester	76

Appendiks

Vedlegg 1: Pearson korrelasjonsmatrise	98
Vedlegg 2: Grafiske fremstillinger av de inkluderte variablene	98
Vedlegg 3: QQ-plott.....	99
Vedlegg 4: Rekursiv CUSUM.....	99
Vedlegg 5: CUSUMSQ.....	100
Vedlegg 6: FoU bevilgninger rettet mot Fornybar energi.....	100

Vedlegg 7: Utvikling i antall treff for fornybar energi.....	101
Vedlegg 8: VIF verdier	101
Vedlegg 9: Utskrift av ARDL resultater i STATA	102
Vedlegg 10: Refleksjonsnotat	103

1. Introduksjon

«Klimaendringene er i ferd med å forvandle jorda vår til det ugjenkjennelige. Vi mennesker er årsaken til problemet, og vi sitter på løsningen. Men vi må handle nå.»

(WWF Verdens naturfond, u.å.)

Vannstanden øker, Arktis smelter, korallrev dør, havene forsures og skogene brenner som følge av økende temperaturer (United Nations, u.å.). Klimaendringer truer essensiell hygiene, og er forventet å medføre omtrent 250 000 addisjonelle dødsfall hvert år i perioden mellom 2030 og 2050 (World Health Organization, 2023). Ifølge WWF Verdens naturfond (u.å.) kan fremdeles de mest katastrofale klimaendringene unngås, men det krever raske reduksjoner i de globale utslippene av klimagasser. I sin tale under klimatoppmøtet 2019 uttrykker UNs generalsekretær António at det er et kappløp vi foreløpig ligger an til å tape, men som vi fremdeles kan vinne. Samtidig fremkommer det av United Nations Environment Programme (UNEP) (2022) at vinduet er i ferd med å lukkes. *Business as usual* er ikke tilstrekkelig (United Nations, u.å.). Det presserende behovet gjør det inneværende tiåret, 2021-2030, kritisk for å adressere de klimarelaterte utfordringene (European Investment Bank, 2023).

Mesteparten av oppvarmingen er resultat av utslipp relatert til forbrenning av fossile brensler som kull, olje og gass (Miljødirektoratet, 2023). På globalt nivå er energi forbruket *per capita* på sitt høyeste noensinne. Omfattende endringer i fossil energiproduksjon, en økning i fornybar energi og en høyere andel fornybar av det totale energiforbruket er nødvendig (Statkraft, 2022, s. 67). Omstillingene må skje samtidig som Russlands invasjon av Ukraina har utløst hva IEA omtaler som «the first truly global energy crisis». Ingen deler av kloden er immun fra de ødeleggende konsekvensene, og alle land må delta i samarbeidet (United Nations, u.å.).

Riktig utformet politikk i respons til miljø- og klimamessige utfordringer kan være utløsende for fremtidig økonomisk vekst. Samtidig krever de globale klima- og miljøutfordringene at en slik vekst skjer innenfor det mulighetsrommet som sammenfaller med de miljømessige tålegrensene (Rybalka & Bakke, 2020). Hvorvidt motivene er forenelige, er et omstridt tema. Det er stor kontrovers rundt klimautfordringene som potensielle bremsende faktorer for

økonomisk vekst (Roach et al., 2019, s. 8). Et synspunkt er at land og deres virksomheter som investerer i lavutslipp kan oppnå konkurransefortrinn over aktører som fortsetter *business as usual* (Harris & Roach, 2017, s. 375).

Denne studien retter fokus på å besvare spørsmålet om hvordan Norge kan bidra i omstillingen innenlands. I Norge spiller energi en sentral rolle i miljøpolitikken hvor en grønn omstilling står sentralt. En tilnærming til omstillingen er implementering av ulike miljøøkonomiske virkemidler for å stimulere til økt produksjon av fornybar energi. Blant de viktigste virkemidlene er den norske karbonavgiften, det europeiske kvotesystemet EU ETS (Ibenholt et al., 2012, s. 17) og statlige bevilgninger til energirettet forskning og utvikling (FoU). Det er følgelig effekten av de angitte virkemidlene på fornybar energiproduksjon som undersøkes. Effekten av tilsvarende virkemidler er også annerkjent i teorien og litteraturen, men studier med fokus på Norge er begrenset. Basert på teorien, litteraturen og et identifisert gap utledes følgende overordnede forskningsspørsmål:

Har implementerte miljøøkonomiske virkemidler effekt på fornybar energiproduksjon i Norge?

Forskningsspørsmålet er forsøkt besvart med anvendelse av kvantitativ metode. Anvendte data er sekundær data innhentet fra bp, The World Bank og Statistisk sentralbyrå (SSB). Dataen er av årlig tidsserieform for 2005 frem til og inkludert 2022. Det er sannsynlig at effektene av virkemidlene ikke fremkommer umiddelbart, men over tid. Videre vil produksjonen av fornybar energi også kunne være påvirket av produksjonen i tidligere perioder. Jeg benytter en autoregressiv distribuert lag (ARDL) modell, som er en dynamisk modell idet den kan hensynta den spredde effekten. ARDL-modellen kan inkorporere både tidligere verdier av utfallsvariabelen (AR) og inneværende og tidligere verdier av en eller flere forklaringsvariabler (DL). Det er videre forsøkt å foreta en reparameterisering av modellen til en feiljusteringsmodell for å teste for kointegrasjon. En feiljusteringsmodell rapporterer kortsiktige- og langsiktige (permanente) forhold, samt en speed-of-adjustment koeffisient til en eventuell likevekt. Ved anvendelse av ARDL er det kun umiddelbare effekter som fremkommer direkte av modellen. Totale effekter er derimot mulig å beregne utenfor modellen. Relevante tester er utført for å sikre antakelsene i modellene. Modell og utvalgte tester er selektert med hensyn til det lave utvalget.

Innledningsvis for analysen klarlegger jeg stasjonaritetsegenskaper i variablene. Heretter spesifiserer jeg en ARDL-modell på nivå form. Jeg finner ikke støtte for kointegrerte forhold og en feiljusteringsmodell er derfor ikke anvendelig med foreliggende data. Det er følgelig ARDL-modellen som anvendes og resultatene følger av denne. Jeg finner statistisk signifikant effekt mellom produksjonen av fornybar energi i foregående perioder på inneværende periode. Resultatene viser også statistisk signifikante effekter av bevilgninger til FoU og CO₂-avgiften på produksjonen, både i inneværende og tidligere perioder. Resultatene antyder derimot ikke-signifikant effekt fra EU ETS på produksjonen.

Oppsummerende for litteraturen er at tidligere studier ofte er foretatt på internasjonale nivå. Det finnes også landspesifikke studier, men studier som inkluderer Norge er begrenset. Studier fokuserer gjerne på faktorer som leder til ulikheter mellom landene, enten naturlige ukontrollerbare og tilnærmet konstante faktorer eller ved kategoriseringer av virkemidler, politikk og inntektsnivå. Relevante studier undersøker gjerne effekter på fornybarandel, forbruk av fornybar energi eller CO₂-utslipp som avhengig variabel.

Fornybarandelen, forbruket og utslipp reflekterer ikke nødvendigvis utviklingen i fornybar energi. Det er derimot denne utviklingen som er av interesse i denne studien. Fornybar energiproduksjon er derfor vurdert å være en mer presis utfallsvariabel.

Et begrenset utvalg av studier er utført med hensyn på Norge innenfor temaet. De har andre fokus og benytter andre metodologiske tilnærminger. Etter min kunnskap er ingen studier med tilsvarende problemstilling og metodologisk analyse utført tidligere for Norge. Jeg identifiserer herunder et gap i litteraturen, som jeg forsøker å bidra til å fylle. Resultatene er dermed bidragene til å utvide litteraturen og øke kunnskapen.

Resultatene under denne analysen er ingen fasit, men underbygger teorien og er hovedsakelig i samsvar med litteraturen. Økt innsikt i effekter av virkemidlene som implementeres kan rettlede offentlige myndigheter for en mer effektiv allokering av budsjett med hensikt på oppnåelse av utslippsreduksjoner. Imidlertid må andre faktorer også hensyntas i beslutningene. Optimal regulering er informasjons- og tidsavhengig. Det er videre viktig å bemerke at produksjon av fornybar energi ikke medfører utslippsreduksjoner i seg selv. Reduksjonene oppstår først når substitusjonseffekter forekommer fra fossil- til fornybar energi.

1.1 Fornybar energi

Begrepet «fornybar energi» er varierende i definisjoner og i hvilke kilder begrepet omfatter. International Energy Agency (IEA) anvender en definisjon som inkluderer vannkraft, biobrensel, nedbrytbart brennbart avfall, fotovoltaisk- og termisk solenergi, vindkraft, geotermisk, bølgekraft og tidevannsenergi (IEA, 2023). Fornybar energiproduksjon omfatter etter definisjon fra forskningsrådet produksjon av elektrisitet og varme fra fornybare energikilder. Fornybar energiproduksjon har ingen eller svært lave klimautslipp (Forskningsrådet, 2021, s. 20). Fornybar kilder kan inndeles under en mer overordnet kategorisering: solenergi, vannkraft, vindenergi, bioenergi og annen termisk energi (Forskningsrådet, 2021, s. 20). Det er definisjonene ovenfor som anvendes i studien.

1.2 Struktur og oppbygging

Påfølgende til dette introduksjonskapittelet følger kapittel 2 for litteratur gjennomgang. De mest sentrale studiene presenteres, fra globalt til norsk fokus. Videre i kapittel 3 ønsker jeg å tilby et mer overordnet perspektiv gjennom en internasjonal oversikt av globale klimamål og forventet utvikling i fornybar energi. Deretter retter jeg fokuset på Norge i kapittel 4. Her vil jeg gjennomgå sentrale elementer ved Norges energi- og klimapolitikk, elektrifisering, samt olje og gass i omstillingen. Videre vil utviklingen i fornybar energi i Norge presenteres, historisk og for fremtiden. Kapittel 5 inkluderer en mer inngående forklaring av ulike miljøøkonomiske virkemidler som implementeres i Norge. I kapittel 6 følger en gjennomgang av slike virkemidler i et teoretisk perspektiv. I kapittel 7 presenterer jeg overordnet om tidsserieanalyser og forklaringer av den økonometriske metoden som vil anvendes for å undersøke effektene av virkemidlene empirisk. I kapittel 8 følger en oversikt over variablene som vil inngå i analysen, samt en spesifisering av tilhørende hypoteser. Resultatene av analysen legges frem i kapittel 9. En diskusjon følger i kapittel 10. Deretter vil jeg konkludere problemstillingen i kapittel 11. Videre forskning foreslås i kapittel 12. Referanseliste og vedlegg følger i kapittel 13 og 14, respektivt.

2. Stå på skuldrene til kjemper

Innen konteksten av miljø og klima er litteraturen omfattende, også innen drivere og barrierer for anvendelse av fornybar energi. Mange studier tar for seg forklarende faktorer for anvendelse av fornybar energi innen økonomiske, miljømessige, politiske, regulatoriske, sosiale og teknologiske faktorer (Şener et al., 2018, s. 2337). Utvalgte artikler er vurdert å være særlig relevante og oppsummerende for litteraturen. Et flertall av studier undersøker tilsvarende emner, med til dels varierende resultater. Studiene vil presenteres i hovedtrekk i rekkefølge fra de mer overordnede, globale og USA, til mer spesifikke i EU og Europa, OECD, nordiske land og til slutt Norge.

Tudor og Sova (2021) foretar en empirisk undersøkelse av effekten av Gross Domestic Product (GDP) *per capita*, karbon intensitet og offentlige utgifter til FoU på fornybar energikonsum ved paneldata for 94 land. Forfatterne finner statistisk signifikans for forholdet mellom karbon intensitet og konsum. Denne effekten var særlig representativ for lav- og veldig høy-inntekts land. Videre støtter resultatene at FoU i stor grad bidrar til økning i konsum av fornybar energi i veldig høy-inntekts land.

Fischer og Newell (2008) skiller mellom seks typer politikk for påvirkning av CO₂-utslipp, og for å fremme innovasjon og fornybar energi. De finner følgende rangering av virkemidler i elektrisitetssektoren i USA: (1) utslippspris, (2) utslippsstandard, (3) skatt på fossil kraft, (4) pålagt fornybarandel, (5) fornybar subsidie og (6) FoU subsidie.

Forfatterne identifiserer utslippspris som det mest effektive virkemidlet ved reduksjonsmål, alle mål større enn «veldig små», i det scenarioet hvor kun ett virkemiddel implementeres. Funnet begrunnes i at en utslippspris utløser flere insentiver: produsenter innen fossil energi til å redusere utslipp intensiteten, sluttbrukere til å spare energi, produsenter av fornybar energi til å utvide produksjonen og investere i kunnskap for å redusere kostnadene ved den. Gjennomgående er virkemidlene som gir insentiv til reduksjon hos fossilprodusenter og sparing hos sluttbrukere de mest effektive for utslippsreduksjon. Test for FoU-subsidie indikerer mindre betydning, særlig ved moderate reduksjonsmål. De konkluderer videre med at en optimal portefølje av virkemidler inkluderer både utslippspris og FoU- og læringssubsidier, og kan redusere utslipp til en betydelig lavere kostnad sammenlignet med ett virkemiddel alene.

De legger imidlertid til den mer betraktelige betydningen FoU kan få ved gjennombrudd innen teknologien i en mer langsiktig tidshorisont.

I en studie av Gan og Smith (2011) forsøker de å identifisere faktorer som frembringer ulikheter i forsyning av fornybar energi. De undersøker herunder ukontrollerbare landsspesifikke faktorer som differensierer utgangspunktet for fornybarutbygging, slik som landareal og andel av skog. De finner at ikke bare landsspesifikke faktorer er avgjørende; resultatene foreslår også GDP og markedsvirkemidler med signifikant og positiv påvirkning på tilbud. Derimot finner de ikke signifikans for andre energipolitiske virkemidler som FoU-utgifter, eller energipriser og CO₂-utslipp.

Depren et al. (2022) undersøker virkningen klimaavgifter har på CO₂-utslipp i nordiske land med utgangspunkt i kvartalsvisdata for 1994 til 2020. De ulike avgiftene de inkluderer i modellen ilegges CO₂, energi, forurensing, transport og en total miljøavgift. Forfatterne legger vekt på sammenhengen mellom miljøødeleggelser og energiforbruk. Deres empiriske funn er kausale effekter av avgiftene både på aggregerte og disaggregerte nivåer, men med forskjeller mellom landene. Særlig gjeldende for Norge er effekten av avgifter på utslipp, men alle avgiftene indikerer effekter.

Flere paneldata studier for europeiske og EU land er utført med fokus på fornybar energi som andel av total energiproduksjon som avhengige variabler, men med hensyn til ulike forklarende variabler. Damette og Marques (2018) benytter GDP, CO₂ *per capita*, energi konsum, selvforsyning og oljepris som forklarende variabler. Hovedfunnet er et negativt statistisk signifikant forhold mellom CO₂ og fornybar energiproduksjon. Marques og Fuinhas (2011) undersøker effekter med fokus på politisk forpliktelse til fornybar produksjon. De finner signifikant effekt av forbruk av fornybar energi i en periode, på forbruk i en påfølgende periode. Marra og Colantonio (2021) undersøker drivere og barrierer med fokus på sosiotekniske aspekter som utdanning og bevissthet i utvalgte EU land som netto importører av energi.

Globalt sett er det en generell enighet for effekter av virkemidler og ulike forhold med CO₂-utslipp. Studier baseres særlig med fokus på miljøavgifter, men også grønn energi og teknologi, samt FoU som tilnærming til utslippsreduksjoner. Sharif et al. (2023) undersøker nordiske land, herunder Norge. De finner støtte for både kortsiktige- og langsiktige negative assosiasjoner av grønn teknologi, miljøavgifter og grønn energi på CO₂-utslipp. Nosheen et al. (2021) baserer

sin studie i Europa, og finner at investeringer i FoU og miljøavgifter er nødvendig. Mishra et al. (2020) finner at et «cap-and-trade»-system er kilde til reduksjon av karbon-baserte utslipp og ikke-fornybar energi. He et al. (2019) finner at miljøavgifter medfører utslippsreduksjoner både i OECD og Kina. Ma et al. (2021) konkluderer med at miljøavgifter, energi-investeringer, innovasjon og FoU potensielt kan redusere CO₂-utslipp og øke anvendelsen av fornybar energi i Kina. Doğan et al. (2022) finner tilsvarende støtte for effekten av miljøavgifter på CO₂-utslipp i G7 land. Adedoyin et al. (2021) finner langsiktig forhold mellom CO₂-utslipp og fornybar energi i Japan.

I likhet med Newell og Fisher, finner Grimaus og Lafforgue (2008) at den beste måten å hindre klimaendringer på er en kombinasjon av karbonavgift og grønne forskningssubsidier. Resultatene av en teoretisk modell i Acemoglu et al. (2012) samsvarer også med at optimal politikk involverer både karbonavgifter og FoU-subsidier. De viser også muligheten for en omdirigering av FoU mot rene innovasjoner gjennom midlertidige avgifter eller subsidier.

Som nevnt ovenfor er Norge inkludert i et par av overordnede studier som Depren et al. (2023) og Sharif et al. (2023). Litteraturen er begrenset for studier utført med primært fokus på Norge.

Bruvoll og Larsen (2003) undersøker effekten av den norske karbonavgiften over perioden 1990 til 1999. Dataen som benyttes er inndelt etter endringer i CO₂, metan, N₂O og flere drivere som priser, teknologisk fremgang, politiske tiltak og andre faktorer som påvirker økonomien. De finner relativt liten effekt av karbonavgiften. Beregnet utslippsreduksjon som følge av karbonavgiften er 1,5 prosent på land og 3,0 prosent offshore; en total reduksjon på 2,3 prosent. Den lave effekten begrunnes i at flere sektorer var unntatt avgift i perioden, og at de som ble ilagt avgiften hadde uelastisk etterspørsel. Videre finner de mer effektiv utnyttelse av energien og endringer i energimiksen ved substituering til mindre karbonintensiv energi, som de viktigste faktorene for utslippsreduksjoner per enhet GDP over perioden.

Andre analyser som tar for seg virkemidler i relevans for Norge er Ibenholt et al. (2012) og Gulbrandsen og Hermansen (2022). Gulbrandsen og Hermansen analyserer norsk klimapolitikk som koblet opp mot EU. De viser at den tette tilknytningen til EUs klimapolitikk og Parisavtalen har økt det politiske presset for å kutte klimagassutslipp innenlands, selv om fleksibilitetsmuligheter er holdt åpne for å gjennomføre kuttene i EU. Ibenholt et al. undersøker samspill mellom hvite og grønne elsertifikater med andre virkemidler slik som EU ETS, og

effekten av dette samspillet i oppnåelse av ulike mål. De understreker spesielt potensielle motstridene effekter og ingen effekter av implementering av nye virkemidler.

Relevante studier for Norge inkluderer også Jåstad et al. (2022) og Rosenberg et al. (2013). Jåstad et al. fokuserer på samspill og sensitiviteter rundt usikkerhet i energimarkeder med hensyn til energipriser og markedsverdier på fornybar energi, teknologisk usikkerhet og politisk usikkerhet. Rosenberg et al. analyserer etterspørselseffekter. De finner at redusert etterspørsel for energi resulterer i høyere fornybarandel relativt til økt etterspørsel. Videre finner de at produksjonen av fornybar energi øker med økende etterspørsel for energi.

3. Status globalt

3.1 Status - Globale klimamål

Reduksjonsmål for klimagassutslipp for å avbøte klimaødeleggelser er en prioritet på verdensbasis. Historisk sett har klimamål vært definert enten ved stabilisert nivå av konsentrasjoner i atmosfæren, som i FNs klimakonvensjon 1992, eller i form av prosentvise reduksjoner i utslipp, som i Kyoto Protokollen 1997. Kyoto-protokollen var den første internasjonale traktaten som fastsatte bindende mål for reduksjoner av klimagasser, og omtales derav gjerne som en historisk milepæl innen den globale klimapolitikken (Şener et al., 2018, s. 2335).

I senere tid defineres mål med hensyn på oppnåelse av netto-null utslipp. Mer enn 120 land har nå formulert mål for oppnåelse av en form for netto null innen 2050, i samsvar med Parisavtalen av 2015 (Frankhauser, et al., 2022, s. 16). Hovedaspektet i Parisavtalen er målet om å begrense økningen i den globale gjennomsnittstemperaturen til under 2 grader celsius, og preferert under 1,5 grader celsius (United Nations, u.å.). Parisavtalen fastslår at alle land som har ratifisert den, er forpliktet til å utarbeide såkalte nasjonalt fastsatte bidrag (NDC). Europakommisjonen la i 2019 frem Europas grønne giv som en strategi for grønn vekst og for å sikre et mer bærekraftig og konkurransedyktig Europa. Strategien er ment å redusere netto drivhusgassutslipp med minst 55 prosent innen 2030, som et steg i retning av oppnåelse av et klimanøytralt Europa innen 2050 (Miljødirektoratet, 2021; European Commission, 2021).

Ifølge UNEPs årlige utslippsrapport for 2022 er vinduet for å oppnå målene i ferd med å lukkes (UNEP, 2022, s. 16). Av rapporten for 2021 fremkommer en femti-femti sjanse for overskridelse av 1,5-gradersmålet over de neste to tiårene. Den eneste tilstrekkelige tilnærmingen er umiddelbare, raske og storskala omstillinger for reduksjoner av miljøutslipp. Dersom ikke tilstrekkelig omstilling finner sted innen den angitte tidsrammen vil målet ikke lengre være oppnåelig innenfor dette århundret (UNEP, 2021, s. 1).

Under oppfordring oppdaterte mange land nye mål i sammenheng med COP26 2021. Likevel rapporterer United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) og UNEP, selv de nye og oppdaterte NDC-målene for å være utilstrekkelige. Oppnåelse av NDC-målene

er tilstrekkelig for å holde temperaturøkningen til 2,6 eller 2,4 grader. Videre konstateres det av UNEP at faktisk implementert politikk i landene ikke er tilstrekkelig for oppnåelse av lovnadene under NDC-målene. En videreføring av innført politikk vil medføre en 2,8 graders økning innen utgangen av inneværende århundre. En fortsatt stigning i temperaturen forventes også etter år 2100 ettersom ingen prognose for null utslipp før dette følger av nåværende politikk (UNEP, 2022, s. 21).

3.2 Særlig tidsrelevans – Russland

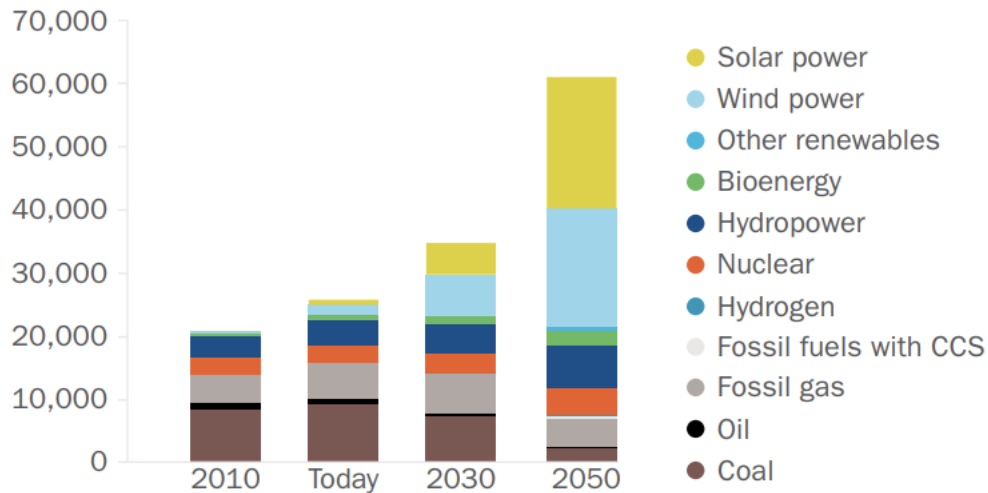
Russlands invasjon av Ukraina, februar 2022, har resultert i hva IEA omtaler som «the first truly global energy crisis». En invasjon som har medført hindringer i forsyningene av- og derav økt prisene på fossil energi i verdensmarkedet. Situasjonen har imidlertid også medført videre virkninger som økt oppmerksomhet rundt viktigheten av nasjonal forsyningssikkerhet, styrkede fornybartiltak og har gjort sol og vind mer konkurransedyktig prismessig relativt til andre kilder (IEA, 2022a, s. 10, 12; Statkraft, 2022, s. 9, 10; bp, 2022, s. 2). Dersom den nåværende krisen og de medfølgende høye prisene viser seg å resultere i økte investeringer i fornybar energi, kan resultatet akselerere den grønne omstillingen (Statkraft, 2022, s. 13).

I lys av invasjonen presenterte den europeiske kommisjonen REPowerEU, 18. mai 2022. REPowerEU er en plan med hensikt å gjøre Europa uavhengig av fossilt brensel fra Russland før 2030. Planen innebærer sparing av energi, produksjon av ren energi og diversifisering av energiforsyning. Det vil kreve utbygging av infrastruktur og økt hastighet mot en grønn omstilling (European Commission, u.å.). REPowerEU illustrerer hvordan energikrisen har utløst en sterkere politisk vilje til å fremskynde overgangen til ren energi og øke innsatsen for å diversifisere energikildene.

3.3 Status - Fornybar energi globalt og i Europa

Globalt utgjorde fornybar energi om lag 26 prosent av elektrisitetsproduksjonen i 2018, og andelen er klart økende (Dugstad & Bartnes, 2021, s. 26). I IEAs nyeste prognoserapport fremkommer en forventet økning i fornybarkapasiteten i perioden 2022 til 2027 med omtrent 2400 GW. Utbyggingen vil tilsvare 85 prosent akselerasjon sammenlignet med de foregående

fem årene. Fornybare kilder vil utgjøre 90 prosent av opphavet til den globale økningen i elektrisitetsskapasitet i perioden, og vil dermed utgjøre den største andelen. REPowerEU vil være av hoved driverne, i tillegg til planer i Kina, USA, og India (IEA, 2022b, s. 10).



Figur 1: Global elektrisitetsproduksjon etter kilde [TWh]. Figuren er hentet fra Statkrafts lavutslippsscenario (2022), s. 23.

Ifølge Statkrafts lavutslippsscenario (2022), som representert i figur 1, vil det forekomme en dobling i den globale krafttettersspørselen frem mot 2050, hvorav 80 prosent genereres fra fornybare kilder. Sol fotovoltaikk vil øke 26 ganger fra i dag og blir derav den største kraftkilden, etterfulgt av vind- og vannkraft (Statkraft, 2022, s. 23). Fornybarkapasitet fra hydrogenproduksjon øker 100 ganger innen de neste fem årene (IEA, 2022a, s. 14).

I Europa leder sol fotovoltaikk veksten, etterfulgt av landbasert vind, havvind, bioenergi og vannkraft. Ifølge IEAs prognoser vil ikke målene under REPowerEU oppnås for alle sektorer slik kursen er satt i dag. Målet for elektrisitet er installert kapasitet for 69 prosent fornybar elektrisitetsproduksjon innen 2030. For å oppnå målet må årlig tillagt kapasitet fra sol fotovoltaikk øke med 30 prosent og mer enn en dobling kreves i vindkraft. Revidert og forbedret virkemiddelbruk i Europa kan i stor grad bidra til en drastisk økning i fornybarutbyggingen, og følgelig rettlede EU i retning for oppnåelse av målene. Utviklingen vil avhenge av landenes tilrettelegging gjennom virkemidler, herunder med hensyn på det regulatoriske, tillatelser og andre finansielle utfordringer (IEA, 2022a, s. 11, 12).

4. Status Norge

En omstilling av norsk næringsliv står høyt på agendaen når det gjelder å sikre framtidig økonomisk vekst (Rybalka & Bakke, 2020). Norge har i stor grad frakoblet økonomisk vekst og energiforbruk i lang tid (IEA, 2022, s. 11). Slik frakobling innebærer at økonomisk vekst ikke nødvendigvis krever økt forbruk av energi. Norge er en energinasjon med forutsetninger for verdiskapning gjennom utvikling av lavutslippssamfunnet og videreutvikling av en lønnsom energinæring med nasjonale- og internasjonale markedsmuligheter (energi21, 2022, s. 30).

4.1 Norges energi- og klimapolitikk

Norges energipolitikk og miljø- og klimapolitikk integreres i økende grad. Politikken har i stor grad sammenfallende formål og må ses helhetlig. Energi spiller en sentral rolle i miljøpolitikken hvor en grønn omstilling står sentralt. Miljømyndighetene må føre politikk sammenfallende med energipolitikken, energimyndighetene må føre politikk sammenfallende med miljøpolitikken, og de må også samarbeide i økende grad.

4.1.1 Energipolitikk

Norsk energipolitikk har som formål å sikre velfungerende markeder, herunder tilrettelegge for et effektivt, klimavennlig og pålitelig energiforsyningssystem, gjennom tilpassede virkemidler og oppdaterte regulatoriske rammeverk i et raskt omstillende marked (Olje- og energidepartementet, 2021).

Den sittende regjering ønsker å føre en energipolitikk som bygger på tilgang til rikelig med fornybar energi som et konkurransefortrinn for norsk industri, og som bidrar til positiv samfunnsutvikling. Omstilling av økonomien innebærer herunder å legge til rette for nye næringer som havvind, hydrogen, samt fangst og lagring av CO₂ (CCS) (Prop. 1 S (2022-2023), s. 18). Utbygginger av fornybare energikilder bidrar til verdiskapning, blant annet i form av forsyningssikkerhet og arbeidsplasser. Olje- og energidepartementet (2017) nevner avgifter og prising av utslipp, Enova, FoU og elsertifikater, samt lover og konsesjonsregelverket med flere i et overblikk av virkemidler for oppnåelse av regjeringens energipolitiske målsettinger.

4.1.2 Norges klimaplan

Norges klimaplan, for 2021 til 2030, inneholder forslag til politikk for å oppfylle klimamålet. Dette innebærer økonomiske virkemidler som avgift og kvoter, lovreguleringer og støtteordninger (Regjeringen, 2021c). Hovedvirkemidlene er avgifter på klimagassutslipp, regulatoriske tilnærminger, klima-relaterte krav i offentlige anskaffelsesprosesser, offentlig tilgjengelig informasjon om klimavennlige alternativer, finansiell støtte til utvikling av nye teknologier, og initiativer for å promotere FoU (IEA, 2022, s. 22). En nærmere presentasjon av utvalgte virkemidler følger i kapittel 5.

4.1.3 Deltakelse i internasjonale handels- og miljøavtaler

I utarbeidelse av miljøpolitikk må Norge hensynta sin deltakelse i internasjonale handels- og miljøavtaler (konvensjoner) som kan begrense eller forplikte ulike formål. Aktuelle handelsavtaler er EØS og verdensorganisasjonen for handel (WTO). Handelsavtalene består av en rekke regelverk rundt vilkår og avgifter i internasjonal handel. Det stilles herunder krav til miljøskatter- og avgifter (NOU 2015: 15, s. 48-49). Gjennom EØS-avtalen er Norge i høy grad tilknyttet EUs overgripende klimapolitikk (Ibenholt et al., 2012, s. 15, 16). Norge støtter visjonene i Europas grønne giv og skal bidra inn og være partner i arbeidet (Miljødirektoratet, 2021). Norge deltar i EUs interne energimarked, og er herunder deltakende i EU ETS og andre virkemidler som deler av EUs klar-for-55 strategi (IEA, 2022, s. 21). Klima- og miljøavtaler inkluderer klimakonvensjonen og Parisavtalen. Felles er formålet om samarbeid for å begrense klimagassutslippene (Regjeringen, 2021b).

4.1.4 Nasjonalt fastsatte bidrag

Norges NDC under Parisavtalen forplikter til å redusere utslippene med minst 40 prosent innen 2030, sammenlignet med 1990-nivå. I 2019 inngikk Norge klimaavtalen med EU, og målet gjorde seg heretter juridisk bindende. I etterkant har både Norge og EU skjerpet klimamålene, nå til minst 50 og *opptil* 55 prosent innen 2030. Norge har meldt inn et *ønske* til FN om å nå det oppdaterte og mer ambisiøse målet i samarbeid med EU (IEA, 2022, s. 21).

Norges oppdaterte mål er nedfelt i lov om klimamål (Klimaloven, 2017, § 3). Klimaloven nedfeller videre klimamål for 2050, hvor det heter at «Norge skal være et lavutslippssamfunn i 2050» (Klimaloven, 2017, § 4). Videre av paragrafen følger:

Med lavutslippssamfunn menes et samfunn hvor klimagassutslippene, ut fra beste vitenskapelige grunnlag, utslippsutviklingen globalt og nasjonale omstendigheter, er redusert for å motvirke skadelige virkninger av global oppvarming som beskrevet i Parisavtalen (...)

(Klimaloven, 2017, § 4)

Klima- og miljødepartementet har per 21.april 2023 meldt inn forslag om å oppdatere det lovfestede klimamålet for 2030 til *minst* 55 prosent, slik at det samsvarer med Norges oppdaterte mål som meldt inn under Parisavtalen (Prop. 107 L (2022-2023), s. 1).

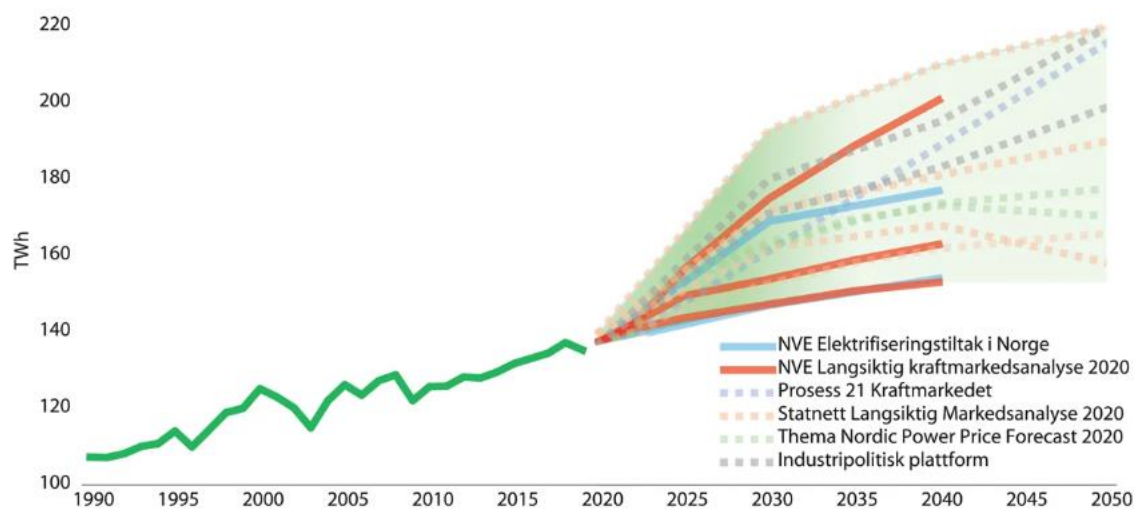
4.2 Elektrifiseringens rolle i energiomstillingen

Energi Norge, fornybarnæringens interesseorganisasjon, har en visjon om Norge i en global lederposisjon som verdens første fornybare- og helelektriske samfunn (Energi Norge, 2020). Elektrifisering er det viktigste tiltaket for en omstilling til et fornybarsamfunn og for å nå målene under Parisavtalen (Fornybar Norge, 2020). Elektrifisering innebærer å erstatte fossil energi med direkte bruk av elektrisitet. Foreløpig, dekker elektrisitet om lag 50 prosent av sluttforbruket av energi i Norge. Elektrifisering er også avgjørende for vår evne til å sikre høy verdiskaping i samfunnet. Det gjelder særlig med hensyn på at inntektene fra petroleumssektoren sakte, men sikkert vil synke i de kommende årene (Fornybar Norge, 2021). Norsk kraftproduksjon står i en særstilling; høyest fornybarandel i Europa og tilnærmet fri for utslipp med en CO₂-faktor lik 19 gram CO₂e/kWh (NVE, 2023). Norge leder foreløpig an i omstillingen på verdensbasis, men oppnåelse av klimamålene vil kreve enda større grad av elektrifisering og tillagt kapasitet av fornybar produksjon (IEA, 2022, s. 31; Fornybar Norge, 2020).

Relevante tiltak for Norge er å legge om energiforbruk til elektrisitet, eksportere teknologi og kunnskap, og utnytte fortrinnene fra den opparbeidede kompetansen for å utvikle nye løsninger

og grønne elektriske verdikjeder innen hydrogen, batterier og kraftsystemer (Energi Norge, 2020, s. 3). Mange av de mindre kompliserte elektrifiseringstiltakene er allerede utført. Dermed er det de mer krevende og komplekse omstillingene som gjenstår, særlig innen industri og transport (IEA, 2022, s. 50).

En vesentlig andel av Norges klimagassutslipp stammer fra fossil energi på sokkelen, i industrien på land og i transportsektoren. Flere tiltak er gjennomført innen petroleumssektoren; flere felt på sokkelen mottar *kraft fra land*. Hvorvidt dette er hensiktsmessig varierer mellom innretningene, og er derfor innført i varierende grad. Alternativ kraftforsyning under utvikling er havvind, hydrogen, energilagring og kraftproduksjon basert på spillvarme fra gassturbiner (Oljedirektoratet, 2020, s. 52, 53). Industrien på land har iverksatt flere elektrifiserings- og energieffektiviseringstiltak. Tiltakene kan kategoriseres i overgang fra gass til strøm for produksjon av varme, drift av roterende utstyr, og produksjon av hydrogen (Spilde et al., s. 13). Norge er ledende i elektrifisering av transportsektoren. Nullutslippsteknologi, biodrivstoff og mer effektive transportformer er blant tiltakene som er beregnet å bidra til regjeringens mål om å halvere utslippene fra sektoren innen 2023 (Meld. St. 36 (2020-2021), s. 33).



Figur 2: Historisk temperatur korrigert forbruk og anslag for norsk kraftforbruk mot 2040. Kilde: Meld. St. 36 (2020-2021), s. 42

I stortingsmeldingen *Energi til arbeid* sammenstilles flere prognoser for kraftforbruket i Norge som utarbeidet av ulike rapporter, se figur 2. Felles for prognosene er en enighet om en økende trend frem mot 2040, og fortrinnsvis også videre mot 2050 (Meld. St. 36 (2020-2021), s. 42).

4.3 Olje og gass

Olje og gass industrien utgjør en kritisk faktor for stabiliteten i den norske økonomien og er en viktig bidragsyter i finansieringen av den norske velferdsstaten. Petroleumsvirksomheten på norsk kontinentalsokkel er Norges største målt i verdiskapning, inntekter til staten, investeringer og eksportverdi. Hovedmålet i petroleumpolitikken er å tilrettelegge for lønnsom produksjon av olje og gass i et langsiktig perspektiv (IEA, 2022, s. 12; Prop. 1 S (2022-2023), s. 14).

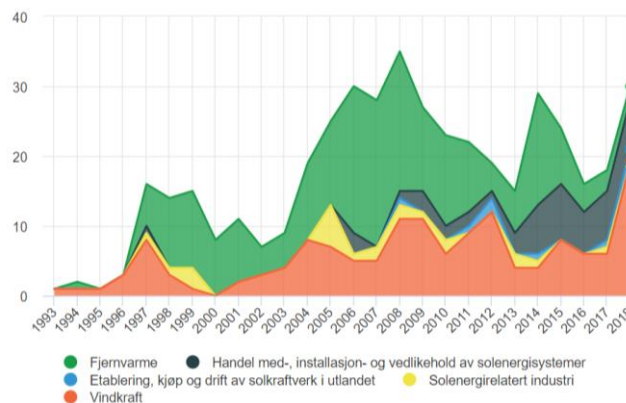
Til tross for at næringen har sikret stabilitet over lang tid, er det noen viktige momenter som må tas i betraktning i føringen av politikken for fremtiden. Olje og gass er av de største kildene til utslipp av klimagasser i Norge; omtrent en fjerdedel av de totale utslippene. Mot oppnåelsen av netto null innen 2050 og økt bevissthet rundt klimautfordringene kan etterspørselen falle. En annen viktig bemerkning er begrensningen i både olje og gass. Hverken olje eller gass er uendelige; reservoarene er ikke utømmelige. En vanlig antakelse på global basis er en gjennomsnittlig reduksjon på en rate tilsvarende tre prosent (Statkraft, 2022, s. 11, 13).

Utslipp på sokkelen reduseres, men brattere kutt kreves for å oppnå målene. Det er flere muligheter for videre utslippsreduksjoner i sektoren. Drivere for elektrifisering av sokkelen innebærer blant annet prising av utslipp gjennom kvotemarkedet og CO₂-avgiften. Høye utslippkostnader gir de som opererer på norsk sokkel en egeninteresse i å redusere utslipp. Reduksjonene kan ikke gjennomføres ved økning i karbonpris alene; det behøves også tillagt elektrisitet og teknologier slik som CCS i det lengre tidsperspektiv (IEA, 2022, s. 13). FoU kan redusere næringens klima- og miljøavtrykk (Prop. 1 S (2022-2023), s. 19).

4.4 Status - Fornybar energi i Norge

4.4.1 Utviklingen i etableringer – historisk perspektiv

I et historisk perspektiv over 25 år, fra oppstart og frem til 2018, har vindkraft, solenergi og fjernvarme vært særlig aktuelle *nye* næringer for det grønne skifte i Norge (Rybalka & Bakke, 2020).



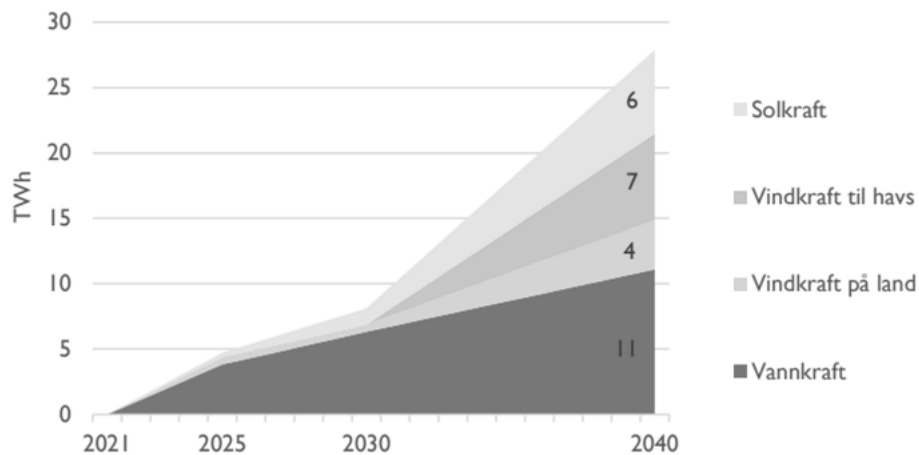
Figur 3: Antall etableringer etter næring, 1993-2018. Figuren er hentet fra SSB. Kilde: Rybalka og Bakke (2020)

Fra starten av 1990-tallet tilkom vindkraft- og fjernvarmenæringen i Norge, se figur 3. Mot enden av tiåret startet også etableringene i solenerginæringen. Utbyggingen har fortsatt å øke. Vind utgjorde 86 prosent av ny kraftproduksjon i 2020, og 55 prosent i 2021 (Olje- og energidepartementet, 2022). Andelen av elektrisitet fra vind er tidoblet det siste tiåret (til 2022), og er dermed den nest største kilden etter vann (IEA, 2022, s. 12). De siste årene fremkommer også en bratt økning for solenergi, fra 13 MW installert effekt i 2014 til 160MW i 2020 (Olje- og energidepartementet, 2022).

Til tross for økende trender, forekommer også store svingninger i etableringer. Slike svingninger kan blant annet tilskrives ulik grad av virkemiddelbruk. Til eksempel, innføringer eller avvikling av økonomiske støtteordninger gjennom Enova og Innovasjon Norge. Et annet eksempel på svingninger, tross utenfor perioden presentert av figuren, er ferdigstilling av flere store vindkraftprosjekter i 2020 og 2021 etterfulgt av få nye iverksettelsler. En mulig forklaring kan være at det oppstod stor motstand mot vindkraft på land. En annen at ordningen for

elsertifikater var betinget av oppstart før utgangen av 2021 (Andreassen, 2022). Andre *eksterne* faktorer kan også medføre svingninger. De siste årene har også det globale markedet på silisium gjort investeringer i solenergi mer usikkert og dyrere.

4.4.2 Utviklingen i etableringer - Fremtid



Figur 4: Økning i kraftproduksjon i Norge 2021-2040. Figuren er hentet fra NVEs Langsiktig kraftmarkedsanalyse for 2021 til 2040. Kilde: Birkelund et al. (2022) s. 34

Av Norges vassdrag- og energi (NVE)s langsiktige kraftmarkedsanalyse (2022) fremkommer en kraftig forventet økning i kraftproduksjonen i Norge frem mot 2030 og særlig videre mot 2040. Se figur 4 for illustrasjon.

Utviklingen i nivået og sammensetningen av fremtidig energibruk, herunder bruk av elektrisitet, er usikkert og avhenger av utviklingen i den norske økonomien. Flere faktorer vil ha innvirkning på utviklingen. Blant de er aktivitetsnivå i ulike sektorer, befolkningsvekst, teknologisk utvikling, priser på nødvendige innsatsfaktorer og konkurranseforhold i utlandet (Meld. St. 36 (2020-2021), s. 33).

Det er fremdeles flere muligheter for videre utbygging av fornybarproduksjon i Norge. I en stortingsmelding om energipolitikk med hensyn til klimaplanen mot 2030 uttrykkes en fremtidig forventning om nye industrier som hydrogen og havvind, styrking av kraftnettet, og en fremtidsrettet olje og gass industri med lave utslipp (IEA, 2022, s. 13). En slik utbygging vil

kreve grundige avveininger av forsvarlighet og miljøkonsekvenser i konsesjonsbehandlingene (Prop. 1 S (2022-2023), s. 15).

Vann

Vannkraft er avgjørende for at Norge har et tilnærmet utslippsfritt energisystem og samtidig høy forsyningssikkerhet. Vannkraften vil ha en viktig rolle i kommende år ettersom behovet for regulerbar og fleksibel kraftproduksjon øker (Prop. 1 S (2022-2023), s. 16). Den norske vannkraften vil ha fremtidig potensial knyttet til leveranser, både til nasjonalt og internasjonalt kraftmarked (Forskningsrådet, 2021, s. 24). Økningen vil i hovedsak resultere fra høyere virkningsgrad i eksisterende anlegg gjennom nye og oppgraderte kraftturbiner (Birkelund et al., 2021, s. 38, 63).

Sol

I Norge er det en betydelig fremvekst av solenergi; flere bakkemonterte solparker er under planlegging over hele landet. Et enda større potensial for kostnadseffektiv bruk av solceller er fremdeles ikke utnyttet (Forskningsrådet, 2021, s. 22). Kostnadene for solkraft er forventet å fortsette å falle. Elektrisitet fra sol er forventet å nærmest tredobles i løpet av perioden 2022 til 2027 (IEA, 2022, s. 25). Innen 2040 er solkraft forventet å bringe vesentlig bidrag til kraftproduksjonen i Norge.

Usikkerheten knyttet til utviklingen ligger hovedsakelig i nett og areal. Særlig bakkemontert sol vil kreve store arealer; interessekonflikter er ikke usannsynlig. En løsning som foreslås er mer effektiv utnyttelse gjennom sambruk med beite (Birkelund et al., 2021, s. 37).

Vind - på land og på vann

Norge har svært gode vindressurser. Det forventes en relativt lav økning i vindkraft frem mot 2030, men en heller kraftig økning fra 2030 mot 2040. Dette skyldes i all hovedsak en midlertidig stans i konsesjonsbehandlingene, og en lang behandlingsprosess.

Stans er grunnet i miljø og samfunnsinteresser. Utvikling i utbygging er usikker som følge av interessekonflikter, slik som MOTVIND Norge og nylige demonstrasjoner mot utbygging på Fosen. Motstand mot utbygging har ført til endringer av konsesjonsregler og dette vil føre til mindre utbygging de nærmeste årene (Forskningsrådet, 2021, s. 27, 29). Regulatoriske

rammeverk er fremdeles under utarbeidelse på dette området, og det er derfor usikkerhet rundt hvor mye og til hvilken tid vind vil bidra til Norges energimiks (IEA, 2022, s. 12).

Samtidig som det har vært mye lokal motstand mot utbygging av landbasert vind, synes det å være større oppslutning og aksept for havvind. Her finnes det fortsatt betydelig potensial for videreutvikling av et internasjonalt konkurransedyktig norsk næringsliv. Myndighetene legger til rette for konsesjoner i norske havområder for å danne et hjemmemarked og har store ambisjoner for utvikling av havvind i Norge (Forskningsrådet, 2021, s. 29). Hywind Tampen, verdens største flytende havvindpark, 88MW stod ferdigstilt 2022 (IEA, 2022, s. 12).

Det er planlagt utlysning og tildeling av ytterligere arealer for vindkraft på norsk kontinentalsokkel i 2023; Sørlige Nordsjø II for bunnfast- og Utsira Nord for flytende havvind. Olje- og energidepartementet planlegger neste, og større, tildelingsrunde i 2025 (Prop. 1 S (2022-2023), s. 15). I en stortingsmelding ble det fastslått igangsettelse av konsekvensutredning og identifisering av nye områder (Birkelund et al., 2021, s. 36).

Vindkraft på land er i dag den kraftproduksjonsteknologien hvor utbygging er mest kostnadmessig gunstig (Prop. 1 S (2022-2023), s. 16). Kostnadsnivået for flytende havvind er fortsatt høyt. Fortsatt teknologiutvikling og kostnadsreduksjoner er nødvendig om flytende havvind skal bli konkurransedyktig på sikt (Forskningsrådet, 2021, s. 28). Av NVEs beregninger følger at bunnfast havvind ikke vil være lønnsomt uten subsidier før 2030 (Birkelund et al., 2021, s. 6).

Hydrogen

Hydrogen produsert med ingen eller lave utslipp er en energibærer med betydelig potensial til å redusere klimagassutslipp (Regjeringen, 2022). Myndighetene har utarbeidet en hydrogenstrategi med delmål for 2025, 2030 og 2050 (IEA, 2022, s. 14). Mange selskaper utvikler prosjekter for produksjon, distribusjon og bruk av hydrogen produsert med lave eller ingen utslipp, til bruk i industri og transport. De fleste er i startfasen. For å bidra til å utvikle et marked og en helhetlig verdikjede for hydrogen, bidrar staten gjennom en lang rekke virkemidler (Prop. 1 S (2022-2023), s. 18).

Hydrogen produseres fra gass, elektrisitet eller ved elektrolyse. Hydrogen produsert ved elektrolyse drevet av fornybar strøm kalles grønt hydrogen og er klimanøytralt. Equinor og

Tysklands største energiselskap RWE har i samarbeid planer om storskala hydrogenproduksjon fra naturgass med CO₂-fangst og -lagring i Norge for eksport til Tyskland. Dette kalles blått hydrogen. Planen innebærer også lavkarbonhydrogen og utbygging av havvindparker for produksjon av fornybart hydrogen (Equinor, 2023a; Equinor 2023b).

Bioenergi og annen termisk energi

I Norge anvendes bioenergi til å lage biodrivstoff, biokarbon, biokull, fjernvarme eller elektrisitet. Flere av løsningene kan avlaste kraftnettet i elektrifiseringen. SINTEF undersøker hvordan biokull og biodrivstoff kan lages mer effektivt, og hvordan forbrenningsprosessene kan gjøres mer effektive (SINTEF, u.å.).

Utnyttelse av norsk skogavfall kan medbringe ny, norsk verdiskapning samtidig som industrien reduserer sine klimautslipp (Forskningsrådet, 2021, s. 30). Biozin AS, Bergene Holm AS, og Shell plc planla i samarbeid å benytte Shells nyutviklede IH2®-teknologi til å omdanne slikt skogsavfall til det avanserte biodrivstoffet Biozin. I 2022 fikk prosjektet tilsagn om støtte fra EUs Innovasjonsfond på 75 millioner euro og fra Enova på 506 millioner kroner (Biozin Holding AS, 2022). Shell har avsluttet satsingen på teknologien, men flere aktører arbeider med å utvikle lignende teknologier (Sigurdsen & Rogalansen, 2023).

5. Miljøøkonomiske virkemidler

En rekke miljøøkonomiske virkemidler er innført i Norge, både i form av positive insitamenter og restriktive tiltak for å øke bruken av fornybare energikilder. Virkemidlene er ment å fremme ønsket aktivitet og disinsentivere uønsket aktivitet. Norge implementerer følgende viktige virkemidler: avgifter og kvotesystemer gjennom den norske karbonavgiften og sin deltakelse i EU ETS respektivt og FoU-støtte gjennom forskjellige initiativer. I kraftmarkedet implementeres også elsertifikater.

Den relative effekten av de enkelte virkemidlene er imidlertid ikke sikker. Det er generelt argumentert for effekten av direkte fremfor mer indirekte virkemidler. Det fremkommer av Ibenholt et al. (2012) at eksertne kostnader relatert til forurensing reguleres mest kostnadseffektivt gjennom direkte rettede virkemidler på utslippene, herunder kvotesystemer, avgifter og direkte reguleringer (s. 23). Økonomer argumenterer typisk for en direkte pris på CO₂, enten gjennom omsettbare kvotesystemer eller ilagte avgifter, som mest effektive insentiver for utvikling og anvendelse av mindre forurensende teknologier (Fischer & Newell, 2008, s. 3).

I følge Rybalka og Bakke (2020) er offentlige støtteordninger og reguleringer viktige medvirkninger til utvikling. Fordeling av støtte bygger på antakelser om positive eksterne effekter på utvikling av grønne teknologier og på bruk av bærekraftige energikilder. De reelle eksterne effektene er derimot ikke ukomplisert å verdsette.

5.1 Avgifter og kvotesystemer

Hovedvirkemidlene i Norges klimapolitikk er avgifter og det europeiske kvotesystemet EU ETS (Ibenholt et al., 2012, s. 17). Om lag 80 prosent av klimagassutslippene, hvor mesteparten er forårsaket av fossile energikilder, er underlagt avgift eller kvoteplikt, eller begge deler. Til eksempel er petroleumssektoren underlagt både EUs kvotesystem og Norges CO₂-avgift (Olje- og energidepartementet, 2019a).

Miljøavgifter og omsettelige kvoter er å betrakte som de mest kostnadseffektive virkemidlene i miljøpolitikken (NOU 2015: 15, s. 48). Den norske karbonavgiften og EU ETS er iverksatt

med den hensikt å oppnå mål for utslippsreduksjon på en fleksibel og kostnadseffektiv måte (The World Bank Group, 2023). Kvotesystemet setter et (eksogent) øvre tak på totale utslipp og prisen bestemmes derav i markedet (endogent). Ved karbonavgiften fastsetter myndighetene prisen (eksogent) og utslippene av markedet (endogent) (Ibenholt et al., 2012, s. 17). Ordningene fungerer som økonomiske signaler, idet de påfører ansvarlige aktører den eksterne kostnaden utslippene påfører samfunnet, gjennom en direkte utslippspris per tonn CO₂-ekvivalent. De ansvarlige aktørene er de som kan påvirke utslippene, og velger selv ønsket tilnærming. De kan respondere ved å omstille aktivitetene, redusere utslippene, eller betale og opprettholde likt utslippsnivå. Det oppstår en insentiverende effekt til å rette finansielle investeringer dit de kreves for å stimulere til rene teknologier og markedsinnovasjoner, herunder potensielle nye drivere for økonomisk vekst (The World Bank Group, 2023).

5.1.1 Norsk karbonavgift

Norge innførte karbonavgift i 1991 og var derved av de første landene til å ilegge slik avgift på forbrenning av fossilt brensel og petroleumssektoren (IEA, 2022a, s. 10).

Norsk karbonavgift omfatter flere typer og opphav, deriblant en særavgift på mineralprodukter, en separat avgift på utslipp fra petroleumsaktiviteter på kontinentalsokkelen, en avgift for utslipp fra HFC/PFC, og fra 2022 også på CO₂-utslipp fra avfallsforbrenning. Avgiften er estimert å overlape 43 prosent med EU ETS. Utslipp som omfattes av EU ETS er hovedsakelig unntatt. Det gjelder derimot ikke utslipp fra aktiviteter i offshore oljeproduksjon, innenriks luftfart og avfallsforbrenning. I Klimaplanen for 2021-2030 introduserte myndighetene planer om en gradvis økning av karbonavgiften på ikke-ETS utslipp til NOK 2000 per tonn CO₂-ekvivalenter innen 2030. I 2022 økte ratene med omtrent 30 prosent for fossile brenslere (IEA, 2022a, s. 10).

Avgiften kan drive meningsfulle utslippsreduksjoner. Reduksjonene vil derimot ikke utgjøre nok isolert sett til å oppnå Norges ambisiøse mål, og det ville være formålstjenlig for Norge å inkludere supplementerende insentiver og støtteordninger (IEA, 2022a, s. 10).

5.1.2 EU ETS (The European Union Emissions Trading System)

Det europeiske systemet for handel med utslippskvoter for CO₂, The European Union Emissions Trading System (EU ETS), ble iverksatt i 2005. Norge tar del i ordningen gjennom EØS avtalen av 2008 (Regjeringen, 2020). Systemet representerer den mest sentrale pilaren - over innsatsfordelingen for ikke-kvotepliktige utslipp, og opptak og utslipp av klimagasser i skog og andre landarealer - i EUs klimarammeverk, og er sentral i gjennomføringen av European Green Deal (den grønne given). Norge utsteder selv EU-kvoter; en andel tildeles norske kvotepliktige bedrifter uten kostnad, resterende selges i det europeiske kvotemarkedet (Ibenholt et al, 2012, s. 17).

Taket på antall kvoter, maksimalt antall CO₂-ekvivalenter som kan slippes ut hvert år, bestemmes av ordningen. Regelverket for 2021-2030 åpner for fleksibel gjennomføring for måloppnåelse av 2030-mål innad i EU og EØS. Medlemmene har blant annet anledning til å omsette kvoter innad i innsatsfordelingen, eller investere i utslippsreduserende prosjekter i andre stater (Guldrandsen & Hermansen, 2022, s. 174).

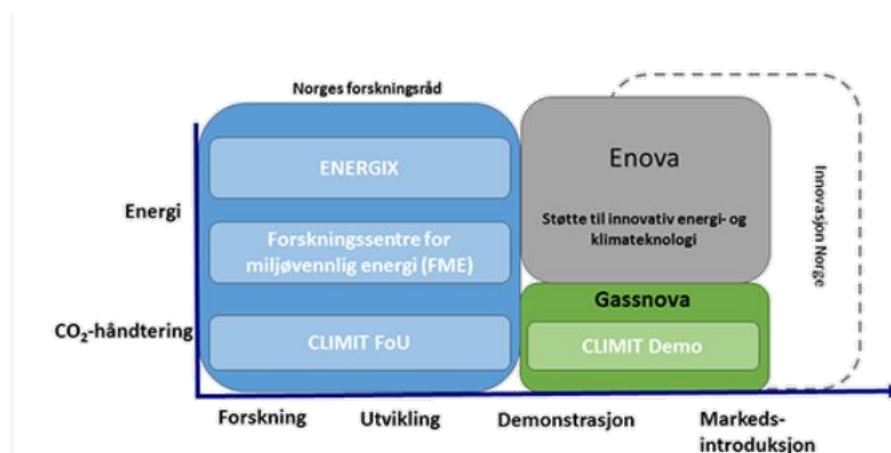
I kjølvannet av finanskrisen, 2008 og 2009, var industriaktiviteten kraftig redusert. Dette medførte store overskudd i kvoter med betydelig etterslep. Tiltak er iverksatt for å redusere overskuddet. Taket på tillatte utslipp reduseres med oppjustert prosentandel, fra 1,74 % p.a. til 2,2 % p.a. I 2019 ble det innført ytterligere en markedsstabiliseringsreserve hvor overskudd av kvoter over 833 millioner plasseres i reserven. Fra og med 2023 vil kvoter i reserven, som overstiger antall kvoter aksjonert det foregående år, slettes permanent (Miljødirektoratet, 2019).

5.2 Miljøsubsidier

Miljøsubsidier er et samlebegrep for offentlig forvaltnings utgifter i tilknytning til miljøstøtte og -overføringer til innenlandske produsenter. Hensikten er « (...) å øke omfanget av miljørettet økonomisk aktivitet, endre atferd i mer miljøvennlig retning, og til å bevare naturressurser og biologisk mangfold.» (Langdal, 2022). Dette inkluderer blant annet utbetaling av CO₂-kompensasjon, FoU støtte og kapitaloverføringer i form av investeringsstøtte fra Enova.

5.2.1 FoU

Norge har nasjonale forskningsstrategier med fokus på utslippsreducerende utvikling innen energi, herunder Energi 21 og OG21. Nasjonal forskningsstrategi for energiutvikling, Energi21, ble innført under Olje- og energidepartementet i 2008. Energi21 gir strategiske råd til Olje- og energidirektoratet angående innretningen av forskningsbevilgninger for hele energisektoren. Offentlig finansieringsstøtte kan utgjøre opptil 100 prosent av kostnadene ved grunnleggende forskning, og opptil 50 prosent av forskning utført av private aktører for påfølgende prosjekter.



Figur 5: Oversikt over viktige forsknings- og utviklingsinitiativer. Figuren er hentet fra Olje- og energidepartementet, 2019b.

Energi21 inkluderer blant andre initiativer for ENERGIX, FME, CLIMIT og hydrogen, hvorav de viktigste initiativene for energiforskning er ENERGIX og FME (Olje- og energidepartementet, 2019b). Figur 5 gir en oversikt.

ENERGIX ble opprettet i 2013 for forskning på fornybar energi, effektiv energibruk, energisystem og energipolitikk. Initiativet er rettet mot å realisere regjeringens gjeldende energi- og klimapolitikk. Formålet er å bidra til bærekraftig utnyttelse og effektiv bruk av fornybare energiressurser, reduksjon av norske og globale klimagassutslipp, styrke nasjonal forsyningssikkerhet, innovasjon og forskningsmiljøer (Regjeringen, 2021b).

Forskningssentre for miljøvennlig energi (FME) ble etablert i 2009. Initiativet innebærer flere sentre med sikte på langsiktig forskning rettet mot fornybar energi, energieffektivisering, CO₂-håndtering og samfunnsvitenskap. Forskningssentre er blant annet opprettet for CCS,

vannkraft, biobrensel, bærekraftig solcelleteknologi, vindkraft, og hydrogen og ammoniakk (Norges forskningsråd, 2023).

CLIMIT ble opprettet i 2005. Programmet administreres av Norges Forskningsråd og Gassnova SF i samarbeid under CLIMIT-FoU og CLIMIT-Demo, repsektivt. Programmet støtter forskning, utvikling og demonstrasjon av teknologikonsepter for CO₂-håndtering, samt å redusere kostnader og risiko ved å ta slik teknologi i bruk i fangst, transport, og lagring (CLIMITs programstyre, 2021).

Nasjonal forskningsstrategi for olje og gass i det 21. århundret, OG21, ble etablert i 2001. Strategien kan bidra med ny kunnskap og teknologi for å øke forsyningssikkerhet, redusere klimagassutslipp og bidra til verdiskapning. Initiativer under Strategien inkluderer PETROMAKS 2 og DEMO 2000 (Regjeringen, 2021d).

Norge tar også deltagelse i internasjonale forskningsinitiativer på området, blant andre Horizon 2020, IEA og Nordic Energy Research (Olje- og energidepartementet, 2019b). Gjennom EØS-avtalen er også EUs Innovasjonsfond tilgjengelig for norsk utvikling innen lavutslippsteknologi. Innovasjonsfondet er den fremste støtteordningen i EUs klimastrategi, den grønne given, og spiller en ledende rolle for implementasjon av Prisavtalen. Størrelsen på innovasjonsfondet avhenger av kvoteprisen under EU ETS (Enova, u.å.).

Miljøinnovasjon, herunder utvikling av teknologiske substitutter til forurensende teknologier, teknologier som gjør det billigere å fjerne forurensende utslipp, og renseteknologier synes å være essensielt for oppnåelse av utslippsmålene. Historisk har utvikling og ønskede energibidrag innen fornybar-energiteknologi vært avhengig av offentlige støtteordninger (Golombek et al, 2015, s. 1).

5.2.2 Elsertifikater

Elsertifikater ble innført i 2012 som et felles markedsbasert virkemiddel ment å frembringe ny fornybar kraftproduksjon i Norge og Sverige. Ordningen gir en ekstra inntekt til produsenter av fornybar energi, og gjør dermed utbygging av nye- eller utvidelse av eksisterende anlegg med fornybar elektrisitetsproduksjon mer lønnsom (Olje- og energidepartementet, 2023). Dette er

en form for mengderegulering idet myndighetene bestemmer besparelse, mens det nødvendige støttenivået bestemmes i markedet gjennom prisen (Ibenholt et al., 2012, s. 21).

6. Miljøøkonomiske virkemidler i teorien

Utleddet av grunnleggende mikroøkonomisk teori kan en begrunne offentlig virkemiddelbruk som en tilnærming for å korrigere for markedssvikter. Uregulerte markeder hvor markedssvikt foreligger vil ikke oppnå maksimal samfunnsøkonomisk lønnsomhet. Den viktigste årsaken til markedssvikt er trolig eksternaliteter, men også andre typer markedssvikter og barrierer som medfører ikke-optimale utfall kan forekomme (Ibenholt et al., 2012, s. 18, 19). Et uregulert marked, dersom det forekommer eksternaliteter, vil produsere for mye av negative eksternaliteter og for lite av positive eksternaliteter. Informert korrigerende av markedssvikter gjennom insitamenter og ilegging av avgifter kan øke den samfunnsøkonomiske lønnsomheten.

6.1 Statlig inngripen?

Myndighetene kan stimulere til samfunnsmessig optimal produksjon og konsum ved å regulere for markedssvikter gjennom insitamenter og ilegging av avgifter og kvoter. Optimal effekt av virkemidlene er betinget av at iverksettende myndighet innehar full informasjon om den marginale skaden ved utslipp, etterspørselskurven, kostnader, produksjonsteknologien (Perloff, 2018, s. 633) og mulige interaksjoner.

Dersom myndighetene innehar full informasjon, kan de tilskynde produserende aktører til å produsere optimalt. Dette skyldes at overflødige eksternaliteter ofte oppstår som resultat av uklart definerte rettigheter, hvor ingen marked eksisterer og som av den grunn ikke er begrenset eller har en pris. Goder uten rivalisering eller eksklusjon omtales gjerne som offentlige goder. Ved å tillegge en pris på utslipp, gjennom avgift eller kvoter, vil det tilføres en markeds mekanisme. Full informasjon kreves for å vurdere og å sette riktig pris eller mengdebegrensning på eksternalitetene. Uheldigvis er det sjeldent at myndighetene har slik fullstendig informasjon. Dersom full informasjon ikke foreligger hos myndighetene, vil den beste tilnærmingen avhenge av nivået av usikkerhet og karakteren på marginal kostnads- og marginal nyttekurve (Perloff, 2018, s. 637-638).

En annen begrensning for optimal regulering er tidsinkonsistens; riktig dosering av miljøpolitikken endres over tid. Det som fremstår som riktig dosering for en periode på

tidspunktet den besluttes, kan differensiere fra doseringen som viser seg å være riktig når denne perioden inntreffer (Golombek et al., 2015, s. 10).

I utarbeidelsen av virkemidler må viktigheten av forsyningssikkerhet, klimaendringer, miljøhensyn og verdiskapning tas i betraktning, samt prioriterte avveiiinger av dem. Det er avgjørende å finne løsninger som maksimerer den samfunnsøkonomiske lønnsomheten – høyest mulig velferd til lavest mulig kostnad (Olje- og energidepartementet, 2021).

6.2 Optimal «mengde» er ikke å eliminere utslipp totalt

En fullstendig eliminering av utslipp er ikke samfunnsøkonomisk optimal. Praktisk talt all produksjon og konsum krever utslipp, og skaper verdi. Optimalt utfall er essensielt en nytte-kostnads avveiging. Den samfunnsøkonomiske kostnaden ved å eliminere alle utslipp er høyere enn nytten ved det. For lite utslipp er altså en mulighet. Dette er tilfelle hvor prisen er høyere enn den totale samfunnsmessige marginale kostnaden ved utslipp fra produksjonen.

Velferden kan uttrykkes som nytten netto kostnaden. Det optimale nivået hvor velferd er maksimert finnes hvor marginal velferd med hensyn på utslipp er lik null - marginal nytte er lik marginal kostnad. Dette kan uttrykkes:

$$\frac{dV(U)}{dU} = \frac{dN(U)}{dU} - \frac{dK(U)}{dU} = 0, \quad (1)$$

hvor U er utslipp, $V(U)$ er velferden med hensyn på utslipp, $N(U)$ er nytten ved å redusere mengden utslipp, $K(U)$ er den samfunnsmessige kostnaden av unnlatt konsum som følge av reduserte utslipp. Mengden av utslipp som tilfredsstill uttrykket vil være markedslivekten, som presentert i figur 6. For å utføre avveiiingen må verdiene måles (Perloff, 2018, s. 630).

6.3 Verdsettelse av utslipp

Dersom de miljømessige skadene ikke tilordnes en verdi, vil markedet automatisk tilordne en verdi lik null. For å kunne identifisere den samfunnsmessige likevekten må hele den samfunnsmessige kostnaden og nytten inkorporeres i en beslutningsanalyse. Dette krever

kvantifisering i monetære verdier (Roach et al., 2019, s. 11). Klimaproblemet regnes som et av de aller mest komplekse ettersom oppvarmingen er global, utslippene akkumuleres og påvirker framtidige generasjoner. Det er generelt vanskelig å beregne verdien av miljøskader, og dermed også verdien av å forhindre dem (Bruvoll & Dalen, s. 30).

Et vanlig anvendt prinsipp ved verdsettelse er willingness-to-pay (WTP) prinsippet. Prinsippet tillegger økonomisk verdi ut ifra hvor mye noen er villig til å betale for noe. En estimering av marginal WTP for redusert utslipp som et mål på miljøkvalitet, kan anses som et mål på marginal privat nytte og dermed summeres til total nytte av et spesifikt reduksjonsnivå av utslipp. Med andre ord, utgjør summen etterspørselen etter miljøkvalitet (Maarraoui, 2023, s. 7).

Det er viktig å bemerke noen knappheter i anvendelse av prinsippet. For det første, er betalingsvillighet ofte sammenhengende med betalingsevne. For det andre, har noen typer naturkapital slik som økosystemer og arts mangfold iboende verdier i seg som det ikke nødvendigvis finnes betalingsvillighet for. Dette kan vekke rent etiske spørsmål om retten til liv, mens noen funksjoner i komplekse økosystemer kan være essensielle for fortsatt liv på jorden (Roach et al., 2019, s. 6-7). Nåtidsskjevhet, hentet fra atferdsøkonomien, er et annet viktig hensyn. Nåtidsskjevhet innebærer en høyere verdsetting av nåtiden enn fremtiden (NOU 2015: 15, s. 51). I mange tilfeller vil ikke willingness-to-accept (WTA), verdien noen er villig til å akseptere for å gi opp en gode, være lik WTP. Dette kompliserer kost-nytte analysen for offentlige goder ytterligere. Selv om ikke WTP kan anvendes som noe fasit kan prinsippet benyttes av myndighetene som retningslinje i budsjettfordeling for å adressere utslipp mer kostnadseffektivt (Tantiwat et al., 2021, s. 1).

6.4 Eksternaliteter

Vi kan tilnærme analysen av miljøutfordringer ved å anvende innsikt fra tradisjonell økonomisk teori, hvor konseptet om eksternaliteter er sentralt. En eksternalitet er en samfunnsøkonomisk kostnad eller gevinst som aktørene ikke belastes eller godskrives i markedet, og som av denne grunn ikke hensyntas i beslutninger om produksjon eller forbruk (Ibenholt et al., 2012, s. 19). I slike termer påføres samfunnet en eksternalitet når en økonomisk aktivitet, en markedstransaksjon, påvirker andre enn kjøperen og selgeren; en tredjepart. Slike

eksternaliteter kan være positive der det er til fordel for tredjeparten, eller negative der skade påføres tredjeparten.

En negativ eksternalitet kan typiske være forurensing fra produksjonsprosesser, for eksempel miljøkostnader fra energiproduksjon basert på fossile energikilder. En positiv eksternalitet kan oppstå fra forskningsaktivitet som bidrar til å heve kompetansenivået også hos andre aktører, og av substitutteffekter i form av reduserte utslipp ved overgang fra fossile- til fornybare energikilder. Ved forekomst av eksternaliteter i et uregulert marked vil det produseres for mye av negative eksternaliteter og for lite av positive eksternaliteter. Offentlig iverksetting av tiltak og virkemidler, gjennom insitamenter og ilegging av avgifter, kan korrigere for eksternaliteter og øke den samfunnsøkonomiske lønnsomheten (Roach et al., 2019, s. 10).

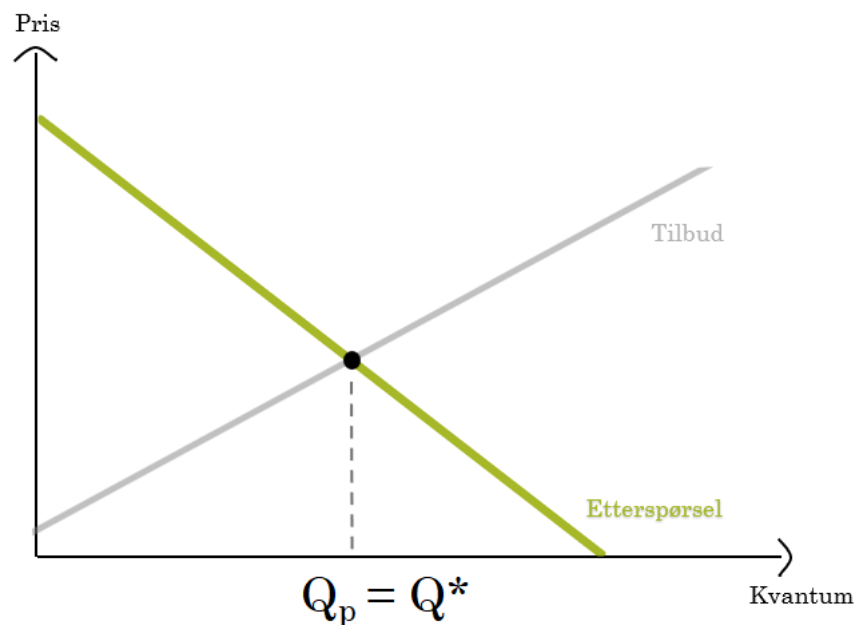
Riktig utformede restriktive tiltak korrigerer for markedssvikten av negative eksternaliteter. Restriktive tiltak kan øke prisen på fossil energi til å reflektere kostnadene samfunnet påføres i forbindelse med bruken av den. Fossil energi blir dyrere relativt til fornybare energikilder. Avgifter og kvotehandelssystemer for utslippsrettigheter tvinger aktørene til å internalisere de totale kostnadene i sin beslutning. Dette resulterer i endrede produksjons- og forbruksmønstre over tid, og bidrar til ny teknologiutvikling og -anvendelse (Olje- og energidepartementet, 2019a).

Tilsvarende, vil riktig utformede insitamenter korrigere for markedssvikten av positive eksternaliteter ved å gjøre miljøvennlige aktiviteter rimeligere. Dette kan resultere i endrede produksjon- og forbruksmønstre mot mer miljøvennlige alternativer, og kan dermed bidra til å redusere omfanget av miljøskadelige aktiviteter. Subsidier og andre støtteordninger tilskynder aktørene til å internalisere de totale fordelene i sin beslutning.

6.5 Teoretisk analyse

I en grunnleggende økonomisk analyse av markedet kan vi fremstille kostnader og nytte presentert av tilbud og etterspørselskurver, respektivt. En tilbudskurve reflekterer de *private* kostnadene ved produksjon. En etterspørselskurve kan anses som en *privat* nyttekurve ettersom den uttrykker forbrukernes oppfattede fordeler ved å tilegne seg en ekstra enhet. I krysningen av de to kurvene, hvor marginalkostnaden er lik marginalnyten, finner vi markedslivekten.

Denne markedslikevekten ville vært samfunnsøkonomisk effektiv – maksimert totalt overskudd for forbrukerne og selgerne - dersom det ikke forekom noen eksternalitet (Roach et al., 2019, s. 10). I markeder med eksternaliteter ville denne likevekten derimot være ineffektiv ettersom velferden ikke maksimeres og dermed medfører dødvektstap. Dødvektstapet utgjør netto reduksjonen i velferd fra et tap av overskudd for en gruppe, og som ikke oppveies av økning for andre. Dette forekommer som et resultat av at det uregulerte markedet sidestiller pris med den *private* marginalkostnaden fremfor den samfunnsmessige marginalkostnaden (Perloff, 2018, s. 629).



Figur 6: Likevekten finnes i skjæringspunktet mellom tilbudskurven og etterspørselskurven. Privat likevekt er samfunnsoptimal - dersom markedet er uten eksternaliteter. Basert på Roach et al., (2019), s. 9

6.5.1 Korrigering for negative eksternaliteter

Når kostnadene ved eksternaliteter ikke hensyntas av aktørene i markedet medfører det en overvurdering i markedet av netto sosiale fordeler fra aktiviteten. Uregulerte markeder med eksternaliteter produserer derfor overflødig negative eksternaliteter, og resulterer i velferd lavere enn hva som er mulig å oppnå. Virkemidler kan øke velferden. Avgifter og reguleringer kan forhindre overproduksjon av utslipp og andre eksternaliteter slike aktiviteter påfører samfunnet.

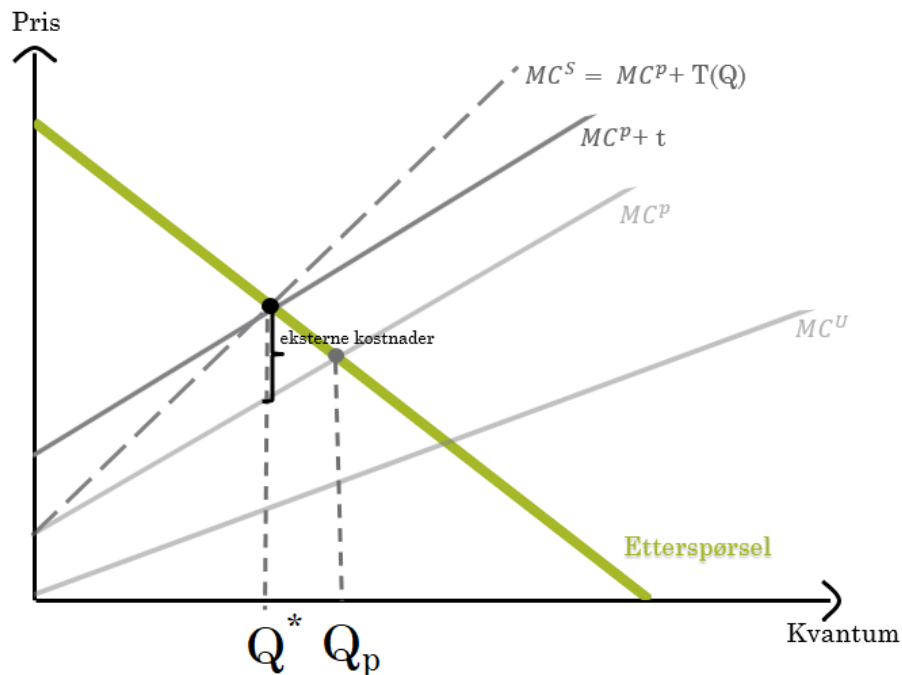
Myndighetene kan regulere en negativ eksternalitet direkte eller kontrollere den indirekte. Et direkte virkemiddel vil være å sette en begrensning på mengden av utslipp gjennom en utslippsstandard eller ilegge avgift på utslipp virksomhetene produserer. Myndighetene benytter imidlertid ofte indirekte virkemidler som mengdereguleringer og avgifter på innsatsfaktorer og produksjon (Perloff, 2018, s. 633).

En korrekt utformet miljøavgift er en Pigou-avgift, etter Arthur Pigou, og er lik marginal skadekostnad. Slik avgift følger av «polluter-pays» prinsippet, ettersom de ansvarlige påføres kostnaden ved skaden de påfører samfunnet (Roach et al., 2019, s. 13).

Polluter-pays prinsippet er en hjørnestein i det norske rammeverket for miljøpolitikk. Norges implementering av den norske karbonavgiften og det europeiske kvotesystemet er eksempler på politikk etter dette prinsippet. Prinsippet kommer derimot bare til anvendelse for kvoter som ikke tildeles vederlagsfritt, men vederlagsfri tildeling er fremdeles kostnadseffektivt idet de fritt kan omsettes (IEA, 2022a, s. 41). Når kvotemengden er optimalt fastsatt vil kvoteprisen være lik den marginale skadekostnaden, og dermed være lik Pigou-avgiften. På samme måte, vil en optimal CO₂-avgift medføre utslipp på det mest samfunnsøkonomisk lønnsomme nivået.

Dersom forholdet mellom produksjon og utslipp er proporsjonalt vil det ikke ha betydning om avgiften ilegges produktet eller utslippet. Dersom dette forholdet derimot kan varieres enten ved å endre innsatsfaktorene eller ved å anvende «pollution-control devices», vil en avgift på utslippene være mer hensiktsmessig (Perloff, 2018, s. 634). Det er generelt bedre å regulere utslippene direkte fremfor produksjonen ettersom det også vil oppmuntre til adopsjon av utslippseffektive teknologier. Avgift på produkter vil også medføre en omstendelig prosess ettersom ulike produkter medfører ulik mengde utslipp og ville måtte avgiftlegges forholdsvis for å oppnå optimal mengde. Økonomer anbefaler av denne grunn at Pigou-avgifter ilegges innsatsfaktorer så høyt opp i produksjonsprosessen som mulig. En avgift på fossile brensler er et eksempel (Roach et al., 2019, s. 15).

Avgift på utslipp



Figur 7: En riktig avgift på en negativ eksternalitet medfører et skift i tilbudskurven slik at privat likevekt og samfunnsøkonomisk likevekt er sammenfallende. Basert på Perloff, 2018, s. 635.

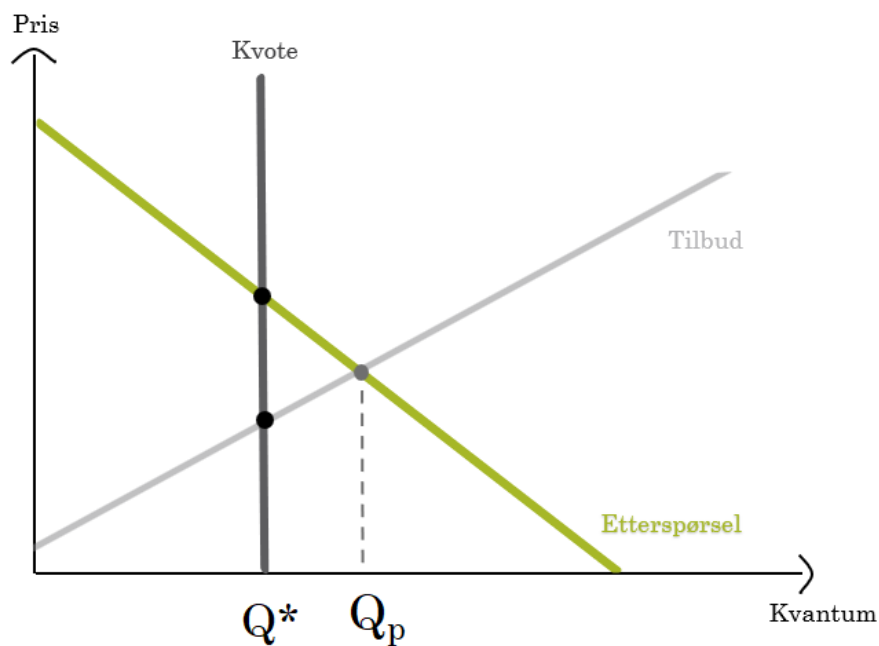
Korrigerings for negative eksternaliteter ved avgift kan fremstilles grafisk. Ved å summere tilbudskurven (den private marginalkostnadskurven) og den eksterne marginalkostnaden ved utslipp finner vi den samfunnsøkonomiske marginal kostnaden. I skjæringspunktet mellom denne kurven og etterspørselskurven (marginal nyttekurven) finner vi den samfunnsøkonomiske likevekten. I figur 7 representerer Q^* og Q_p samfunnsmessig og privat likevekts kvantum, respektivt. Kvantumet Q_p er høyere enn Q^* . Den vertikale avstanden mellom samfunnsøkonomisk marginal kostnad og privat marginal kostnad utgjør de eksterne kostnadene ved gitt kvantum. Ved å tilordne denne kostnaden til produsenten, vil produsenten tvinges til å internalisere den eksterne kostanden. Dette medfører et skift i privat marginalkostnads kurve, og en ny privat marginalkostnad vil bli lik den samfunnsmessige. Skjæringspunktet vil følgelig sammenfalle med den optimale likevekten.

Denne likevekten kan oppnås enten ved en produktavgift eller en spesifikk avgift. I tilfellet vor myndighetene kjenner marginal kostnaden ved utslippene kan de sette avgift, som varierer med mengden utslipp, lik denne marginale kostnadskurven, $t(Q) = MC^U$, slik at den private

kostnadskurven etter avgift er lik den sosiale marginal kostnaden. Den private likevekten blir derav lik den samfunnsmessig optimale likevekten. Myndighetene kan også ilegge en spesifikk avgift lik den marginale kostnaden av utslipp ved samfunnsmessig optimalt kvantum. Ved dette kvantumet vil dermed den private marginalkostnaden $MC^p + t$ være lik samfunnsmessig MC. Skjæringspunktet med etterspørselskurven gir dermed samfunnsmessig optimalt kvantum Q^* .

Produsentene betaler ikke avgiften i sin helhet alene. Den samfunnsmessig optimale likevekten er lengre opp på etterspørselskurven. Dette medfører høyere pris og forbrukerne reduserer derav antallet de kjøper. Hele avgiften bæres altså ikke av produsentene, men prisøkning utgjør ikke like mye som avgiften. En del av kostnaden påføres produsentene også gjennom redusert profitt (Perloff, 2018, s. 634, 635).

Mengderegulering



Figur 8: En optimalt fastsatt mengde kvoter hindrer overproduksjon forbi fastsatt begrensning.

Effekten av kvoter kan også fremstilles grafisk, se figur 8. I fravær av mengderegulering vil utslippet som produseres være Q_p . Samfunnsmessig optimalt kvantum er derimot Q^* . Det uregulerte markedet vil med andre ord produsere $Q_p - Q^*$ for mye. I tilfellet hvor en kvote tilføres markedet vil tilbudskurven vil være uendret opp til kvantumet som er satt av kvoten,

mens ytterligere kvantum i tilbudet er hindret. Kvoten kan dermed representeres ved en loddrett linje som treffer det optimale kvantumet satt under kvoten. Tilbud og etterspørsel utover dette kvantumet kan ikke innfris i markedet; produksjon og konsum må reduseres. På denne måten vil en mengderegulering ved kvoter, som under EU ETS, hindre utslipp utover optimal mengde.

Omsettbare kvotesystemer danner et marked for utslipp hvor verdien av produktet, gitt det begrensede utslippet, maksimeres. Kvotepreisen bestemmes av markedet, og vil øke ved knapphet i kvoter. Etterhvert som taket reduseres, vil prisene gå opp, og utslippene reduseres gjennom økte insentiver til å redusere utslippene fremfor å kjøpe klimakvoter (Regjeringen, 2020).

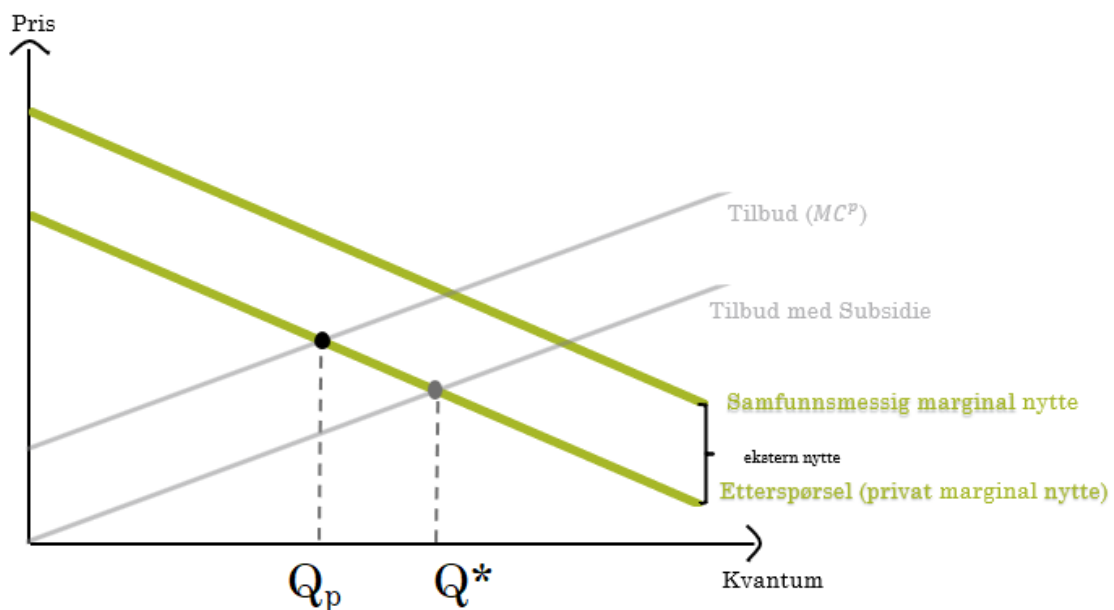
De kvotepliktige får insentiver til å gjennomføre utslippsreduksjoner hvor kostnaden er lavere enn kvotepreisen, og til å kjøpe kvoter for å dekke utslipp hvor slike reduksjoner har en høyere kostnad. Reduserende tiltak vil implementeres hvor det medfører høyest mulig reduksjoner til lavest mulig kostnad. I tilfeller hvor den kvotepliktige besitter et overskudd av antall kvoter enn hva som er lønnsomt, sett i avveining mellom salgsprisen på kvoter og kostnaden ved reduksjoner, vil det medføre ytterligere insentiver til reduksjoner og kvotene kan selges. I et slikt marked behøver ikke myndighetene å vite detaljert hvem som kan produsere hvor mye for å oppnå effektivitet. De trenger kun å fastsette totalt utslipp (NOU 2015: 15, s. 46).

6.5.2 Korrigerings for positive eksternaliteter

I likhet med negative eksternaliteter, hensyntar ikke det uregulerte markedet nytten ved positive eksternaliteter. I så tilfelle produseres for lite positive eksternaliteter, og velferden maksimeres ikke. Dette kan reguleres for ved hjelp av støtte i form av direkte subsidier. Subsidier er den mest vanlige formen for virkemiddel ved positive eksternaliteter. Støtte finner også sted indirekte gjennom avgiftsfritak, vederlagsfrie kvoter, reduserte avgiftssatser og subsidierte elektrisitetspriser. I Norge implementeres støtte til forskning og utvikling, elsertifikater, opprinnelsesgarantier, og andre miljøsubsidier og relaterte overføringer.

Ved produksjon av fornybar energi og ved FoU vil den produserende aktøren som regel ikke høste hele gevinsten selv. Noe av gevinsten vil tilfalle samfunnet. I et uregulert marked vil en rasjonell aktør i så tilfelle ikke internalisere den fulle gevinsten av aktiviteten, den positive eksternaliteten, i sin beslutning. Dermed vil aktiviteten legges til et lavere nivå enn hva som er

samfunnsmessig optimalt (Ibenholt et al., 2012, s. 19). En rekke empiriske studier peker til en vesentlig høyere samfunnsøkonomisk nytte av FoU enn privatøkonomisk nytte (Golombek et al., 2015, s. 4). Ved å tilføre markedet optimal mengde subsidie vil privatøkonomisk nytte sammenfalle med samfunnsøkonomisk nytte, og samfunnsøkonomisk optimum av innovasjoner oppnås. Tilsvarende vil støtteordninger fremkalle samfunnsøkonomisk optimal mengde av fornybar energiproduksjon. Dette kan fremstilles i en grafisk presentasjon, se figur 9.



Figur 9: En subsidie vil medføre et skift i marginal kostnadskurve og resultere i privat likevekt blir lik samfunnsøkonomisk likevekt. Figuren er basert på Roach et al., 2019, s. 16.

Ettersom etterspørselskurven representerer privat marginal nytte, kan vi inkorporere en positiv eksternalitet som et skift oppover i denne kurven. Denne vil være lik den samfunnsmessige nytten. I fremstillingen antas en forenkling ved parallelle nyttekurver. Den vertikale avstanden mellom privat- og samfunnsøkonomisk marginal nyttekurve utgjør den eksterne kostnaden.

Optimalt kvantum vil være i skjæringspunktet mellom den marginale kostnaden og samfunnsnyttens. I fravær av reguleringer vil det derimot produseres kvantum tilsvarende skjæringspunktet mellom den marginale kostnaden og den private marginal nytten. Det vil da produseres $Q^* - Q_p$ mengde mindre enn optimalt. For å oppnå optimal mengde kan en

subsidiering tilføres produsenten. Dette vil medføre et høyre skift i tilbudskurven slik at skjæringspunktet mellom den nye skiftede kurven og privat marginal nytte gir kvantum lik den optimale mengden. Virkemiddelbruken reduserer kostnaden ved å produsere, og stimulerer på denne måten til mer av den ønskede aktiviteten, for eksempel produksjon og utbygging av fornybar energi eller FoU aktivitet.

Det er viktig å bemerke at for ekstrem subsidiering av miljøvennlig produksjon eller konsum kan medføre overproduksjon eller -konsum av den subsidierte goden. I tillegg må subsidier finansieres med skatteinntekter. Det oppstår en samfunnsøkonomisk kostnad ved skattlegging. Subsidier anses derfor ofte å være en «nest best»-løsning for anvendelse i de tilfeller hvor riktig utforming og prising ved avgifter eller kvotesystemer viser seg å være for krevende (NOU 2015: 15, s. 48).

6.6 Mulige interaksjoner mellom de ulike virkemidlene

De ulike miljøpolitiske virkemidlene kan bidra til samme formål eller virke motvirkende. Det følger av standard økonomisk teori at myndighetene bør tilstrebe å kun anvende ett virkemiddel per mål og virkemidlene bør rettes direkte mot markedssvikten eller målet (Bruvoll & Dalen, 2008, s. 29; Ibenholt et al., 2012, s. 22). Det fremkommer av Ibenholt et al. at det ikke finnes «(...) noe virkemiddel for energieffektivisering og fornybar energi som *ikke* gir noen uønskede effekter og/eller virker kontraproduktive på andre mål.» (s. 52). Ved dobbeltreguleringer for samme eller motvirkende forhold kan man risikere å få uheldige virkninger. Dobbeltreguleringer kan resultere i ingen addisjonelle resultater mot oppnåelse av mål, men isteden en ytterligere samfunnsøkonomisk kostnad. Til eksempel vil ikke ytterligere utslippsreduksjoner resultere fra den andelen av kraftsektoren hvor EU ETS og elsertifikater overlapper hverandre. Slike virkninger er viktig å ta høyde for i vurderinger av innføringer av nye virkemidler (Ibenholt et al., 2012, s. 41-45, 52).

Dersom man inkluderer indirekte effekter, kan miljøstøtte og miljøavgifter bidra til samme formål. Eksempelvis kan subsidier til fornybar energi medføre reduksjoner i fossil energi, og ilegging av skatt på miljøskadelige aktiviteter øke omfanget av miljøvennlige aktiviteter (Langdal, 2022). Effektene kan utledes av teoretiske analyser, men nettoeffektene i praksis er imidlertid et empirisk spørsmål (Ibenholt et al., 2012, s. 6).

7. Økonometrisk metode – Tidsserieanalyser

Tidsserieanalyser er i økende grad anvendt for å undersøke politiske endringer. Analysene benyttes for å identifisere dynamiske årsakeffekter, kausale forhold eller til utarbeidelse av prognoser. Prognostisering refererer til prediksjon av fremtidige verdier av økonomiske variabler basert på tidligere verdier, uten at det nødvendigvis foreligger et kausalt forhold (Stock & Watson, 2020, s. 554). Dynamiske modeller kan hensynta tidligere verdier av variablene, og i mange tilfeller tilby verdifull innsikt i komplekse forhold som utspiller seg mellom variablene over tid. Denne egenskapen er til forskjell fra statiske modeller hvor hele effekten av en endring i en regressor «tvinges» inn i perioden den forekommer (Boef & Keele, 2008, s. 184, 185).

Blant dynamiske modeller er det en stadig økning i anvendelse av autoregressive distribuert lag (ARDL) modeller som tilnærming til analyse innenfor det overspennende temaet for miljø, herunder med hensyn til utslipp, fornybar energi og utslippspriser. I den senere tid er også en feiljusteringsmodell (ECM) gjennom reparameterisering av ARDL-modellen blitt anerkjent for å undersøke permanente effekter og *speed-of-adjustment* tilbake til likevekter.

En viktig del av statistiske analyser er hypotesetesting. Kapitlet starter med en kort gjennomgang av grunnleggende konsepter og begreper herunder. I det følgende vil den grunnleggende teorien bak tidsserieanalyser beskrives. Et første steg mot analysen er å identifisere hva slags modell som er anvendelig med foreliggende data. Et rammeverk for modellseleksjon følger under. Anvendte modeller og de ulike antakelsene som ligger til grunn vil diskuteres sammen med testene som gjennomføres for å klarlegge at antakelsene holder. I dette kapitlet fokuserer jeg på de modellene og testene som inngår i analysen.

7.1 Hypotesetesting

Hypotesetesting benyttes for å teste om en antakelse om en populasjon er sann eller usann basert på et utvalg av populasjonen. To hypoteser må alltid spesifiseres, en null- og en alternativ hypotese. Det er nullhypotesen som testes for. Alternativ hypotesen er lik utfallet dersom nullhypotesen ikke er støttes. Hypotesene kan være ensidig eller tosidig. En ensidig hypotese

formuleres med hensyn til hvorvidt en verdi er høyere eller lavere en annen spesifisert verdi. En tosidig hypotese formuleres med hensyn til hvorvidt en verdi er lik noe, mot alternativet om at den ikke er lik – den er enten større eller mindre.

For å teste om nullhypotesen stemmer anvendes beregninger av teststatistikker. Teststatistikken sammenlignes med kritiske verdier. Kritiske verdier er verdien av en teststatistikk hvor testen rettmessig forkaster nullhypotesen ved et gitt signifikansnivå. Noen ganger behøves egne kritiske verdier i test av spesifikke hypoteser. Kritiske verdier for sammenligning med teststatistikken finnes i tilhørende sannsynlighetsfordelinger, og avhenger av antall frihetsgrader og signifikansnivået. Sannsynlighetsfordelinger utgjør alle verdiene en variabel kan påta seg og tilhørende sannsynligheter. I økonometrien benyttes oftest normal, χ^2 -kvadrat, student t , og F -fordelinger. Frihetsgrader er en betegnelse for antallet uavhengige verdier som kan kalkuleres etter informasjon er benyttet. Til eksempel, ved estimering av gjennomsnittet av n antall verdier vil en verdi, en frihetsgrad, «brukes opp», og det er $n-1$ frihetsgrader igjen.

Det vil alltid foreligge noe usikkerhet om hvorvidt hypotesene bekreftes eller avkreftes ved feilaktige konklusjoner. To typer feil kan forekomme, type I og type II feil. Type I feil refererer til sannsynligheten for å forkaste nullhypotesen idet den er sann. Sannsynligheten for å forkaste den sanne nullhypotesen er signifikansnivået av testen og denoteres α . Tilsvarende er sannsynligheten for å ikke forkaste den $(1 - \alpha)$. Type II feil refererer til sannsynligheten for å ikke forkaste nullhypotesen idet den er usann og denoteres β . Sannsynligheten for å forkaste en usann nullhypotese er dermed $(1 - \beta)$, og kalles tetstyrken. De to feiltypene innebærer en avveining; redusert sannsynlighet for type I feil, øker sannsynligheten for type II feil, og motsatt.

Fremfor å bestemme signifikansnivået i *forveien* kan konklusjonen baseres på p -verdien. P -verdien eller signifikans sannsynligheten er det laveste signifikansnivået, α , hvor nullhypotesen kan forkastes gitt den observerte utvalgsstatistikken. En p -verdi lavere enn signifikansnivået medfører forkastning av nullhypotesen. Denne verdien inneholder mer informasjon idet den ikke bare angir hvorvidt nullhypotesen forkastes eller ikke, men også det laveste nivået den kan forkastes ved (Newbold et al., 2013, s. 347-349).

7.2 Tidsseriedata

Tidsseriedata er en sekvens av observasjoner av en variabel ved uniformt intervall i påfølgende rekkefølge over en tidsperiode. Intervallene kan være av årlig, kvartalsvis, månedlig, ukentlig, eller daglig karakter. En verdi i en tidsserie er ofte påvirket av en tidligere verdi av seg selv; den har autoregressive egenskaper. En autoregressiv modell uttrykker betinget gjennomsnitt av en tidsserie variabel Y_t som en lineær funksjon med etterslepene verdier av seg selv som regressorer. For enkelthets skyld, en autoregressiv modell med én etterslepene verdi av seg selv denoteres AR(1), og kan uttrykkes ved:

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 Y_{t-1} + u_t, \quad (2)$$

hvor β_0 er konstanten, β_1 er koeffisienten av Y_{t-1} når Y_{t-1} er verdien av Y i foregående periode $t-1$, og u_t er feilleddet. Feilleddet eller residualene er forskjellen mellom utvalgsverdien av Y og den faktiske populasjonsverdien; det som ikke fanges opp i uttrykket.

Økonomisk tidsseriedata har gjerne karakter av trender, brudd og høy volatilitet over tid. Ofte vil de inneha karakteristikk av sambevegelser idet to eller flere tidsserier følger hverandre. Dette refererer til ikke-stasjonaritet og kointegrasjon respektivt (Shrestha & Bhatta, 2018, s. 71, 72).

7.3 Stasjonaritet og ikke-stasjonaritet

I regresjon med tidsseriedata antas konseptet om at historiske forhold kan generaliseres til fremtiden. En tidsserie variabel er stasjonær dersom sannsynlighetsfordelingen ikke endrer seg over tid. Tidsserien vil tendere til å gå tilbake til sin langsiktige gjennomsnittsverdi og dataens egenskaper er dermed ikke påvirket av forløpet av tid (Shrestha & Bhatta, 2018, s. 72).

Matematisk er en tidsserie Y_t stasjonær hvis:

$$E(Y_t) = E(Y_{t-s}) = \mu, \text{ for } s > 0,$$

$$Var(Y_t) = Var(Y_{t-s}) = \sigma_y^2 \text{ og}$$

$$\text{Cov}(Y_t, Y_{t-s}) = \gamma_s.$$

Gjennomsnittet $E(Y_t)$ er den forventede verdien av variabelen Y ved en periode t , og forblir konstant over tid – det er tidsinvariant. Variansen av tidsserien Y_t , $\text{Var}(Y_t)$, er variasjonen eller spredningen av tidsserien Y_t fra gjennomsnittet $E(Y_t)$, og kovariansen, $\text{Cov}(Y_t, Y_{t-s})$, er den samlede variansen av Y_t og Y_{t-s} . Variansen og kovariansen er også tidsinvariant, men kan avhengige av ettersleplengden (lags), s . I motsatt tilfelle er tidsserien av ikke-stasjonær form, og gjennomsnittet, variansen og kovariansen vil endres over tid (Shrestha & Bhatta, 2018, s. 73). En ikke-stasjonær tidsserie omtales gjerne for å ha en enhetsrot. Årsaker til ikke-stasjonaritet som går igjen i økonomiske tidsserier er trender og brudd (Stock & Watson, 2020, s. 562).

7.3.1 Trender

En trend er en vedvarende bevegelse i en retning av en variabel over lengre tid. En tidsserie variabel vil fluktuere rundt trenden. En tidsserie trend kan være en deterministisk trend eller en stokastisk trend (Stock & Watson, 2020, s. 582).

Deterministisk trend

En deterministisk trend er en ikke-tilfeldig funksjon av tid. Et eksempel på en deterministisk trend vil derfor være en trend som er lineær med tiden. Dersom verdien av variabelen øker med lik prosentrate hver periode, for eksempel 0,75 prosentpoeng vil trenden kunne uttrykkes som $0,75t$, hvor t er tiden (Stock & Watson, 2020, s. 582-583). Dersom en deterministisk trend ignoreres, kan det resultere i problem for utelatt variabel («omitted variable bias») hvor den utelatte variabelen for tid fanges opp i feilleddet. Det vil resultere i korrelasjon mellom feilleddet og tidstrenden i variabelen; de beveger seg sammen. En slik trend kan hensyntas ved å inkludere en tidsvariabel i uttrykket (Kripfganz & Schneider, u.å., s. 4).

Stokastisk trend

En stokastisk trend er tilfeldig og varierer med tiden. En stokastisk trend kan være en periode med økende trend etterfulgt av en periode med negativ trend. Det typiske eksempelet på en modell av en variabel med stokastisk trend er random-walk. En tidsserie Y_t , følger en random walk i tilfeller hvor endringer i Y_t er uavhengige og identiske fordelte (i.i.d.). I så tilfelle er

$$Y_t = Y_{t-1} + u_t, \quad (3)$$

hvor feilleddet u_t er serieukorrelet, med uendelig minne. Med andre ord, er verdien av serien i en periode gitt av verdien i foregående periode og en uforutsigbar endring. Noen serier vil tendensere en økning, en drift. Uttrykket kan utvides til å hensynta denne ved å tillegge det en drift, β_0 . Det utvidede uttrykket vil da være likt uttrykket for en AR(1) modell hvor koeffisienten tilhørende den etterslepene verdien er lik en, $\beta_1 = 1$. Tidsserien følger i så tilfelle en stokastisk trend og er følgelig ikke-stasjonær. Et hvert sjokk på en slik prosess vil medføre permanente endringer i Y_t ; prosessen er ikke «mean reverting» idet den ikke er tilbakevendende til gjennomsnittet. Dette er et tilfelle av en mer generell enhetsrotprosess (Stock & Watson, 2020, s. 583-585).

Spuriøse estimater

Dersom regressorer med stokastiske trender benyttes i statiske ordinary least squares (OLS) regresjoner kan dette medføre misvisende estimater. OLS estimeres ved hellingen som minimerer de kvadrerte residualene. Når den uavhengige variabelen Y_t og flere uavhengige variabler X_t utviser en trendende oppførsel over tid, kan estimering ved OLS medføre spuriøse store koeffisientestimater, selv i tilfeller hvor det *ikke* foreligger noen underliggende forhold mellom variablene. Forholdet som foreslås av koeffisientene er egentlig, som ved deterministiske trender, resultat av korrelasjon som resulterer av tidstrender og ikke av det faktiske forhold (Kripfganz & Schneider, u.å, s. 4, 5).

Fra ikke-stasjonære variabler til stasjonære

Metoder for å omgjøre ikke-stasjonære variabler til stasjonære innebærer differensiering, av-trending og filtrering. I anvendelse av slike teknikker er det viktig å bemerke at langsiktige forhold og informasjon kan tapes i modifiseringen. Første differanser vil endre modellens natur, men er som regel like informativ som modellen i nivåform. Når data i stor grad er vedvarende, har en gjerne mer tilro til resultatene av første differanse (Wooldridge, 2016, s. 364).

For å oppnå en stasjonær prosess, som flukter rundt et konstant gjennomsnitt, i uttrykk (3) må første differanser vurderes. Første differansen refererer til endringen i verdien variabelen Y påtar seg, mellom foregående periode $t-1$ og inneværende periode t . I tidsseriedata benyttes Δ for å representere første differansen. Første differansen av Y kan dermed uttrykkes: $\Delta Y_t = Y_t -$

Y_{t-1} . En slik enhetsrot-prosess benevnes som integrert av orden en, $I(1)$. For tidsseriedata med en stokastisk trend vil en første differensiering eliminere random walk (Stock & Watson, 2020, s. 588).

Random-walk modellen beskriver langsiktige bevegelser for mange økonomiske tidsserier, men noen har jevnere trender som varierer mindre fra periode til periode. En slik trend kan representeres ved at førstedifferansen av trenden følger en random walk, slik:

$$\Delta Y_t = \beta_0 + \Delta Y_{t-1} + u_t, \quad (4)$$

hvor feilleddet u_t ikke er seriekorrelert.

Når tidsserien Y_t følger ligningen ovenfor, følger første differansen ΔY_t en random walk, og differansen av første differansen, $\Delta Y_t - \Delta Y_{t-1}$ er stasjonær. Denne differansen kalles også andredifferansen, $\Delta^2 Y_t$. En serie som er stasjonær ved andre differansen er integrert ved andre orden, $I(2)$. Generelt benevnes integrasjonsordenen ved at en variabel er $I(d)$. Integreringsordenen d indikerer hvor mange ganger prosessen må integreres for å oppnå stasjonaritet. En serie med fravær av stokastisk trend og som er stasjonær vil være integrert ved orden null, $I(0)$ (Stock & Watson, 2020, s. 659).

Testing for enhetsrøtter

For å unngå upålitelige resultater er det viktig å identifisere slike stokastiske trender. Trender vil i mange tilfeller kunne oppdages i en grafisk visualisering, men trender kan også være mer subtile. En stokastisk trend fanget opp i feilleddet kan ofte avdekkes ved enhetsrøttester av regresjonsresidualene. Flere tester er tilkommet, av de mest kjente er Phillips-Peron (PP), Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (KPSS), Dickey Fuller (DF) og utvidelsen Augmented Dickey-Fuller (ADF). Den mest anvendte metoden for testing av enhetsrøtter er ADF (Shrestha & Bhatta, 2018, s. 74-75). ADF er også rapportert å være mer pålitelig relativt til PP-test for stasjonaritet. I anvendelse av ADF (og DF) vil tilstedeværelse av seriekorrelasjon påvirke fordelingen av teststatistikken. Løsningen av Dickey og Fuller (1981) er å fange seriekorrelasjon ved å tillegge en fordelings etterslep av første differanse av variabelen som testes (Harris, 1992, s. 9).

Augmented Dickey-Fuller test

I anvendelse av ADF for å teste enhetsrot for en tidsserie Y_t som utgjør en AR(p) med p-1 etterslep av førstedifferansen ΔY_t , kan prosedyren forklares ved at første etterslep Y_{t-1} subtraheres fra uttrykket for serien Y_t på begge sider, slik at høyre siden blir lik første differansen, $Y_t - Y_{t-1}$, slik:

$$\Delta Y_t = \beta_0 + \delta Y_{t-1} + \gamma_1 \Delta Y_{t-1} + \gamma_2 \Delta Y_{t-2} + \dots + \gamma_{p-1} \Delta Y_{t-p+1} + u_t, \quad (5)$$

hvor $\delta = \alpha - 1$ når α er koeffisienten til Y_{t-1} som følger av det opprinnelige uttrykket subtrahert for Y_{t-1} , altså $(\alpha - 1)Y_{t-1}$. Uttrykket kan utvides ved å tillegge et trendledd.

Hypotesene som testes er:

$$H_0: \delta = 0 \text{ mot ensidige } H_1: \delta < 0 .$$

Uttrykket for ΔY_t antas å være stasjonær under nullhypotesen, men etterslepet Y_{t-1} på venstre side av uttrykket er fremdeles ikke-stasjonært etter antakelsene. Hypotesen kan fortsatt testes ved beregning av t -statistikk på vanlig måte. Imidlertid, følger fordelingen av kritiske verdier av egne ADF-kritiske verdier ettersom ADF-statistikken ikke er normalfordelt under nullhypotesen (Stock & Watson, 2020, s. 587). ADF-kritiske verdier vil avhenge av inkludering av trender eller konstant og antall etterslep i avhengig variabel. Dersom ikke nullhypotesen kan forkastes antyder det at serien er ikke-stasjonær, og motsatt hvis den forkastes at serien er stasjonær (Shrestha & Bhatta, 2018, s. 74).

7.3.2 Brudd

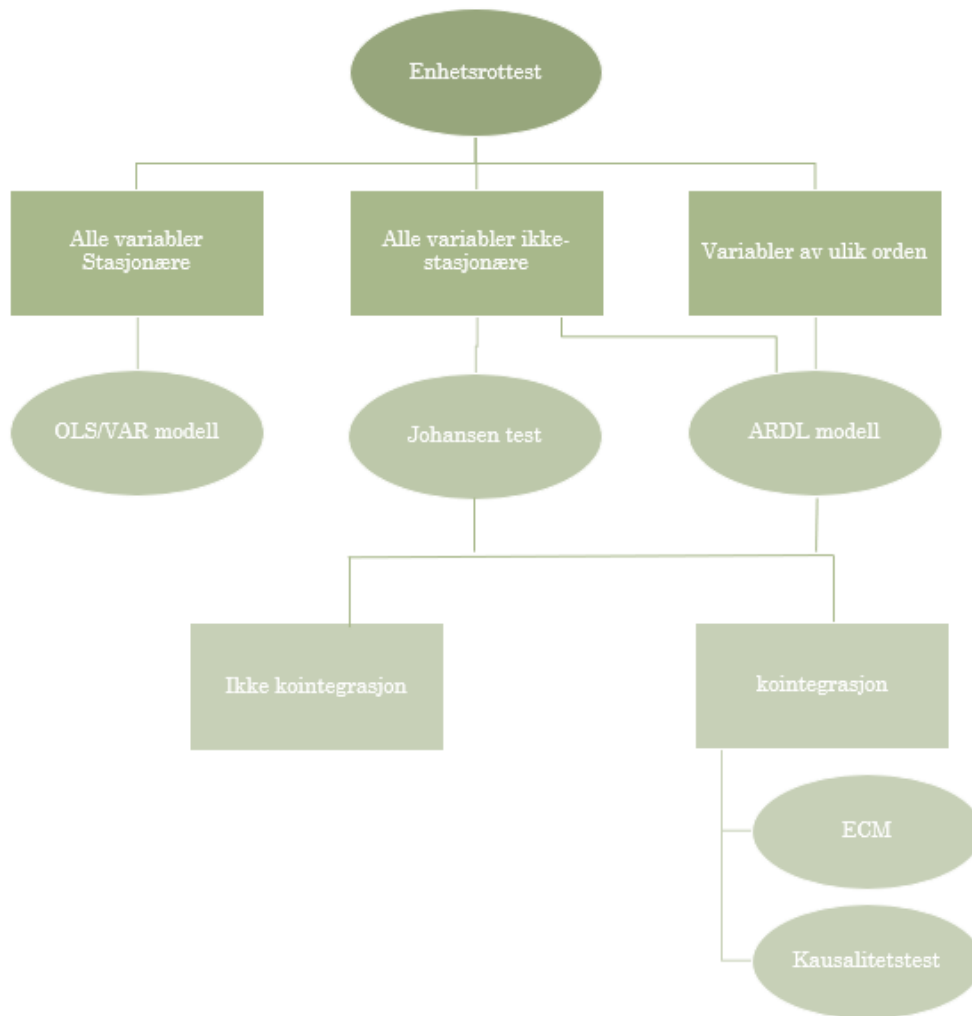
Et brudd i tidsserien forekommer som et plutselig hopp eller reduksjon som følge av en endring på ett gitt tidspunkt. Brudd kan oppstå som følge av endringer i økonomiske virkemidler, struktur av økonomien, eller innovasjoner. Strukturelle brudd kan oppstå i skjæringspunktet, i en trend eller begge (Shrestha & Bhatta, 2012, s. 75).

Stabilitet i parameterne er spesielt viktig i prognostisering og virkemiddel simulasjoner. I tilpasningen (fit) av tidsserieregresjoner er en antakelse stabile koeffisienter over tid. Brudd i tidsserier kan medføre at testene for enhetsrøtter konkluderer en tidsserie for å være ikke-stasjonær i tilfeller hvor tidsserien egentlig er det. Flere tester er utviklet for å identifisere

strukturelle brudd: Chow test hvis dato for brudd er kjent, QLE test dersom dato ikke er kjent eller ved kumulativ sum test (CUSUM) eller kumulativ sum kvadrert (CUSUMSQ).

CUSUM og CUSUMSQ tester for strukturelle brudd i residualene. Med andre ord testes antakelsen om at koeffisientene er stabile over tid. CUSUM benytter kumulativ sum av rekursive residualer eller OLS-residualer. CUSUMSQ baseres på kvadratiske verdier av de rekursive residualene. Testene basert på rekursive residualer evner bedre å identifisere ustabilitet på et tidligere tidspunkt i utvalget, mens testen basert på OLS-residualer er bedre egnet ved brudd senere i utvalget. Nullhypotesen som testes for er at det ikke forekommer strukturelle brudd. For de rekursive testene innebærer det konstant gjennomsnitt av residualene, og for OLS korrelerte og heteroskedastiske residualer. Forkastning av nullhypoteser tyder på strukturelle brudd, og motsatt hvis de aksepteres er det ingen strukturelle brudd. Identifiserte brudd kan hensyntas ved inkludering av dummy variabler, hvor variabelen tar på seg en verdi før- og en annen etter bruddet (Dofur, 1982, s. 34).

7.4 Rammeverk for modellseleksjon



Figur 10: Rammeverk for modellseleksjon for tidsserieanalyse. Basert på Shresta & Bhatta (2018) s. 76.

En av de viktigste faktorene i valg av modell for tidsserieanalyse er utfallet av enhetsrottester. Metodene som behandler stasjonære tidsserier, kan ofte ikke benyttes for ikke-stasjonære tidsserier. I noen tilfeller kan datasettet bestå av både ikke-stasjonære og stasjonære tidsserier. Dersom alle tidsseriene viser seg å være stasjonære kan ordinary least squares (OLS) eller vector autoregressive (VAR) modeller benyttes. I motsatt tilfelle, hvor alle tidsseriene er ikke-stasjonære vil Johansen test eller ARDL-modell være passende. ARDL kan også benyttes dersom integrasjonsnivåene er blandede. Videre av ARDL-modellen kan utledes en feiljusteringsmodell eller kausaltesting dersom tester påviser kointegrasjon.

Rammeverket er et godt startpunkt, men det er viktig å bemerke at andre betraktninger også har betydning. Feilspesifisering av modellen eller feil valg av metode kan medføre forutinntatte (biased) og upålitelige estimater (Shrestha & Bhatta, 2018, s. 75-76).

7.5 ARDL

Ofte foreslår økonomisk teori at en utfallsvariabel påvirkes av historiske verdier av seg selv, men også inneværende og historiske verdier av andre forklaringsvariabler. En autoregressiv distribuert lag modell (ARDL) er en dynamisk OLS-basert modell som inkluderer andre forklaringsvariabler og deres etterslep i tillegg til etterslep av utfallsvariabelen. Autoregressiv (AR) ettersom modellen inkorporerer autoregressive egenskaper, etterslepende verdier av den avhengige variabelen er inkludert som regressorer, og distribuert lag (DL) fordi etterslep av andre forklaringsvariabler også inkluderes i regresjonen. Inneværende verdier av de andre forklaringsvariablene kan inkluderes (Stock & Watson, 2020, s. 570, 571).

En ARDL-modell denoteres $ARDL(p, q_1, \dots, q_k)$, hvor p er det inkluderte antallet av etterslep av utfallsvariabelen og q er det inkluderte antallet etterslep av k andre forklaringsvariabler. En ARDL-modell med et etterslep av avhengig variabel, og inneværende verdi og et etterslep av uavhengig variabel vil være en ARDL(1,1) modell og kan uttrykkes:

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 Y_{t-1} + \delta_0 X_t + \delta_1 X_{t-1} + u_t \quad (6)$$

En autoregressiv distribuert lag modell med p etterslep av serien Y_t og q etterslep av serien X_t denoteres ARDL(p,q), og er gitt ved:

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 Y_{t-1} + \dots + \beta_p Y_{t-p} + \delta_0 X_t + \delta_1 X_{t-1} + \dots + \delta_q X_{t-q} + u_t, \quad (7)$$

eller i en mer kompakt form:

$$Y_t = \beta_0 + \sum_{i=1}^p \beta_i Y_{t-i} + \sum_{j=0}^q \delta_j X_{t-j} + u_t, \quad (8)$$

Modellen kan utvides til å inkludere k flere regressorer med q_k etterslep. Den denoteres da ved $ARDL(p, q_1, \dots, q_k)$ og kan uttrykkes:

$$Y_t = \beta_0 + \sum_{i=1}^p \beta_i Y_{t-i} + \sum_{j=1}^k \sum_{lj=0}^{q_j} \delta_{j,lj} X_{j,t-lj} + u_t, \quad (9)$$

Hvor $p \geq 1$, $q \geq 0$, $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p$, og $\delta_0, \dots, \delta_q$ er ukjente koeffisienter og u_t er feilleddet med antakelsen $E(u_t | Y_{t-1}, Y_{t-2}, \dots, X_{j,t}, X_{j,t-1}, X_{j,t-2}, \dots) = 0$.

Antakelsen om at feilleddet i modellen har et betinget gjennomsnitt av null gitt alle tidligere verdier av uavhengig variabel og uavhengige variabler, innebærer at ingen flere etterslep av variablene tilhører modellen. Det vil si at ettersleplengdene p og q er de sanne ettersleplengdene, og at koeffisienten av ytterligere etterslep vil være null (Stock & Watson, 2020, s. 571-572). Feilleddet betinget av regressorene innebærer også svak eksogenitet. Svak eksogenitet betegner at det betingende gjennomsnittet er null gitt tidligere og inneværende verdier av regressorene (Stock & Watson, 2020, s. 616).

De estimerte koeffisientene for forklaringsvariablene, $\delta_{j,lj}$, kalles effektmultiplikatorer, og representerer kortsiktige effekter. Effektmultiplikatorene kan interpreteres som umiddelbare effekter på den avhengige variabelen som følge av en enhetsendring i en uavhengig variabel X på tidspunkt t . Med andre ord vil δ_0 representere effekten av endringer i en uavhengig variabel i inneværende år X_t , mens δ_1 representeres hvordan en tidligere verdi av denne, X_{t-1} , påvirker utfallsvariabelen, og tilsvarende for de videre koeffisientene (Boef & Keele, 2008, s. 186).

Koeffisientene kan ikke behandles som i en statisk modell. I en statisk modell antas hele effekten å være umiddelbar - i samme periode som endringen forekommer. Effektene av regressorene i en dynamisk modell vil være spredd utover de ulike periodene. Dersom verdien av en uavhengig variabel endres i en periode, kan den påvirke utfallsvariabelen i perioden hvor endringen forekommer og i andre kommende perioder. Vice versa, kan utfallsvariabelen i en periode være påvirket av verdier av uavhengige variabler i en periode og tidligere perioder (Boef & Keele, 2008, s. 187).

De totale effektene fremkommer ikke direkte av ARDL-modellen. Den totale effekten over periodene kan derimot beregnes utenfor modellen. Denne benevnes som dynamisk

multiplikator, og denoteres her k . En dynamisk multiplikator beregnes ved summen av koeffisientene tilhørende en uavhengig variabel, dividert på uttrykket enhet subtrahert summen av koeffisientene tilhørende etterslepene av utfallsvariabelen, slik:

$$k_1 = \frac{\sum_{j=0}^q \delta_j}{1 - \sum_{i=1}^p \beta_i}, \quad (10)$$

Den presenterte modellen i uttrykk (9), er en generell dynamisk ARDL-modell uten restriksjoner. Ytterligere restriksjoner på parameterne kan tillegges modellen. Restriksjoner kan være å anta nullverdier eller negative verdier av koeffisientene. Validiteten ved slike antakelser må i så tilfelle testes for å unngå forutinntatte estimater (Boef & Keele, 2008, s. 187).

ARDL-modellen er en modell med flere fordeler. For det første kan modellen uttrykkes som en enkelt ligning og er dermed lettere å interpretere. For det andre, for å overkomme problemene med statiske modeller styrkes regresjonsuttrykket ved å utvide det til å inkludere etterslep for både den avhengige- og uavhengige variabler. ARDL-modellen har fordelen at den kan inkorporere forskjellige lengder av etterslep for hver variabel. Dette gjør igjen modellen versatil og fleksibel. Videre har ARDL-modellen ikke problem med endogenitet - variabler korrelerte med feilledet - ettersom passende valg av etterslep eliminerer residual korrelasjon. Modellen kan også anvendes med både ikke-stasjonære tidsserier og tidsserier av forskjellig orden. ARDL er en statistisk mer signifikant tilnærming i små utvalg (shrestha & Bhatta, 2018, s. 79).

7.5.1 Begrenset etterslep

For å estimere modellen må først antall etterslep som skal inkluderes i den bestemmes. Bestemmelse av etterslep innebærer en avveining av fordeler og ulemper. Særlig ved mindre datasett (T) og/eller ved relativt mange antall variabler $X_t(K)$ kan det være hensiktsmessig å sette en begrensning på antall etterslep som kan inkluderes i modellen. Feilestimeringen øker med antall etterslep. For å bevare nok frihetsgrader for estimering av modellens koeffisienter med tilstrekkelig presisjon kan en begrensning være fornuftig. På den annen side, vil inkludering av flere etterslep forbedre regresjons tilpasningen, men dette medfører også høyere varians i koeffisientene. For å balansere denne avveilingen kan informasjonskriterium benyttes for å bestemme optimalt etterslep. De mest benyttede informasjonskriteriumene er Akaike informasjonskriterium (AIC) og Schwarz's Bayesianske informasjonskriterium (BIC):

$$AIC = -2 \ln(L) + 2K^*, \quad (11)$$

eller

$$BIC = -2 \ln(L) + \ln(T^*)K^*, \quad (12)$$

hvor $\ln(L)$ er den logaritmiske verdien for sannsynlighetsfunksjonen L (log-likelihood) fra den estimerte regresjonsmodellen, $T^* = T - p^*$ er det faktiske utvalget og $K^* = 2 + p + K(q+1) + L$ er antallet estimerte koeffisienter i modellen.

Avveiningen i informasjonskriteriene fremkommer av de to leddene i uttrykkene. Et ledd måler tilpasning og det andre måler kompleksitet, hvor det siste estimeres på ulik måte. Høy verdi av $\ln(L)$ indikerer bedre tilpasning av modellen, og måles negativt. Det er derfor å foretrekke mindre verdier av AIC og BIC; modellen hvor verdiene for valgt informasjonskriterium er minst. Inkludering av flere regressorer vil alltid gi bedre tilpasning, men K^* virker motvirkende. Ved T høyere eller lik åtte, er straffetermet som henger sammen med K^* , høyere i BIC enn i AIC. BIC velger derfor ofte mer sparsommelige (parsimonious) modeller. Av den grunn er BIC som informasjonskriterium gjerne bedre egnet ved små utvalg (Kripfganz & Schneider, u.å., s. 6, 7).

7.6 Feiljusteringsmodell

ARDL-modellen er ikke like rett frem å interpretere som en statisk modell. En reparametrisering til en feiljusteringsmodell (ECM) letter denne oppgaven. En ECM kan utledes av ARDL gjennom en lineær transformasjon (Shrestha & Bhatta, 2012, s. 79). En ECM er en modell som estimerer raten prosessen Y_t går tilbake til sin likevekt etter en endring i en uavhengig variabel X_t . Oppsummerende kan vi si at feiljusteringsmodellen, ved ARDL-prosedyren, integrerer både kortsiktige dynamikker og langsiktige likevekter uten å tape langsiktig informasjon og forhindrer at det oppstår spuriøse forhold fra ikke-stasjonære tidsserie data.

En reparameterisering av ARDL-modellen til betinget feiljusteringsform kan uttrykkes:

$$\Delta Y_t = c_0 - \alpha(Y_{t-1} - \theta X_t) + \sum_{i=1}^{p-1} \psi_{Yi} \Delta Y_{t-i} + \sum_{j=0}^{q-1} \psi_{Xj} \Delta X_{t-j} + u_t, \quad (13)$$

hvor $-\alpha$ er den negative speed-of-adjustment koeffisienten, θ er langsiktige koeffisienter og ψ_{yi} og ψ_{xi} er kortsiktige koeffisienter.

Den negative speed-of-adjustment koeffisienten¹ måler hvor sterkt den avhengige variabelen reagerer til en deviering fra likevektsforholdet i en periode. Med andre ord, hvor fort en forstyrrelse av likevekten korrigeres. De langsiktige koeffisientene representerer likevektseffekter av uavhengige variabler og den avhengige variabelen. I tilfeller hvor kointegrasjon eksisterer, korresponderer de langsiktige koeffisientene til de negative kointegrasjonskoeffisientene etter normalisering av koeffisientene av den avhengige variabelen til enhet, 1. Til sist, de kortsiktige koeffisientene utgjør kortsiktige fluktueringer som ikke grunner i devieringer fra den langsiktige likevekten (Shrestha & Bhatta, 2018, s. 79; Kripfganz & Schneider. u.å., s. 6, 7).

7.6.1 Kointegrasjon

Noen ganger deler to eller flere tidsserier samme stokastiske trend over tid. Hvis tilfelle, kan regresjonsanalyser avdekke slike langsiktige forhold mellom tidsserie variabler. Den formelle definisjonen er at når variablene X_t og Y_t er integrert av orden en, og uttrykket $Y_t - \theta X_t$ med koeffisienten θ er integrert av orden null, så er tidsseriene X_t og Y_t kointegrerte (Stock & Watson, 2020, s. 663, 664). $Y_t - \theta X_t$ er feiljusteringsuttrykket og θ den kointegrerte koeffisienten. Uttrykket kan utvides til kointegrasjon mellom flere variabler. Til eksempel er variablene Y_t, X_{1t} og X_{2t} , hvor alle er $I(1)$, kointegrert med kointegrerte koeffisienter θ_1 og θ_2 hvis feiljusteringsuttrykket $\theta_1 X_{1t} - \theta_2 X_{2t}$ er stasjonært (Stock & Watson, 2020, s. 666). Med andre ord, dersom en variabel drar en annen variabel over perioden vil de dele bevegelse, og er

¹ I et tilfelle hvor den langsiktige multiplikatoren k er 5,0 og feiljusteringsraten er 0,50 vil effekten være at Y_t endrer seg 2,5 målenheter ($5 \cdot 0,5$) i den påfølgende perioden $t+1$, ytterligere 1,25 målenheter ($2,5 \cdot 0,5$) i perioden etter $t+2$ og ytterligere 0,625 målenheter ($1,25 \cdot 0,5$) i perioden etter det igjen $t+3$, også videre frem til de to kointegrerte seriene igjen har oppnådd likevekt; seriene har feiljustert seg (Boef & Keele, 2008, s. 191).

dermed kointegrerte. Forholdet kan være at en tidsserie X påvirker en annen tidsserie Y, en tidsserie Y påvirker en tidsserie X eller de påvirker hverandre (Shretstha & Bhatta, 2018, s. 79).

Pesaran, Shin og Smith (2001) betrakter flere tilnærminger for kointegrasjon. De mest kjente er Engle-Granger (1987), Johansen Test (1991,1995) og Phillips-Ouliaris test (1990). Felles for testene er at de utføres med hensyn til variabler integrert på nivå, $I(0)$. Metodene er i tillegg utsatt for lav teststyrke og er mindre egnet ved mindre utvalgsstørrelser. PSS introduserer en ny tilnærming, ARDL til kointegrasjon ved en «bounds» test hvor regressorene kan være integrert av orden en eller på nivå, eller en blanding. ARDL-metoden for kointegrasjon kan altså, i motsetning til ovenfor nevnte testmetoder, hensynta både stasjonære og ikke-stasjonære variabler. ARDL-prosedyren til kointegrasjon ved transformasjon til ECM er en statistisk mer signifikant tilnærming i små utvalg (Narayan & Smyth, 2005, s. 1109).

Bounds test

Bounds testen av PSS sammenligner konvensjonelle F - og t -statistikker mot par av øvre og nedre grenseverdier. Regressorene kan ikke være $I(2)$ da det vil invalidere F -statistikken og alle kritiske verdier som etablert av Pesaran et al. Slik bounds testing består av opptil tre steg. Dersom nullhypotesen ikke forkastes i et steg, er konklusjonen at der ikke foreligger statistisk indikasjon på kointegrasjon mellom tidsseriene Y_t og X_t . Dersom den forkastes, kan neste steg foretas. I tilfellet hvor nullhypotesen kan forkastes i *alle* stegene tyder det på kointegrasjon og dermed langsiktige forhold.

Teststatistikk og hypotesene under de tre stegene er:

Steg 1. Benytter F -statistikk for å teste den samlede nullhypotesen:

$$H_0: (\alpha = 0) \cap \left(\sum_{j=0}^q \beta_j = 0 \right) \text{ mot } H_1: (\alpha \neq 0) \cup \left(\sum_{j=0}^q \beta_j \neq 0 \right).$$

Nullhypotesen forkastes dersom $F >$ kritisk verdi for $I(1)$ regressorer. Motsatt aksepteres nullhypotesen dersom $F <$ kritisk verdi for $I(0)$ regressorer.

Steg 2. Benytter t -statistikk for å teste den single nullhypotesen:

$$H_0: \alpha = 0 \text{ mot } H_1: \alpha < 0.$$

Nullhypotesen forkastes dersom $t <$ kritisk verdi for $I(1)$ regressorer, og aksepteres dersom $t >$ kritisk verdi for $I(0)$ regressorer.

Steg 3. Benytter Z- test eller Wald test for å teste:

$$H_0: \theta = 0 \text{ mot } H_1: \theta \neq 0$$

Nullhypotesen forkastes dersom den langsiktige koeffisienten θ er statistisk signifikant, og aksepteres dersom den langsiktige koeffisienten θ ikke er statistisk signifikant.

(Kripfganz & Schneider, u.å., s. 10, 11).

For at det skal eksistere et langvarig forhold krever det at speed-of-adjustment koeffisienten er mindre enn null. F -statistikken i steg 1, tester samlet for ikke-signifikans i koeffisientene for speed-of-adjustment og for regressorene i det antatte langsiktige forholdet. Forkastning under F -statistikken kan resultere av at langsiktige koeffisienter er ulik null, selv om speed-of-adjustment koeffisienten er null. Av den grunn må også speed-of-adjustment koeffisienten testes alene. Nullhypotesen innebærer at speed-of-adjustment koeffisienten er null, mot alternativ hypotesen om at den er mindre enn null. Dette testes under t -statistikken i steg 2.

Test statistikken har ikke-standard fordeling ettersom Y_t prosessen har enhetsrot under nullhypotesen om ingen langsiktig forhold. De vanlige kritiske verdiene kan dermed ikke anvendes. Distribusjonene av teststatistikkene i steg 1 og 2 er ikke-standard og avhenger av integrasjons ordren av de uavhengige variablene. Derfor benyttes øvre og nedre grenser som korresponderer til Pesaran et al. (2001) utviklede asymptotiske distribusjoner under to scenarioer. Når kointegrasjons egenskapene for den uavhengige variabelen X_t ikke er kjent, vil den kritiske verdien, tilhørende for senarioet hvor alle langsiktige uavhengige variabler X_t individuelt er $I(0)$, utgjøre nedre grense. Øvre grense er verdien i tilfellet hvor alle er $I(1)$, og ikke er gjensidig kointegrerte.

Nullhypotesene i steg 1 og 2 forkastes dersom teststatistikken er mer ekstrem enn den respektive øvre grensen av kritiske verdier. Nullhypotesene forkastes ikke dersom teststatistikken ligger nærmere null enn den nedre grensen. Det vil si, dersom teststatistikken faller utenfor de angitte kritiske grensene, kan det konkluderes uten å vite integrasjonsordenen av de underliggende regressorene. Dersom teststatistikken ligger mellom øvre og nedre grense,

er ikke konklusjonen entydig. I så tilfelle behøves ytterligere kunnskap om integrert nivå før konklusjoner kan trekkes.

I steg 3 testes det for hvorvidt elementene av den langsiktige koeffisienten θ individuelt eller samlet er statistisk signifikant ulik null. Under dette steget sjekkes det for tilfellet hvor utfallsvariabelen Y_t er trendstasjonær, men ikke har noe langsiktig forhold med uavhengig variabel X_t . Testen følger Z-test eller Wald-test med standard normal eller kji-kvadrat fordeling (Kripfganz & Schneider, u.å., s. 10, 11).

7.7 Tester

For å sikre at estimerte modeller er robuste og uten forutinntatthet kan tilpasningen av en modell undersøkes gjennom «goodness-of-fit» statistikker og diagnostiske tester. Goodness-of-fit statistikker indikerer hvor godt den tilpassede modellen, basert på observert data, reflekterer den faktiske populasjonen. Vanlige goodness-of-fit statistikker er modellens R^2 , justert R^2 , og F -statistikk. Videre antakelser som sikrer validitet er ingen seriekorrelasjon, ingen heteroskedastisitet (homoskedastisitet) og normalfordeling av feilleddene, samt stabilitet av koeffisientene over tid (Shrestha & Bhatta, 2018, s. 79, 80, 86). I det følgende diskuteres Breusch-Godfrey, White og Shapiro-Wilk for de respektive antakelsene. Stabilitet er diskutert ved CUSUM og CUSUMSQ tidligere. Ramsey RESET diskuteres også for feilspesifisering av modellen.

7.7.1 R^2 , justert R^2 og F -statistikk

R^2 er andelen av utvalgsvariansen av utfallsvariabelen, Y_i , som er forklart eller predikert av regressorene. Tilsvarende er R^2 beregnet som 1 subtrahert den andelen av variansen som *ikke* forklares. Som nevnt, øker denne statistikken når ytterligere variabler tillegges uttrykket. Unntaket er tilfellet hvor den estimerte koeffisienten av den tillagte variabelen er nøyaktig null, men det er ekstremt uvanlig. Økningen kan ikke interpreteres som at en ekstra variabel nødvendigvis øker tilpasningen av modellen. En måte å korrigere for den inflaterte estimeringen av tilpasningen er å benytte en deflatert eller redusert R^2 , justert R^2 . Den modifiserte R^2 øker ikke nødvendigvis når en regressor tillegges regresjonen. Justert R^2 beregnes ved å multiplisere den ikke-forklarende andelen som subtraheres i R^2 med en faktor $(n - 1) / (n - k - 1)$. Denne

faktoren vil alltid være større enn 1, og justert R^2 vil dermed alltid være lavere enn R^2 . Svært høye verdier kan være en indikasjon på seriekorrelasjon eller overtilpasning av modellen. Overtilpasning innebærer at modellen passer utvalgsdataen godt, men ikke er generaliserbar til nye data utenfor utvalget. Verdiene inneholder ikke informasjon om forutinntatthet i modellen og kan ikke tolkes alene uten kontekst. Verdiene må ses i sammenheng med andre mål på modellens tilpasning (Stock & Watson, 2020, s. 223, 224).

F -statistikken er relatert til R^2 , og kan benyttes for å identifisere den overordnede signifikansen av modellen. Når den tilhørende p -verdien er nær null, statistisk signifikant, vurderes modellspesifiseringen å være valid. Motsatt, hvis p -verdien er høy leder det til usikkerhet i slutninger basert på modellen.

7.7.2 Seriekorrelasjon

Seriekorrelasjon refererer til tilfellet hvor residualene i en periode er relaterte til residualene i en annen periode; det forekommer korrelasjon mellom residualene over tid. Tilfeller av seriekorrelasjon finner sted når en tidligere verdi av en variabel, Y_{t-j} , ofte er korrelert med verdien i en påfølgende periode, Y_t , gitt:

$$j^{th} \text{seriekorrelasjon} = \rho_j = \text{corr}(Y_t, Y_{t-j})$$

For en positiv seriekorrelasjon, hvis variabelen vokser fortere enn gjennomsnittet i en periode vil den også gjøre det i den påfølgende perioden (Stock & Watson, 2020, s. 559).

Vanlige tester for å identifisere hvorvidt feilleddene er seriekorrelerte er Durbin Watson (DW) og Breusch-Godfrey Lagrange Multiplier test (BG). Testene vil i de fleste tilfeller gi likt resultat, men DW er ikke egnet hvor etterslep av den avhengige variabelen inkluderes. Når etterslep av avhengige variabler er inkludert i modellen, er BG testen generelt overlegen over andre tester (Uyanto, 2020, s. 199), og er derfor foretrukket metode. BG er valid i tilfeller med stokastiske regressorer, slik som avhengige variabler av høyere orden seriekorrelasjon. For første ordens seriekorrelasjon er testen asymptotisk lik med DW. DW kan derfor anses som et tilfelle av BG. DW er ikke egnet for å teste andre- eller høyere ordens seriekorrelasjon i dynamiske modeller (Rois et al., 2012, s. 88).

Breusch-Godfrey / LM

Breusch-Godfrey test kan utføres med høyere orden av seriekorrelasjon. En test med et lag vil være tilnærmet lik DW. En test med to etterslep, tester korrelasjon mellom residualene mellom tid t og $t-1$, og mellom t og $t-2$. Testuttrykket for estimert residual, \hat{u}_t , er en funksjon av egne etterslep og kontrolleres for originale strukturelle uavhengige variabler, slik:

$$\hat{u}_t = \gamma_1 \hat{u}_{t-1} \dots + \gamma_p \hat{u}_{t-p} + \beta_1 x_{1t} + \dots + \beta_k x_{kt} + \epsilon_t \quad (14)$$

Dersom feilleddet følger antakelsene, vil ingen av leddene på høyre siden av uttrykket ha forklarende effekt; R^2 vil være lik null. Nullhypotesen for ingen seriekorrelasjon kan spesifiseres som at alle koeffisientene til de etterslepene residualene er null, $H_0: \gamma_1 = \gamma_2 \dots = \gamma_p = 0$. Teststatistikken som anvendes, $N * R^2 \sim X_p^2$, er Lagrange multipliser teststatistikk som tilnærmet χ^2 -kvadrat distribuert med p frihetsgrader, hvor p er antallet etterslep i testuttrykket. Når nullhypotesen forkastes tyder det for at der ikke forekommer seriekorrelasjon i residualene og feilleddene er dermed hvit støy (Rois et al., 2012, s. 90, 91).

7.7.3 Heteroskedastisitet

Heteroskedastisitet refererer til tilfellet hvor variansen av residualene ikke er konstant over observasjonene. Homoskedastisitet refererer til tilfellet hvor denne variansen er konstant.

White

I anvendelse av White test lagrer man residualene fra regresjonen og kvadrerer de. De kvadrerte residualene behandles deretter som avhengig variabel i et testuttrykk. Testuttrykket utledes med alle uavhengige variabler fra originaluttrykket, samt alle kvadrater og alle parvise interaksjoner mellom dem. Dersom to variabler inkluderes, kan uttrykket angis:

$$\hat{u}^2 = \alpha_0 + \alpha_1 X_1 + \alpha_2 X_2 + \alpha_3 X_1 X_2 + \alpha_4 X_1^2 + \alpha_5 X_2^2 + v \quad (15)$$

Dersom høyresiden av uttrykket med signifikans kan forklare variasjon i de kvadrerte residualene på venstresiden, vil det foreligge støtte for heteroskedastiske feil. Med andre ord testes det for samlet signifikans av alle koeffisientene. Nullhypotesen om homoskedastisitet for ovenfor definerte testuttrykk blir at koeffisientene er null, $H_0: \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_5 = 0$.

Teststatistikken som anvendes, $N * R^2 \sim X_p^2$, er Lagrange multipliser teststatistikk som kji-kvadrat distribuert med p frihetsgrader, hvor p er antallet uavhengige variabler i testuttrykket; X_1, X_2, X_1X_2, X_1^2 og X_2^2 . LM test har færre restriksjoner for fordelingsantakelser. Uavhengige og identiske fordelte (i.i.d.) feilledd er derfor ikke nødvendig, og kan være asymptotisk normale. Forkastning av nullhypotesen impliserer heteroskedastisitet (Astivia & Zumbo, 2019, s. 6).

7.7.4 Normalfordeling

Normalitet i residualene betyr at de er distribuert symmetrisk rundt null, og er uten skjevhet eller kurtose. Denne antakelsen antyder at hoved mønstrene og kildene til variasjon i dataen fanges av modellen, og at feilleddene er tilfeldig og uavhengige.

Skjevhet måler avvik av symmetri i fordelingen. En symmetrisk fordeling vil inneha verdier over og under gjennomsnittet. Verdiene utligner hverandre slik at en verdi som fraviker gjennomsnittet en gitt mengde, er like sannsynlig som en verdi som fraviker gjennomsnittet i motsatt retning. Grafisk forklart, om «halen» er lengre på en av sidene i fordelingen. Skjevheten av en symmetrisk distribusjon er null.

Kurtose måler hvor tykk eller tung halene på fordelingen er; hvor mye masse som er i halene. Med andre ord, er det et mål på hvor mye av variansen i variabelen som stammer fra ekstremverdier (outliers). En høyere kurtoseverdi antyder høyere sannsynlighet for at ekstremverdier forekommer i variabelen.

Shapiro-Wilk

Shapiro-Wilk testen for normalitet (1965) er den første utviklede testen som kan oppdage avvik fra normalitet som følge av skjevhet eller kurtose, eller begge, og har blitt en foretrukken test. Testen var i sin opprinnelse begrenset til utvalgsstørrelser ≤ 50 , og er relativt til andre tester egnet for små utvalg (Razali & Yap, 2011, s. 25). Shapiro-Wilk er testen med høyest teststyrke for alle typer fordeling og utvalgsstørrelser, men teststyrken er likevel lav for små utvalg ≤ 30 (Öztuna et al., 2006, s. 175).

Testen er basert på logikken i et Q-Q plott. I et Q-Q plot angis teoretiske kvantiler på x-aksen. De teoretiske kvantilene utgjør de forventede verdiene for data av lik utvalgsstørrelse som antas

å være normalfordelt med standardavvik lik en og gjennomsnitt lik null. Utvalgets kvantiler plottes i stigende rekkefølge på y-aksen. Dersom utvalgsdataen på y-aksen er normalfordelt vil dataene på begge aksene være normalfordelt, og punktene vil derav danne en lineær linje med dataens standardavvik som helling og gjennomsnittet som skjæringspunkt.

Nullhypotesen under Shapiro-Wilk testen er at utvalget stammer fra en normal distribuert populasjon. Gitt et ordnet tilfeldig utvalg i stigende rekkefølge, $y_1 < y_2 < \dots < y_n$, er Shapiro-Wilk teststatistikken uttrykt ved:

$$W = \frac{(\sum_{i=1}^n a_i y_i)^2}{(\sum_{i=1}^n y_i - \bar{y})^2}, \quad (16)$$

hvor y_i er verdien av observasjon nummer i , n er totalt antall observasjoner, \bar{y} er utvalgs gjennomsnittet, $a_i = (a_1, \dots, a_n) = \frac{m^T v^{-1}}{(m^T v^{-1} v^{-1} m)^{1/2}}$ og $m = (m_1, \dots, m_n)^T$ er de forventede verdiene av statistikkene av i.i.d. tilfeldig variabler utvalgt fra standard normalfordeling og V er kovarians matrisen for de respektive statistikkene.

$$0 < W < 1$$

Telleren i uttrykket for W er de kvadratiske verdiene av Shapiro og Wilks estimering av hellingen til linjen i Q-Q plottet. Nevneren er summen av kvadratene av hvert punkt subtrahert for gjennomsnittet. Dette er også uttrykket vi finner i telleren for beregning av variansen. Både teller og nevner utgjør derav et uttrykk for varians. Dersom variansen av dataene er lik variansen av de normalfordelte dataene, vil forholdet mellom dem bli 1. En verdi W nær 1 foreslår derfor normalfordeling av dataene i utvalget. Hvorvidt W er signifikant avgjøres ved p -verdien (Razali & Yap, 2011, s. 25).

7.7.5 Feilspesifisering og utelatt variabel

Ramsey RESET

Ramsey Regression Specification Error Test (RESET) benyttes for å teste for feilspesifisering i regresjonsuttrykket. Testen identifiserer om det foreligger utelatt variabel bias og datatransformasjons bias. Dette gjøres ved å undersøke om inkludering av ytterligere uavhengige

variabler tillegger forklaringsverdi til modellen. Nullhypotesen blir korrekt spesifisering, og alternativhypotesen blir feilspesifisering. Dersom nullhypotesen ikke forkastes er modellen av bra funksjonell form, og det tyder på at den lineære modellen adekvat fanger den observerte dataen.

For å teste dette legges den kvadrerte tilpassede verdien av utfallsvariabelen, \hat{y}^2 , til den opprinnelige regresjonsmodellen, som en ytterligere regressor. Dersom modellen er riktig spesifisert er original uttrykket den faktiske datagenererende prosessen, og den kvadrerte tilpassede verdien vil ikke øke forklaringsverdien; all informasjonen ligger i de forklarende variablene. Dersom modellen er riktig spesifisert, vil koeffisienten til det nye leddet i den nye regresjonen være lik null. Dersom den er feilspesifisert vil den kvadrerte tilpassede verdien øke tilpasningen av modellen relativt til original modellen, og koeffisienten vil være ulik null. Null- og alternativhypotesen blir:

$$H_0: \gamma = 0 \text{ mot } H_1: \gamma \neq 0$$

Forkastning av nullhypotesen indikerer feilspesifisering. Ved inkludering av den tilpassede utfallsvariabelen i kvadrert form, \hat{y}^2 , benyttes t -statistikk. Høyere ordre av polynominaler kan også benyttes til testing, for eksempel en tredjegradsform, \hat{y}^3 . I så tilfelle utvides nullhypotesen til å inkludere alle koeffisientene, fremdeles lik null. For å teste denne hypotesen må F -statistikk benyttes (Wooldridge, 2016, s. 277, 278).

8. Datamaterialet og hypoteser

Analysen anvender årlig tidsseriedata for en utvalgsstørrelse på 18 år, fra 2005 til og med 2022. Den avhengige variabelen er fornybar energiproduksjon og uavhengige variabler er statlige bevilgninger til energirettet FoU, pris på utslipp under kvotesystemet EU ETS og den norske karbonavgiften. Dataen som er representert og anvendt i analysen er sekundærdata primært innhentet fra offentlige statistikkdatabanker. Tabell 1 inneholder en oppsummerende beskrivelse av variablene og informasjon om hvor statistikken er hentet fra. Datasettet leder frem til tre hypoteser om effektene av de enkelte uavhengige variablene på den avhengige variabelen.

8.1 Behandling av data

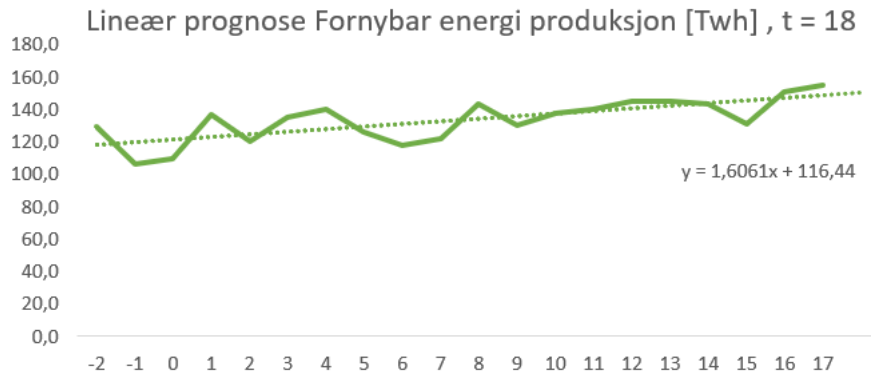
Datasettet i bakgrunnen for denne studien er varierende tidsmessig. Dette grunner i forskjellige årsaker. Sett i et historisk perspektiv er søkelyset på fornybar energi relativt nytt. Dessuten er enkelte virkemidler iverksatt i senere tid. Av denne grunn er ikke all data kategorisert for fornybar energi separat fra ikke-fornybar energi, men anvender én samlet kategori for energi.

Manglende data

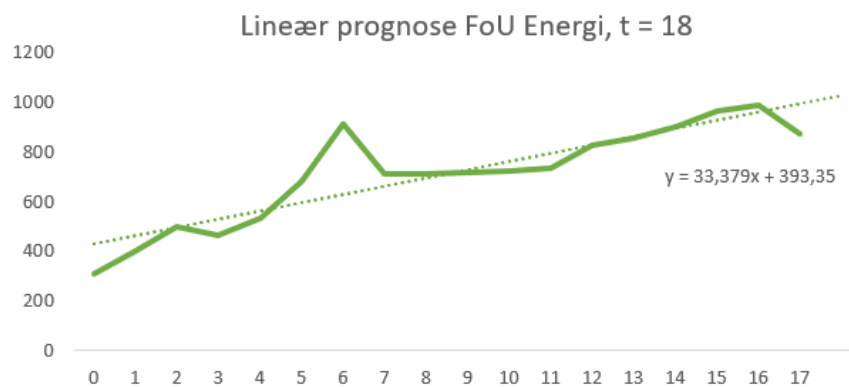
Manglende data er et av problemene man kan stå ovenfor i preprosesseringsfasen av dataen for videre bruk i analyse. Tidsseriedata er en av datatypene hvor manglende data ofte forekommer. Hovedsakelig er det to hovedprinsipp for håndtering av manglende data: sletting eller imputering. Imputering innebærer å sette inn estimerte data for manglende verdier. Nødvendigheten av komplette datasett for tidsserieanalyser, kan ofte ikke håndteres av de konvensjonelle metodene for gjennomsnitt, typetall og sletting uten å introdusere betydelig forutinntatthet. Lineær regresjon for imputering er en generell teknikk for håndtering av manglende data i tidsserier. Slik metode benytter tilgjengelig data for å estimere de manglende verdiene ved hjelp av en lineær regresjonsmodell (Pratama et al., 2016, s. 1; Bashir & Wei, 2017, s. 24).

Det originale datasettet var nærmest komplett for 18 år, fra 2005 til 2022. For å oppnå et fullstendig datasett i perioden er det foretatt ekstrapolering, estimering utenfor det kjente

intervallet, ved lineære regresjonsmodeller for de manglende datapunkter. Dette angår datapunkter for år 2022 i følgende variabler: Fornybar energiproduksjon og FoU Energi. De estimerte prognosene er representert i figur 11 og figur 12, respektivt. Datasettet for øvrige uavhengige variabler er komplett de representative år.



Figur 11: Lineær prognose fornybar energiproduksjon



Figur 12: Lineær prognose FoU Energi

Logaritmiske verdier

I tråd med vanlig tidsserieanalyse praksis er alle variablene i utvalget konvertert til den naturlige logaritmen. Økonomisk tidsseriedata analyseres ofte i logaritmisk form eller som endring i logaritmisk verdi. En grunn er at tidsseriene ofte vokser med en rate som er tilnærmet eksponentiell; logaritmen vokser tilnærmet lineært. En annen grunn er at standardavviket gjerne er tilnærmet proporsjonalt med nivået; det er konstant (Stock & Watson, 2020, s. 556-557). Konvertering av variablene induserer stasjonaritet og stabiliserer for mer homogen varians (Lütkepohl & Xu, 2012, s. 620).

8.2 Avhengig variabel

Datagrunnlag – Avhengig variabel (Y)

Alle data for den avhengige variabelen *fornybar energiproduksjon* er hentet fra energiselskapet bp's «free-to-access» statistikk. Dataen måler brutto energiproduksjon [TWh] fra fornybare kilder. Fornybare kilder i beregningen inkluderer vind, geotermisk, sol, biomasse og avfall. Ettersom vann ikke er inkludert i denne målingen, er vannkraft addert til denne summen. Data er tilgjengelig tilbake til 1965. Som nevnt, er lineær regresjon benyttet som imputeringsteknikk for år 2022.

8.3 Uavhengige variabler

Datagrunnlag - Uavhengige variabler (X_i)

FoU Energi

Forskning og utvikling kan benyttes som variabel for å inkorporere teknologisk innovasjon og kunnskapsinvesteringer i modellen (Fischer & Newell, s. 2). Data for energirettet FoU er hentet fra statistisk sentralbyrå (SSB) sin statistikkbank, tabell 13663: *Statlige bevilgninger til forskning og utviklingsarbeid (FoU)*. Statistikken måler bistand fra det offentlige virkemiddelapparatet for innovasjon, forskning og utvikling, målt i millioner kroner. Statistikken bygger på en dokumentanalyse av årlige statsbudsjetter - vedtatt statsbudsjett inkludert endringer i budsjettåret. Ifølge statsbudsjettene og proposisjoner til stortinget innebærer bevilgningene hovedsakelig støtte til strategiene Energi21 og OG21. Data foreligger for perioden 2004 til 2021. Som nevnt, er lineær regresjon benyttet som imputeringsteknikk for år 2022.

Karbonprising: EU ETS og CO2-avgift

To variabler er inkludert for å fange effekten av karbonprising, en variabel for EU ETS og en variabel for den norske karbonavgiften. Data for begge variablene er hentet fra *The World Bank*, og er målt i nominelle priser de respektive år ved USD per tonn CO₂-ekvivalent.

Kvotesystemet EU ETS ble innført i 2005, og dermed eksisterer ikke data for tidligere år. Norge har vært deltakende fra 2008. I beslutningsfasen er det ikke usannsynlig at diskusjonen har bidratt til økt fokus, og til dels har påvirket aktørers beslutninger. Tiden før endelig beslutning er derfor ikke ekskludert fra datamaterialet.

Data for den norske karbonavgiften daterer tilbake til den ble innført i 1991. For den norske karbonavgiften foreligger data for to prisrater. Prisrate 1 representerer den generelle avgiften. Prisrate 2 representerer en redusert avgift for LPG (flytende petroleumsgass) og naturgass i veksthusnæringen. Prisrate 1 er benyttet.

Tabell 1: Beskrivelse av variablene og kilder

Variabel	Variabel navn	Beskrivelse	Kilde
Fornybar energi produksjon	lnFEgen	Kraftproduksjon basert på fornybare kilder i Norge	bp
EU ETS	lnEUETS	Pris på utslippskvoter under EU ETS	The World Bank
CO2-avgift	lnCO2avgift	Pris på utslipp under norsk karbonavgift	The World Bank
FoU Energi	lnEnergi	Offentlig bevilgninger til energirettet FoU	SSB

8.4 Mulige svakheter med materialet

En svakhet med materialet er utvalgsstørrelsen på 18 år. Det er tidligere foretatt flere analyser ved ARDL-metode med omtrent likt antall observasjoner. Blant andre gjelder dette en studie av Elgohary og Abdel-Aziz (2022) med 18 år, og en studie Pattichis (1999) som benytter 20 år. For å oppnå et noe større datasett er det foretatt imputering for enkelte år og en noe mer upresis variabel er benyttet for FoU.

Det er viktig å bemerke noen svakheter med metoden som er anvendt for imputering. Ekstrapolering ved lineære regresjoner antar lineære forhold mellom tid og variabelen i fremtiden. En slik prognostisering av fremtiden er ikke sikker og avhenger sannsynlig av flere faktorer enn tid. Ved anvendelse av slike metoder vil noe informasjon kunne gå tapt og forutinntatthet introduseres gjennom antakelsene. Ekstrapolering er derimot ikke foretatt for manglende data bakover i tid. Større utvalg kan oppnås ved innsetting av manglende datapunkter bakover, men en avveining er gjort til fordel for ikke å miste informasjon.

Som mål på FoU inkluderes alle bevilgninger til energirettet FoU. Dataen er ikke oppdelt etter FoU-støtte til fornybar energi og fossil energi. Det er forsøkt å ekstrahere data ved en summering av bevilgninger til initiativer under Energi21 gjennom dokumentanalyse av proposisjoner og budsjetter fra regjeringen. Dataene var mulig å beregne for ni perioder, år 2013 til og med 2021. Bevilgninger til fornybar energi som andel av totale bevilgninger til energirettet FoU har vært relativt høy i perioden 2013-2021 hvor data for begge kategorier foreligger, se appendiks. Ettersom fornybar energi er et økende fokus, har det sannsynlig skjedd en endring i fordelingen fra starten frem til enden av datasettet.

Samtidig er FoU innen petroleum rettet mot elektrifisering av sokkelen med havvind og bidrar til generell videreutvikling av kompetansen på offshore installasjoner. Flere av prosjektene har relevans innen fornybar energi, herunder CCS, havvind, geotermisk energi, flytende solkraft, grønt hydrogen, fornybar kraftproduksjon på land og bølgekraftverk (Forskningsrådet, u.å., s. 20).

En annen begrensning ved denne statistikken er at den omfatter innvilgede beløp i statsbudsjettet, og den faktiske ressursbruken kan avvike. Statistikken inkluderer endringer i løpet av budsjettåret, og anses mer pålitelig enn uten endringer.

Noen uavhengige variabler er ekskludert fra datasettet. Konsum pris indeks (KPI) for energi og pris på elsertifikater er ekskludert som følge av korrelasjonsproblemer, se appendiks. Opprinnelsesgarantier, bevilgninger til FoU fornybar energi, FoU driftskostnader i næringslivet, samt miljøsubsidier og relaterte overføringer er ekskludert som følge av for kort tidsforløp. FoU og miljøsubsidier fanges hovedsakelig opp i den inkluderte variabelen FoU for energi.

Det har vært endringer i omfang i virkemidlene i løpet av perioden. Dette gjelder spesielt hvilke sektorer som er underlagt kvotesystemet idet kvotesystemet oppgraderes, men også karbonavgiften. Det kan forekomme brudd i dataene. Tester med hensyn på å identifisere eventuelle brudd og utelatte variabler gjennomføres i analysen.

8.5 Hypoteser

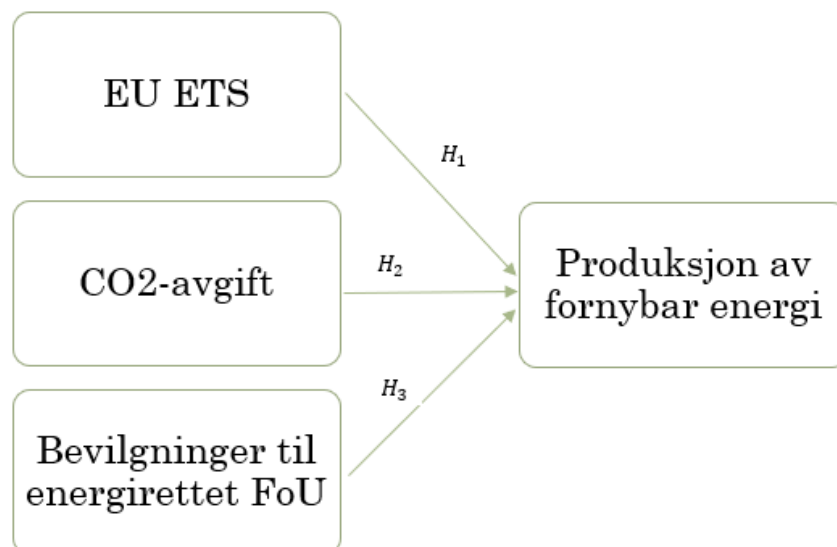
Med bakgrunn i litteraturgjennomgangen og mikroøkonomisk teori definerer jeg følgende tre hypoteser for å besvare problemstillingen:

H₁: Det foreligger signifikant effekt fra pris på kvoter under EU ETS på produksjon av fornybar energi i Norge.

H₂: Det foreligger signifikant effekt fra pris på norsk CO₂-avgift på produksjon av fornybar energi i Norge.

H₃: Det foreligger signifikant effekt fra statlige bevilgninger til forskning og utvikling på energi på produksjon av fornybar energi i Norge.

De respektive alternative hypotesene, H_A, er følgelig at det ikke foreligger signifikante forhold mellom initiativet av interesse og produksjon av fornybar energi. For å undersøke de hypotetiske effektene vil jeg anvende metodene som beskrevet i metodekapittelet.



Figur 13: Konseptuelt rammeverk

9. Resultater

For å estimere modellen og de relevante testene benytter jeg den statistiske programvaren STATA 17.0 med tilleggspakke for estimering av ARDL-modeller i tidsserie kontekster av Kripfganz og Schneider (2022).

I dette kapittelet gjennomgår jeg resultatene av modellspesifiseringen og utførte tester. Dette innebærer en gjennomgang av de avgjørende momentene for modellseleksjon. Det første steget er å avgjøre hvilken modell som er anvendelig med tilgjengelige tidsseriedata. I henhold til seleksjonsmetoden, sjekker jeg først for stasjonaritet i tidsseriene. Deretter kan ARDL-modellen spesifiseres med utfallet av test for optimalt etterslep. Heretter kan det testes for kointegrasjon for å undersøke om en feiljusteringsmodell med kortsiktige- og langsiktige effekter er passende. Til slutt vil tester for å sikre validitet av modellen gjennomgås.

Tabell 2: Deskriptiv statistikk

<i>Deskriptiv statistikk</i>							
Variabel navn	Gj.snitt	Median	Std.	Min.	Max.	Skjevhet	Kurtose
lnFEgen	4.91911	4.934487	.0800285	4.770524	5.04509	-.384755	2.184755
lnEUETS	2.646342	2.822211	.9881711	.2311117	4.460491	-.4700411	3.354614
lnCO2avgift	4.119535	4.104439	.146528	3.942164	4.472895	.6095098	2.743597
lnEnergi	6.584906	6.588892	.26881	5.991465	6.895683	-.8147454	2.637684

Tabell 2 oppsummerer variablene som benyttes i analysen ved dens deskriptive statistikk. Statistikken reflekterer at en stor andel av verdiene den enkelte variabel påtar seg over perioden ligger nær hverandre. Gjennomsnitt og median for alle variablene er omtrent like. Standardavviket måler hvor spredd dataen er relativt til gjennomsnittet. Variabelen lnEUETS er variabelen hvor differansen mellom minste- og maksimum verdier over perioden er størst. Se kapittel 8 for en utdypende forklaring av de enkelte variablene.

9.1 Stasjonaritet

Som omtalt i delkapittel 7.4 for modellseleksjon er det første steget å avgjøre stasjonaritetsegenskaper i variablene. Stasjonaritetsegenskapene undersøkes på to måter;

grafisk og ved enhetsrottest. Først, en vurdering av en grafisk visualisering, og deretter en formell test. Jeg anvender enhetsrottesten Augmented Dickey-Fuller med en forsinkelse, både med og uten trend.

Basert på en grafisk vurdering av tidsploottene av variablene som fremstilt i appendiks, er førsteinntrykket at noen av grafene tenderer en trendende oppførsel. Tidsserien for fornybar energiproduksjon, EU ETS og CO₂-avgift synes å være av stasjonær karakter, men med noen svingninger. Svingningene ser ut til å potensielt utligne stasjonaritetene. Tidsserien av variabelen for FoU Energi uttrykker særlig stigning de første periodene, men en noe mer stasjonær prosess deretter.

Ettersom ARDL-metoden kan hensynta og gir valide resultater selv ved variabler av ulike integreringsordre, er ikke testing av stasjonaritet et essensielt kriterium for metoden. Jeg undersøker likevel integrasjonsorden for å utelukke situasjonen hvor variablene er av andre orden eller høyere. Resultatene er presentert i tabell 3 med teststatistikk og korresponderende *p*-verdier.

Tabell 3: Test for enhetsrøtter i variablene med og uten trend

<i>Enhetsrottest</i>	ADF			
	Trend		Uten trend	
	I(0)	I(1)	I(0)	I(1)
lnFEgen	-3.331 (.0612)	-4.584 (.0011)	-1.892 (.3360)	-4.596 (.0001)
lnEUETS	-1.777 (.7158)	-5.472 (.0000)	-1.504 (.5315)	-5.595 (.0000)
lnCO ₂ avgift	-2.585 (.2868)	-3.376 (.0547)*	-2.631 (.0868)	-3.656 (.0048)
lnEnergi	-2.186 (.4975)	-3.314 (.0640)*	-1.615 (.4754)	-3.039 (.0314)
<i>p</i> -verdier i parentes	kritisk verdi -3.600; 5% sign. nivå * <i>p</i> < 10%		kritisk verdi -3.000; 5% sign. nivå	

Ved 5 prosent signifikansnivå er den ADF-kritiske verdien -3,000 uten trend og konstant, og 3,600 med trend og konstant. For test verdier høyere enn denne verdien forkastes nullhypotesen. Forkasting av nullhypotesen impliserer stasjonaritet. Det fremkommer ingen variabler integrert av andre orden. Dette er i samsvar med forutsetningene for anvendelse av ARDL-metode.

9.2 Etterslep

Når stasjonaritetsegenskapene er klarlagt kan etterslep for spesifisering av ARDL-modellen bestemmes. Maksimalt etterslep er satt til to perioder ettersom dataen er årlig og utvalgsstørrelsen liten, 18 år. Dette er vanlig praksis i mindre utvalg for å unngå unødig tap av frihetsgrader. For å bestemme optimalt etterslep for hver variabel benyttes informasjonskriteriet BIC som presentert under 7.5.1 i metodekapittelet. En mer sparsommelig modellspeifisering som bestemt ved BIC er passende ettersom den gjerne har bedre prediksjonsevne ved mindre utvalg.

Optimale etterslep for hver tidsserie bestemmes ved hjelp av STATA. Alle mulige kombinasjoner av modellen estimeres med de gitte variablene og etterslep under begrensningen. STATA rapporterer modellen med lavest BIC-verdi, med følgende resultat: ARDL(2,1,2,0). Optimalt etterslep for avhengig variabel FEgen er p lik to perioder. Optimalt etterslep for de uavhengige variablene er q lik en, to og ingen perioder for CO2avgift, Energi og EUETS respektivt.

9.3 Kointerasjon

Et neste steg kan være å undersøke kointegrasjonsegenskaper i variablene ved en reparameterisering av ARDL-modellen til en feiljusteringsmodell. En beregning av feiljusteringsmodellen forutsetter at det foreligger et langsiktig likevektsforhold mellom utslagsvariabelen og de uavhengige variablene.

For å teste for kointegrasjon og dermed langsiktige likevekter benytter jeg bounds test etter Pesaran et al. (2001) og deres beregnede kritiske verdier. Jeg følger derav de tre stegene som definert under 7.6.1 i metodekapittelet. Resultatene er presentert i tabell 4 med øvre og nedre grenseverdier samsvarende med 5 prosent signifikansnivå.

Tabell 4: Kointegrasjonstest ved Bounds prosedyre

<i>Kointegrasjonstest / Bounds test</i>			
		Nedre	Øvre
F-test	5.834*	3.23	4.35
t-test	-1.548	-2.28	-3.78
<i>*p < 0.01</i>		bounds v/ 5% nivå	

F-test statistikken i steg 1 er høyere enn den kritiske verdien for den øvre grensen ved 1 prosent signifikansnivå. Nullhypotesen om ingen nivåforhold forkastes. Første steg i testprosedyren støtter dermed den alternative hypotesen om at langsiktige forhold eksisterer. Dermed kan t-testen i steg 2 gjennomføres for den individuelle nullhypotesen. Teststatistikken er større enn den kritiske verdien for nedre grense. Nullhypotesen om ingen nivåforhold må dermed aksepteres. Som diskutert i metodekapittelet må nullhypotesen forkastes i alle tre steg for å kunne konkludere med kointegrasjon. Det er derfor ikke nødvendig å gå videre til neste steg. Dersom signifikansen av langsiktige koeffisienter likevel undersøkes, er resultatet ikke-signifikans. En feiljusteringsmodell som rapporterer langsiktige forhold, vil følgelig ikke spesifiseres.

9.4 Modellen

Resultatene av ovenfor gjennomgåtte tester tillater ikke spesifisering av en feiljusteringsmodell, men er i samsvar med kriterier for spesifisering av en ARDL-modell. Med andre ord er det kun ARDL-modell for kortsiktige forhold som er anvendelig med gjeldende data. Det er følgelig resultater av denne som presenteres. De generelle goodness-of-fit statistikkene av modellen vil diskuteres kort før effektene av de spesifikke variablene på utfallsvariabelen tolkes.

9.4.1 Modellspesifisering

Basert på variablene som inkluderes og beregnede optimale etterslep kan ARDL-modellen som beregnes spesifiseres:

$$\begin{aligned} \text{ARDL}(2,0,1,2): \ln FEgen_t & \qquad (17) \\ &= \beta_0 + \sum_{i=1}^{p=2} \beta_i \ln FEgen_{t-i} \\ &+ \sum_{j=0}^{q_1=0} \delta_j \ln EUETS_{t-j} + \sum_{j=0}^{q_2=1} \delta_j \ln CO2avgift_{t-j} \\ &+ \sum_{j=0}^{q_3=2} \delta_j \ln Energi_{t-j} + u_t, \end{aligned}$$

hvor β_0 er konstanten, β_i er koeffisientene av to etterslepene verdier av $\ln FEgen$, δ_j tilhørende $\ln EUETS$ er koeffisienten i inneværende periode, δ_j tilhørende $\ln CO2avgift$ er koeffisientene av verdiene i inneværende og en etterslepene periode, δ_j tilhørende $\ln Energi$ er koeffisientene av verdiene i inneværende og to etterslepene perioder, og u_t er feilledet.

9.4.2 Beregning

Tabell 5: Beregning av ARDL-modellen

Variabel	ARDL - kortsiktig			
	Koeffisient	Std. err.	t-statistikk	Prob
lnFEgen				
t-1	.1897	.1571437	1.21	.266
t-2	.4853**	.187995	2.58	.036
lnEUETS				
t	.0173	.014587	1.18	.275
lnCO2avgift				
t	-.2057*	.0958266	-2.15	.069
t-1	-.2646**	.0908395	-2.91	.023
lnEnergi				
t	-.3968**	.1190156	-3.33	.013
t-1	-.2500*	.1131847	2.21	.063
t-2	.5705***	.0958757	5.59	.001
_cons	4.0568***	.9950058	4.08	.005
<hr/>				
<i>N</i>	16			
<i>R</i> ²	.8960			
adj. <i>R</i> ²	.7772			
<i>Prob > F</i>	.0076			
<hr/>				
<i>BIC</i>	-48.50888			
<hr/>				
*** <i>p</i> < .01; ** <i>p</i> < .05; * <i>p</i> < .1				

Modellen estimeres med $N = 16$ observasjoner. Dette skyldes at det høyeste antallet etterslep benyttes i første beregning av den utfallsvariabelen. Antallet observasjoner i estimeringen blir dermed lik den opprinnelige utvalgsstørrelsen på 18 år negative to etterslep.

Som forventet er R^2 noe høyere enn justert R^2 . Verdiene kan tolkes som at 89,6 prosent, eller justert 77,7 prosent, av datapunktene varians forklares av modellen, respektivt. Modellen vurderes å ha høy forklaringssevne. Estimeringen er ikke *for høy* på den måten at det vekker mistanke om feilspesifisering av modellen. Den beregnede p -verdien tilhørende F -statistikken

for modellen ligger under verdien for 1 prosent signifikansnivå; modellen er statistisk signifikant. Modellen vurderes derav å være valid og slutninger kan dras av resultatene.

Som diskutert under delkapittel 7.5, er ARDL-modellen en dynamisk modell og koeffisientene er dermed mer krevende å interpretere, sett i forhold til andre statiske modeller. Signifikansen av koeffisientene impliserer hvorvidt det foreligger signifikante forhold fra regressorene på utfallsvariabelen. Oppsummerende er koeffisientene for $\ln FE_{gen,t-2}$, $\ln CO_2\text{avgift}_{t-1}$, $\ln Energi_t$, $\ln Energi_{t-2}$ og konstanten signifikante på 1 prosent eller 5 prosent nivå. $\ln CO_2\text{avgift}_t$ og $\ln Energi_{t-1}$ er også signifikante, men på 10 prosent nivå. Analysen tyder derimot ikke for signifikans for $\ln EUETS$ og $\ln FE_{gen,t-1}$. Resultatene antyder generelt effekter fra etterslepene verdier av energirettet FoU og CO₂-avgiften på produksjonen. Virkemiddelene har ifølge resultatene effekt på produksjonen i perioder frem i tid. Bevilgninger til FoU har også effekt i den perioden støtten innvilges.

Koeffisientene i ARDL-modellen uttrykker de umiddelbare effektene en endring i et virkemiddel eller tidligere produksjon har på utfallsvariabelen fornybar energiproduksjon. Ettersom alle variablene er av logaritmisk form og på nivåform vil koeffisientene interpreteres i prosentvise forhold, alt annet holdt konstant, *ceteris paribus*. En 1 prosent endring i en regressor har en gjennomsnittlig prosentvis effekt på responsvariabelen lik regressorens koeffisient. Tolkningene av de signifikante variablene blir dermed som følgende:

En 1 prosent økning i produksjonen vil ha en gjennomsnittlig 0,49 prosent umiddelbar positiv effekt (økning) på produksjonen to år frem i tid, på 5 prosent signifikansnivå. En 1 prosent endring i CO₂-avgiften har en gjennomsnittlig 0,21 prosent umiddelbar effekt på produksjonen, på 10 prosent signifikansnivå. En 1 prosent endring i CO₂-avgiften i foregående periode har en gjennomsnittlig 0,26 prosent umiddelbar effekt på produksjonen i inneværende periode. Koeffisientene er negative. FoU Energi har signifikante negative koeffisienter for inneværende og første etterslep ved 5 og 10 prosent signifikansnivå respektivt. De umiddelbare effektene er gjennomsnittlig 0,397 prosent og 0,25 prosent på produksjonen som følge av 1 prosent endring i inneværende og foregående periode, respektivt. Koeffisienten ved andre etterslep er positiv og signifikant på 1 prosent signifikansnivå. Denne kan interpreteres som at en 1 prosent økning i FoU Energi har en 0,57 prosent umiddelbar effekt på produksjonen, gjennomsnittlig. Negative

koeffisienter i tilfeller hvor positive koeffisienter er forventet, diskuteres under 10.1.6 i diskusjonen.

Som diskutert, beregnes ikke de totale effektene og fremkommer dermed ikke direkte av ARDL-modellen. Den totale effekten over periodene kan derimot beregnes utenfor modellen. Den dynamiske multiplikatoren, k , er gitt ved summen av de statistisk signifikante koeffisientene tilhørende virkemidlene for periodene i modellen, dividert på enhet subtrahert summen av koeffisientene tilhørende etterslepene av produksjonen. De dynamiske multiplikatorene for CO2avgift og Energi, hvis inkluderer koeffisientene på 1 og 5 prosent signifikansnivå, beregnes:

$$k_{CO2avgift} \frac{-.265}{1 - .485} = -.515$$

$$k_{Energi} \frac{-.397 + .57}{1 - .485} = .336$$

I beregningen av den dynamiske multiplikatoren for Energi, mer enn utlignes de negative effektene av de positive effektene slik at den totale effekten blir positiv og mindre enn de enkelte koeffisientene alene.

Resultatene av analysen viser statistisk signifikante effekter av den norske karbonavgiften og statlige bevilgninger til energirettet FoU på fornybar energiproduksjon i Norge. De tilhørende hypotesene, hypotese 2 og hypotese 3, som definert i delkapittel 8.5 kan aksepteres. Hypotesen for effekt av EU ETS på produksjonen av fornybar energi i Norge, hypotese 1, må derimot forkastes.

9.5 Tester

En rekke tester er utført med hensyn til modellen og de inngående variablene for å sikre validitet og spesifisering av modellen. Tester er herunder utført med hensyn på antakelser om ingen seriekorrelasjon, ingen heteroskedastisitet og normalfordeling av feilleddene. Tester er også utført for stabilitet av koeffisientene over tid og feilspesifisering av modellen. I det følgende presenteres resultater av Breusch-Godfrey, White og Shapiro-Wilk for de respektive

antakelsene. Stabilitet er testet ved CUSUM og CUSUMSQ, samt feilspesifisering ved Ramsey RESET. Valg av tester er basert på vanlig praksis, prosedyren etter Pesaran et al. (2001) og tester som er funnet å være mer pålitelig ved små utvalgsstørrelser. Testenes anvendelse er diskutert under metode gjennomgangen.

Tabell 6: diagnostiske tester

<i>Diagnostikktester</i>			
Forutsetning	Test	Test statistikk	Probabilitet
Seriekorrelasjon	Breusch-Godfrey /LM, lag(1)	.438	.5083
	Breusch-Godfrey /LM, lag(2)	2.104	.3493
Heteroskedastisitet	White Test	16.00	.3821
Normalitet	Shapiro-Wilk		
	FEgen	.95867	.57612
	lnEUETS	.96753	.75013
	lnCO2avgift	.90419	.06802
	lnEnergi	.89679	.05053
Stabilitet	CUSUM	.3111	
Utelatte variabler	Ramsey RESET	.15	.9249

Breusch-Godfrey test for seriekorrelasjon gir k -kvadrat statistikk med frihetsgrader lik antall inkluderte etterslep. Testen er utført med ett og to etterslep. Resultatene av begge versjonene gir lav k -kvadrat statistikk og tilhørende høy p -verdi. Resultatene gir grunnlag for å akseptere nullhypotesen om ingen seriekorrelasjon i residualene ved begge lengdene av etterslep. Det er grunnlag for å godta at det ikke forekommer seriekorrelasjon i residualene.

White test benyttes for å teste for homoskedastisitet mot ubegrensede former av heteroskedastisitet. Resultatet er høy p -verdi. Nullhypotesen kan dermed ikke forkastes. Resultatet gir grunnlag for å akseptere at det foreligger homoskedastisitet, og følgelig at variansen i feilleddene er konstant.

Shapiro-Wilk test for normalitet ga noe varierende resultater med hensyn til signifikans, men normalitet for all variablene kan aksepteres ved 5 prosent signifikansnivå. Som diskutert i 7.7.4 vil W -statistikken ved en verdi nær 1 foreslå normalitet, men p -verdien er avgjørende. W -statistikken for variablene FEgen og EUETS ligger særlig nært 1 og har høye p -verdier.

Variablene CO2avgift og Energi har også høye W -statistikkverdier og tilstrekkelig høye p -verdier $>,05$. Testen tilsier at ingen av dataene i variablene fraviker signifikant fra normalfordeling.

Teststatistikken for CUSUM test for parameter stabilitet er lavere enn kritiske verdier på 1, 5 og 10 prosent signifikansnivå. Nullhypotesen om ingen strukturelle brudd kan dermed ikke forkastes. Med andre ord, det fremkommer ikke strukturelle brudd og koeffisientene er stabile. Grafiske presentasjoner av testene og QQ-plottene er fremlagt i appendiks med samsvarende resultater, også for CUSUMSQ.

Ramsey RESET er benyttet som test for feilspesifisering. Testen gir særlig høy p -verdi og nullhypotesen om korrekt spesifisering kan ikke forkastes. Nullhypotesen aksepteres og beslutter at modellen er av god funksjonell form uten problemer med utelatte variabler.

Det samlede resultatet for diagnostikktestene er herunder at der ikke foreligger indikasjoner på problemer med modellen. Antakelsene for bounds testen er også tilfredsstillende, og resultatene av den vurderes derfor også å være valide basert på datagrunnlaget.

10. Diskusjon

Innledningsvis i dette kapittelet vil de ulike resultatene tolkes og drøftes. Videre vil mulige implikasjoner ved dem, samt validitet og reliabilitet i analysen diskuteres.

10.1.1 Produksjon

Tidligere verdier av fornybar energiproduksjon har signifikant effekt på produksjonen i inneværende periode. Etterslepeneffekt i produksjonen er forventet ettersom produksjonen gjerne avhenger av utbygginger og endringer i forbruk. Ved utbygging av nye, eller påbygging av eksisterende anlegg for energiproduksjon, er det med hensikt på addisjonell produksjon for flere perioder frem i tid. Endringer i forbruk kan oppstå over tid i husholdningene, men også mer drastiske endringer kan oppstå av energiintensive nyetableringer og elektrifisering.

Effekten er delvis i samsvar med funnet i Marques og Fauinhas (2021). I denne analysen antyder resultatet ikke-signifikans mellom to påfølgende år, men signifikans mellom inneværende og to perioder tilbake. Marques og Fauinhas finner denne effekten mellom to påfølgende år med hensyn på forbruk. Forskjellen som fremkommer kan være resultat av tilfeldige variasjoner i datasettene, eller forskjell i forbruk og produksjon. Dataen anvendt i denne analysen er basert på historisk data fra Norge hvor vannkraft utgjør den største kilden til fornybar energiproduksjon. Vannkraften er i stor grad regulerbar. Ikke-signifikans for foregående periode kan tenkes å resultere dersom magasinene ble tappet i perioden før, og dermed har lav stand i denne perioden som igjen gir mindre rom for høyere produksjon, og motsatt. En slik tolkning vil dermed også kunne forklare signifikansen to perioder bak i tid. Dette forholdet kan imidlertid tenkes å forskyves i fremtiden når andre kilder utgjør større andel av den totale produksjonen.

10.1.2 EU ETS

Av analysen følger ikke signifikant effekt av EU ETS på produksjonen. Resultatene er ikke i samsvar med resultatene etter Fischer og Newell (2008) hvor de konkluderte med utslippsstandarder blant de viktigste virkemidlene i rangeringen. Resultatene kan derimot forklares ut ifra diskusjonen i Gulbrandsen og Hermansen (2022) rundt fleksibiliteten i

ordningen. Som diskutert tidligere er ordningen fleksibel idet reduksjoner av CO₂-utslipp, og dermed tiltakene for slike reduksjoner, ikke er begrenset innenfor de ulike nasjonale grensene, men innenfor alle deltakende land samlet. Utslippsreduksjonene vil forekomme der det er mest kostnadseffektivt, som diskutert i teorien i kapittel 6. Norge har allerede utført mange av de mindre kompliserte reduksjonene. Det kan derfor tenkes at resultatene med hensyn på Norge, skyldes at flere mindre kompliserte reduksjoner gjenstår i andre land under kvotesystemet. Selv om det ikke fremkommer signifikans i Norge betyr ikke det at kvotesystemet ikke har effekt på fornybar energiproduksjon. Analysen støtter derimot ikke forekomst av denne effekten innenfor Norges landegrenser.

Tidligere ble også dobbeltreguleringer diskutert. EU ETS og karbonavgiften er delvis overlappende virkemidler. Addisjonelle utslippsreduksjoner vil etter teorien ikke forekomme i de overlappende delene av ordningene. Eventuelle effekter knyttet til effektiviseringer eller utfasinger som ikke erstattes av fornybar kraft vil ikke fremkomme i analysen, men kan utgjøre eventuelle utslippsreduksjoner innenlands.

10.1.3 Karbonavgift

Funnene av effekten av den norske karbonavgiften på fornybare energikilder er signifikant. Dette er i samsvar med Newell og Fischer (2008) som bemerket utslippspris som utløsende for utvidelse av produksjon. Effekten kan også indirekte ses i sammenheng med funnene i litteraturen for CO₂-reduksjoner som følge av avgifter. Reduksjonene tyder på at de insentiverende- og disinsentiverende effektene som diskutert i teorien under negative eksternaliteter finner sted. Herunder at økt pris for fossil energi som følge av pris på CO₂-utslipp leder til en økning i fornybar energi. Resultatene underbygger dermed teorien i praksis. Dette er imidlertid motstridene til resultatene i Gan og Smith (2011) hvor de ikke fant signifikans mellom CO₂-utslipp og tilbud av fornybar energi. Bruvoll og Larsen (2003) fant lav effekt i sin studie ettersom mange sektorer var unntatt avgift i perioden studien baserte sine data på, 1990 til 1999. I ettertid er ordningen forsterket, og flere sektorer er nå underlagt avgiften.

Etterslepene effekter kan skyldes at omlegging av produksjonen tar tid. Etterslepet fremkommer med sikrere signifikans i foregående periode fremfor den umiddelbare effekten i

samme periode. Det er begrenset i hvor stor grad produksjonen kan omstilles umiddelbart. Vannkraften, som utgjør store deler av produksjonen, kan reagere umiddelbart i det den er regulerbar, men er begrenset av produksjonskapasiteten. Dersom prisen på avgiften er høy, er det mer lønnsomt å produsere fornybar kraft og vannkraften insentiveres til å øke produksjonen umiddelbart. Mer langsiktige effekter krever derimot nybygging og utbygging av eksisterende anlegg. Slik økning i produksjonskapasitet er langt mer tidkrevende prosesser. Det kan også tenkes at når prisen er endret over flere perioder, skapes en forventning om at endringen vil vedvare.

10.1.4 FoU Energi

Bevilgninger til energirettet FoU er signifikant i inneværende og to etterslepene perioder. Effekten av FoU på produksjonen er i samsvar med teorien. Funnene støtter opp under teorien om at slik subsidie gjennom ny kompetanse og overføringer av kompetansen medfører billigere fornybar energi, og dermed endrede produksjons- og forbruksmønstre over tid. Resultatene samsvarer også med Tudor og Sova (2021), hvor FoU medførte økning i fornybar energikonsum. Funnene kan ses i sammenheng med resultatene i denne analysen ettersom Norge er netto eksportør og forbruket i høy grad vil være av produksjonen innenlands. Effekten er imidlertid motstridene til resultatene i Gan og Smith (2011) hvor de ikke fant signifikans for FoU utgifter på tilbud av fornybar energi.

Etterslepene effekter kan forklare i at det tar tid før forskningen gir betydelige resultater i form av ny mer effektiv teknologi, og særlig før større gjennombrudd finner sted. Det vil også gjerne være en forsinkelse mellom forskningsinnsatsen og implementeringen av nye teknologier eller innovative løsninger. Forsinkelsen kan skyldes stegene og kompleksiteten i forskningsprosessen, herunder testing og validering, samt teknologisk og kommersiell modning.

10.1.5 Ikke langsiktige likevektsforhold

Det ble ikke avdekket kointegrasjon ved anvendelse av bounds testen. Ettersom nybygginger og andre investeringer i addisjonell kapasitet vil ha vedvarende effekter på fornybar produksjonen ville langsiktige sambevegelser være forventet. Det er en mulighet at resultatene

er påvirket av lav utvalgsstørrelse, og at de over en lengre periode ville avdekket slikt langsiktig forhold selv om det ikke kunne identifiseres over den gitte tidsperioden. Resultatet av analysen legger ikke grunnlag for å avkrefte kointegrerte forhold med høy sikkerhet. Imidlertid støtter analysen opp om at virkemidlene medfører kortsiktige endringer i produksjonen. Sharif et al. (2023) fant støtte for både kortsiktige- og langsiktige negative assosiasjoner av grønn teknologi, miljøavgifter og grønn energi på CO₂-utslipp. Studien er derimot ikke lik denne. Forskjellen i resultatene kan skyldes at ikke andre effekter på CO₂-utslipp slik som effektivisering og besparelser uten substitusjon forekommer.

Nye kritiske verdier av Kripfganz and Schneider (2020) er bedre egnet enn kritiske verdier av Pesaran et al. (2001) for bounds test ved små utvalg, men har forutsetning om minst dobbelt så mange observasjoner T * enn koeffisienter K *. I feiljusteringsmodellen er det inkludert 16 observasjoner og fire kortsiktige og tre langsiktige koeffisienter, samt koeffisient for speed-of-adjustment og konstant. De kritiske verdiene er derfor ikke anvendelige for bounds test i gjeldende utvalg.

10.1.6 Motsatte fortegn

Litteraturen indentifiserer flere grunner til at resultatene i en statistisk analyse har motsatte fortegn fra hva forskerne forventet basert på teorien. Kennedy (2002) oppsummerer ulike grunner, herunder problemer med teorien, dataen, spesifiseringen, utelatte variabler eller prosedyren.

Teorien er anerkjent, og jeg har som diskutert testet modellen for utelatte variabler og andre potensielle svakheter i datamaterialet uten å identifisere problemer. En mulig grunn til negative fortegn i denne studien er høy varians som følge av høy multikollinearitet eller små utvalgsstørrelser. Regressorene i modellen er testet for multikollinearitet ved Variance Inflation Factor (VIF), rapportert i appendiks. Generelt er VIF lavere enn 5 ansett å være uproblematisk, mens verdier over 10 er problematisk. FoU Energi variabelen har noe høy verdi. Denne er forsøkt ekskludert fra modellen, men uten å avhjelpe fortegnene. Dropping av variabler reduserer imidlertid også informasjonen i modellen. Den mest sannsynlige begrunnelsen for fortegnfeilene vurderes å være utvalgsstørrelsen. Den ideelle løsningen er et større datasett som vil gi mer presise estimater med mindre standardfeil.

10.2 Validitet og Reliabilitet

For at resultatene skal være pålitelige må det foreligge både validitet og reliabilitet. Generelt vil det foreligge reliabilitet der det er validitet, men ikke motsatt (Sürücü & Maslakçi, 2020, s. 2696). Det er viktigere å konstatere validitet enn reliabilitet. Validitet relaterer seg til hvilken grad det tiltenkte konseptet måles ved meningsfulle og passende interpretasjoner av resultatene. Det er hovedsakelig to typer av validitet: intern validitet og ekstern validitet (Stock & Watson, 2020, s. 330).

Intern validitet refererer til hvorvidt tolkningene er valide for populasjonen utvalget er innhentet fra. Dersom antakelser, som ligger til grunn for analysen, ikke holder kan det medføre en trussel mot den interne validiteten. Dette kan være utelatte variabler, feilspesifisering av den funksjonelle formen, upresise målinger av uavhengige variabler («errors in variables»), utvalgsproblemer, forskningsdesignet eller tolkningen av resultatene. Dersom problemer foreligger, kan det resultere i korrelasjoner mellom en regressor og feilledet (Stock & Watson, 2020, s. 330-344). Mulige svakheter i analysen stammer i hovedsak fra utvalgsstørrelsen. Som tidligere diskutert er tester for å sikre validiteten av analysen utført uten urovekkende resultater. Modellen og testene som er utført er selektert med hensyn til den lave utvalgsstørrelsen. En mulig svakhet i testen for stasjonaritet er at noen variabler er integrert på 10 prosent signifikansnivå. Dette ville kunne løses ved å anvende variablene ved førstedifferansen fremfor på nivåform. En slik løsning er forsøkt, men andre problemer i modellen oppstod som følge av redusert utvalgsstørrelse. Videre er en mer upresis variabel for FoU benyttet som diskutert delkapittel 8.4. Tolkning av de negative resultatene diskuteres under. Det er alltid viktig å huske at forkastning eller ikke forkastning av nullhypoteser ikke er beviser med full sikkerhet. Data er innsamlet fra troverdige kilder og anses å være valide.

Ekstern validitet innebærer at tolkningene kan generaliseres til andre populasjoner og settinger. I tilfeller hvor andre studier er foretatt på andre lignende populasjoner, kan ekstern validitet baseres på en sammenligning mellom resultatene (Stock & Watson, 2020, s. 333). Hovedsakelig er resultatene i denne analysen, at virkemidlene har effekter på produksjonen, nærliggende teorien og tidligere resultater. Dette gjelder studier som inkluderer Norge og andre land, også i anvendelse av andre statistiske metoder. Imidlertid er resultatet om ikke signifikant effekt av EU ETS ikke i tråd med teori og tidligere studier, og taler mot ekstern validitet. Ingen

studier med fokus på EU ETS er derimot identifisert for Norge. Forskjellene i resultatene kan grunne i andre utenforliggende faktorer.

Reliabilitet refererer til nøyaktigheten av målingene over tid og indikerer således stabiliteten av de målte verdiene. Med andre ord, hvorvidt målinger på et annet tidspunkt ville gi tilsvarende resultater. Resultatene vil naturligvis ikke være helt like som følge av endringer i ulike faktorer som kan ha påvirket utvalget og populasjonen i tiden mellom målingene (Sürücü & Maslakçi, 2020, s. 2723). Som diskutert tidligere er optimal virkemiddelbruk blant annet både informasjons- og tidsavhengig. Reliabiliteten kan påvirkes av databehandlingen. Mulige svakheter og introduksjon av forutinntatthet ved ekstrapolering av datamaterialet er diskutert under delkapittel 8.1 for behandling av data.

11. Konklusjon

Klimakrisen kommer trengende på. Tiltak må gjennomføres, og det raskt. En omstilling til fornybar energi som substitutt for fossil energi er nødvendig. Utviklingen innen fornybar energiproduksjon vil avhenge av landenes tilrettelegging gjennom virkemidler. Dette angår også Norge. De viktigste virkemidlene i Norge er pris på CO₂-utslipp gjennom den norske karbonavgiften og det omsettbare kvotesystemet EU ETS, samt flere initiativer til energirettet FoU. Litteraturen og teorien støtter opp om virkemidlene som tilnærminger for å stimulere til økt fornybar energiproduksjon. Litteraturen er derimot begrenset med fokus på Norge og teorien er overordnet og generell.

Forskningsspørsmålet jeg har forsøkt å besvare er hvorvidt de implementerte virkemidlene har effekt på produksjonen av fornybar energi i Norge. Det er effektene av de ovenfornevnte virkemidlene som undersøkes. Tre hypoteser er følgelig spesifisert. En statistisk analyse er gjennomført ved anvendelse av en dynamisk ARDL-modell. Jeg har også undersøkt hvorvidt det foreligger kointegrerte forhold ved anvendelse av en reparameterisering av ARDL-modellen til en feiljusteringsmodell, men fant ikke støtte for dette. Det er følgelig resultatene av ARDL-modellen som er fremlagt og diskutert. Flere tester er også gjennomført for å sikre validiteten av resultatene.

Resultatene er i hovedsak i tråd med tidligere litteratur og teori. Jeg finner statistisk signifikans for effekter av karbonavgiften og bevilgninger til energirettet FoU på produksjonen av fornybar energi, både i inneværende og tidligere år. Produksjonen to år tilbake, har også signifikant effekt på produksjonen i inneværende periode. Et interessant funn er derimot ikke-signifikans for effekten av EU ETS. En tolkning av denne er at den likevel kan ha utslippsreducerende effekter og bidra til økt fornybar produksjon, men utenfor de nasjonale grensene. En begrensning for interpretasjonen er enkelte koeffisienter med motsatt fortegn fra hva som var forventet. Jeg har av denne grunn ikke grunnlag for å konkludere på retningen av effektene.

Jeg konkluderer herved med at *nasjonalt* implementerte miljøøkonomiske virkemidler har effekter på fornybar energiproduksjon i Norge.

12. Videre forskning

Jeg håper i min forskning å ha bidratt til å fylle deler av gapet som ble identifisert i litteraturgjennomgangen. Videre forskning med lignende problemstillinger fra ulike vinkler og med særlig fokus på hvordan myndighetene kan stimulere til ytterligere utbygging og produksjon i landet vil være interessant for å bygge videre på og verifisere resultatene. En ny analyse, når større datagrunnlag er mulig å legge til grunn, vil kunne bekrefte effektene med høyere sikkerhet. På et senere tidspunkt vil de initiativer som er nevnt, men ikke inkludert i analysen som følge av for få observasjoner, også kunne inkluderes. Særlig vil det være interessant å utføre en tilsvarende analyse i det FoU kan inndeles med hensyn til fornybar energi. Opprinnelsesgarantier og elsertifikater kan også inkluderes i undersøkelser av påvirkning på kraftmarkedet.

Det er noen effekter som ikke fanges opp i fornybar energiproduksjonen; til hvilken grad virkemidlene fører til effektiviseringer og elektrifisering. Det ville være interessant å fange substitusjonseffekten fra fossil- til fornybar energi som følge av virkemiddelbruken. En eventuell statistisk analyse kan utføres med fossil- og fornybar energi som separate utfallsvariabler i én modell. Det vil videre være interessant å undersøke forskjeller i utviklingen i de ulike fornybare energikildene. En mer umiddelbar effekt av virkemidler kan fanges gjennom konsesjonssøknader målt i antall eller installert effekt.

I litteratur gjennomgangen kom det frem at flere analyser er utført med hensikt på å fange årsaker til nasjonale forskjeller. Hvorvidt resultatene vil kunne overføres til lignende ulikheter i utbygging regionalt innenfor landets grenser er en mulig problemstilling. Det er klart en sammensetning av flere faktorer som påvirker hvor både konvensjonell- og nyutviklet energiproduksjon legges. Eventuelt kan man også inkludere hvordan tilrettelegging av fylker og kommuner påvirker nyetableringer i regionene.

Ettersom ingen forhold ble avdekket for EU ETS i denne analysen, ville det videre være interessant å undersøke hvilke gevinster Norge har av deltakelse i EU ETS, utover de fordelene som er nevnt tidligere. Som nevnt har norske aktører tilgang på det tilknyttede innovasjonsfondet. Globale effekter i form av utslippsreduksjoner er også mål for alle land.

Store prosjekter er igangsatt og flere planlagt, samtidig som forskning fortsetter med økt fokus på fornybar energi og andre tilnærminger til utslippsreduksjoner. Prognosene tyder på kraftig økning i fornybar kraft produksjon. Tidsserie modeller er gjerne anvendt i prognostiseringer. Mange prognoser er derimot som vist utarbeidet på dette området. Endringer i teknologien og andre faktorer i fremtiden er vanskelig å forutse for mer enn få perioder frem. Kausale forhold er utenfor denne studien, men ARDL-modellen under forutsetning av strengt eksogene variabler, kan legge grunnlag for en ytterligere spesifisering for kausale interpretasjoner.

13. Referanseliste

- Adedoyin, F. F., Ozturk, I., Bekun, F. V., Agboola, P. O. & Agboola, M. O. (2021). Renewable and non-renewable energy policy simulations for abating emissions in a complex economy: Evidence from the novel dynamic ARDL. *Renewable Energy*, 177, 1408-1420.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.06.018>
- Agemoglu, D., Aghion, P., Bursztyn, L. & Hemous, D. (2012). The Environmental and Directed Technical Change. *The American Economic Review*, 102(1), 131-166.
<http://dx.doi.org/10.1257/aer.102.1.131>
- Andreassen, E. (2022, 17. februar). *Investeringer i kraftforsyning falt kraftig i 2021*. Statistisk sentralbyrå.
<https://www.ssb.no/energi-og-industri/industri-og-bergverksdrift/statistikk/investeringer-i-olje-og-gass-industri-bergverk-og-kraftforsyning/artikler/investeringer-i-kraftforsyning-falt-kraftig-i-2021>
- Astivia, O. L. & Zumbo, B. D. (2019). Heteroskedasticity in Multiple Regression Analysis: What it is, How to Detect it and How to Solve it with Applications in R and SPSS. *Practical Assessment, Research, and Evaluation*: 24(1).
<https://doi.org/10.7275/q5xr-fr95>
- Bashir, F. & Wei, H. (2017). Handling missing data in multivariate time series using a vector autoregressive model-imputation (VAR-IM) algorithm. *Neurocomputing*, 276, 23-30.
<https://doi.org/10.1016/j.neucom.2017.03.097>
- Biozin Holding AS. (2022). *ENOVA tildeler Biozin støtte*.
<https://biozin.no/enova-tildeler-biozin-stotte/>
- Birkelund, H., Arnesen, F., Holde, J., Spilde, D., Jelsness, S., Aulie, F. H. & Haukeli, I. A. (2021). *Langsiktigkraftmarkedsanalyse 2021-2040: Forsterket klimapolitikk påvirker kraftprisene [Figur]*.
<https://www.nve.no/energi/analyser-og-statistikk/langsiktig-kraftmarkedsanalyse/>
- Birkelund, H., Arnesen, F., Holde, J., Spilde, D., Jelsness, S., Aulie, F. H. & Haukeli, I. A. (2021). *Langsiktigkraftmarkedsanalyse 2021-2040: Forsterket klimapolitikk påvirker kraftprisene*.
<https://www.nve.no/energi/analyser-og-statistikk/langsiktig-kraftmarkedsanalyse/>
- Boef, S. & Keele, L. (2008). Taking Time Seriously. *American Journal of Political Science*, 52(1), 184-200.
<https://doi.org/10.1111/j.1540-5907.2007.00307.x>

- bp. (2022). *bp Statistical Review of World Energy – all data*.
<https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>
- bp. (2022). *bp Statistical Review of World Energy June 2022*. [Statistikk]
<https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/downloads.html>
- Bruvoll, A. & Dalen, H. M. (2008). Lag på lag i norsk klima- og energipolitikk. *Økonomiske analyser*, 5, 29-37.
<https://www.ssb.no/natur-og-miljo/artikler-og-publikasjoner/lag-paa-lag-i-norsk-klima-og-energi-politikk>
- CLIMITs programstyre. (2021). *Programplan: CLIMIT*.
https://www.forskningsradet.no/siteassets/sok-om-finansiering/programplaner/climit-programplan_des2021.pdf
- Damette, O. & Marques, A. (2019). Renewable energy drivers: a panel cointegration approach. *Applied Economics*. 51(26), 2793-2806.
<https://doi.org/10.1080/00036846.2018.1558359>
- Depren, Ö., Kartal, M. T., Ayhan, F. & Depren S. K. (2023). Heterogeneous impact of environmental taxes on environmental quality: Tax domain based evidence from the nordic countries by nonparametric quantile approaches. *Journal of Environmental Management*. 329, Artikkel 117031.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.117031>
- Dofur, J. (1982). Recursive stability of linear regression relationships: An explanatory methodology. *Journal of Economics*, 19(1), 31-76.
- Doğan, B., Chu, L. K., Ghosh, S., Truong, H. H. D. & Balsalobre-Lorente, D. (2022). How environmental taxes and carbon emissions are related in the G7 economies? *Renewable Energy*, 187, 645-656.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.01.077>
- Dugstad, E. & Bartnes, G. (2021). Fornybar energi og Norges energiomstilling: Vil vi nok og gjør vi nok?. *Praktisk økonomi og finans*, 37(1), 25-36.
<https://doi.org/10.18261/issn.1504-2871-2021-01-04>
- Elgohary, E. M. & Abdel-Aziz, R. O. (2022). The effect of digital transformation on employment in Egypt: An applied study using ARDL model. *The electronic journal of information systems in developing countries*, 89(1), e12240.
<https://doi.org/10.1002/isd2.12240>

- Energi Norge. (2020). *Fornybarometeret 2020: Status for elektrifiseringen av Norge*.
<https://www.fornybarnorge.no/publikasjoner/rapport/2020/fornybarometer-november-2020/>
- Energi21. (2022). *Strategi 2022: Nasjonal strategi for forskning, utvikling, demonstrasjon og kommersialisering av ny klimavennlig energiteknologi*.
<https://www.energi21.no/strategiarbeid-og-dokumenter/dokumenter/>
- Enova. (u.å.). *EUs Innovasjonsfond*. Hentet 20. mars fra
<https://www.enova.no/bedrift/europeiske-stotteordninger-for-klimateknologi/eus-innovasjonsfond/>
- European Commission. (2021). *European Green Deal: Commission proposes transformation of EU economy and society to meet climate ambitions* [Pressemelding].
https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_21_3541
- European Commission. (u.å.). *REPowerEU*. Hentet fra
https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/repower-eu-affordable-secure-and-sustainable-energy-europe_en
- European Investment Bank. (2023). *Climate and environmental sustainability*.
<https://www.eib.org/en/about/priorities/climate-action/index>
- Equinor ASA. (2023). *Slik vil rent norsk hydrogen sørge for Europas energisikkerhet*.
[https://www.equinor.com/no/magasin/rent-norsk-hydrogen-til-europa?utm_source=google-ads&utm_campaign=&campaign-name=\(fornybarenergi\)&gclid=EAIaIQobChMI6ojA5MGc_gIVMgd7Ch1IHwx-EAMYASAAEgIFBfD_BwE](https://www.equinor.com/no/magasin/rent-norsk-hydrogen-til-europa?utm_source=google-ads&utm_campaign=&campaign-name=(fornybarenergi)&gclid=EAIaIQobChMI6ojA5MGc_gIVMgd7Ch1IHwx-EAMYASAAEgIFBfD_BwE)
- Equinor ASA. (2023b). *Norge og Tyskland samarbeider om å skape fremtidens energisystem*.
<https://www.equinor.com/no/energi/equinor-rwe-samarbeid>
- Fischer, C. & Newell, R. G. (2008). Environmental and technology policies for climate mitigation. *Journal of Environmental Economics and Management*. 55(2), 142-162.
<https://doi.org/10.1016/j.jeem.2007.11.001>
- Fornybar Norge. (2021). *Status fornybarandelen i Norge*.
<https://www.fornybarnorge.no/publikasjoner/rapport/2021/fornybarometeret-host-2021/status-fornybarandelen-i-norge/>
- Fornybar Norge. (2020). *Elektrifisering*.
<https://www.fornybarnorge.no/fornybarometeret/elektrifisering/>
- Forskningsrådet. (2021). *Porteføljeanalyse 2021: Portefølje for energi, transport og lavutslipp*.

<https://www.forskningsradet.no/portefoljer/energi-transport-og-lavutslipp/portefoljeanalysen-for-energi-transport-og-lavutslipp/>

- Forskningsrådet. (u.å.). *Energieffektivisering og reduksjon av klimagasser: En analyse av offentlig petroleumsforskning 2018-202*.
<https://www.forskningsradet.no/portefoljer/petroleum/>
- Frankhauser, S., Smith, S. M., Allen, M., Axelsson, K., Hale, T., Hepburn, C., Kendall, J. M., Kholsa, R., Lezaun, J., Mitchell-Larson, E., Obersteiner, M., Rajamani, L., Rickaby, R., Seddon, N. & Wetzer, T. (2022). The meaning of net zero and how to get it right. *Nature Climate Change*, 12, 15-21.
<https://doi.org/10.1038/s41558-021-01245-w>
- Gan, J. & Smith, C.T. (2011). Drivers of renewable energy: A comparison among OECD countries. *Biomass and Bioenergy*. 35(11), 4497-4503.
<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.03.022>
- Grimaud, A. & Lafforgue, G. (2008). Climate change mitigation policies: Are R&D subsidies preferable to a carbon tax?. *Revue d'économie politique*, 118(6), 915-940.
<https://doi.org/10.3917/redp.186.0915>
- Golombek, R., Greaker, M. & Kverndokk, S. (2015). *Virkemidler som kan fremme utvikling og bruk av miljøteknologi*.
https://www.regjeringen.no/contentassets/ea2de2ab99474b96b9fe163e0eb7a5a5/cree_miljoteknologi.pdf
- Guldbrandsen, L. H. & Harmansen, E. A. (2022). Ever Closer Union? Norges tilknytning til EUs klimaregelverk. *Internasjonal Politikk*, 80(1), 170-183.
<https://doi.org/10.23865/intpol.v80.3674>
- Guterres, António. (2019). *Remarks at 2019 Climate Action Summit* [Tale]. European Commission. Hentet fra <https://www.un.org/sg/en/content/sg/speeches/2019-09-23/remarks-2019-climate-action-summit>
- Harris, J. M. & Roach, B. (2017). Chapter 14. Greening the Economy. *Environmental and Natural Resource Economics. A contemporary Approach* (4. utg., s. 374-405). Routledge.
- Harris, R. I. D. (1992). Testing for unit roots using the augmented Dickey-Fuller test: Some issues relating to the size, power and the lag structure of the test. *Economic Letters*, 38(4), 381-386.
- He, P., Ning, J., Yu, Z., Xiong, H., Shen, H. & Jin, H. (2019). Can Environmental Tax Policy Really Help to Reduce Pollutant Emissions? An Empirical Study of a Panel ARDL

- Model Based on OECD Countries and China. *Sustainability*, 11(16), Artikkel 4384.
<http://dx.doi.org/10.3390/su11164384>
- Ibenholt, K., Grogrud, C. & Dyrhaug, L. T. (2012). *Hvite sertifikater og elsertifikater*. (10). Vista Analyse AS.
<https://www.vista-analyse.no/no/publikasjoner/hvite-sertifikater-og-elsertifikater/>
- International Energy Agency. (2022a). *Norway 2022: Energy Policy Review*.
<https://www.iea.org/reports/norway-2022>
- International Energy Agency. (2022b). *Renewables 2022: Analysis and forecast 2027*.
<https://www.iea.org/reports/renewables-2022>
- IEA. (2023). *Renewables Information: Overview: Supply*.
<https://www.iea.org/reports/renewables-information-overview/supply>
- Jåstad, E. O., Trotter, J. M. & Bolkesjø, T. F. (2022). Long term power prices and renewable energy market values in Norway – A propabilistic approach. *Energy Economics*, 112, Artikkel 106182.
<https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.106182>
- Kennedy, P. E. (2010). Oh No! I Got the Wrong Sign! What Should I Do?. *The Journal of Economic Education*, 36(1), 77-92.
<https://doi.org/10.3200/JECE.36.1.77-92>
- Klimaloven. (2017). *Lov om klimamål (LOV-2017-06-16-60)*. Lovdata.
<https://lovdata.no/lov/2017-06-16-60>
- Kripfganz, S. & Schneider, D. C. (u.å.). *ardl: Estimating autoregressive distributed lag and equilibrium correction models*.
https://tohoku.repo.nii.ac.jp/?action=repository_action_common_download&item_id=137822&item_no=1&attribute_id=18&file_no=1
- Langdal, E. (2022, 2. desember). *Miljøsubsidier på 15,2 milliarder kroner i 2021*. Statistisk sentralbyrå.
<https://www.ssb.no/natur-og-miljo/miljoregnskap/statistikk/miljoekonomiske-virkemidler/artikler/miljosubsidier-pa-15-2-milliarder-kroner-i-2021>
- Lütkepohl, H. & Xu, F. (2012). The role of the log transformation in forecasting economic variables. *Empirical Economics*, 42, 619-638.
<https://doi.org/10.1007/s00181-010-0440-1>
- Ma, Q., Murshed, M. & Khan, Z. (2021). The nexuses between energy investments, technological innovations, emission taxes, and carbon emissions in China. *Energy*

- Policy*, 155, Artikkel 112345.
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112345>
- Maarroui, G., Marrouch, W., Saliba, F. & Wossink, A. (2023). Willingness to Pay for Clean Air: Evidence from UK. *IMF Working Papers*, 2023(35).
<https://doi.org/10.5089/9798400234668.001>
- Marques, A. C. & Fuinhas, J. A. (2011). Drivers promoting renewable energy: A dynamic panel approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 15(3), 1601-1608.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.11.048>
- Marra, A. & Colantonio, E. (2021). The path to renewable energy consumption in the European Union through drivers and barriers: A panel vector autoregressive approach. *Socio-Economic Planning Sciences*. 76, Artikkel 100958.
<https://doi.org/10.1016/j.seps.2020.100958>
- Meld. St. 36 (2020-2021). *Energi i arbeid - langsiktig verdiskapning fra norske energiresurser*. Olje- og energidepartementet.
<https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld.-st.-36-20202021/id2860081/?ch=3>
- Meld. St. 36 (2020-2021). *Energi i arbeid - langsiktig verdiskapning fra norske energiresurser [Bilde]*. Olje- og energidepartementet.
<https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld.-st.-36-20202021/id2860081/?ch=3>
- Miljødirektoratet. (2019). *EUs system for klimakvoter*.
<https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/klima/klimakvoter/eus-klimakvotesystem/>
- Miljødirektoratet. (2021). *Om Europas grønne giv*.
<https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/internasjonalt/gronn-giv/europas-gronne-giv/>
- Miljødirektoratet. (2023). *Klimagasser*. Hentet 20. april 2023 fra
<https://miljostatus.miljodirektoratet.no/tema/klima/klimagasser/>
- Mishra, U., Wu, J. & Sarkar, B. (2020). A sustainable production-inventory model for a controllable carbon emissions rate under shortages. *Journal of Cleaner Production*, 256, Artikkel 120268.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120268>
- Narayan, P. K. & Smyth, R. (2005). Electricity consumption, employment and real income in Australia evidence from multivariate Granger causality tests. *Energy Policy*, 33(9), 1109-1116.
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2003.11.010>

- Newbold, P., Carlson, W. L. & Thorne, B. M. (2013). *Statistics for Business and Economics* (8. utg.). Pearson Education Limited.
- Norges forskningsråd. (2023). *Forskningscentre for miljøvennlig energi*. Hentet 20. april fra <https://www.forskningsradet.no/sok-om-finansiering/midler-fra-forskningsradet/fme/>
- Norges vassdrag- og energidirektorat. (2021, 20. juni). *Elektrifiseringstiltak i Norge*.
<https://www.nve.no/energi/energisystem/kraftproduksjon/hvor-kommer-stroemmen-fra/>
- Norges vassdrags- og energidirektorat. (2023, 25. mai). *Hvor kommer strømmen fra?*
United Nations. (u.å.). *The Climate Crisis – A Race We Can Win*. Hentet 20. mai 2023 fra <https://www.un.org/en/un75/climate-crisis-race-we-can-win>
- Nosheen, M., Iqbal, J. & Abbasi, M. A. (2021). Do technological innovations promote green growth in the European Union?. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 21717-21729.
<https://doi.org/10.1007/s11356-020-11926-2>
- NOU 2015: 15. (2015). *Sett pris på miljøet: Rapport for grønn skattekommissjon*.
Finansdepartementet.
<https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/nou-2015-15/id2465882/?ch=6>
- Oljedirektoratet. (2020). *KraftFraLand til norsk sokkel: Rapport 2020*.
<https://www.npd.no/fakta/publikasjoner/rapporter/rapportarkiv/kraft-fra-land-til-norsk-sokkel/>
- Olje- og energidepartementet. (2017, 1. juni). *Et bærekraftig og sikkert energisystem*.
<https://energifaktanorge.no/et-baerekraftig-og-sikkert-energisystem/>
- Olje- og energidepartementet. (2019a, 4. januar). *Avgifter og kvoteplikt*.
<https://energifaktanorge.no/et-baerekraftig-og-sikkert-energisystem/avgifter-og-kvoteplikt/>
- Olje- og energidepartementet. (2019b, 22. mai). *Energiforskning*.
<https://energifaktanorge.no/et-baerekraftig-og-sikkert-energisystem/energiforskning/>
- Olje- og energidepartementet. (2019b, 22. mai). *Energiforskning. [Figur]*
<https://energifaktanorge.no/et-baerekraftig-og-sikkert-energisystem/energiforskning/>
- Olje- og energidepartementet. (2021, 10. september). *Verdt å vite om norsk energipolitikk*.
<https://energifaktanorge.no/om-energisektoren/verdt-a-vite-om-norsk-energipolitikk/>
- Olje- og energidepartementet. (2022, 13. mai). *Kraftproduksjon*.
<https://energifaktanorge.no/norsk-energiforsyning/kraftforsyningen/>

- Olje- og energidepartementet. (2023, 30. januar). *Elsertifikater*.
<https://energifaktanorge.no/regulering-av-energisektoren/elsertifikater/>
- Pattichis, C. A. (1999). Price and income elasticities of disaggregated import demand: results from UECMs and an application. *Applied Economics*, 331(9), 1061-1071.
<https://doi.org/10.1080/000368499323544>
- Perloff, J. M. (2018). *Microeconomics: Theory and Application with Calculus* (4. utg). Pearson Education Limited.
- Pratma, I., Permanasari, A. E., Ardiyanto, I. & Indrayani, R. (2016). A review of missing values handling methods on time-series data. *2016 International Conference on Information Technology Systems and Innovation (ICITSI)*, 1-6.
doi: 10.1109/ICITSI.2016.7858189
- Prop. 107 L (2022-2023). *Endringer i klimaloven (klimamålet for 2030)*.
Klima- og miljødepartementet.
<https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/prop.-107-l-20222023/id2972049/?ch=1>
- Prop. 1 S (2022-2023). *Proposisjon til Stortinget (forslag til stortingsvedtak)*.
Olje- og energidepartementet.
<https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/prop.-1-s-20222023/id2931167/?ch=1>
- Razali, N. M. & Yap, B. W. (2011). Power Comparisons of Shapiro-Wilk, Komologorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling Tests. *Journal of Statistical Modeling and Analytics*, 2(1), 21-33.
- Regjeringen. (2020, 12. august). *Dette er klimakvoter*.
<https://www.regjeringen.no/no/tema/klima-og-miljo/klima/innsiktsartikler-klima/klimakvoter/id2076655/>
- Regjeringen. (2021a, 25. oktober). *ENERGIX – utvikling av et helhetlig energisystem*.
<https://www.regjeringen.no/no/tema/energi/energi-og-petroleumsforskning/renergi--fremtidens-rene-energisystem/id439229/>
- Regjeringen. (2021b). *Internasjonale klima- og miljøavtaler*.
<https://www.regjeringen.no/no/tema/klima-og-miljo/innsiktsartikler-klima-miljo/internasjonale-klima-miljoavtaler/id2344798/>
- Regjeringen. (2021c). *Klimaendringer og norsk klimapolitikk*.
<https://www.regjeringen.no/no/tema/klima-og-miljo/innsiktsartikler-klima-miljo/klimaendringer-og-norsk-klimapolitikk/id2636812/>

- Regjeringen. (2021d, 10. mars). *Olje- og gass i det 21. årshundret*.
<https://www.regjeringen.no/no/tema/energi/energi-og-petroleumsforskning/OG21--Olje-og-gass-i-det-21-arhundre/id439227/>
- Regjeringen. (2022, 23. juni). *Hydrogen*.
<https://www.regjeringen.no/no/tema/naringsliv/gront-industriloft/hydrogen/id2920298/>
- Roach, B., Lennox, E. & Codur, A. (2019). *Microeconomics and the Environment*. Global Development And Environment Institute, Tufts University.
- Rois, R., Basak, T., Rahman, M. M. & Majumder. (2012). Modified Breusch-Godfrey Test for Restricted Higher Order Autocorrelation in Dynamic Linear Model – A Distance Based Approach. *International Journal of Business and Management*, 107(17).
doi:10.5539/ijbm.v7n17p88
- Rosenberg, E., Lind, A. & Espegren, K. A. (2013). The impact of future energy demand on renewable energy production – Case of Norway. *Energy*, 61, 419-431.
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.08.044>
- Rybalka, M. & Bakke, S. (2020, 21. januar). *Er det lønnsomt å være en grønn næring?* Statistisk sentralbyrå.
<https://www.ssb.no/energi-og-industri/artikler-og-publikasjoner/er-det-lonnsomt-a-vaere-en-gronn-naering>
- Rybalka, M. & Bakke, S. (2020, 21. januar). *Er det lønnsomt å være en grønn næring?* Statistisk sentralbyrå. [Figur]
<https://www.ssb.no/energi-og-industri/artikler-og-publikasjoner/er-det-lonnsomt-a-vaere-en-gronn-naering>
- Sharif, A., Kartal, M. T., Bekun, F. V., Pata, U. K., Foon, C. L. & Depren, S. K. (2023). Role of green technology, environmental taxes, and green energy towards sustainable environment: Insights from sovereign Nordic countries by CS-ARDL approach. *Gondwana Research*. 117, 194-206.
<https://doi.org/10.1016/j.gr.2023.01.009>
- Shrestha, M. B. & Bhatta, G. R. (2018). Selecting the appropriate methodological framework for time series data analysis. *The Journal of Financial and Data Science*, 4(2), 71-89.
<https://doi.org/10.1016/j.jfds.2017.11.001>
- Shrestha, M. B. & Bhatta, G. R. (2018). Selecting the appropriate methodological framework for time series data analysis. *The Journal of Financial and Data Science*, 4(2), 71-89. [Figur]
<https://doi.org/10.1016/j.jfds.2017.11.001>

- Sigurdson, I. M. & Rogalansen, E. (2023, 5. mai). Stanser Biozin-prosjekt i Åmli: - Et stort tilbakeslag. *NRK*.
https://www.nrk.no/sorlandet/stanser-biozin-prosjekt-i-amli-_vurderer-alternativ-1.16399529
- SINTEF. (u.å.). *Bioenergi*.
<https://www.sintef.no/fagomrader/bioenergi/>
- Spilde, D., Hole, J., Haukeli, I. E., Haug, M. & Brunvoll, A. T. (2020). *Elektrifisering av landbaserte industrianlegg i Norge: En kartlegging av teknisk potensial og konsekvensene for kraftnettet*. Norges vassdrags- og energidirektorat.
https://publikasjoner.nve.no/rapport/2020/rapport2020_18.pdf
- Statistisk sentralbyrå. (2022). Nærings- og forskningspolitiske virkemidler: 13663: Statlige bevilgninger til forskning og utviklingsarbeid (FoU), etter sosioøkonomisk formål (mill. kr) 2000 – 2022. [Statistikk].
<https://www.ssb.no/statbank/table/13663/>
- Statkraft. (2022). *Low emissions scenario 2022*.
<https://www.statkraft.com/lowemissions/>
- Stock, J. H. & Watson, M. W. (2020). *Introduction to Econometrics* (4. utg.). Pearson Education Limited.
- Sürücü, L. & Maslakçi, A. (2020). Validity And Reliability In Quantitative Research. *Business & management studies:an international journal*, 8(3), 2694-2726.
<http://dx.doi.org/10.15295/bmij.v8i3.1540>
- Tantiwat, W., Gan, C. & Yang, W. (2021). The Estimation of the Willingness to Pay for Air-Quality Improvement in Thailand. *Sustainability*, 13(2), Artikkel 12313.
<https://doi.org/10.3390/su132112313>
- The World Bank Group. (2023). *What is carbon pricing?*
<https://carbonpricingdashboard.worldbank.org/what-carbon-pricing>
- The World Bank Group. (2023). *Carbon Pricing Dashboard*. [Statistikk].
https://carbonpricingdashboard.worldbank.org/map_data
- Tudor, C. & Sova, R. (2021). On the Impact of GDP per Capita, Carbon Intensity and Innovation for Renewable Energy Consumption: Worldwide Evidence. *Energies*, 14(19), Artikkel 6254.
<https://doi.org/10.3390/en14196254>

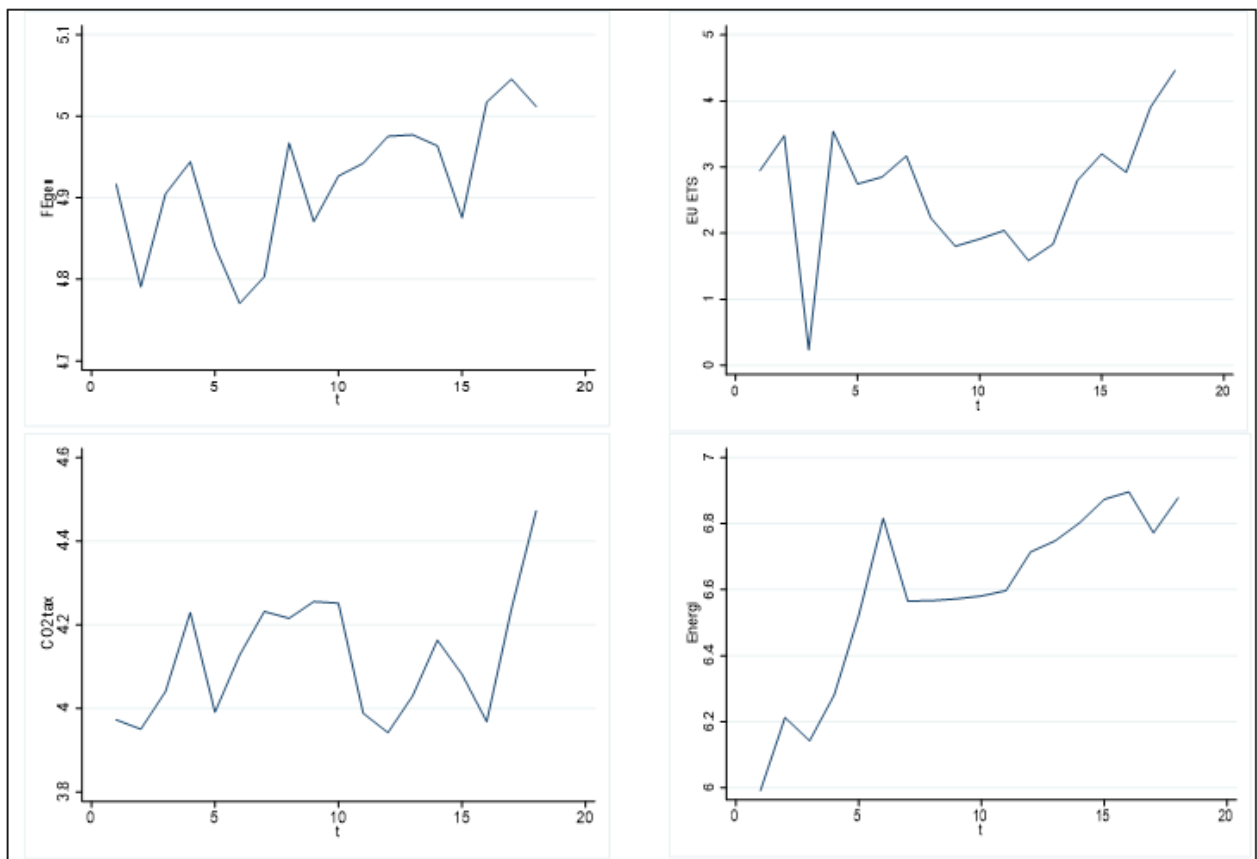
- United Nations environment programme. (2021). *The heat is on: A world of climate promises not yet delivered: Emissions gap report 2021*.
<https://www.unep.org/resources/emissions-gap-report-2021>
- United Nations environment programme. (2022). *The closing Window: Climate crisis calls for rapid transformation of societies: Emissions gap report 2022*.
<https://www.unep.org/resources/emissions-gap-report-2022>
- Uyanto, S. S. (2020). Power Comparisons of Five Most Commonly Used Autocorrelation Tests. *Pakistan Journal of Statistics and Operation Research*, 16(1), 119-130.
<http://dx.doi.org/10.18187/pjsor.v16i1.269>
- Wooldridge, J. M. (2016). *Introductory Econometrics: A Modern Approach* (6. utg.). Cengage Learning.
- World Health Organization. (2023). *Climate change*.
https://www.who.int/health-topics/climate-change#tab=tab_1
- WWF Verdens naturfond. (u.å.). *Klimaendringer*. Hentet 24. mai 2023 fra
<https://www.wwf.no/klima-og-energi/klimaendringer>
- Öztuna, D., Elhan, A. H. & Tüccar, E. (2006). Investigation of F estigation of Four Diff our Different Normality T ent Normality Tests in T ests in Terms of T erms of Type 1 Error Rate and Power under Different Distributions. *Turkish Journal of Medical Sciences*, 36(3), Artikkel 7.
- Şener, S. E. C., Sharp, J. L. & Anctil, A. (2018). Factors impacting diverging paths of renewable energy: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81(2), 2335-2342.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.042>

14. Appendiks

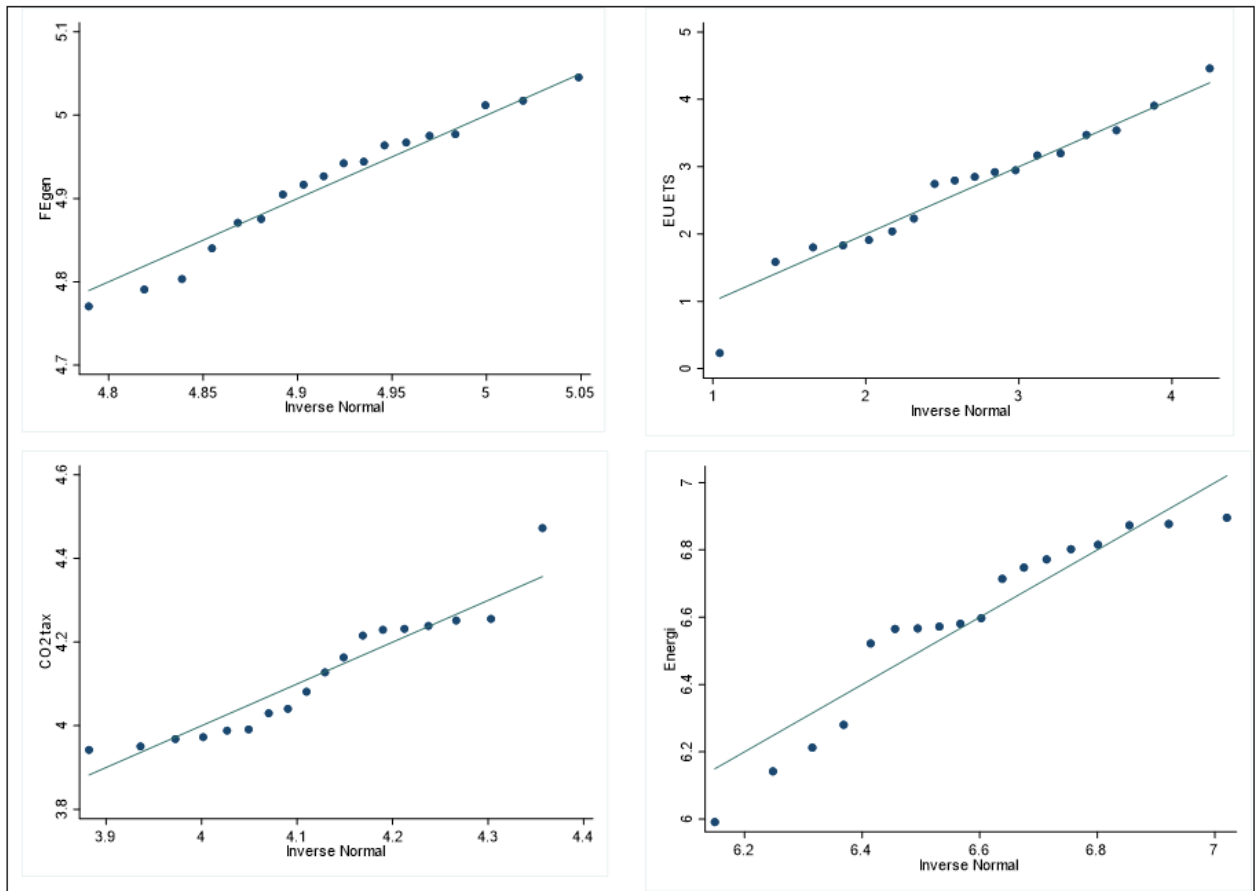
Vedlegg 1: Pearson korrelasjonsmatrise for lineære parvise korrelasjoner mellom uavhengige variabler. Korrelasjonskoeffisient lik null tilsvarer ingen lineær korrelasjon og -1 og 1 tilsvarer perfekt negativ- og perfekt positiv lineær korrelasjon, respektivt.

	EUETS	CO2tax	Energi	CPI	elsert
EUETS	1.0000				
CO2tax	0.3971	1.0000			
Energi	0.2499	0.2886	1.0000		
CPI	0.5469	0.6200	0.7759	1.0000	
elsert	-0.3445	0.0084	0.5115	0.2663	1.0000

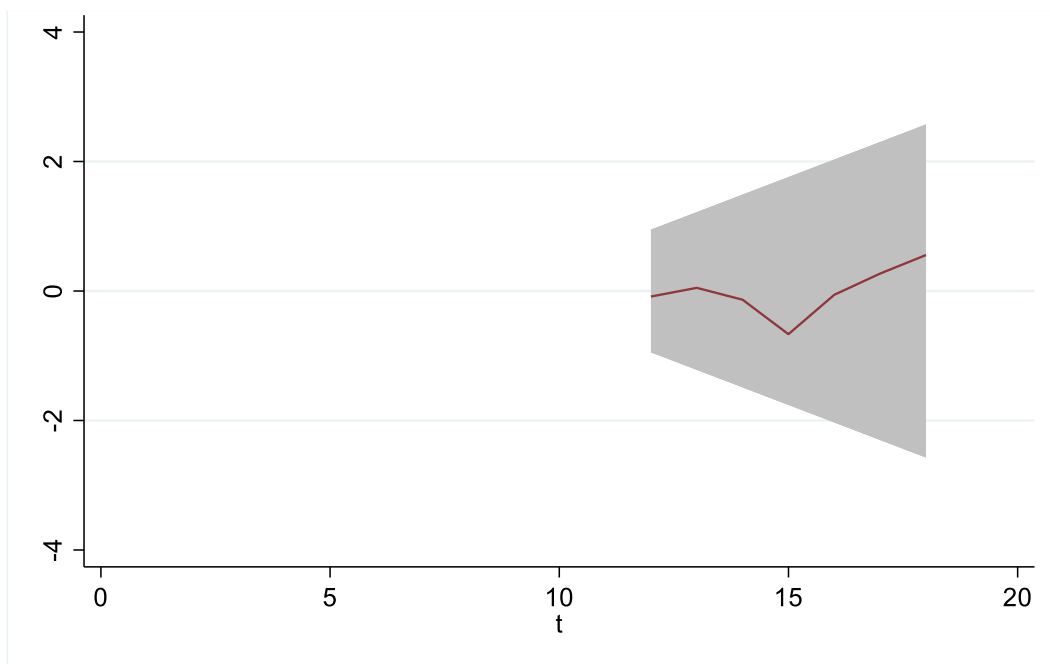
Vedlegg 2: Grafiske fremstillinger av de inkluderte variablene, $t = 0$ for år 2005 til $t = 18$ for år 2022. Alle variabler i logaritmisk form, \ln .



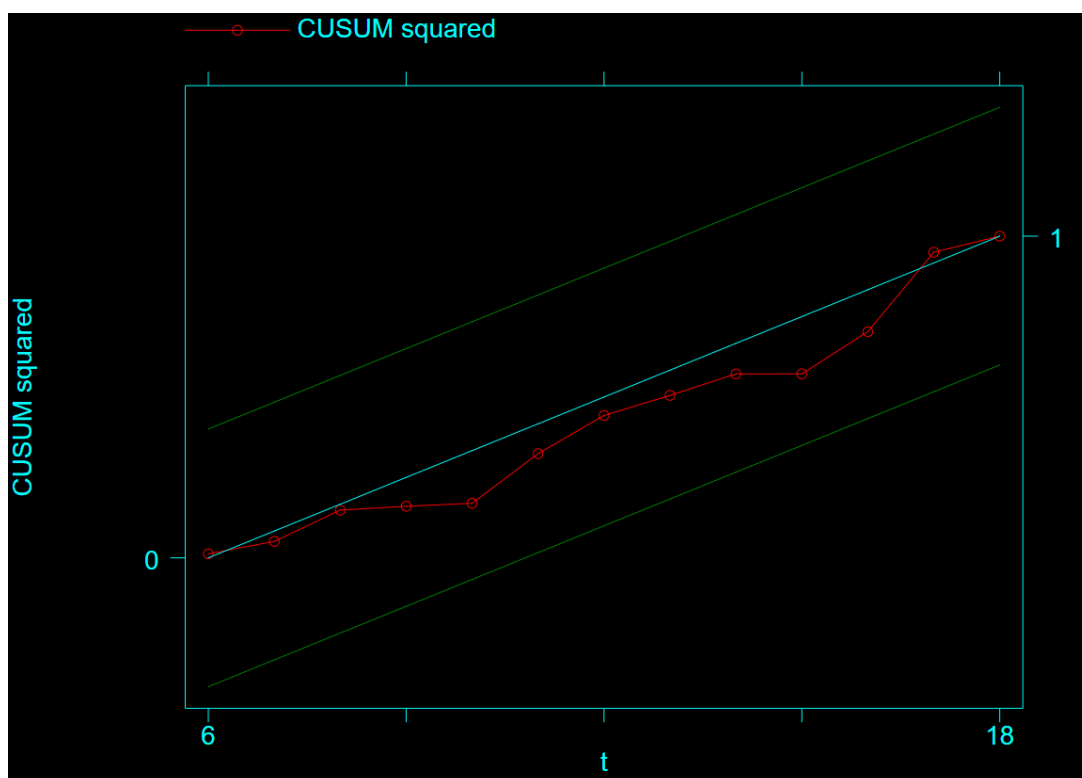
Vedlegg 3: QQ-plott



Vedlegg 4: Rekursiv CUSUM plott for Y, med 95% konfidens grenser rundt null



Vedlegg 5: CUSUMSQ plott



Vedlegg 6: FoU bevilgninger rettet mot Fornybar energi som andel av total bevilgning til energirettet FoU.

År	FoU FE	FoU Energi	Andel FE av FoU
2013	525	715	73 %
2014	594	721	82 %
2015	596	733	81 %
2016	705	824	86 %
2017	608	852	71 %
2018	632,5	900	70 %
2019	657	966	68 %
2020	624	988	63 %
2021	697,5	873	80 %

Vedlegg 7: Utvikling i antall treff for fornybar energi generelt og i litteraturen
 – en klar økning

År	Fornybar energi "Renewable energy"	
	Google	Scholar
2000	95	10400
2005	184	20800
2010	1650	78300
2015	9970	202000
2020	23400	251000
2021	25900	170000
2022	36200	138000
2023*	27500	33900

*sist oppdatert 20.05.2023

Vedlegg 8: VIF verdier av de inkluderte variablene og deres etterslep

Variable	VIF
Energi	
L1.	7.41
L2.	7.41
--.	7.09
EUETS	2.47
Y	
L2.	2.12
CO2tax	2.09
Y	
L1.	1.82
CO2tax	
L1.	1.31
Mean VIF	3.96

Vedlegg 9: Utskrift av ARDL resultater i STATA

ARDL(2,0,1,2) regression

Sample: 3 thru 18

Number of obs = 16
 F(8, 7) = 7.54
 Prob > F = 0.0076
 R-squared = 0.8960
 Adj R-squared = 0.7772
 Root MSE = 0.0368

Log likelihood = 36.73109

Y	Coefficient	Std. err.	t	P> t	[95% conf. interval]	
Y						
L1.	.1897543	.1571437	1.21	0.266	-.1818315	.5613402
L2.	.4853083	.187995	2.58	0.036	.0407707	.929846
EUETS	.0172827	.014587	1.18	0.275	-.0172102	.0517756
CO2tax						
--.	-.2057221	.0958266	-2.15	0.069	-.4323161	.0208719
L1.	-.2645836	.0908395	-2.91	0.023	-.4793849	-.0497824
Energi						
--.	-.3968454	.1190156	-3.33	0.013	-.6782725	-.1154184
L1.	-.2500359	.1131847	-2.21	0.063	-.5176751	.0176032
L2.	.5704591	.0958757	5.95	0.001	.3437491	.797169
_cons	4.056847	.9950058	4.08	0.005	1.704032	6.409662

Vedlegg 10: Refleksjonsnotat

Cathrine Kristensen Mjåland

Refleksjonsnotat

Master's Programme in Business Administration

Kompetansemål: INTERNATIONAL

Dette refleksjonsnotatet er skrevet som arbeidskrav i forbindelse med min siviløkonomoppgave. Refleksjonsnotatet tar sikte på internasjonale trender i sammenheng med temaet i avhandlingen. Innlednings vil en generell introduksjon av avhandlingens tema og fokus presenteres. Deretter vil oppmerksomheten rettes mot internasjonale trender innenfor temaet, etterfulgt av en diskusjon om hvordan de relaterer seg til temaet. Videre vil jeg diskutere hvordan innholdet i avhandlingen kan bli påvirket av og hvordan aktører kan reagere på trendene. Underveis vil relevant teori og forskning trekkes inn i diskusjonen.

Avhandlingen

Avhandlingen retter oppmerksomhet til viktigheten av fornybar energi i oppnåelse av nasjonale og internasjonale klimamål. Omstillinger kreves i alle sektorer. En omstilling i energimarkedet er nødvendig i form av fornybar energi som substitutt for energi basert på fossile energikilder. Utviklingen i fornybar energiproduksjon vil avhenge av landenes tilrettelegging gjennom virkemidler, herunder med hensyn på det regulatoriske, tillatelser og andre finansielle utfordringer (IEA, 2022, s. 11-12). Relevante tiltak for Norge er å legge om energiforbruk til elektrisitet, eksportere teknologi og kunnskap, og utnytte fortrinnene fra den opparbeidede kompetansen for å utvikle nye løsninger og grønne elektriske verdikjeder innen hydrogen, batterier, og kraftsystemer (Energi Norge, 2020, s. 3). Fokuset i studien ligger på offentlig virkemiddelbruk for stimulering til økning i fornybar energiproduksjon i Norge. Det som undersøkes er effekten av virkemidlene og hvordan de kan bidra til å oppnå nasjonalt fastsatte energi- og klimamål. Effektene undersøkes ved hjelp av kvantitativ metode. Jeg benytter en autoregressiv distributed lag modell (ARDL) som er en dynamisk tidsserie basert statistisk modell med mulighet for å undersøke effekter over flere perioder. Dette er i motsetning til en statisk modell hvor hele effekten «tvinges» inn i samme periode som endringen i den uavhengige variabelen forekommer. Analysen inkluderer virkemidlene statlige bevilgninger til energirettet forskning og utvikling (FoU), pris på den norske karbonavgiften og pris på kvoter under det omsettbare kvotesystemet EU ETS. Resultatene viser signifikante forhold mellom produksjonen av fornybar energi i foregående perioder på inneværende periode. Ifølge resultatene har virkemidlene FoU og norsk karbonavgift signifikante effekter på produksjonen, også over tid. Resultatene antyder derimot ikke noe signifikant effekt fra EU ETS på produksjonen. Dette kan tenkes at forekommer ettersom kvotesystemet ikke er nasjonalt, slik at effektene vil fremkomme der utslippsreduksjonene er mest kostnadseffektive. Mest kostnadseffektive reduksjoner er ikke nødvendigvis innenfor de nasjonale grensene. De totale utslippsreduksjonene i EU, som Norge har inngått avtale om å oppnå i samarbeid vil likevel finne sted. Dette kan være tilfelle ettersom de «letteste» tiltakene allerede er utført i Norge og de mer krevende og omfattende tiltakene gjenstår.

Tidsrelevans

Ifølge United Nations Environment Programme (UNEP) sin årlige utslippsrapport er vinduet for å redusere gapet tilstrekkelig er i ferd med å lukkes (UNEP, 2022, s. 16). Klimaendringer er en global utfordring som krever deltakelse fra alle land. Det er viktig at alle nasjoner samarbeider og tar ansvar for å redusere klimagassutslippene for å begrense de negative effektene av klimaendringene. Ingen enkelt nasjon kan løse problemet alene, og derfor er internasjonalt samarbeid avgjørende. Ved å arbeide sammen kan landene utveksle kunnskap, implementere effektive tiltak og sikre en bærekraftig og klimavennlig fremtid for kommende generasjoner. Det presserende behovet gjør det inneværende tiåret, 2021-2030, kritisk for å adressere de klimarelaterte utfordringene (European Investment Bank, 2023). For ikke å overskride grensene er omfattende endringer i fossil energiproduksjon, en økning i fornybar energi og en høyere andel fornybar av det totale energiforbruket nødvendig (Statkraft, 2022, s. 67).

Fornybar energi

Hvilke typer kilder som inngår i begrepet fornybar energi er et debattert tema. Definisjonen som benyttes her, er den samme som i studien, og følger av International Energy Agency (IEA). IEA anvender en definisjon som inkluderer vannkraft, biobrensel, nedbrytbart brennbart avfall, fotovoltaikk og termisk solenergi, vindkraft, geotermisk, bølgekraft og tidevannsenergi. Ifølge forskningsrådet er fornybar energiproduksjon, produksjon som medfører ingen eller svært lave klimautslipp. På verdensbasis ønsker noen også å inkludere kjernekraft. Ettersom det ikke følger av den anvendte definisjonen, er det heller ikke inkludert i anvendelsen av begrepet (IEA, 2023).

Trender

Ifølge Oxford Learner's Dictionaries er en trend en generell retning som en situasjon endrer eller utvikler seg. Overordnet kan trender være økonomiske, sosiale eller politiske (Oxford University Press, 2023). Internasjonale trender innen klima og energi med hensyn på klimaendringer er blant annet høyeste energiforbruk noensinne og følgelig økende konsentrasjoner av CO₂ i atmosfæren, økende antall land definerer null utslipps mål, virkemidler innføres for å oppnå målene, økt oppmerksomhet og bevissthet i befolkningene, og økning i elektriske substituttprodukter slik som elektriske fremkomstmidler.

Globalt er energiforbruket *per capita* det høyeste noensinne. Energiforbruket er i stor grad pådriver for økende konsentrasjon av CO₂ i atmosfæren. Endringer i forbruk og produksjon innen energi er derfor en viktig tilnærming for å hindre overskridelse av karbonbudsjettet og de planetariske grensene. Kort sagt utgjør budsjettet mengden utslipp verdens befolkning kan tillate før det vil få irreversible konsekvenser. Når dette punktet bikkes, er de planetariske grensene forbigått. Endringene reflekteres i den generelle trenden av økt bruk av fornybar energi som solenergi, vindkraft, vannkraft, bioenergi og geotermisk energi. Globalt utgjorde fornybar energi om lag 26 prosent av elektrisitetsproduksjonen i 2018, og andelen er klart økende (Dugstad & Bartnes, 2021, s. 26). I Europa leder sol fotovoltaikk veksten, etterfulgt av landbasert vind, havvind, bioenergi og vannkraft (IEA, 2022, s. 11-12). Dette skyldes økt søkelys på bærekraft, reduksjon av klimagassutslipp og behovet for å diversifisere energikilder.

Blant trendene globalt er økende antall land som definerer klimamål og målene er i større grad mer ambisiøse. Et stadig økende antall klimamål defineres i oppnåelse av netto null utslipp, i motsetning til

reduksjonsmål tidligere. Flere internasjonale avtaler er inngått, blant dem er Kyoto-protokollen og Parisavtalen. Flere internasjonale samarbeid er inngått for å oppnå målene under avtalene.

Ulike virkemidler innføres i de ulike landene som tilnærminger for å oppnå de fastsatte målene. Blant virkemidlene er insentiver og disinsentiver. Disinsentiver kommer i form av avgifter på utslipp og utslippsproduserende aktiviteter, kvoter som begrenser tillat utslippsmengde. Eksempler på Insentiver er subsidier til FoU og produksjon av fornybar energi. Fra grunnleggende økonomisk teori fungerer slike virkemidler ved at de tvinger utslippsproduserende aktører til å internalisere kostnadene de påfører samfunnet eller til å internalisere nytten lav- eller ikke-utslippsproduserende aktiviteter medfører. Dette kalles negative og positive eksternaliteter, respektivt. Et eksempel på en negative eksternalitet er utslipp, men eksempler på positive eksternaliteter er kompetanseoverføringer som følge av FoU og etablering av fornybar energi. De rette virkemidlene må implementeres og de må implementeres i riktig mengde. Det er sjeldent myndighetene innehar full informasjon, noe som gjør det vanskelig å bestemme den riktige mengden. Uten slike virkemidler vil aktørene ikke inkludere kostnader eller nytte som ikke påføres seg selv, i sin beslutning (Roach et al., 2019).

Russlands invasjon av Ukraina gjør energitemaet med hensyn til selvforsyning særlig tidsrelevant. Tidsrelevansen er ikke begrenset til Norges grenser, men skaper forstyrrelser i de globale markedet. Den har medført økt bevissthet og dermed styrket et trendene ønske om å oppnå selvforsyning av energi i de ulike landene. Mange land har erkjent viktigheten av å redusere avhengigheten av importert energi og sikre en mer bærekraftig og uavhengig energiforsyning.

En trend er økt oppmerksomhet og preferanser blant befolkningene når det gjelder klimaendringer og klimavennlige alternativer. Det er en stadig økende bevissthet om miljøutfordringene knyttet til bruk av fossil energi, og en økt interesse for fornybar energi som et bærekraftig alternativ. Denne trenden gjenspeiles blant annet i den økende trenden i elektriske fremkomstmidler og tilvekst av nye alternative drivstoff som biobrensler og hydrogen. Trenden er særlig relevant i transportsektoren og blant forbrukere.

Det at trendene er globale reflekteres i den omfattende litteraturen basert på globale analyser og spesifikke for ulike land. Globalt sett er det en generell enighet for effekter av virkemidler og ulike forhold med CO₂-utslipp. Sharif et al. (2023) for nordiske land, finner støtte for både kortsiktige- og langsiktige negative assosiasjoner av grønn teknologi, miljøavgifter og grønn energi på CO₂-utslipp. Nosheen et al. (2021) studerer lignende effekter i Europa. He et al. (2019) finner at miljøavgifter medfører utslippsreduksjoner både i OECD og Kina. Tilsvarende effekter finner Ma et. al (2021) i Kina, Adedoyin et al. (2021) i Japan, Dogan et. al. (2022) i G7 land og Fischer og Newell (2008) i USA.

Det er viktig å merke seg at det er forskjeller mellom ulike regioner og land. I tillegg påvirkes energimarkedet av politiske beslutninger, teknologiske fremskritt, økonomiske faktorer og endringer i forbrukernes preferanser. De trendene som er mest prominente, og de virkemidlene som har høyest effekt i ett land er ikke nødvendigvis de samme i et annet land. Det er altså ingen «one size fits all», men hva som fungerer i andre land kan gi gode indikasjoner på hva som vil fungere i eget land, og motsatt.

Mulige implikasjoner for Norge

Norge er blant landene som har definert klimamål. Klimamålene er dessuten nedfelt i klimaloven. Som tilnærming for å oppnå dem har Norge implementert en rekke virkemidler, blant nasjonale virkemidler er en rekke forskning initiativer innen fornybar energi og effektiviseringer i petroleumssektoren og den

norske karbonavgiften. Direkte rettet mot kraftsektoren har Norge innført opprinnelses garantier for fornybar kraft og grønne sertifikater i et felles samarbeid med Sverige. Ytterligere samarbeid er inngått utenfor de nasjonale grensene. Blant annet har Norge tett samarbeid med EU gjennom EØS-avtalen, og følger derav mye av EUs klimapolitikk. Norge deltar blant annet, som diskutert innledningsvis, i det omsettbare kvotemarkedet for utslipp, EU ETS.

Norge kan benytte den økende etterspørselen etter fornybar kraft til å skape et konkurransemessig fortinn og etablere seg i en ledende posisjon på internasjonal basis. Norge er allerede netto eksportør av energi og besitter høy kompetanse innen fornybar energi. Særlig kompetansen fra offshore energiproduksjon som er opparbeidet gjennom petroleumsvirksomheten kan skape et slikt fortinn. Store deler av denne kompetansen kan benyttes i utbygging av vindkraft til havs, produksjon av blått hydrogen og generelt i elektrifisering av sokkelen. For å oppnå ønsket om en ledende posisjon kreves implementering av de riktige virkemidler og i riktig mengde for å insentivere til økt fornybar energiproduksjon og disinsentivere til videre fossil energiproduksjon.

Petroleumssektoren har i lang tid vært avgjørende for en stabil økonomi i Norge. Det er viktig å huske at trendene og utviklingen ikke bare har positive sider. For den norske økonomien er en risiko at etterspørselen for norsk petroleum faller og dermed også reduserer inntjeningen. En annen viktig bemerkelse er at omstillingen til fornybart og herunder elektrifiseringen vil kreve økt forbruk av kraft også innenlands. Dette vil forskyve kraftbalansen i landet på den måten at mindre overskudd vil være tilgjengelig for eksport. Dette tapet og kostnadene må balanseres ut med økte inntekter og høyere produksjon for videre finansiering av velferdsstaten. Dessuten vil økt produksjon medføre ytterligere kostnader i form av investeringer i infrastruktur og inngripen på natur.

Generaliserbare resultater

Resultatene av min studie kan benyttes for innsikt i effektene av virkemiddelbruken og effektiv allokering av budsjetter med hensikt på klima- og energirettede tiltak for oppnåelse av utslippsreduksjoner. Resultatene av analysen er i stor grad i tråd med tidligere litteratur og er på denne måten underbyggende for reliabiliteten i litteraturen som en helhet. Fokuset i studien var rettet mot Norge, men implikasjonene for politikken er generaliserbare også til andre myndigheter i andre land. Vel og merke, med noen landsspesifikke forskjeller som må hensyntas.

Oppsummering og konklusjon

I dette refleksjonsnotatet har jeg identifisert internasjonale trender som relaterer seg til temaet i min masteravhandling, fornybar energi som tilnærming for utslippsreduksjoner. Jeg har diskutert hvordan de ulike trendene påvirker forbruk og produksjon internasjonalt, og relatert det til hvordan de kan ha påvirkning i Norge. Internasjonale trender er i stor grad preget av økende oppmerksomhet og bevissthet blant myndigheter og blant befolkningene i landene. Myndighetene svarer på dette ved å innføre ulike virkemidler, og inngår samarbeid på tvers av landegrenser som tilnærminger for å oppnå utslippsreduksjoner og oppnå målene i fellesskap. Det er klart at det foreligger sammenheng mellom fossil energi forbruk og CO₂ i atmosfæren. En viktig del av å forebygge klima endringer ligger i substitusjon fra fossilt til fornybar energi. Hovedpunktene for Norge er at de følger de globale trendene, men kan potensielt dra nytte av allerede opparbeidet kunnskap. Dette krever imidlertid de rette og de riktige mengdene virkemidler for å insentivere til økt ønsket aktivitet og disinsentivere uønsket aktivitet.

Referanseliste

Adedoyin, F. F., Ozturk, I., Bekun, F. V., Agboola, P. O. & Agboola, M. O. (2021). Renewable and non-renewable energy policy simulations for abating emissions in a complex economy: Evidence from the novel dynamic ARDL. *Renewable Energy*, 177, 1408-1420.

<https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.06.018>

Doğan, B., Chu, L. K., Ghosh, S., Truong, H. H. D. & Balsalobre-Lorente, D. (2022). How environmental taxes and carbon emissions are related in the G7 economies? *Renewable Energy*, 187, 645-656.

<https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.01.077>

Dugstad, E. & Bartnes, G. (2021). Fornybar energi og Norges energiomstilling: Vil vi nok og gjør vi nok?. *Praktisk økonomi og finans*, 37(1), 25-36.

<https://doi.org/10.18261/issn.1504-2871-2021-01-04>

Energi Norge. (2020). *Fornybarometeret 2020: Status for elektrifiseringen av Norge*.

<https://www.fornybarnorge.no/publikasjoner/rapport/2020/fornybarometer-november-2020/>

Fischer, C. & Newell, R. G. (2008). Environmental and technology policies for climate mitigation. *Journal of Environmental Economics and Management*. 55(2), 142-162.

<https://doi.org/10.1016/j.jeem.2007.11.001>

He, P., Ning, J., Yu, Z., Xiong, H., Shen, H. & Jin, H. (2019). Can Environmental Tax Policy Really Help to Reduce Pollutant Emissions? An Empirical Study of a Panel ARDL Model Based on OECD Countries and China. *Sustainability*, 11(16), Artikkel 4384.

<http://dx.doi.org/10.3390/su11164384>

IEA. (2023). *Renewables Information: Overview: Supply*.

<https://www.iea.org/reports/renewables-information-overview/supply>

International Energy Agency. (2022). *Norway 2022: Energy Policy Review*.

<https://www.iea.org/reports/norway-2022>

Ma, Q., Murshed, M. & Khan, Z. (2021). The nexuses between energy investments, technological innovations, emission taxes, and carbon emissions in China. *Energy Policy*, 155, Artikkel 112345.

<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112345>

Nosheen, M., Iqbal, J. & Abbasi, M. A. (2021). Do technological innovations promote green growth in the European Union?. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 21717-21729.

<https://doi.org/10.1007/s11356-020-11926-2>

Oxford University Press. (2023). Oxford Advanced American Dictionary

https://www.oxfordlearnersdictionaries.com/definition/american_english/trend_1

Roach, B., Lennox, E. & Codur, A. (2019). *Microeconomics and the Environment*. Global Development And Environment Institute, Tufts University.

Sharif, A., Kartal, M. T., Bekun, F. V., Pata, U. K., Foon, C. L. & Depren, S. K. (2023). Role of green technology, environmental taxes, and green energy towards sustainable environment: Insights from sovereign Nordic countries by CS-ARDL approach. *Gondwana Research*. 117, 194-206.

<https://doi.org/10.1016/j.gr.2023.01.009>