

Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2025 30 stp

Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning

Fornybar energi og biologisk mangfold: En vurdering av miljøfotavtrykk som indikator

Renewable Energy and Biodiversity: An Assessment of
Environmental Footprint as an Indicator

Tuva Marie Talgø-Thomassen og Nora Viga

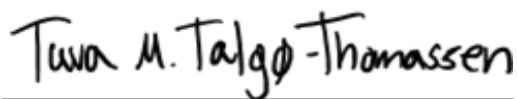
Master i Fornybar energi

Forord

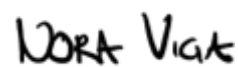
Denne oppgaven markerer avslutningen på våre fem år med studier i fornybar energi ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet. Vi ønsker å benytte anledningen til å takke alle som har bidratt og støttet oss gjennom arbeidet med masteroppgaven.

Først og fremst vil vi rette en stor takk til vår veileder Erling Holden for god oppfølging og støtte gjennom hele prosessen. Vi vil også takke Kristin Linnerud for god hjelp med statistikk, og Vegard Bøe for verdifulle råd og innspill både til tema og metode. Til slutt vil vi takke våre familier for støtte gjennom hele studietiden, og ikke minst medstudenter for fem minnerike år på Ås, dere har gjort studietiden helt spesiell.

Norges miljø- og biovitenskapelige universitet 15.05.2025



Tuva Marie Talgø-Thomassen



Nora Viga

Sammendrag

I dagens samfunn er det et økt fokus på bærekraft og miljøvennlige løsninger. Dette er som følge av at vi står ovenfor både en klimakrise og en naturkrise. Menneskelige aktiviteter har gjennom flere år ført til utslipp av klimagasser, og nedbryting av natur. FNs bærekraftsmål er implementert for å blant annet minimere de negative effektene av dette, og sørge for å bevare naturen til de neste generasjoner. Bruk av mer fornybare energikilder vil være en viktig del av å nå disse målene. For å best mulig implementere bærekraftsmålene er det viktig å være klar over hvordan interaksjoner mellom målene vil utspille seg. Denne masteroppgaven ser særlig på forholdet mellom bærekraftsmål 7 (ren energi til alle) og mål 15 (livet på land). Vi ønsker å utforske dette nærmere, ettersom fornybar energi vil ha en positiv effekt på miljøet, men en mer uvisst effekt på biologisk mangfold.

Fornybar energi krever areal for å bli bygd, men vil også redusere klimagassutslipp som følge av mindre behov for fossile energikilder. Det er altså flere mulige effekter, og vi ønsket å fordype oss i dette. For å måle dette forholdet utførte vi en statistisk analyse, som vil gi et kvantitativt svar på interaksjonen. Her har vi tatt i bruk miljøfotavtrykk; økologisk fotavtrykk ekskludert karbonkomponenten, som en indikator på biologisk mangfold. Videre har vi brukt bruttonasjonalprodukt, urbanisering, naturressursrente, Gini-koeffisienten og landbruk som forklaringsvariabler sammen med fornybar energi for å måle denne interaksjonen. Vi kjørte også en analyse med vanlig økologisk fotavtrykk, for å kontrollere for forskjeller mellom fotavtrykkene. Det ble også gjennomført tester for å sjekke om den statistiske analysen bryter med modellforutsetningene, og slike forhold ble korrigert for.

Analysene ga et resultat som viser til at fornybar energi vil ha en reduserende effekt mens bruttonasjonalprodukt vil ha en forsterkende effekt på det økologiske fotavtrykket. For miljøfotavtrykket er bare den forsterkende effekten av bruttonasjonalprodukt som blir signifikant. Det blir altså ikke en statistisk sammenheng mellom fornybar energi og miljøfotavtrykk, og vi får da ikke et kvantitativt resultat som vil si noe om hvordan fornybar energi påvirker biologisk mangfold. Dette kan skyldes flere grunner, men man vil i bunn og grunn trenge en indikator som i bedre grad klarer å fange opp kompleksiteten av biologisk mangfold.

Abstract

In today's society, there is an increased focus on sustainability and environmentally friendly solutions. This is due to the fact that we are facing both a climate crisis and a nature crisis. Human activities over several years have led to greenhouse gas emissions and the degradation of nature. The UN's Sustainable Development Goals have been implemented in part to minimize the negative effects of this and to help preserve nature for future generations. The use of more renewable energy sources will be an important part of achieving these goals. To best implement the Sustainable Development Goals, it is important to be aware of how interactions between the goals will play out. This master's thesis specifically examines the relationship between Sustainable Development Goal 7 (affordable and clean energy) and Goal 15 (life on land). We aim to explore this further, as renewable energy has a positive effect on the environment, but a more uncertain effect on biodiversity.

Renewable energy requires land to be built, but it also reduces greenhouse gas emissions due to less reliance on fossil energy sources. There are thus several possible effects, and we wanted to explore this in more depth. To measure this relationship, we conducted a statistical analysis, which will provide a quantitative answer regarding the interaction. Here, we used environmental footprint; ecological footprint excluding the carbon component, as an indicator of biodiversity. Furthermore, we used gross domestic product, urbanization, natural resource rent, the Gini coefficient, and agriculture as explanatory variables together with renewable energy to measure this interaction. We also ran an analysis using the regular ecological footprint, to control for differences between the footprints. Tests were also conducted to check whether the statistical analysis violated model assumptions, and any such issues were corrected for.

The analyses produced results indicating that renewable energy has a reducing effect, while gross domestic product has an amplifying effect on the ecological footprint. For the environmental footprint, only the amplifying effect of gross domestic product is statistically significant. Thus, there is no statistical relationship between renewable energy and the environmental footprint, and we do not obtain quantitative result indicating how renewable energy affects biodiversity. This may be due to several reasons, but fundamentally, an indicator that better captures the complexity of biodiversity will be needed.

Innholdsfortegnelse

<i>Forord</i>	<i>i</i>
<i>Sammendrag</i>	<i>ii</i>
<i>Abstract</i>	<i>iii</i>
<i>Figurliste</i>	<i>v</i>
<i>Tabell liste</i>	<i>v</i>
<i>Forkortelser</i>	<i>vi</i>
<i>1. Innledning</i>	<i>1</i>
1.1 Kunnskapsgrunnlag	2
1.2 Problemstilling	3
1.3 Oppgavens oppbygging	4
<i>2. Kunnskapsstatus</i>	<i>5</i>
2.1 Bakgrunn	5
2.2 Litteraturstudie	10
<i>3. Metode</i>	<i>17</i>
3.1 Valg av forskningsmetode	18
3.2 Kunnskapsinnhenting	18
3.3 Avhengig variabel	19
3.4 Uavhengige variabler	22
3.5 Modellspesifikasjon	28
3.6 Modell i RStudio	28
<i>4. Resultat</i>	<i>36</i>
4.1 Forklaring av de ulike komponentene	37
4.2 Miljøfotavtrykk	38
4.3 Økologisk fotavtrykk	41
<i>5. Diskusjon</i>	<i>43</i>
5.1 Skala og kompleksitet i samspillet mellom fornybar energi og biologisk mangfold	44
5.2 Hvordan skiller miljøfotavtrykk seg fra økologisk fotavtrykk?	45
5.3 I hvilken grad kan miljøfotavtrykk fungere som en indikator på biologisk mangfold?	47
5.4 Hvordan samsvarer våre resultater for økologisk fotavtrykk og miljøfotavtrykk med forventningene basert på tidligere studier og virkelige forhold?	49
5.5 Resultatvurdering og forbedringsmuligheter	55
5.6 Videre forskning	56
<i>6. Konklusjon</i>	<i>58</i>
<i>7. Referanser</i>	<i>60</i>
<i>8. Vedlegg</i>	<i>64</i>

Figurliste

Figur 1: Alle 17 bærekraftsmålene til FN	9
Figur 2: Komponentene i økologisk fotavtrykk	20
Figur 3: NA-verdier for de ulike variablene	30
Figur 4: Viser andel tilgjengelig data per år for de ulike variablene	31

Tabell liste

Tabell 1: Informasjon om hver variabel	29
Tabell 2: Oversikt over symbolbruk for signifikansnivåer i regresjonsanalysen	37
Tabell 3: Miljøfotavtrykk uten robuste standardfeil	39
Tabell 4: Miljøfotavtrykk med robuste standardfeil	39
Tabell 5: Økologisk fotavtrykk uten robuste standardfeil.....	41
Tabell 6: Økologisk fotavtrykk med robuste standardfeil.....	42

Forkortelser

REP – Fornybar energi

GDP – Bruttonasjonalprodukt (BNP)

URB – Urbanisering

NRR – Naturressursrente

GINI – Inntekstulikhet

AGR – Landbruk

EF – Økologisk fotavtrykk

EVF – Miljøfotavtrykk

EKC – Den miljømessige kuznets kurven (The environmental kuznets curve)

BRICS – Brasil, Russland, India, Kina og Sør-Afrika

1. Innledning

I møte med dagens klima- og naturkrise er det økende behov for bærekraftige og miljøvennlige løsninger. Gjennom en statistisk analyse av samspillet mellom FNs bærekraftsmål 7 (ren energi til alle) og mål 15 (livet på land), ønsker vi å undersøke muligheten av å bruke miljøfotavtrykk som indikator på biologisk mangfold.

Bærekraftig utvikling er et mye omtalt begrep som har blitt et sentralt tema i dagens samfunn. Begrepet handler om en utvikling og endring som skal passe på at menneskelig behov er dekket, men at man ikke gjør skader som vil påvirke neste generasjoners mulighet til å møte sine behov. Etterspørsel av energi og ressurser øker, samtidig som behovet for mer miljøvennlige løsninger kreves. For å fremme bærekraftig utvikling innen klima og miljø, sosiale forhold og økonomi, vedtok FN 17 bærekraftsmål. Bærekraftsmålene i FNs agenda 2030 har en tett sammenheng, og samspillet mellom ulike bærekraftsmål kan føre til både positive synergier, og negative trade-offs. For å kunne få best mulig utnyttelse av bærekraftsmålene er det viktig å forstå hvordan de henger sammen og påvirker hverandre (International Science Council, 2017). De 17 bærekraftsmålene skal hjelpe alle land ved å jobbe sammen i et felleskap mot et mer bærekraftig samfunn (FN-sambandet, 2024a). En nærmere gjennomgang av bærekraftig utvikling og SDG-rammeverket presenteres i kapittel 2 under *bakgrunn*.

Under bærekraftsmål 7 (ren energi til alle), handler delmål 7.2 om å øke andelen fornybar energi på verdensbasis betraktelig innen 2030, fra rundt 18% i dag. Dette er et viktig mål da nesten all menneskelig aktivitet krever energi, og rene fornybare energiresurser har lite til ingen karbonutslipp. I Norge er vi godt inni prosessen med å legge om til mer fornybare energiresurser. På verdensbasis er det en positiv utvikling med tiltak for å nå målene, men fremgangen går sakte. Det er fortsatt et skille på fornybar energi som produseres bærekraftig og ikke. For å nå de samlede målene FN satte i 2015 er det viktig å ikke bare øke andelen fornybar energi, men sikre at den produseres på en bærekraftig måte som respekterer naturens tålegrenser (FN-sambandet, 2015b).

Det er ingen tvil om at økt bruk av fornybar energi reduserer avhengigheten av fossil energi, noe som skaper en synergi med bærekraftsmål 13 (stoppe klimaendringer). Flere studier finner at

dette målet har særlig mange synergier med andre mål, men spesielt for klima (Adebayo et al., 2023; McCollum et al., 2018). Forholdet mellom fornybar energi (mål 7) og biologisk mangfold (mål 15) er imidlertid mer sammensatt. Det gjør at det blir et dilemma rundt fornybar energi og dens påvirkning på biologisk mangfold. For å kunne jobbe mot både bærekraftsmål nr 7 og nr 15 er det viktig at fremtidig forskning har muligheten til å fange om en slik kompleks og sammensatt interaksjon.

Det krever balanse å fremme grønn energi samtidig som natur og miljø bevares. For å nå bærekraftsmålene er det nødvendig å satse på økt bruk av fornybar energi, men samtidig må man unngå store naturinngrep som kan føre til betydelig miljøskade. Målet er å sikre at fremgang på ett område ikke skjer på bekostning av andre bærekraftsmål. Samlet sett viser litteraturen at effekten av fornybar energi på biologisk mangfold kan være både positiv og negativ, avhengig av kontekst, teknologi og implementering.

1.1 Kunnskapsgrunnlag

Vi har gjennom arbeidet med oppgaven gjennomgått en litteraturstudie for å tilegne oss kunnskap som er relevant for dette. Her har vi samlet inn og lest gjennom flere artikler, om både interaksjoner mellom bærekraftsmål, og studier med en lignende statistisk tilnærming som den vi selv bruker i analysen. For artiklene som tar for seg interaksjoner mellom bærekraftsmålene finner vi at det ikke er et stort utvalg som bare tar for seg hvordan bærekraftsmål 7 (ren energi til alle) og mål 15 (livet på land) påvirker hverandre. Det er langt flere artikler som sammenligner bærekraftsmål 7 med andre, slik som 13 (stoppe klimaendringer). Vi ønsket derfor å utforske dette mer, og bidra til å utfylle dette forskningsfeltet.

For de artiklene med en statistisk tilnærming har vi samlet inn 14 artikler med en lignende analyse som den vi selv kjører. I disse artiklene er det variasjon i utvalg av land, statistisk metode og variabler som inkluderes, men alle ønsker å finne effekt på potensiell miljøbelastning. Selv om variablene varierer i analysene, blir både bruttonasjonalprodukt (BNP) og fornybar energi ofte inkludert. Gjennom analysene er det også stor enighet om deres påvirkning, hvor BNP vil påvirke miljøet på en negativ måte, mens fornybar energi vil bidra positivt. De andre variablene er det mer usikkerhet rundt, da deres påvirkning ofte vil variere blant analysene.

En mer grundig gjennomgang av disse temaene vil komme i kapittel 2, under *litteraturstudie*.

1.2 Problemstilling

Gjennom oppgaven ønsker vi å undersøke hvordan utbygging og bruk av fornybar energi har påvirkning på biologisk mangfold. Det er tidligere gjennomført mye forskning på hvordan fornybar energi har effekt på klimaet, men vi finner lite om direkte påvirkning på biologisk mangfold på stor skala. Her er det et kunnskapshull som vi ønsket å utfylle mer gjennom oppgaven vår. På bakgrunn av dette ble problemstillingen vår:

Hvordan påvirker omfanget av fornybar energi biologisk mangfold, og kan miljøfotavtrykk benyttes som en indikator for denne interaksjonen?

For å best mulig undersøke problemstillingen har vi utnyttet en multivariat lineær regresjon. Her har vi tatt utgangspunkt i et justert økologisk fotavtrykk, hvor vi har tatt ut karbonkomponenten og sitter igjen med arealpåvirkningen. Dette kaller vi i oppgaven for miljøfotavtrykk. Videre har vi valgt ut flere forklaringsvariabler for å hjelpe med å belyse forholdet mellom fornybar energi og biologisk mangfold. Vi har gjennomført to analyser, som settes opp med miljøfotavtrykk og økologisk fotavtrykk som avhengige variabler, og fornybar energi, BNP, urbanisering, landbruk, naturressursrente og Gini-koeffisient som uavhengige variabler.

Datasettet vi har benyttet for fornybar energi inkluderer moderne fornybare energikilder, slik som vann-, vind- og solkraft. Videre tar analysen utgangspunkt i FN sine land, som etter fjerning av land med mangelfull data resulterte i 133 land. Tidsrammen for analysen ble satt fra 2000 til 2020, ettersom dette var det tidsrommet med mest tilgjengelig data for variablene våre.

For å best mulig svare på problemstillingen har vi også valgt ut tre forskningsspørsmål. Disse skal gjennom å sammenligne både egne og eksterne analyser bidra til å få innsikt i både hvordan fornybar energi påvirker biologisk mangfold, og om miljøfotavtrykk kan brukes som en indikator for å måle dette. Ved å sammenligne egne med eksterne analyser ønsker vi å bidra til økt innsikt i hvordan valg av metode og variabler kan ha effekt på resultatet. Med dette som grunnlag ble forskningsspørsmålene til oppgaven slik:

Hvordan skiller miljøfotavtrykk seg fra økologisk fotavtrykk?

I hvilken grad kan miljøfotavtrykk fungere som en indikator for biologisk mangfold?

Hvordan samsvarer våre resultater for økologisk fotavtrykk og miljøfotavtrykk med forventningene basert på tidligere studier og virkelige forhold?

1.3 Oppgavens oppbygging

Oppgaven er delt inn i seks hoved kapitler.

Kapittel 1 fungerer som en introduksjon til oppgavens tema. I tillegg presenteres en oppsummering av kunnskapsstatus (1.1), samt problemstillingen og forskningsspørsmålene for oppgaven (1.2). Avslutningsvis beskrives oppgavens oppbygning (1.3).

Kapittel 2 består av to hoveddeler. Første del (2.1) gir en bakgrunn for oppgaven, hvor bærekraftig utvikling og dens betydning i dagens samfunn blir forklart. Deretter følger en grundig gjennomgang av kunnskapsstatus (2.2), med oppsummering av bærekraftsinteraksjoner og relevante artikler som oppgaven bygger videre på.

Kapittel 3 omhandler metodene som er benyttet i oppgaven. Her presenteres en grundig gjennomgang av de ulike metodiske valgene som er gjort, med beskrivelse av hvordan analysen er gjennomført. Det første delkapittel (3.1) beskriver valg av forskningsmetode, etterfulgt av en litteraturstudie (3.2), hvor det redegjøres for kildene til informasjonen som benyttes. Deretter følger begrunnelser og forklaringer for utvalget av både avhengige (3.3) og uavhengige variabler (3.4). Videre legges det vekt på modellen. Videre gjøres det rede for modellspesifikasjon (3.5), og kapittelet avsluttes med en gjennomgang av den endelige modellen og analysearbeidet som er gjennomført i RStudio (3.6).

Kapittel 4 presenterer resultatene av analysen, med en forklaring av komponentene (4.1). Resultatene deles inn i to hoveddeler: miljøfotavtrykk (4.2) og økologisk fotavtrykk (4.3). Deretter tar kapittel 5 for seg en diskusjon rundt funnene og analysen. I diskusjonen vurderes resultatene i lys av forskningsspørsmålene, som blir analysert og diskutert i detalj. Oppgaven avsluttes med konklusjonen i kapittel 6. Her besvares problemstillingen, og hovedfunnene fra arbeidet oppsummeres.

2. Kunnskapsstatus

I dette kapittelet vil det først presenteres en bakgrunn for oppgaven, som handler om bærekraftig utvikling og dens påvirkning på dagens samfunn. Her starter vi med en historisk bakgrunn av bærekraft, før vi går inn på FNs bærekraftsmål, og konflikter i dag. Videre vil vi presentere litteraturutvalget som legger det faglige grunnlaget for oppgaven vår. Vi starter med forskning på interaksjoner mellom bærekraftsmål, og deretter oppsummerer vi hovedfunnene fra utvalgte statistiske analyser.

2.1 Bakgrunn

Bærekraftig utvikling

I bakgrunnsdelen skal vi gå gjennom bærekraftig utvikling og hvorfor dette er et sentralt tema i dagens samfunn. FNs bærekraftsmål og økt fokus på klimaendringer har gjort bærekraft til et viktig tema innen politikk, økonomi og forskning. Samtidig som økonomisk vekst og økt energibehov står sentralt i mange land, stilles det også stadig høyere krav til miljøvennlige løsninger og ansvarlig ressursbruk. I denne oppgaven er bærekraftig utvikling relevant fordi vi undersøker sammenhengen mellom fornybar energi og hvordan dette påvirker både klima og biologisk mangfold.

Bærekraft

Bærekraft og miljøutfordringer er svært aktuelle temaer i dagens samfunn. Det kan ofte antas at de først ble satt på dagsorden på 1980-tallet, da Gro Harlem Brundtland satte fokus på bærekraftig utvikling gjennom sitt arbeid. Imidlertid har både begrepene og tankegangen bak dem røtter som strekker seg flere hundre år tilbake i tid.

I 1713 skrev Hans Carl von Carlowitz boken *Sylvicultura Oeconomica*, der han beskrev hvordan skogressurser kunne forvaltes på en måte som sikret langsiktig bærekraft. Dette la grunnlaget for tidlig tenkning rundt bærekraftig ressursforvaltning (Scoones, 2007). Flere hundre år senere, på 1960-tallet, kom Rachel Carson med boken *Den tause våren* (*Silent Spring*), som har blitt en nøkkelfaktor for den moderne miljøbevegelsen. Carsons bok fremhevet de alvorlige miljøproblemene knyttet til blant annet bruk av sprøytemidler, noe som førte til økt global

bevissthet om menneskeskapte miljøpåvirkninger. Etter hvert som forståelsen for miljøutfordringene økte, ble det satt i gang målrettet arbeid for å beskytte miljøet. Antallet artikler og forskningsrapporter om temaet vokste, og miljøet fikk stadig større oppmerksomhet i samfunnet. Miljøorganisasjoner ble etablert over hele verden som talspersoner for naturen, og de har spilt en sentral rolle i miljøbevegelsen. Dette arbeidet har lagt grunnlaget for den bærekraftige utviklingen vi kjenner til i dag (Holden & Linnerud, 2021).

På 1980-tallet ble det stadig tydeligere at verden sto overfor store miljøutfordringer, og behovet for en ny tilnærming til både vekst og ressursforvaltning ble uunngåelig. I 1983 opprettet FN Verdenskommisjonen for miljø og utvikling, ledet av Gro Harlem Brundtland, med mål om å finne løsninger på verdens miljøutfordringer og samtidig fremme økonomisk og sosial utvikling (FN-sambandet, 2024a). Verdenskommisjonen publiserte rapporten «Vår felles framtid» i 1987, som satte begrepet bærekraftig utvikling i sentrum for internasjonal politikk. Rapporten tok for seg hvordan verdenssamfunnet kunne møte behovet for økonomisk vekst og sosial rettferdighet, samtidig som miljøet ble beskyttet. Det var i denne rapporten at begrepet bærekraftig utvikling ble tydelig definert, en definisjon som fremdeles ligger til grunn for dagens globale miljø- og utviklingspolitikk.

«Bærekraftig utvikling er utvikling som imøtekommer dagens behov uten å ødelegge muligheten for at kommende generasjoner skal få dekke sine behov»

(Verdenskommisjonen for miljø og utvikling, 1987, s. 42)

Som en oppfølging av anbefalingen fra verdenskommisjonen i 1987, ble det arrangert en internasjonal konferanse om bærekraftig utvikling i Rio de Janeiro i 1992. Konferansen, som samlet representanter fra 175 land over 10 dager, markerte et vendepunkt i arbeidet med global bærekraft. Her ble flere sentrale avtaler og dokumenter vedtatt, blant annet Agenda 21, Klimakonvensjonen (UNFCCC) og Konvensjonen om biologisk mangfold. Disse resultatene har siden vært viktige grunnsteiner for utviklingen av FNs bærekraftsmål (Holden & Linnerud, 2021).

Klimakrisen og globale tiltak

Selv om Rio-konferansen la et viktig fundament for arbeidet med bærekraftig utvikling, har klimaendringene fortsatt å forverres. Verden står nå overfor en klimakrise, med økende temperaturer, mer ekstremvær og smelting av isbreer. Dette er tydelige tegn på menneskeskapte utslipp. I 2015 ble det holdt en ny klimakonferanse i Paris, hvor målet var å skape en internasjonal forpliktende avtale om hvordan nasjonene skal håndtere klimakrisen. Parisavtalen ble vedtatt som en felles strategi for å redusere utslipp, begrense oppvarmingen og tilrettelegge for en grønnere fremtid (Regjeringen.no, 2025).

Klimakrisen er ikke et nytt fenomen; effektene av menneskeskapt påvirkning på klimaet har vært synlige over lengre tid. Et avgjørende vendepunkt kom under den industrielle revolusjonen, da samfunnet gikk fra manuell arbeidskraft til maskindrevet produksjon. Levestandarden økte, men det samme gjorde miljøskadelige utslipp. Tidlige dampmaskiner ble drevet av ulike typer brensel. I begynnelsen brant man alt som vokste, som trær og busker, men da disse ressursene ble utilstrekkelige, gikk man over til fossile brensler som kull, olje og gass – de samme energikildene som fortsatt dominerer i dag og driver klimaendringene.

Behovet for energi har økt betydelig, drevet av flere viktige faktorer. Den økte levestandarden har ført til en kraftig befolkningsvekst. På 1950-tallet var verdens befolkning rundt 2,5 milliarder, mens det i 2020 har det steget til 7,8 milliarder, noe som øker etterspørselen etter ressurser og energi drastisk (Gozzini et al., 2021). For eksempel lå det globale energiforbruket på rundt 5 000 TWh årlig på 1800-tallet, mens det i dag har økt til omtrent 150 000 TWh. (Samset, 2021)

Menneskers økende bruk av og etterspørsel etter energi har store konsekvenser, ikke bare for oss, men også for økosystemer over hele verden. Klimaendringene handler ikke bare om høyere gjennomsnittstemperatur, men også om mer ekstremvær, stigende havnivå og tap av biologisk mangfold. Disse konsekvensene forsterker hverandre og skaper en ond sirkel. Ekstremvær er en av de tydeligste konsekvensene av klimaendringene. Noen områder opplever kraftig økning i nedbør, mens andre rammes av lange tørkeperioder. Hyppigheten og intensiteten av naturkatastrofer som hetebølger, flom og orkaner øker, noe som fører til store ødeleggelser for både mennesker og det biologisk mangfoldet (FN-sambandet, 2024b).

Biologisk mangfold tar for seg all form for liv på jorden. Det er ikke bare snakk om dyr og mennesker, men også alt av gener og arter. Et rikt biologisk mangfold er fundamentalt for å opprettholde stabile og bærekraftige økosystemer, og det er derfor avgjørende at vi unngår tiltak som kan true dette mangfoldet. Blant annet vil økt bruk av naturressurser, og en vekst i populasjon true det biologiske mangfoldet (Jakobsson & Pedersen, 2020). Tap og ødeleggelse av biologisk mangfold kan medføre en rekke både kortsiktige og langsiktige konsekvenser. For å sikre de essensielle økosystemtjenestene, som blant annet matproduksjon, ren luft, friluftsliv og pollinering, er det avgjørende å forhindre skade og negativ påvirkning på biologisk mangfold. Disse tjenestene er fundamentale for menneskelig velferd og bærekraft (Miljødirektoratet, 2021).

Biologisk mangfold påvirkes negativt av en rekke faktorer som kan forårsake betydelig skade og ødeleggelse. En av de mest betydningsfulle driverne er degradering av arealer som fungerer som habitat for arter. Denne degraderingen kan oppstå som følge av direkte arealbruk og andre inngrep. Tall fra IPBES indikerer at slike inngrep fører til en reduksjon på opptil 30 % i integriteten til terrestriske- og ferskvannsøkosystemer (S. Díaz et al., 2019). Flere fornybare energikilder, som vindkraft og vannkraft, krever store arealer. Dette har utløst en omfattende debatt om hvordan utviklingen av fornybar energi påvirker biologisk mangfold. Vi står overfor både en klimakrise og en naturkrise, men disse utfordringene kan til tider komme i konflikt med hverandre. Ifølge NVE utgjør summen av alle planområdene til alle vindkraftverkene i Norge et samlet areal på 587 km². Dette tilsvarer om lag 82212,9 fotballbaner. Summen av installert effekt er 5050 MW. Det vil si at per MW er det brukt 0,116 km² (NVE, 2022). Dette viser utfordring med fornybare energikilder, og da spesifikt vindkraft som er mye omtalt i Norge. Selv om det ikke slipper ut klimagasser, kan det likevel legge stort press på arealer og påvirke natur og dyreliv.

Måten vi lever på og produserer energi i dag, påvirker ikke bare oss, men også fremtidige generasjoner og den verden de skal arve. Derfor må vi ikke bare jobbe for å redusere utslipp, men også finne løsninger på de problemene vi allerede har skapt. Hvis vi fortsetter på dagens kurs, vil ekstremvær bli både mer intenst og hyppigere. Dette kan skape store utfordringer for tilgangen på rent vann og produksjonen av mat, noe som vil påvirke millioner av mennesker over hele verden. Derfor har det blitt satt tydelige mål for fremtiden, slik at vi kan arbeide mot en verden med lavere utslipp og en mer bærekraftig utvikling. Noen av de konkrete målene til

Parisavtalen er at hvert land som har forpliktet seg til avtalen skal jobbe for at det ikke skal bli to grader varmere i global gjennomsnittstemperatur. De skal gjøre dette ved å lage nasjonal plan på hvordan de skal kutte klimagasser, og det skal komme en rapport om hvordan det går hvert femte år (FN-sambandet, 2024c).

FNs 17 bærekraftsmål

For å kunne nå alle disse målene må noe skje, og land må samarbeide for å kunne nå målene. I samme år som Parisavtalen ble stiftet kom også FN med 2030-agendaen med 17 bærekraftsmål og 169 delmål. De 17 bærekraftsmålene handler om å sikre en bærekraftig fremtid ved å utrydde fattigdom og sult, redusere ulikhet, beskytte miljøet, bekjempe klimaendringer, fremme økonomisk vekst, likestilling, utdanning og helse for alle, samt styrke globalt samarbeid.



Figur 1: Alle 17 bærekraftsmålene til FN

Figur hentet fra FN-sambandet (2020)

De 17 bærekraftsmålene kan deles inn i tre dimensjoner: sosial, økonomisk og miljømessig bærekraft. Selv om hvert mål har et hovedfokus, er de tett sammenkoblet og påvirker hverandre på tvers av disse områdene. Figur 1 viser alle bærekraftsmålene, alle målene er like viktige, og ingen kan sees isolert. Å oppnå ett mål betyr ikke nødvendigvis at bærekraft er sikret, da helheten i arbeidet er avgjørende. Samtidig har bærekraftsmålene også svakheter og utfordringer som må håndteres for at de skal nås på en effektiv måte (Barbier & Burgess, 2017).

En av svakhetene ved bærekraftsmålene er at de er likestilt, noe som betyr at det ikke er en tydelig prioritering av hvilke mål som bør vektlegges først. Dette gjør det utfordrende for land å avgjøre hvilke mål de skal prioritere, og hvordan de skal gjennomføre dem, særlig fordi flere av målene er formulert på en vag måte for å kunne passe til alle land. For å oppnå bærekraft på alle områder må det tas hensyn til hvordan hvert mål påvirker de andre, samt hvilke konsekvenser de kan ha, og derfor er det viktig med en helhetlig tilnærming (Barbier & Burgess, 2017).

Bærekraftsmålene representerer en felles global innsats for å sikre en bærekraftig fremtid for både oss og de fremtidige generasjonene. De komplekse sammenhengene og mulige interessekonfliktene mellom målene gjør implementeringen krevende. Spesielt samspillet mellom økonomisk utvikling og miljøhensyn er avgjørende for å sikre en bærekraftig balanse. Vår masteroppgave tar utgangspunkt i dette dilemmaet ved å undersøke hvordan arbeidet med mål 7 (ren energi til alle) kan påvirke mål 15 (livet på land).

2.2 Litteraturstudie

I dette delkapittelet vil vi ha en gjennomgang av litteraturen vi har lest i forbindelse med å skape et kunnskapsgrunnlag for oppgaven. Her presenteres først litteratur knyttet til interaksjoner mellom bærekraftsmål, spesielt knyttet mot bærekraftsmål 7 (ren energi til alle), mål 13 (stoppe klimaendringer) og mål 15 (livet på land). Deretter oppsummeres hovedfunnene fra artiklene med statistiske analyser, som vil danne sammenligningsgrunnlaget for diskusjonsdelen.

Interaksjoner mellom bærekraftsmålene

Bærekraftsmålene er en del av FNs «Agenda 2030». De 17 hovedmålene har som formål å utrydde fattigdom, bekjempe ulikhet, og å stoppe klimaendringer (FN-sambandet, 2015a). Ettersom alle målene henger sammen kan det oppstå et samspill som kan føre til både positive- (synergier) og negative (trade-offs) interaksjoner, noe flere studier har sett nærmere på. Disse interaksjonene går fra -3 til +3, hvor forholdet går fra å være motstridende til gjensidig nødvendig. For å kunne implementere målene på den måte som best mulig fremmer de positive effektene og minimerer de negative, er det vesentlig å ha en forståelse på hvordan målene påvirker hverandre (International Science Council, 2017).

Bærekraftsmål 7 (ren energi til alle) er ifølge International Science Council et av fire mål som har mest synergier med de andre målene. Dette er tilfellet for blant annet bærekraftsmål 13 (stoppe klimaendringer), hvor mer fornybar energi forbindes med å begrense global oppvarming (International Science Council, 2017). Dette understrekes også i en artikkel av Adebayo et al. (2023), hvor det blant annet undersøkes rundt forholdet mellom fornybar energi og CO2 utslipp. Her kommer det frem at fornybar energi vil ha en viktig rolle i å redusere CO2 utslipp på lang sikt. I en annen studie av McCollum et al. (2018), studeres sammenhengen mellom de ulike bærekraftsmålene og energi (mål 7). De har gjennom en litteraturstudie funnet flere artikler de referer til under sammenheng av bærekraftsmål 7 og 13, hvor tre av artiklene viser til et forsterkende forhold (+2) mens 11 av artiklene viser til forsterkende eller nøytralt forhold (0, +2). Det er altså flere artikler som viser til en reduksjon av CO2 utslipp med økt produksjon av fornybar energi, noe som resulterer i at fornybar energi har en positiv påvirkning på klimaendringer (mål 13).

Noe som er mer usikkert er hvordan fornybar energi påvirker biologisk mangfold (mål 15), da ulike artikler kommer til varierende svar. I samme artikkel av McCollum et al. (2018) viser de til fem artikler som sier at mer moderne energi kan hjelpe å begrense avskoging, da dette kan bli brukt som energikilde, og viser dermed et forsterkende forhold (+2) mellom bærekraftsmål 15 og 7. De viser også til ni artikler som påpeker at utbygging av mer fornybar energi kan føre til nedbygging av natur som vil gi et begrensende forhold (-1), samtidig som den reflekterer over at mer moderne energi kan være bedre for lokal biodiversitet som da ikke vil forstyrres av fossile kilder og får da et muliggjørende forhold (+1). Her kan man se at det ikke er enighet i forskning om hvordan denne interaksjonen utspiller seg. Det viser til at forholdet mellom fornybar energi og biologisk mangfold er komplekst, og har ikke en fasit som tilsier at mer fornybar energi fører til forbedret eller forverret biologisk mangfold.

Statistisk tilnærming fra tidligere analyser

Flere tidligere studier har hatt en statistisk tilnærming til å finne sammenheng mellom økologisk fotavtrykk og produksjon av fornybar energi. Ved en slik tilnærming vil man få mulighet til å identifisere og kvantifisere forhold mellom de ulike variablene, og finne frem til faktiske tall på hvordan de påvirker hverandre. Vi har sett nærmere på flere av artiklene hvor de har en analyse som ser på forholdet mellom økologisk fotavtrykk og andre variabler. Analysene har ulik

tilnærming når det kommer til hvilke land som brukes, hvor noen tar for seg et mindre utvalg, slik som Brasil, Russland, India, Kina og Sør-Afrika (BRICS), mens andre tar for en mye større gruppe. Studiene tar for seg en paneldatanalyse, da dataene viser tall fra flere land over en tidsperiode.

I selve analysen til studiene bruker de fleste økologisk fotavtrykk som avhengig variabel, mens fornybar energi, urbanisering, globalisering, landbruk, bruttonasjonalprodukt og naturressursrente er noen av variablene som brukes som uavhengige variabler. Innen forskning på miljøpåvirkning har fornybar energi kommet mer i fokus, etter flere studier viser at ikke fornybare energiresurser har negativ effekt på miljøet. Her viser også studier til at fornybar energi vil ha en positiv effekt, men at energibruk i helhet vil påvirke negativt (Nathaniel et al., 2021). I dag dekkes det meste av verdens energibehov av ikke fornybare energikilder. Videre forventes det at det fremtidige energibehovet vil fortsette å øke. Det anses også til å bli et betydelig skifte i energimiksen, med flere investeringer og teknologisk utvikling på fornybare kilder. Større energibehov vil kunne øke klimagassutslipp, så skiftet mot mer fornybare kilder vil være viktig for å minimere dette (Ansari et al., 2021). Fornybar energi anses som et viktig verktøy for å dempe klimaendringer, da avkarboniseringen også kan ha en positiv effekt på samfunnets sårbarhet i forhold til klimarisiko og påvirkning, ettersom det styrker både sosiale og økonomiske muligheter (Kim & Park, 2023).

I artikkelen av Danish et al. (2020) ser de på sammenheng mellom økologisk fotavtrykk og bruttonasjonalprodukt, fornybar energi, naturressursrente og urbanisering. De tar for seg BRICS-landene fra 1992 til 2016. I modellen har de benyttet paneldata og kjørt fully modified ordinary least squares (FMOLS) og dynamic ordinary least squares (DOLS). De har også kjørt tester for å sjekke for stasjonærhet i dataene, samt forhold og årsakssammenhenger mellom variablene. I resultatet finner de at fornybar energi har en reduserende effekt på økologisk fotavtrykk, mens urbanisering og naturressursrente vil øke fotavtrykket. Analysen har også inkludert BNP², og i resultatet finner de støtte for at den miljømessige Kuznets kurven(EKC) inntreffer. Det vil si at økt inntekt vil føre til økt miljøbelastning til et visst punkt, men etter dette vil miljøbelastningen jevne seg ut, eller eventuelt minske.

Studien gjennomført av Ansari et al. (2021) ser på sammenhengen mellom økologisk fotavtrykk og fornybar energi, økonomisk vekst, globalisering, urbanisering og ikke-fornybar energi. Her brukes data fra 22 land med høyt forbruk av fornybar energi, og tidsrommet er fra 1991 til 2016.

Det benyttes paneldata med modellene pooled mean group (PMG), FMOLS og DOLS. Tester for stasjonærhet i dataene og langsiktige forhold mellom variablene kjøres også. Resultatene viser til en reduserende effekt av fornybar energi, globalisering og urbanisering, mens økonomisk vekst og ikke-fornybar energi vil øke fotavtrykket.

I studien til Ahmed et al. (2021) ser de på hvordan BNP, finansutvikling, økonomisk globalisering, ikke-fornybare energikilder og befolkningsdensitet påvirker det økologiske fotavtrykket. Her brukes både symmetrisk og asymmetrisk autoregressive distributed lag (ARDL). I tillegg kjøres det tester for stasjonærhet og brudd i tidsserien, samt enhetsrøttester. Resultatdelen fremhever forskjellene mellom den symmetriske og den asymmetriske analysen. Blant annet har økonomisk vekst fått påvist en forsterkende effekt på økologisk fotavtrykk med symmetrisk ARDL, mens det får en reduserende effekt med asymmetrisk ARDL. Økonomisk globalisering får en forsterkende effekt med symmetrisk ARDL, mens i den asymmetriske modellen finner de at både positive og negative endringer i globalisering fører en reduksjon av økologisk fotavtrykk. Videre får energibruk og finansutvikling forsterkende effekt på økologisk fotavtrykk i begge modeller, mens befolkningsdensitet får en reduserende effekt av begge modeller.

Ulucak et al. (2020) undersøker påvirkning på miljømessig bærekraft, hvor det utføres tre analyser med CO₂ utslipp, økologisk fotavtrykk og karbonfotavtrykk som avhengige variabler. Videre brukes BNP, fornybar energi, ikke-fornybar energi og naturressursrente for å finne påvirkning. Analysen bruker data fra OECD landene som består av 38 ulike land fra hele verden, og tar for seg tidsrommet 1980 til 2016. Paneldata med augmented mean group (AMG) estimator brukes til analysen. Det gjennomføres også tester for stasjonærhet og avhengighet og forholdet mellom variabler. Resultatene viser at BNP har en forsterkende effekt på miljøforringelse, i samsvar med den miljømessige Kuznets-kurven. Fornybar energi har en reduserende effekt på både økologisk fotavtrykk og karbonfotavtrykk, mens det har en statistisk ikke signifikant effekt på CO₂ utslipp. Ikke fornybar energi har en forsterkende effekt på alle variabler for miljøforringelse. Naturressursrente får en forsterkende effekt på CO₂ utslipp, mens det ikke får en statistisk signifikant effekt på hverken økologisk fotavtrykk eller karbonfotavtrykk.

Arbeidet til Nathaniel et al. (2021) viser til en vurdering av miljømessig bærekraft. I artikkelen er det snakk om sammenhengen mellom naturressurser, fornybar energi, humankapital og

økologisk fotavtrykk. Analysen blir gjort i BRICS landene fra 1992 til 2016. I denne analysen er det flere modeller og metoder som er blitt tatt i bruk. I analysen benyttes et sett av avanserte paneldata-metoder og robusthetstester, inkludert AMG, Common Correlated Effects Mean Group (CCEMG), PMG, FMOLS, DOLS, samt tester for årsakssammenhenger, enhetsrøtter og langsiktige sammenhenger mellom variabler. Resultatet til analysen viser at naturressurser og økonomisk vekst øker økologisk fotavtrykk, mens fornybar energi reduserer det. Humankapital er ikke signifikant som kan komme av at den ikke er utviklet nok. Ut ifra deres kausalitet test viser det seg at flere av variablene påvirker hverandre. Det ble funnet at naturressurser påvirker både det økologiske fotavtrykket, urbanisering og bruken av fornybar energi. Økonomisk vekst og fornybar energi har også en årsakssammenheng til utviklingen av humankapital og urbanisering, og fornybar energi påvirker urbanisering direkte.

I studien til Li et al. (2023) tar de for seg hvordan økt bruk av fornybar energi reduserer miljøpresset, målt som karbonutslipp per innbygger og økologisk fotavtrykk. Studien bruker 130 land fra 1992 til 2019, med fokus på forskjeller mellom høy-, mellom- og lavinntektsland. Det er hovedfokus på fornybar energi og økologisk fotavtrykk, samtidig som det har blitt brukt BNP, populasjonsaldring og urbanisering som kontrollvariabler. I modellen brukes det panel threshold regression-modell, som gjør det mulig å teste for ikke-lineære effekter. Det blir også kjørt ulike separate modeller i hver av de ulike inntektsnivåene. Studien konkluderer med at økt forbruk av fornybar energi har en betydelig positiv effekt på miljøet ved å redusere både karbonutslipp per innbygger og økologisk fotavtrykk. Effekten avhenger imidlertid av nivået på fornybar energibruk. Økonomisk vekst øker utslipp og miljøbelastning, mens urbanisering og befolkningsaldring kan redusere miljøbelastning, avhengig av landets inntektsnivå.

Pata (2021) har i analysen sett på hvordan fornybar energiproduksjon, globalisering og landbruk påvirker karbonutslipp og økologisk fotavtrykk i BRIC-landene (Brasil, Russland, India, Kina) i perioden 1971–2016. I analysen blir det tatt i bruk Fourier ADL-kointegrasjonstest som fanger opp langsiktige relasjoner mellom variablene, og tar hensyn til glatte strukturelle brudd. Studien viser at fornybar energi reduserer både karbonutslipp og økologisk fotavtrykk i Kina og Brasil, men har ingen effekt i Russland og India. Globalisering øker miljøbelastningen særlig i Brasil og Kina. Landbruk bidrar til miljøforringelse i alle land, med særlig sterk sammenheng til CO₂-utslipp i Russland og økologisk fotavtrykk i Kina og India.

I den vitenskapelige artikkelen skrevet av Ahmad et al. (2020) har de analysert hvordan naturressurser, teknologisk innovasjon og økonomisk vekst påvirker økologisk fotavtrykk i 22 land som har fremvoksende økonomi, i perioden 1984 til 2016. I analysen har de med variabler som bruttonasjonalprodukt, BNP², naturressurser og teknologisk innovasjon. Studien benytter avanserte paneldata-metoder som CS-ARDL og AMG for å analysere kort- og langsiktige sammenhenger. Det testes også for kausalitet mellom variablene. Resultatene til analysen viser at økonomisk vekst øker det økologiske fotavtrykket på kort sikt, men etter et visst nivå begynner fotavtrykket å avta, noe som bekrefter EKC-hypotesen. Naturressurser har en positiv og signifikant effekt på miljøet, der økt ressursutnyttelse fører til høyere belastning. Teknologisk innovasjon har derimot en negativ effekt, og bidrar til å redusere det økologiske fotavtrykket.

I analysen til Al-Mulali og Ozturk (2015) tas det i bruk variabler som energikonsum, urbanisering, handelsåpenhet, industriell produksjon og politisk stabilitet for å se på miljøforringelse. Den avhengige variabelen i analysen er økologisk fotavtrykk. Det er 14 land fra Midtøsten og Nord-Afrika fra 1996 til 2012. Studien benytter paneldata-regresjonsmodellene generalized method of moments (GMM) og fixed effects. Analysen finner at energiforbruk, urbanisering, handelsåpenhet og industriell utvikling alle har en positiv og signifikant effekt på det økologiske fotavtrykket i MENA-regionen, og dermed bidrar til økt miljøbelastning. Derimot har politisk stabilitet en negativ effekt, noe som innebærer at økt stabilitet bidrar til å redusere miljøskadene. Resultatene viser også både kortsiktige og langsiktige årsakssammenhenger mellom de fleste variablene og miljøpåvirkningen.

I artikkelen til Chen et al. (2023) er det syv ulike land, Kina, Brasil, India, Russland, Indonesia, Mexico og Tyrkia, hvor, tidsperioden er fra 1992 til 2020. Analysen ser på CO₂-utslipp som er forbruksbasert, noe som vil si at det er justert for import og eksport. Forklaringsvariablene er institusjonell kvalitet, energiproduktivitet, naturressursrente, BNP og fornybar energi. Det brukes blant annet Method of Moments Quantile Regression (MMQR) for å fange opp effekter på ulike utslippsnivåer, og Westerlund-kointegrasjonstest for å bekrefte langsiktige relasjoner. De tester for kausalitet, kryss-seksjonell avhengighet og heterogenitet i datasettet. Analysen viser at institusjonell kvalitet, energiproduktivitet og fornybar energi bidrar til å redusere CO₂-utslipp i landene, mens økonomisk vekst øker utslippene. Naturressursrente har også en positiv miljøeffekt når den forvaltes bærekraftig.

I studien gjennomført av Adebayo et al. (2023) brukes CO₂-utslipp som avhengig variabel og økonomisk vekst og bruk av ulike olje, kull og gass (ikke-fornybare energikilder) og hydro og geotermisk (fornybare energikilder) som uavhengige variabler. Studien bruker data fra 1990 til 2019, og tar for seg BRICS-landene. Metoden som brukes for å gjennomføre analysen er wavelet coherence (WC), som brukes for å kunne analysere tidsseriedata i frekvensdomenet. Dette skiller seg fra tradisjonelle tidsserieøkonometriske modeller hvor man ser på sammenheng over tid, da her også inkluderes sammenheng over ulike frekvenser. Resultatene deres viser til en signifikant og forsterkende sammenheng for både økonomisk vekst og for de ulike ikke fornybare energikildene. Mens det viser til en svakere reduserende effekt av de fornybare kildene.

Huang et al. (2023) undersøker også forholdet mellom CO₂-utslipp og naturressursrente, finansutvikling og urbanisering. Dataene som brukes er fra USA i tidsspennet 1995–2015. Modellen som benyttes er quantile distributed lag (QARDL). Denne modellen gjør det mulig å undersøke ikke-lineære sammenhenger på forskjellige kvantiler. Det er i tillegg gjort tester på stasjonærhet i dataene, årsakssammenhenger mellom variablene, og test av parameterens konstanthet og linearitet. I resultatet gir naturressursrente økende effekt på utslippene, spesielt på høyere kvantiler. Det samme gjør finansutvikling, men spesielt ved lavere kvantiler, som viser til at dette er tilfellet for mer utdaterte eller mindre bærekraftige økonomier. Urbanisering får også en forsterkende effekt, spesielt ved lavere kvantiler. Dette er et tegn på at urbanisering vil ha en større forsterkende effekt i områder med høy befolkningstetthet.

Zafar et al. (2019) har i sitt arbeid undersøkt effekten av naturressursrente, menneskelig kapital, økonomisk vekst, bruk av ikke-fornybare energikilder og utenlandske direkte investeringer på det økologiske fotavtrykket i USA. Tidsperioden er 1970 til 2015. Her benyttes ARDL for analysen, og det gjennomføres tester for stasjonærhet, og interaksjoner og årsakssammenhenger mellom variablene. Her vil både økonomisk vekst og bruk av ikke-fornybare energikilder ha en signifikant og forsterkende effekt på det økologiske fotavtrykket. Både naturressursrente og menneskelig kapital vil ha en signifikant reduserende effekt på fotavtrykket. Utenlandske direkte investeringer viser også til en reduserende effekt på det økologiske fotavtrykket.

I studien til Aşıcı og Acar (2016) undersøkes det hvordan økonomisk vekst påvirker det økologiske fotavtrykket, og om høyere inntekt vil føre til at land forbedrer sitt eget miljø eller eksporterer belastningen videre til andre land. For å gjøre dette brukes både det økologiske

produksjonsfotavtrykket og importfotavtrykket. Videre brukes BNP, eksport og import i forhold til BNP, biokapasitet, befolkningsdensitet, industriandel i BNP, energiforbruk per innbygger, og håndheving av miljøregulering. For analysen benyttes data fra 116 land, i perioden 2004–2008. Analysen tar i bruk en fixed-effects modell, som tar høyde for landsspesifikke effekter. Det utføres også f-test og t-tester for å vurdere signifikansen av de ulike koeffisientene og for å teste EKC. Økonomisk vekst har en forsterkende effekt på både import- og produksjonsfotavtrykket, og viser tegn til EKC med sistnevnte. Handelsåpenhet, som måles som andel eksport og import i forhold til GDP vil også ha en positiv effekt på importfotavtrykket. Biokapasitet viser til at land med høy biokapasitet vil ha et større produksjonsfotavtrykk og et mindre importfotavtrykk. Befolkningsdensitet viser til reduserende effekt på produksjonsfotavtrykk. Energiforbruk vil ha en reduserende effekt på produksjonsfotavtrykket og en forsterkende effekt på importfotavtrykket. Mens miljøregulering vil ha en forsterkende effekt på produksjonsfotavtrykket, dersom miljøskadelige industrier flyttes til land mindre strenge reguleringer.

Vi har gått i dybden på flere studier som bruker ulike modeller for å gjennomføre sine analyser. Disse varierer både i valg av land, hvilke data som inkluderes og statistiske modeller og tester som er brukt, noe som kan påvirke resultatene. Med inspirasjon fra disse studiene, sammen med egen datainnhenting og analytiske beslutninger, vil vi i denne oppgaven gjennomføre vår egen analyse. Formålet er å finne en sammenheng mellom miljøfotavtrykk og økologisk fotavtrykk og fornybar energi, i tillegg til andre variabler som kan ha betydning for dette forholdet.

3. Metode

Metodekapittelet er delt i fem ulike deler. Her vil vi gå gjennom hvordan vi har valgt å gå frem for å gjennomføre analysen vår, hvordan vi har hentet informasjon, hvilke variabler vi har valgt å inkludere, og prosessen i RStudio. Vi vil gå gjennom de ulike valgene vi har gjort i løpet av prosessen, og begrunnelsen på dette.

3.1 Valg av forskningsmetode

For å kunne svare på problemstillingen, har vi valgt å benytte en kvantitativ forskningsmetode. Denne metoden gir oss mulighet til å analysere store datamengder systematisk, både på tvers av land og over en valgt tidsperiode. Kvantitativ tilnærming gir oss grunnlag for å undersøke statistiske sammenhenger mellom uavhengige variabler og de avhengige variablene (Bjørnnes & Gjevjon, 2019).

I tillegg har vi benyttet en deduktiv tilnærming i oppgaven vår. Vi tar utgangspunkt i eksisterende teori og tidligere forskning for å samle kunnskap om sammenhengen mellom uavhengige variabler og avhengig variabel. Teorien legger grunnlaget for hvilke variabler som inkluderes i analysen og hvordan vi ønsker å anvende dem. Videre blir det bruk av kvantitativ metode og regresjonsanalyse.

I valg av metode har vi også tatt hensyn til oppgavens tidsramme og gjennomførbarhet. Vi valgte et tema hvor det finnes tilgjengelige data, og hvor tidligere studier har gjennomført lignende analyser, noe som ga et solid grunnlag for vårt arbeid. Dette gjorde det mulig å bruke eksisterende kunnskap som utgangspunkt for analysen. Gjennom oppgaven har vi satt av tid til å tilegne oss kunnskap om statistisk metode og bruk av RStudio.

3.2 Kunnskapsinnhenting

Vi har gjennom en rekke relevante artikler om samme tema hentet inspirasjon og oppnådd verdifull innsikt i hvilke variabler som er relevante i slik analyse, og hvordan disse variablene kan anvendes. Selv om vi har lånt inspirasjon fra andre studier, har vi nøye valgt ut de variablene vi mener best reflekterer forholdene i vår spesifikke analyse. I metodedelen vil vi redegjøre for hver enkelt variabel før vi går videre til selve analysen.

Vi har tatt i bruk akademiske databaser som google scholar, web of science, inciteful, og universitetsbiblioteket for å finne relevant litteratur. Videre har søkeord som «sustainable developments goals interactions», «SDG 7», “ecological footprint”, og “renewable energy and biodiversity” blitt brukt i søkemotorene. Her har vi gjennomgått flere artikler, og sett videre på

referansene artiklene har brukt for å finne litteratur til vårt tema, og til å finne frem til problemstilling.

Som faglig grunnlag for analysen har vi benyttet læreboken *Introductory Econometrics* av Jeffrey M. Wooldridge (2019). Boken har vært sentral både for å tilegne oss nødvendig kunnskap om økonometri, og for å kunne begrunne og forsvare de metodiske valgene vi har gjort i forbindelse med den statistiske analysen.

I arbeidet med denne oppgaven har vi benyttet kunstig intelligens som støtteverktøy, og da spesielt ChatGPT utviklet av OpenAI. Bruken har vært i tråd med gjeldende retningslinjer, og verktøyet har utelukkende blitt brukt som et supplement til vår egen faglige innsats og vurdering. ChatGPT har vært en nyttig ressurs i flere deler av skriveprosessen. Det har blant annet bidratt til å forbedre språklige formuleringer, sikre faglig presisjon og støtte arbeidet med å strukturere tekst på en klar og logisk måte. I metode- og analysearbeidet har vi også brukt verktøyet til å utforme og kvalitetssikre kode, samt til å forstå og tolke resultater fra statistiske analyser.

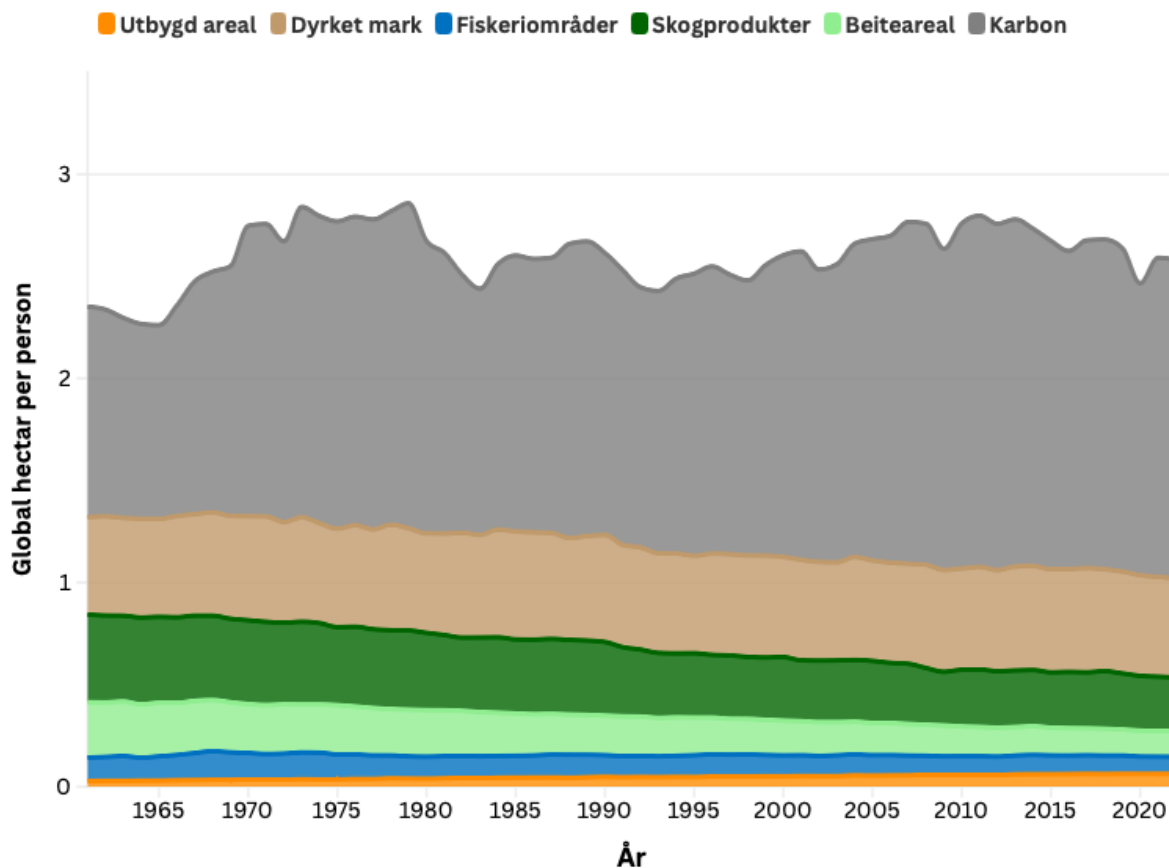
3.3 Avhengig variabel

I denne delen av metode skal vi begrunne hvorfor vi ønsket å bruke økologisk fotavtrykk som vår avhengig variabel. Vi skal gå gjennom både hvorfor vi valgte en analyse med alle komponentene i økologisk fotavtrykk, og hvorfor vi også ønsket å kjøre en analyse hvor vi fjernet karbonkomponenten.

Økologisk fotavtrykk

I vår analyse har vi valgt å benytte økologisk fotavtrykk med og uten karbonkomponenten som avhengig variabel for å måle påvirkning på biologisk mangfold. Økologisk fotavtrykk refererer generelt til et aggregert mål på hvor mye biologisk produktive ressurser en aktivitet, et individ eller en befolkning krever, sammenlignet med jordens kapasitet til å regenerere disse ressursene. Denne variabelen dekker ulike typer produktive arealer, inkludert dyrket mark, beitemark, fiskeområder, bebygde områder, skog og karbon. I økologisk fotavtrykk er karbonkomponenten arealet som kreves for å ta opp utslipp av karbon fra menneskelig aktivitet (Global Footprint Network, u.å.).

Vi har imidlertid valgt å ekskludere karbonkomponenten i en av analysene når vi skal gjøre beregning av økologisk fotavtrykk. Dette valget er gjort for å skille den direkte miljøpåvirkningen knyttet til arealbruk og naturinngrep fra den indirekte påvirkningen via klimagassutslipp. Selv om karbonutslipp ofte er sentralt i internasjonale avtaler om klimaendringer, som Parisavtalen, fanger det i liten grad opp de fysiske endringene i landskap og leveområder som utgjør en direkte trussel mot biologisk mangfold (Solarin et al., 2019).



Figur 2: Komponentene i økologisk fotavtrykk

Laget av Nora Viga, inspirasjon fra (Global Footprint Network et al., 2025)

Figur 2 viser det globale økologiske fotavtrykket per person i perioden 1965 til 2020, fordelt på de ulike komponentene som økologisk fotavtrykk er delt inn i. De ulike fargene representerer

forskjellige deler av fotavtrykket, og gjør det enkelt å se hvilke faktorer som har størst påvirkning. Figuren viser tydelig at karbonkomponenten utgjør den klart største delen av det globale fotavtrykket. Den illustrerer at karbonkomponenten har størst betydning for endringer i det økologiske fotavtrykk, og at andre konsekvenser, som tap av areal, i mindre grad kommer tydelig frem i figuren. Ved å ekskludere karbonkomponenten, retter vi oppmerksomheten mot de delene av miljøpåvirkning som skjer gjennom habitatødeleggelse, arealbruksendringer, overutnyttelse og andre inngrep som påvirker biologisk mangfold mer direkte.

Videre argumenterer tidligere studier for at økologisk fotavtrykk som avhengig variabel kan gi et mer helhetlig bilde av menneskets press på naturressurser og dermed også på biologisk mangfold (Galli et al., 2014). Økologisk fotavtrykk inkluderer flere av de viktigste drivkreftene bak tap av biologisk mangfold, som forurensning, spredning av fremmede arter, habitatødeleggelse og ressursutnyttelse, faktorer som ofte utelates når man fokuserer utelukkende på CO₂-utslipp. Selv om det finnes få studier som kobler økologisk fotavtrykk direkte til tap av biologisk mangfold, peker Lin et al. (2018) på at variabelen har et stort potensial for å analysere bruk og overforbruk av naturressurser på flere nivåer, og hvordan dette påvirker økosystemer.

Et økende økologisk fotavtrykk kan indikere at vi overskrider naturens tålegrenser, noe som igjen kan føre til tap av arter og forringelse av leveområder. Siden vi ønsker å undersøke bærekraftsmål 15 (livet på land), mener vi at et økologisk fotavtrykk uten karbon gir en mer presis variabel på hvordan menneskelig ressursbruk påvirker dette målet. Særlig med tanke på utbygging av fornybar energi, som i seg selv har en positiv effekt på klima. Det er viktig å belyse hvordan denne typen utvikling kan påvirke biologisk mangfold gjennom naturinngrep og arealbruk. Vår tilnærming gir derfor rom for en mer nyansert vurdering av bærekraft, hvor både klima og naturhensyn tas i betraktning.

Videre kan det økologiske fotavtrykket deles inn i ulike kategorier. Det økologiske fotavtrykket av forbruk (EF_C) måler hvor mye biokapasitet som brukes av innbyggere i et land. Økologisk fotavtrykk av produksjon (EF_P) måler bruk av biokapasitet til produksjon av varer og tjenester. Mens økologisk fotavtrykk for handel dekker biokapasitet produkter fra import (EF_I) og eksport (EF_E). Forholdet mellom de ulike delene kan sees i ligningen nedenfor (Global Footprint Network, u.å.).

$$EF_C = EF_P + (EF_I - EF_E)$$

I vår oppgave benytter vi økologisk fotavtrykk av forbruk (EF_C) som variabel. Vi har valgt å fokusere på forbruk fordi vi ønsker å analysere det totale arealbehovet som er knyttet til varer og tjenester som konsumeres i et land, uavhengig av hvor produksjonen faktisk foregår, nasjonalt eller internasjonalt. Dette forbruksbaserte perspektivet gjør det mulig å fange opp den reelle miljøpåvirkningen forårsaket av befolkningens livsstil og etterspørsel, også når konsekvensene av dette forbruket oppstår utenfor landets egne grenser.

Ettersom tap av biologisk mangfold og forringelse av økosystemer i stor grad er drevet av arealinngrep og ressursuttak, er det viktig å bruke en variabel som speiler menneskers samlede etterspørsel etter biologisk produktive områder. EF_C gir dermed et mer helhetlig bilde av miljøbelastningen forbundet med forbruk, og gjør det mulig å identifisere hvordan dette trykket kan bidra til overskridelse av naturens tålegrenser. Ved å benytte EF_C både med og uten karbonkomponenten, får vi et tydeligere innblikk i den direkte påvirkningen på natur og økosystemer, som følge av arealbruksendringer, habitatødeleggelse og ressursutnyttelse, faktorer som er sentrale i vurderingen av påvirkningen på biologisk mangfold.

Økologisk fotavtrykk har noen svakheter som indikator. Indikatoren bygger på en forenklete antagelser ved å omregne all ressursbruk til globale hektar, noe som kan skjule viktige økologiske forskjeller. Økologisk fotavtrykk dekker ikke alltid hele spekteret av miljøproblemer, som for eksempel tap av biologisk mangfold. På den andre siden kan økologisk fotavtrykk være et viktig verktøy fordi det på en tydelig og visuell måte viser gapet mellom menneskelig ressursbruk og jorden bæreevne. Dette gjør det til en enkel indikator, med mye data.

3.4 Uavhengige variabler

I dette delkapittelet går vi gjennom de ulike uavhengige variablene som er brukt i begge analysene. Vi forklarer hva hver variabel handler om, og hvorfor vi valgte å ha dem med i analysene våre. Målet er å gi en bedre forståelse av hvordan disse variablene kan påvirke miljøfotavtrykk og økologisk fotavtrykk, og hvordan de kan hjelpe oss med å undersøke sammenhengen mellom fornybar energi og biologisk mangfold.

Fornybar energi

For å møte dagens og fremtidens energibehov på en bærekraftig måte, er det avgjørende å satse på fornybare energikilder som ikke forsvinner ut over tid og som bidrar til å redusere

klimagassutslipp. Økt andel fornybar energi i den nasjonale energimiksen er derfor sentralt i kampen mot klimaendringer, og er direkte relatert til bærekraftsmål 7 (ren energi til alle). Spesielt mål 7.2 understreker betydningen av å øke andelen fornybar energi i den globale energimiksen frem mot 2030. I vår analyse benytter vi andel fornybar energi i energimiksen som en uavhengig variabel for å undersøke hvordan denne typen energiutbygging påvirker biologisk mangfold, i tråd med FNs bærekraftsmål 15 (Livet på land).

Selv om økt satsing på fornybar energi utvilsomt bidrar til å redusere utslipp av klimagasser og dermed motvirker klimakrisen, har vi i denne analysen valgt å se på økologisk fotavtrykk med og uten karbonkomponenten i beregningene. Valget ved å ta bort karbonkomponenten er gjort fordi vi ønsker å undersøke de direkte effektene på biologisk mangfold som kan oppstå ved utbygging av fornybar energi, uten å inkludere den positivt bidragende effekten på karbonbalansen. Ved å ekskludere karbonaspektet får vi et tydeligere bilde av hvordan fornybar energi kan påvirke naturen, gjennom arealbruksendringer, habitatødeleggelse, og eventuelle negative effekter på økosystemer, uten at den positive effekten på klimaet overskygger disse konsekvensene.

Flere typer fornybar energi, som vindkraft, solenergi, og vannkraft, har potensial til å forårsake fysiske inngrep i naturlige landskap, noe som kan påvirke det biologiske mangfoldet negativt. For eksempel krever vindkraft store arealer som kan fragmentere viktige habitat for dyrearter, mens vannkraft kan føre til endringer i elver og innsjøer som påvirker både flora og fauna. I vår analyse er det ikke mulig å se hvilke fornybare energikilder som har størst påvirkning, men det er viktig å være klar over at ulike energikilder har en ulik effekt på biologisk mangfold. Samtidig er det viktig å forstå at dersom utbygging er godt planlagt og skjer på en bærekraftig måte, trenger ikke skadene på miljøet være like store. Dette inkluderer for eksempel bruk av allerede utbygde områder som tak og infrastruktur, noe som kan redusere presset på naturarealer.

Ved å inkludere andel fornybar energi som en variabel i vår analyse, undersøker vi hvordan denne energiformen påvirker biologisk mangfold, både med og uten å ta hensyn til effekten av karbonkomponenten. På denne måten kan vi bedre forstå hvilke konsekvenser fornybar energi kan ha for naturressurser og økosystemer, og hvordan en grønn energiovergang kan balansere behovet for energi med bevaring av biologisk mangfold.

Urbanisering

Urbanisering innebærer at en stadig større andel av befolkningen forlater landsbygda for å bosette seg i byområder (FN-sambandet, 2023). Urbanisering måles som andelen av befolkningen som bor i urbane strøk. Vi har valgt denne variabelen for å undersøke hvordan økt urbanisering og dens ringvirkninger kan påvirke det biologiske mangfoldet.

Økt urbanisering har både negative og positive konsekvenser for det biologiske mangfoldet. På den ene siden kan urbanisering føre til større etterspørsel etter ressurser og energi, noe som kan ha en direkte innvirkning på naturen. Når byer vokser både i areal og befolkning, øker behovet for infrastruktur som veier, bygninger, transport og industri. Dette kan føre til degradering av naturområder, som for eksempel tap av viktige habitater, fragmentering av økosystemer og økt press på naturressurser. Naturområder blir ofte omdannet til urbane områder, noe som kan redusere tilgjengeligheten av natur for ville arter. I tillegg kan urbanisering føre til utvidet infrastruktur og økt energiforbruk, noe som ytterligere kan øke det økologiske fotavtrykket. Den økte etterspørselen etter transport, industri og energi kan ha negative konsekvenser for biologisk mangfold, og bidra til mer utslipp og forbruk av naturressurser. Dette kan igjen resultere i økt tap av biologisk mangfold (University of Oxford, 2024).

På den andre siden kan urbanisering også føre til positive effekter, spesielt når det gjelder bærekraftig byutvikling. Byer har større kapasitet til å implementere grønnere løsninger og teknologier som kan redusere miljøpåvirkningen per innbygger. Økt urbanisering kan legge til rette for utvikling av grønne områder som byparker, grønne tak og urbane hager, som kan gi habitat for lokal flora og fauna. Denne typen byutvikling kan også bidra til å bevare naturlige habitater i urbane strøk, og til å redusere effekten av arealbruksendringer på biologisk mangfold. Videre kan økt urbanisering legge til rette for mer effektive transportsystemer som kollektivtransport, sykkelveier og gangbare områder, noe som kan redusere bruken av privatbiler og dermed minske miljøbelastningen. Byene har også større muligheter for å implementere energieffektive løsninger som solcellepaneler, energieffektive bygninger og bærekraftig byplanlegging, som kan redusere det økologiske fotavtrykket og dermed skåne naturressurser (Danish et al., 2020)

Når flere mennesker flytter til byene, endrer det bruken av arealer og hvilke ressurser vi trenger. Dette kan føre til økt press på naturen, men også åpne for smartere og mer bærekraftige

løsninger. Urbanisering påvirker altså både natur og miljø på ulike måter, og derfor mener vi det er viktig å ha med i analysen for å få et bredere bilde av hva som påvirker det biologiske mangfoldet.

Naturressursrente

Naturressursrente er den samlede verdien av oljerenter, naturgassrenter, kullrenter, mineralrenter og skogrenter (Ourworldindata, 2025). Med andre ord representerer det summen av økonomisk avkastning fra naturressurser vi utnytter. Ved å inkludere denne variabelen i analysen kan vi se hvordan ulike lands bruk av naturressurser påvirker det økologiske fotavtrykket. Hvor mye og hvordan naturressurser blir brukt påvirkes av både økonomien til landet, men også av deres regelverk rundt naturressurser. I enkelte land er lovgivning og styring knyttet til ressursutnyttelse svak eller mangelfull. Dette kan føre til overforbruk og lite bærekraftig forvaltning på lang sikt. I andre tilfeller kan sterke institusjoner og klare retningslinjer bidra til mer ansvarlig og bærekraftig ressursbruk. Tidligere studier har vist ulike resultater. I noen tilfeller har økt utvinning av naturressurser, spesielt olje og mineraler, ført til mer CO₂-utslipp og forringelse av miljøet, særlig i land med svake institusjoner og lite effektive regler. Andre studier viser derimot at gode styringssystemer og tydelige retningslinjer kan bidra til å begrense de negative konsekvensene (Chen et al., 2023) .

Bruttonasjonalprodukt

Bruttonasjonalprodukt (BNP) er en variabel som viser den totale verdiskapningen i et land i løpet av ett år, og omfatter alle varer og tjenester som produseres, fratrukket verdien av innsatsfaktorene som brukes i produksjonen. I denne oppgaven bruker vi BNP per innbygger som et mål (FN-sambandet, u.å.).

Vi har valgt å inkludere BNP som en variabel for å få et bilde av den økonomiske situasjonen i et land. BNP per innbygger brukes ofte som en proxy for utviklingsnivå, og gjør det mulig å sammenligne ulike land på tvers av økonomiske kontekster. Det finnes en tydelig sammenheng mellom økonomisk vekst og økt forbruk av energi, transport og industriell aktivitet. Dette er

faktorer som kan legge press på naturressurser og bidra til miljøpåvirkning, inkludert tap av biologisk mangfold.

Samtidig kan høyere BNP også åpne for større investeringer i bærekraftige løsninger, grønn teknologi og vern av naturområder. Med andre ord kan økonomisk vekst både øke belastningen på naturen og samtidig gi muligheter for å beskytte den. Derfor er BNP en relevant variabel i vår analyse, da den kan gi innsikt i hvordan økonomisk utvikling påvirker det biologiske mangfoldet, enten det skjer gjennom økt ressursbruk eller gjennom satsing på mer miljøvennlige løsninger.

Studier viser også at BNP sin påvirkning på økologisk fotavtrykk vil jevne seg ut når det når et visst punkt, noe som kan fremvises av den miljømessige Kuznets-kurven (EKC). I studier som Ahmad et al. (2020) finner man effekten av dette ved å inkludere BNP^2 i analysen. For land med svak økonomi vil det økologiske fotavtrykket øke med den økonomiske veksten. Når den økonomiske veksten når et visst punkt vil påvirkningen på det økologiske fotavtrykket avta, og holde seg stabil eller til og med redusere det. Dette kommer av at man vil ha god nok økonomi til å utnytte teknologi for energieffektivisering og fornybar energi, som man ellers ikke ville hatt råd til med lavere økonomi (Al-mulali et al., 2015).

I vår analyse forsøkte vi å inkludere BNP^2 for å fange en eventuell ikke-lineær sammenheng. Dette førte imidlertid til perfekt multikollinearitet mellom BNP og BNP^2 . Det betyr at variablene var så sterkt korrelert at regresjonsmodellen ikke klarte å skille hvilken av dem som hadde hvilken effekt på det økologiske fotavtrykket. På grunn av dette valgte vi å fjerne BNP^2 fra modellen for å sikre mer pålitelige resultater.

Gini-Koeffisienten

Vi har valgt å inkludere Gini-koeffisienten som en variabel i analysen vår for å undersøke hvordan økonomisk ulikhet innad i et land kan påvirke miljøfotavtrykket. Gini-koeffisienten måler fordelingen av økonomiske ressurser i en befolkning, og uttrykkes som en verdi mellom null og en, der null representerer fullstendig likhet og en representerer maksimal ulikhet. Avhengig av datagrunnlag og tilgjengelighet i ulike land og år, kan Gini-koeffisienten være basert enten på inntekt etter skatt og overføringer, eller på forbruk per innbygger (Our World in Data, 2024).

Selv om vi ikke har funnet tidligere studier som har brukt Gini-koeffisienten direkte i en analyse som vår, mener vi at den er en viktig og relevant variabel å inkludere. Økonomisk ulikhet kan nemlig ha flere indirekte effekter på miljøet. I samfunn med høy økonomisk likhet får en større andel av befolkningen tilgang til ressurser og kjøpekraft, noe som kan føre til økt samlet forbruk og dermed høyere miljøbelastning. Dette står i kontrast til samfunn med høy ulikhet, der forbruket i større grad er konsentrert hos en mindre andel av befolkningen (Brandslet, 2025). På den andre siden kan økt økonomisk likhet også legge til rette for større aksept og gjennomføring av grønne tiltak, som kollektivtransport. Når godene og byrdene ved klimatiltak fordeles jevnere i befolkningen, øker både rettferdighetsfølelsen og viljen til å støtte nødvendige endringer (Wilkinson & Pickett, 2010).

Ved å inkludere Gini-koeffisienten ønsker vi derfor å undersøke hvordan fordelingen av økonomiske ressurser i et land kan ha betydning for det økologiske fotavtrykket, og i forlengelsen hvordan det påvirker biologisk mangfold. Vi mener dette gir en mer nyansert forståelse av de sosioøkonomiske faktorene som kan ligge bak miljøpåvirkning og skade på biologisk mangfold.

Landbruk

Landbruk anses som en vesentlig driver for å kunne hindre ekstrem fattigdom, samt bidra til bedre kosthold og en mer sikker matforsyning. Økt landbruk vil også kunne bedre økonomien og skape mer arbeidsplasser, samtidig som det kan ha stor innvirkning på miljøet, blant annet gjennom bruk av ferskvann, utslipp av klimagasser og utbygging av landarealer (Ritchie et al., 2022). Ifølge Ritchie og Roser (2019) brukes hele 45 prosent av jordens beboelige areal til landbruk. I tillegg er 38 prosent dekket av skog, 13 prosent er buskelandskap, 3 prosent er vannmasser, og 1 prosent er urbane og utbygde områder. Flere studier som har studert forholdet mellom økologisk fotavtrykk eller CO₂ utslipp, og landbruk har funnet landbruk til å ha en økende effekt på fotavtrykk og utslipp. Ettersom landbruk har en stor effekt på arealbruk, spesielt tap av naturlige habitater og avskoging vil vi bruke det som en uavhengig variabel i analysen.

3.5 Modellspesifikasjon

I analysen har vi benyttet multivariat lineær regresjonsmodell. Det vil si at regresjonsmodellen består av flere uavhengige variabler som vi anser som avgjørende for å illustrere den lineære sammenhengen mellom tap av biologisk mangfold og fornybar energi. De avhengige variablene skal representere biologisk mangfold og miljøpåvirkning, noe vi har gjort ved å benytte økologisk fotavtrykk både med og uten karbonkomponenten. Som uavhengige variabler har vi tatt i bruk fornybar energi, urbanisering, BNP, naturressursrente, Gini-koeffisienten og landbruk. I analysen skal de uavhengige variablene påvirke de avhengige variablene, mens de avhengige variablene ikke skal ha innvirkning på de uavhengige variablene.

For å kunne undersøke hvordan de ulike variablene påvirker økologisk fotavtrykk og miljøfotavtrykk har vi benyttet oss av to ulike regresjonsmodeller. Begge modellene er spesifisert med paneldata og inkluderer faste effekter for både enheter (i) og år (t). Den avhengige variabelen er henholdsvis miljøfotavtrykk (EVF) og økologisk fotavtrykk (EF), og begge modeller har samme sett med forklaringsvariabler.

$$\ln(EF_{it}) = \alpha_0 + \alpha_1 \text{REP}_{it} + \alpha_2 \ln(\text{GDP}_{it}) + \alpha_3 \text{NRR}_{it} + \alpha_4 \text{GINI}_{it} + \alpha_5 \text{URB}_{it} + \alpha_6 \text{AGR}_{it} + \varepsilon_{it}$$

$$\ln(\text{EVF}_{it}) = \beta_0 + \beta_1 \text{REP}_{it} + \beta_2 \ln(\text{GDP}_{it}) + \beta_3 \text{NRR}_{it} + \beta_4 \text{GINI}_{it} + \beta_5 \text{URB}_{it} + \beta_6 \text{AGR}_{it} + \mu_{it}$$

Ligningene uttrykker hvordan en endring i de forklarende variablene fornybar energiproduksjon, økonomisk utvikling, naturressursrente, Gini-koeffisienten, urbanisering og landbruksaktivitet påvirker økologisk fotavtrykk (EF) og miljøfotavtrykk (EVF) i ulike land over tid. I modellen representerer i de ulike landene, mens t viser til tidsperiode. Restleddene ε_{it} og μ_{it} fanger opp andre forhold som påvirker EF og EVF, men som ikke er inkludert i modellen.

3.6 Modell i RStudio

I dette delkapittelet går vi gjennom fremgangsmåten vår i RStudio. Her går vi gjennom hvordan vi har behandlet data, hvordan vi har satt opp analysene våre, og hvordan vi har gått frem for å kjøre statistiske tester.

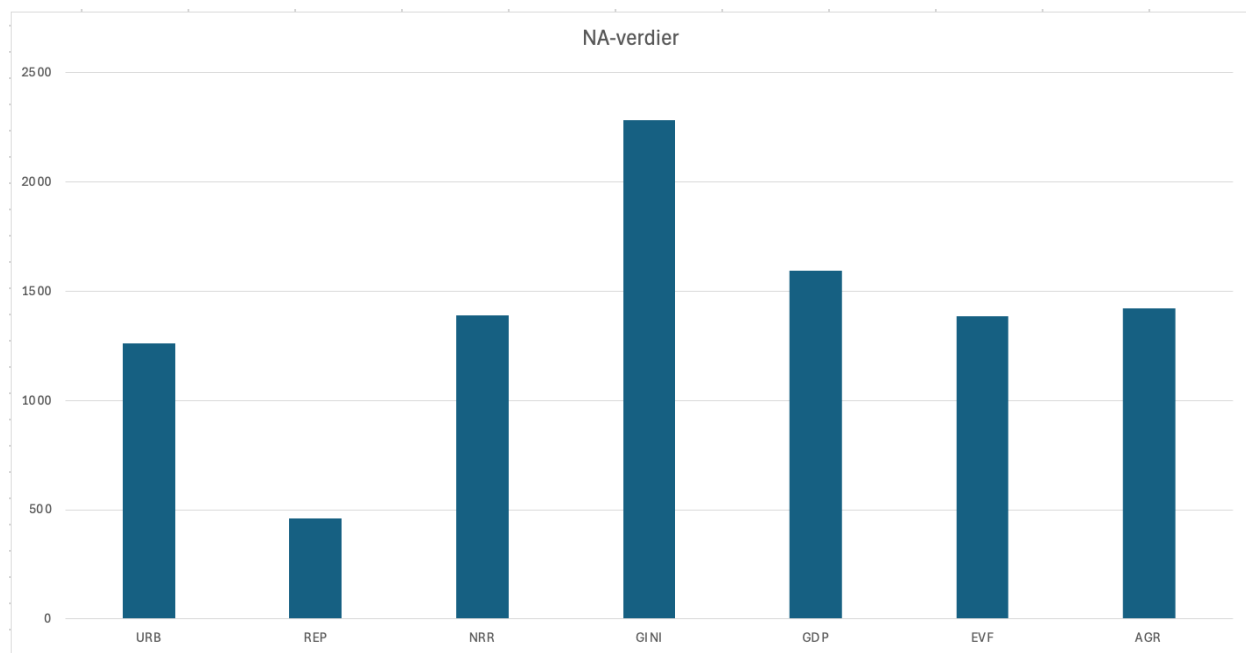
I denne oppgaven er hele analysen gjennomført i RStudio, med versjon R 4.4.2. Vi har benyttet en multivariat lineær regresjonsmodell for å undersøke sammenhengen mellom de utvalgte

variablene. Gjennom analyseprosessen har vi testet ulike metoder og løsninger for å finne frem til den modellen som er best egnet for vårt datasett og problemstilling. I denne delen av oppgaven vil vi derfor begrunne og forklare hvilke valg vi har tatt underveis, og hvorfor vi har valgt å gjøre det slik.

Tabell 1: Informasjon om hver variabel

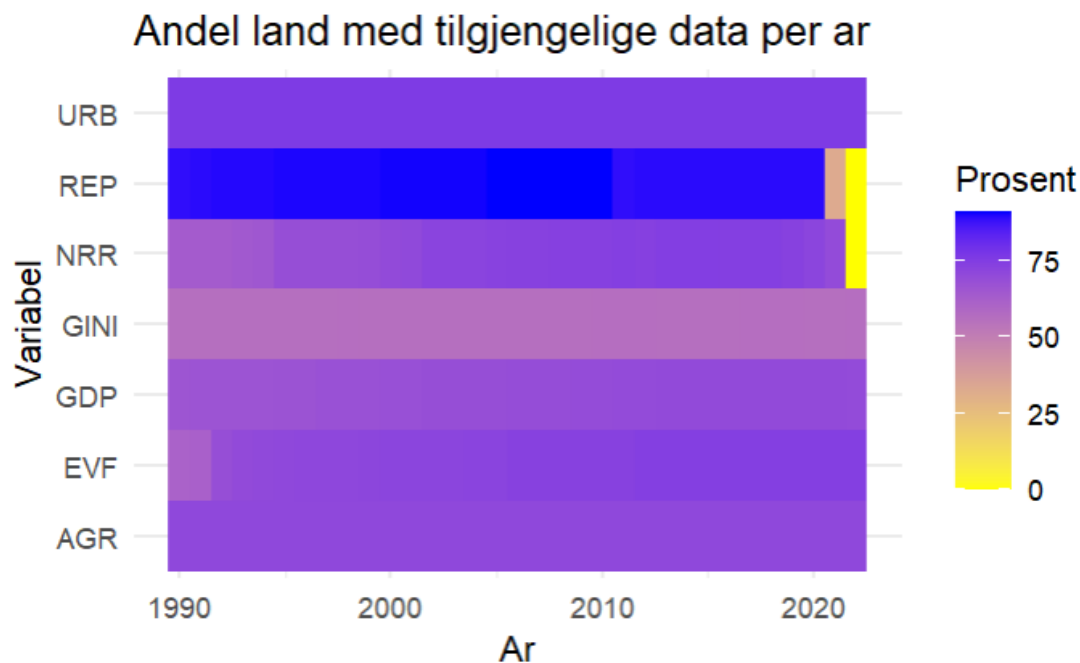
Indikatorer	Symbol	Måleenhet	Referanse
Økologisk fotavtrykk	EF (ef)	Global hektar per innbygger	Global footprint network
Miljø fotavtrykk	EVF (evf)	Global hektar per innbygger	Global footprint network
Fornybar energi	REP	% Fornybar energi i energi mixen	IEA
Urbanisering	URB	% av befolkning i urbanestrøk	Our world in data
Bruttonasjonalprodukt	GDP (gdp)	BNP per innbygger	Our world in data
Naturressursrente	NRR	% av BNP	Our world in data
Gini	GINI	0-1	Our world in data
Landbruk	AGR	% av landareal	Our world in data

For vår regresjonsanalyse har vi samlet data fra ulike referanser, med mål om å inkludere alle land som FN anerkjenner. I tabell 1 vises det hvilke variabler som inngår i analysen, hvilke symboler som er brukt for de opprinnelige og log-transformerte variablene, samt tilhørende måleenheter og hvor vi har hentet dataen. Datasettet inneholder opprinnelig rundt 240 land. Videre har vi lastet ned datasett for de ulike variablene våre, og til slutt samlet alle disse inn i et felles datasett.



Figur 3: NA-verdier for de ulike variablene

Flere av verdiene i datasettet var NA (not available) verdier, hvor land for ulike år ikke hadde tall for de ulike variablene. I figur 3 kommer det tydelig frem hvor mange manglende verdier for hver variabel. For at analysen skal være best mulig ønsker vi ikke NA verdier i modellen, samtidig som vi vil ha like antall observasjoner for hvert år i hvert land. Vi måtte dermed begrense studieperioden vår, for å minimere NA verdier. Vi observerte raskt ved å se i datasettet at flere av verdiene ikke var til stedet før utpå 90-tallet. For å få en enda bedre oversikt lagde vi et plot over tilgjengelig data for land og årstall, med prosentvis mengde tilgjengelig data.



Figur 4: Viser andel tilgjengelig data per år for de ulike variablene

Som vi ser i figur 4 er det litt varierende mengde tilgjengelig data, men det er best tilgjengelig fra 2000 til 2020. Figuren viser også til at Gini- koeffisienten har en generelt lysere farge, som betyr at det mangler en del data i forhold til de andre variablene. Dette er fordi den ikke er tilgjengelig for hvert år, men loggføres med visse års mellomrom. For å fikse dette har vi brukt *na.approx* koden fra Zoo pakken i RStudio. Denne koden lager en lineær interpolasjon, som estimerer verdien basert på de to nærmeste tilgjengelige verdiene, og lager en lineær sammenheng mellom disse. På denne måten oppnår man et estimat for de årene hvor Gini-koeffisienten ikke er loggført.

De resterende variablene hadde ikke samme utfordring. Her var det spesifikke land som hadde lite til ingen data, og det var ofte det samme som gikk igjen for de ulike variablene. Utenom dette manglet det litt data her og der, men ikke i stor grad. For å fikse opp i dette tok vi i utgangspunktet for oss fornybar energi, da dette er variabelen vi bygger analysen rundt, og slettet land som ikke hadde verdier på minst 10 av årene. Vi satte 10 år for å unngå å måtte fylle inn for mye utilgjengelig data, for å holde analysen mest mulig realistisk. Da satt vi igjen med null NA verdier i fornybar datasettet, men 14434 NA verdier i de resterende variablene. Vi kjørte så

samme metodikk for de resterende variablene, og slettet land som ikke hadde verdier for mer enn 10 år. Etter dette hadde vi kun en resterende NA verdi igjen, og brukte første tilgjengelige verdi for å fylle den inn. Til slutt var det null NA verdier igjen i datasettet, og vi satt igjen med 133 land som vi kunne bruke i analysen.

Variablene i analysen har forskjellige måleenheter. For å redusere skjevfordelinger og stor variasjon mellom variablene, har vi benyttet naturlig logaritme ($\ln$) for variabler som ikke allerede er uttrykt i prosent eller på en prosentvis skala (Wooldridge, 2019). Når vi log-transformerer data vil store verdier reduseres, som fører til at forskjellene mellom all data reduseres. Dette betyr at man kan vise til hva som skjer med den avhengige variabelen når uavhengig variabel endrer seg med ett prosent. I analysen har vi valgt å bruke store bokstaver for variabler uten log-transformasjon, og små bokstaver for variabler der log-transformasjon er benyttet. Det vil si at $\ln$ av EVF = evf.

Når datasettet ikke lenger hadde NA verdier og diverse variabler er log-transformert var det klart til å brukes i analysen. Her gjorde vi om datasettet til paneldata. Dette lager en tidsserie for hver enhet (land) som følges over tid (år). Slik kan man ta hensyn til både variasjon over tid og forskjeller mellom land for alle variablene i analysen (Wooldridge, 2019).

Etter at dataene var klargjort for analysen, startet vi med å finne ut hvilken analyse som passet best til vårt datasett. For å avgjøre dette gjennomførte vi en Hausman-test, som brukes for å velge mellom fixed effects- og random effects-modeller. Fixed effects-modellen tar hensyn til at hver enhet, i vårt tilfelle land, kan ha faste egenskaper som påvirker økologisk fotavtrykk (EF) og miljøfotavtrykk (EVF), men som ikke er observert eller inkludert i modellen. Eksempler på slike egenskaper kan være geografiske forhold, kultur, politikk eller andre særtrekk ved landene som er konstante over tid. Fixed effects-modellen kontrollerer for dette ved å se på hvordan endringer innen hvert land over tid påvirker EF og EVF, og fjerner dermed effekten av alt som er konstant innen hvert land (Wooldridge, 2019).

Nullhypotesen i Hausman-testen er at random effects-modellen er den mest egnede, mens alternativhypotesen er at fixed effects-modellen passer bedre dersom de uobserverte effektene er korrelert med de forklarende variablene. Testen estimerer både random effects- og fixed effects-modellen, og sammenligner koeffisientene for de forklarende variablene i de to modellene. Man

ser deretter på verdiene for chi-kvadrat (teststatistikk) og p-verdi for å ta stilling til hvilken modell som skal benyttes. (Wooldridge, 2019).

Resultatet fra vår Hausman-test viste en chi-kvadrat-verdi på 81,48 og en p-verdi på $1,767e-15$. En høyere chi-kvadrat-verdi indikerer større forskjell mellom de to modellene, og gir dermed større grunn til å forkaste nullhypotesen. P-verdien gir ytterligere informasjon om dette, der en p-verdi lavere enn 0,05 tilsier at nullhypotesen forkastes. Ettersom vår p-verdi var betydelig lavere enn 0,05, tyder dette på at de uobserverte effektene er korrelert med de forklarende variablene. Fixed effects-modellen anses derfor som best egnet for vår analyse.

Best linear unbiased estimates (BLUE)

Ordinary least squares (OLS) er en statistisk metode for å finne de beste koeffisientene i en lineær regresjonsmodell. Målet med OLS er å finne den linjen som passer best til dataene. Med dette menes det at linjen skal minimere forskjellene mellom de faktiske dataene og de predikerte verdiene fra modellen. Dette gjøres ved å minimere kvadrerte feil, altså avstanden mellom punktene og linjen (Wooldridge, 2019).

BLUE står for Best Linear Unbiased Estimator, som betyr at OLS er den beste metoden, altså den med minst feil, for å estimere koeffisientene i en lineær regresjon under visse forutsetninger. Best vil si at OLS er den estimatoren som gir den minste variansen blant lineære estimatormetoder. Linear vil si at man kan bruke en enkel sum av de observerte verdiene til å lage en formel for estimatoren. Unbiased betyr at gjennomsnittet av de estimerte koeffisientene vil være lik den sanne verdier over flere prøver. Altså vil den i gjennomsnitt gi riktig estimat. Med estimator menes selve metoden som brukes for å finne ukjente tall, hvor OLS er et verktøy for å estimere koeffisienter i lineære regresjonsmodeller. Samlet sett sier BLUE at OLS er den beste metoden for å estimere koeffisientene fordi det er en lineær metode, den er unbiased, og den vil gi den minste variansen sammenlignet med andre metoder, den beste estimatoren er den lineære, uavhengige estimatoren som har minst varians. OLS er den beste metoden for å finne den rette linjen, så lenge visse forutsetninger er oppfylt (Wooldridge, 2019).

For å sjekke dette gjennomførte vi en rekke tester for dataene våre i RStudio, for begge datasettene våre. Når man jobber med en fixed-effects modell er det ulike pakker man kan

benytte, hovedsakelig fra plm- og lfe pakkene. Begge pakkene vil få til flere av de samme tingene, men det er noen forskjeller mellom dem. Lfe pakken vil være godt egnet for større paneldatasett, man vil også få flere R^2 verdier, og pakken har flere funksjoner som gjør det enklere å korrigere for f.eks. robuste standardfeil (Endsley, 2016). Så langt det var mulig brukte vi felm modellen vår, som var kjørt med lfe-pakken. Noen av testene var ikke laget for denne pakken, og da kjørte vi alternative versjoner, eller brukte en modell med plm-pakken.

Det første vi testet for var endogenitet, da det er en av forutsetningene i BLUE som sier at de forklarende variablene ikke skal være korrelert med feilledet. Om en forklarende variabel er korrelert med feilledet (μ og ϵ) er den endogen. Denne forutsetningen kan være kritisk i analysen, da forholdet mellom de feilledet og de uavhengige variablene er viktig. I analysen skal de uavhengige variablene påvirke den avhengige variabelen, mens om den avhengige variabelen påvirker de uavhengige variablene får vi endogenitet. Dette kan gjøre resultatet i analysen upålitelig ved å gi skjeve og inkonsistente estimatorer da det bryter forutsetningene for uavhengighet. Det vil også bli vanskeligere å trekke kausale konklusjoner, da endogenitet kan forvirre årsak-virkning-relasjonen (Wooldridge, 2019).

Vi valgte å teste dette for landbruk og BNP da vi hadde mest grunn for å tro at disse ville være endogene. Dette var fordi vi originalt hadde et datasett som oppga landbruk i totalareal i et land, noe som kunne minne om dyrket mark i økologisk fotavtrykk. For BNP hadde vi gjennom en tidligere testkjøring av modellen merket av denne alltid ble signifikant, og ville da sikre oss om at det var et resultat vi kunne stole på, og som ikke ble påvirket av andre faktorer. For å utføre testen brukte vi Durbin-Wu-Hausman-testen (DWH). Når man skal teste for endogenitet trenger man instrumentvariabler (IV). Vi hadde ikke noen som passet til dette i analysen vår, og brukte derfor laggede verdier, en periode bak i tid. Dette var under forutsetningene om at disse ikke er korrelert med feilledet, men heller korrelert med den nåværende verdien av variabelen. Videre estimerte vi to modeller for hver variabel; en OLS modell med alle forklaringsvariabler, og en IV-modell med den mistenkte endogene variabelen instrumentert som den laggede versjonen. Videre brukte vi DWH for å sammenligne modellene, ved hjelp av en manuell Hausman test. Her testes det om forskjellen i koeffisientene fra de ulike modellene er statistisk signifikant. En lav p-verdi tyder på at OLS estimatene er inkonsistente, og at det foreligger endogenitet. Mens en høy p-verdi vil si at vi ikke kan avvise eksogenitet, og at det ikke er et behov for å

instrumentere. I første kjøring av testen fikk vi p-verdier på under 0,05 på både landbruk og BNP, som tyder på endogenitet i datasettet. Vi mistenkte som nevnt at dette kunne være tilfellet da datasettet vårt for landbruk hadde likhetstrekk med det økologiske komponenter i det økologiske fotavtrykket. Vi fant dermed et nytt datasett som hadde landbruk som prosentandel av landet i stedet. Når vi implementerte dette nye datasettet i analysen vår, fikk vi høye p-verdier på både landbruk og BNP og fikk dermed løst problemet med endogenitet.

Videre testet vi for autokorrelasjon. Dette oppstår når feilleddene i en tidsserie er korrelert med hverandre. Med autokorrelasjon kan OLS estimatene bli mindre effektive, og da må dette korrigeres for i analysen (Wooldridge, 2019). For å teste for dette gjennomførte vi en Breuch-Godfrey-test. Denne testen fungerer ikke med lfe-pakken, og vi brukte derfor en lm-modell fra plm-pakken for å kjøre testen. En Breuch-Godfrey test tar i bruk residuaene fra modellen for å sjekke om de er korrelert over tid. Her vil en lav p-verdi indikere autokorrelasjon i modellen. I vår analyse fikk vi en p-verdi på under 0,05, som viser til autokorrelasjon.

Heteroskedastisitet er et annet problem som kan oppstå i slike analyser. Dette oppstår når variansen til feilleddet (μ og ϵ) ikke er konstant, men heller varierer med de forklarende variablene. Det vil ikke føre til skjevhet eller inkonsistens i OLS-estimatorene, men påvirker heller standardfeil, t-statistikk og f-statistikk. Om heteroskedastisitet er til stedet vil da den nåværende testen ikke være gjeldene, og man må korrigere for dette for å få et gyldig resultat (Wooldridge, 2019). For å sjekke om det er tegn til heteroskedastisitet i modellen gjennomførte vi en Breusch-Pagan test. Her vil også en lav p-verdi indikere heteroskedastisitet. I vårt tilfelle fikk vi en p-verdi godt under 0,05, som viser til at residuaene i modellen ikke har konstant varians, altså at det finnes heteroskedastisitet.

Ettersom vi gjennom tester finner tegn til både autokorrelasjon og heteroskedastisitet i modellen måtte vi korrigere for dette. Det finnes ulike måter å håndtere dette på, men vi valgte å ta i bruk robuste standardfeil klustret på tvers av enheter, her land. Robuste standardfeil er utviklet for å håndtere heteroskedastisitet og autokorrelasjon. Når man inkluderer robuste standardfeil i analysen tas det hensyn til at feilleddene kan være korrelerte over tid, i stedet for å anta at de er uavhengige. Dette vil gi oss mer pålitelige resultater, da de justerer for usikkerhet i estimatene knyttet til heteroskedastisitet og autokorrelasjon (Wooldridge, 2019). Lfe-pakken er godt egnet for dette, da det har en innebygd funksjon som fikser det. Dermed kunne vi bare legge til en

ekstra linje i koden, hvor vi tok «cluster=entity», for å oppnå robuste standardfeil i estimatene. Her vil vi klustre på tvers av land, og på den måten tillate at feilledet kan være korrelert innen hver enhet over tid, samtidig som vi antar uavhengighet mellom landene. Denne metoden er godt egnet for paneldatastruktur, da metoden ikke endrer på koeffisientene, men fortsatt sikrer pålitelige estimater.

Vi testet også for multikollinearitet ved hjelp av variance inflation factor (VIF). Om modellen viser tegn til multikollinearitet betyr det at to eller flere av forklaringsvariablene i en regresjonsmodell er sterkt korrelerte. Da vil det bli vanskelig å isolere den individuelle effekten av hver uavhengig variabel på den avhengige variabelen. Dette kan føre til at standardfeilene på koeffisientene blir store, noe som kan føre til at det blir vanskelig å finne statistiske signifikante sammenhenger selv om de egentlig er der (Wooldridge, 2019). For å utføre testen bruke vi vif-funksjonen fra car-pakken med samme forklaringsvariabler som hovedmodellen. Her vil VIF verdier på over 10 viser til multikollinearitet i modellen. Som nevnt tidligere i metode var multikollinearitet et problem som oppsto når vi prøvde å legge til BNP^2 i analysene. Her fikk vi perfekt multikollinearitet mellom BNP og BNP^2 , og tok derfor BNP^2 ut av analysen vår. Når vi da testet for resten av variablene våre, i den endelige analysen, lå alle våre verdier lå godt under denne grensen. Vi kunne dermed konkludere med at multikollinearitet ikke var et problem i vår modell.

Etter alle tester for BLUE var gjennomført, og eventuelle problemer var korrigert for, var vi klare til å kjøre modellen for å gi oss et endelig resultat av analysen vår.

4. Resultat

I dette kapittelet presenteres resultatene fra de to regresjonsmodellene som er brukt for å undersøke hvordan ulike forklaringsvariabler påvirker miljøfotavtrykk (EVF) og økologisk fotavtrykk (EF). Vi starter med en forklaring av de ulike delene i selve analysen. Videre kommer en gjennomgang av resultatene for miljøfotavtrykk, etterfulgt av resultatene for økologisk fotavtrykk. Hver modell vises både med og uten robuste standardfeil for å synliggjøre eventuelle forskjeller i signifikansnivåer. I analysen legger vi hovedvekten på modellene med robuste

standardfeil, ettersom disse gir mer pålitelige estimerer når det foreligger heteroskedastisitet eller andre brudd på modellforutsetningene.

4.1 Forklaring av de ulike komponentene

Når vi har kjørt en regresjonsanalyse, får vi en p-verdi som sier noe om hvor signifikant resultatet er for hver enkelt variabel. Tabell 2 viser hvilke p-verdier som kreves for å oppnå én, to eller tre stjerner, og hva disse nivåene betyr. For eksempel betyr to stjerner at p-verdien ligger mellom 0,05 og 0,01.

Tabell 2: Oversikt over symbolbruk for signifikansnivåer i regresjonsanalysen

Symbol	P-verdi	Tolkning
***	$p < 0,01$	Svært signifikant resultat
**	$p < 0,05$	Signifikant resultat
*	$p < 0,10$	Svak signifikans
Ingen stjerne	$p > 0,10$	Ikke signifikant resultat

Et signifikant resultat betyr at det er statistisk støtte for at det mest sannsynlig finnes en sammenheng mellom en uavhengig variabel og den avhengige variabelen. Dersom en variabel ikke har noen stjerne, skyldes det at resultatet ikke er signifikant. Det betyr at vi ikke med sikkerhet kan si at denne variabelen påvirker den avhengige variabelen, resultatet kan like gjerne skyldes tilfeldigheter.

Vi har valgt å presentere resultatene for både miljøfotavtrykk og økologisk fotavtrykk, både før og etter bruk av robuste standardfeil. Ettersom modellene viste tegn til både autokorrelasjon og heteroskedastisitet, ble det vurdert som nødvendig å benytte robuste standardfeil for å få mer pålitelige estimerer. Dette førte til at enkelte resultater ble mindre signifikante, ettersom de robuste standardfeilene ofte er større og dermed gir høyere p-verdier.

Standardfeilene i modellen gir et inntrykk på hvor pålitelige modellen estimerer koeffisientene. De kan brukes til å teste for ulike ting, som blant annet om en koeffisient er signifikant forskjellig fra null. På denne måten kan de være nyttige for å vite at man kan trekke pålitelige konklusjoner fra analysen. Når man tolker tallet vil en lavere verdi indikere et mer presist estimat (Wooldridge, 2019).

For å bedre forstå hvor godt de uavhengige variablene forklarer variasjoner i de avhengige variablene, beregner man et tall som måler hvor godt OLS-regresjonslinjen passer dataene. Dette tallet kalles godheten av tilpasning, og representeres av R^2 symbolet. Tallet oppgis mellom null og en, hvor høyere verdi indikerer at modellen passer godt til dataene (Wooldridge, 2019). I vårt resultat har vi to versjoner av R^2 , vi har full modell R^2 og projisert modell R^2 . Full modell vil gi et tall på hvor mye variasjon i den avhengige variabelen som forklares av modellen vår med individuelle faste effekter inkludert. Projisert modell vil gi et tall på modellen uten de faste effektene. R^2 for full modell vil ofte gi et bedre resultat enn projisert modell, da de individuelle faste effektene vil forklare ekstra variasjon i den avhengige variabelen (Endsley, 2016).

Tallet under estimat representerer effekten den uavhengige variabelen har på den avhengige variabelen. I analysen vår er begge avhengige variabler miljøfotavtrykk og økologisk fotavtrykk log transformert, det samme er BNP. Dette er fordi alle disse er oppgitt i ulike enheter, og log transformasjonen endrer på hvordan vi tolker resultatet. Resten av variablene er oppgitt i en prosentvis skala, og trenger derfor ikke denne transformasjonen. Når begge variablene er log transformert oppstår en elasticitet. Dette vil si at ved 1% endring i uavhengig variabel vil føre til $\beta\%$ endring i avhengig variabel. For de andre uavhengige variablene, som er oppgitt i prosentvis skala, vil vi få en prosentvis endring i avhengig variabel med en enhet økning i uavhengig variabel. Ettersom disse er oppgitt i prosent vil vi få samme forhold som de som er log transformert ved at 1% økning i uavhengig variabel vil føre til $\beta\%$ endring i avhengig variabel.

Videre i diskusjonen vil vi ta i bruk de ulike komponentene for å tolke resultatene fra våre egne regresjonsmodeller. Med utgangspunkt i estimatene, standardfeilene, p-verdiene og R^2 -verdiene vil vi vurdere om og hvordan de uavhengige variablene har en statistisk påvirkning på de avhengige variablene.

4.2 Miljøfotavtrykk

I denne delen av resultatet skal vi presentere miljøfotavtrykk. Gjennom hele resultatet bruker vi de samme forkortelsene på variablene som er brukt i selve analysen. En liste med forklaring av forkortelsene ligger etter innholdsfortegnelsen i starten av oppgaven.

Tabell 3: Miljøfotavtrykk uten robuste standardfeil

Variabler	Estimat	Standardfeil	p-verdi
REP	-0,004410	0,001060	3,12E-05 ***
URB	-0,001790	0,001790	0,324100
gdp	0,311000	0,028900	2,20E-16 ***
NRR	-0,000392	0,001110	0,725000
GINI	-0,212000	0,165000	0,200000
AGR	-0,001820	0,002150	0,396000
R ²	0,921100		
Justert R ²	0,916400		
R ² (Proj modell)	0,054750		
Justert R ² (proj modell)	-0,002061		

Tabell 4: Miljøfotavtrykk med robuste standardfeil

Variabler	Estimat	Robuste Standardfeil	p-verdi
REP	-0,004410	0,003370	0,192000
URB	-0,001790	0,004790	0,708000
gdp	0,311000	0,057900	3,56E-07 ***
NRR	-0,000392	0,420000	0,615000
GINI	-0,212000	0,004250	0,669000
AGR	-0,001820	0,001490	0,793000
R ²	0,921100		
Justert R ²	0,916400		
R ² (Proj modell)	0,054750		
Justert R ² (proj modell)	-0,002061		

Estimatene og R²-verdiene i modellen er identiske både før og etter justeringen for robuste standardfeil. Forskjellen mellom tabellene ligger derfor i p-verdiene og standardfeilene. Som tidligere nevnt påvirkes p-verdien av at robuste standardfeil ofte er større, noe som kan føre til lavere statistisk signifikans.

I tabell 4 ser vi at estimatene for alle uavhengige variabler med unntak av gdp er negative. Det betyr at en økning i disse variablene (REP, URB, NRR, GINI og AGR) er assosiert med en

reduksjon i miljøfotavtrykk. Gdp har et positivt estimat (0,311), noe som tilsier at en økning i BNP er forbundet med økt miljøfotavtrykk. Det er viktig å merke seg at selv om estimatene indikerer retningen og styrken på en sammenheng, betyr ikke det nødvendigvis at sammenhengen er statistisk signifikant, særlig når vi bruker robuste standardfeil som gir strengere vurderinger. I analysen av miljøfotavtrykk er gdp den eneste variabelen som er statistisk signifikant både med og uten bruk av robuste standardfeil. Dette styrker troverdigheten til sammenhengen mellom gdp og miljøfotavtrykk i modellen.

Variabelen REP er signifikant i modellen uten robuste standardfeil (Tabell 3), men mister signifikansen når robuste standardfeil benyttes (Tabell 4). Dette tyder på at den opprinnelige signifikansen kan skyldes skjevheter i varians eller brudd på forutsetningene, og at vi bør være forsiktige med å trekke konklusjoner om fornybar energi (REP) sin effekt grunnet endring når robuste standardfeil blir tilføyd i modellen. Vi kan med andre ord ikke si med sikkerhet at effekten av REP i miljøfotavtrykk er noe annet enn null.

I Tabell 3 ser vi at standardfeilene er gjennomgående relativt lave, noe som kan gi et inntrykk av høy presisjon i estimatene. Når vi i Tabell 4 benytter robuste standardfeil, øker de fleste av dem betydelig. For eksempel øker standardfeilen for REP fra 0,00106 til 0,00337, og for gdp fra 0,0289 til 0,0579. Disse økningene tyder på at modellen kan være påvirket av heteroskedastisitet eller andre brudd på forutsetningene for klassisk regresjon. Bruken av robuste standardfeil korrigerer for slike modellbrudd og gir et mer pålitelig bilde av usikkerheten rundt koeffisientene.

R^2 verdien for begge analysene er 0.921. Dette indikerer at omtrent 92 prosent av variasjonen i miljøfotavtrykk forklares av de uavhengige variablene i modellen. Dette tyder på at modellen har svært høy forklaringskraft. Den justerte R^2 verdien, som tar hensyn til antall forklaringsvariabler og justerer for mulig overtilpasning, er også høy (0.9164). Dette styrker påliteligheten til modellen som helhet. Det betyr at selv om ikke alle enkeltvariabler viser statistisk signifikans, særlig etter bruk av robuste standardfeil, fanger modellen likevel opp sentrale forklaringsfaktorer for variasjonen i miljøfotavtrykk. På den andre siden har den projiserte R^2 -verdien en lavere verdi, noe som tyder på at modellen forklarer variasjonen i miljøfotavtrykk godt i det datasettet som er brukt, men at den er mindre presis når den brukes på data utenfor dette. Projisert R^2 viser

lavere forklaringskraft fordi den ikke tar med de faste effektene, som ofte forklarer en betydelig del av variasjonen i dataene.

Oppsummert viser analysen av miljøfotavtrykk at regresjonsmodell har høy forklaringskraft. Den klarer å fange opp mye av variasjonen i miljøfotavtrykk basert på de uavhengige variablene som er inkludert. I modellen er det gdp som fremstår som den mest stabile og troverdige forklaringsvariabelen, ettersom den er statistisk signifikant både med og uten robuste standardfeil i modellen. Andre variabler, som REP, viser en mulig sammenheng, men mister signifikans når robuste standardfeil blir tatt i bruk. For de resterende variablene finner vi ingen statistisk signifikante sammenhenger i modellen med robuste standardfeil. Det betyr at vi ikke trygt kan konkludere med at disse variablene har en effekt på miljøfotavtrykk i denne analysen.

4.3 Økologisk fotavtrykk

I dette delkapittelet går vi over til resultatet av analysen med økologisk fotavtrykk som avhengig variabel, hvor det er samme analyse som miljøfotavtrykk bare med karbonkomponenten.

Tabell 5: Økologisk fotavtrykk uten robuste standardfeil

Variabler	Estimat	Standardfeil	p-verdi
REP	-0,008150	0,000795	2,00E-16 ***
URB	0,004270	0,001340	0,001490 **
gdp	0,380000	0,021700	2,00E-16 ***
NRR	-0,001660	0,000838	0,047000 *
GINI	-0,434000	0,124000	0,000482 ***
AGR	0,000421	0,001610	0,794000
R ²	0,968100		
Justert R ²	0,966200		
R ² (Proj modell)	0,164400		
Justert R ² (proj modell)	0,114200		

Tabell 6: Økologisk fotavtrykk med robuste standardfeil

Variabler	Estimat	Robuste Standardfeil	p-verdi
REP	-0,008150	0,002710	3,25E-03 **
URB	0,004270	0,004210	0,313000
gdp	0,380000	0,057000	6,34E-10 ***
NRR	-0,001660	0,353000	0,220000
GINI	-0,434000	0,003100	0,892000
AGR	0,000421	0,001730	0,337000
R ²	0,968100		
Justert R ²	0,966200		
R ² (Proj modell)	0,164400		
Justert R ² (proj modell)	0,114200		

Som nevnt tidligere i metodedelen har vi valgt å gjennomføre én analyse som inkluderer karbon (EF), og én som utelater karbon (EVF). Denne regresjonsmodellen inkluderer karbonkomponenten, noe som har stor betydning for resultatene. Karbon utgjør en betydelig del av det økologiske fotavtrykket, og siden alle de uavhengige variablene på ulike måter kan påvirke karbonutslipp, får vi noe andre estimater i denne modellen sammenlignet med modellen uten karbonkomponenten.

I økologisk fotavtrykk viser alle de uavhengige variablene, med unntak av AGR, signifikante resultater på minst ett nivå når det ikke er robuste standardfeil. Dette er ulikt fra miljøfotavtrykk, hvor uten robust standardfeil bare ga signifikante resultat på gdp og REP. Det er likevel viktig å merke seg at kun REP og gdp er signifikante når robuste standardfeil benyttes, noe som innebærer at vi kun kan si med statistisk sikkerhet at disse variablene har en effekt på økologisk fotavtrykk (se Tabell 6). For de øvrige variablene er usikkerheten større, og vi kan derfor ikke fastslå en tydelig sammenheng basert på disse resultatene. Ved bruk av vanlige (ikke-robuste) standardfeil er imidlertid flere av variablene signifikante.

Standardfeil for økologisk fotavtrykk har samme mønster som for miljøfotavtrykk. I tabell 5 og tabell 6 kan vi se at standardfeil øker når det blir lagt til robuste standardfeil. Selv om de fleste variablene øker, er ikke det tilfelle for alle. GINI, hvor standardfeilen reduseres betydelig fra 0,124 til 0,0031 når robuste standardfeil brukes. Dette kan indikere at variansen i residuaene

knyttet til GINI var overestimert i den opprinnelige modellen, eller at robusthetsjusteringen ga en mer presis måling for akkurat denne variabelen.

Modellen til økologisk fotavtrykk har en R^2 verdi på 0,9681 (96,81%). Dette tyder på at modellen har høy forklaringskraft samlet sett. Når man ser på den projiserte R^2 -verdien, som viser hvor mye variasjon som forklares av de uavhengige variablene etter at faste effekter er kontrollert for, er denne langt lavere, med en verdi på 0,1607. Dette innebærer at forklaringsvariablene i modellen alene står for omtrent 16 % av variasjonen i økologisk fotavtrykk.

Kort oppsummert finner vi at gdp er den eneste variabelen som er statistisk signifikant i begge analysene, mens REP er signifikant i modellen for økologisk fotavtrykk. Gdp har et positivt estimat i begge analyser, noe som indikerer at økonomisk vekst bidrar til økt fotavtrykk. REP har et negativt estimat, som antyder en positiv effekt på økologisk fotavtrykk. Begge modellene viser høy forklaringskraft, med R^2 på 92,1 % for miljøfotavtrykk og 96,8 % for økologisk fotavtrykk. Likevel viser analysene at flere forklaringsvariabler mister signifikans ved bruk av robuste standardfeil, noe som understreker viktigheten av å tolke resultatene med forsiktighet. Det er derfor kun BNP og delvis REP som fremstår som robuste forklaringsfaktorer. Videre tyder forskjeller mellom de to modellene på at karbonkomponenten spiller en avgjørende rolle for variasjonen i økologisk fotavtrykk.

Selv om regresjonsanalysene er bygget opp på samme måte og benytter de samme forklaringsvariablene, viser resultatene ulikheter mellom de to modellene. Dette gjelder både hvilke variabler som er signifikante, retningen på sammenhengene og styrken i estimatene. I neste kapittel, diskusjonsdelen, vil vi derfor gå dypere inn i disse forskjellene og likhetene.

5. Diskusjon

I dette kapittelet diskuterer vi problemstillingen vår. Vi starter med en mer generell refleksjon om hvordan fornybar energi påvirker biologisk mangfold, før vi går videre med å diskutere forskningsspørsmålene knyttet til problemstillingen. Vi begynner med våre egne analyser og resultater. Deretter skal vi diskutere muligheten med miljøfotavtrykk som indikator, og

forskjeller mellom vår analyse og artikler fra litteraturstudiet. Avslutningsvis presenterer vi vurderinger av hva vi kunne gjort annerledes og forslag til videre forskning.

5.1 Skala og kompleksitet i samspillet mellom fornybar energi og biologisk mangfold

Som nevnt tidligere i oppgaven, er bærekraftsmålene tett sammenkoblet, og det vil oppstå ulike interaksjoner mellom dem. Dette kan komme både i form av syngerier, positive interaksjoner, og trade-offs, negative interaksjoner. Ifølge International Science Council (2017) er det avgjørende å forstå hvordan disse målene påvirker hverandre, slik at man kan maksimere positive effekter og redusere de negative. Forskning på dette feltet har kommet langt på enkelte områder, f.eks. for bærekraftsmål 7 og mål 13. Det finnes allerede en del forskning på dette samspillet, hvor noen interaksjoner har mer entydig effekt enn andre. Her er det blant annet godt etablert effekten av bærekraftsmål 7 og bærekraftsmål 13, da mer fornybar energi vil bidra til å minske klimaendringene. Det er bred enighet om at økt bruk av fornybar energi bidrar til å redusere klimagassutslipp, og dermed bekjempe klimaendringer. Dette er en positiv interaksjon som allerede er godt forankret i forskning. Samtidig finnes det andre interaksjoner mellom målene som er mer komplekse og mindre entydige, som vil kreve nærmere undersøkelse.

Sammenhengen mellom bærekraftsmål 7 og 15 er et eksempel på en mer kompleks interaksjon. Dette er fordi det å bevare biologisk mangfold er et viktig perspektiv innen bekjemping av klimaendringer, men vil ikke være direkte korrelert med hverandre. Her kommer nemlig konflikten mellom klimakrisen og naturkrisen inn, som begge er viktige saker i dagens samfunn. Utbygging av fornybar energi er sentralt, og selv om det vil redusere avhengigheten av fossile energikilder, vil slike installasjoner ofte kreve større arealinngrep i naturlige økosystemer. Dette forholdet er mer komplekst enn at vi kan si med sikkerhet at mer fornybar energi vil ha en gitt effekt på biologisk mangfold. Det er gjort tidligere forskning på dette fagfeltet også, men her er det mer variasjoner i resultatene. I en artikkel av McCollum et al. (2018) har de undersøkt samspillet mellom bærekraftsmål ved å samle inn flere artikler som ser på interaksjoner mellom bærekraftsmål, hvor de sammenligner resultatene. For interaksjoner mellom bærekraftsmål 7 og 15 finner de artikler som konkluderer at det kan være både positiv og negativ påvirkning. Dette viser til at det fortsatt ikke eksisterer enighet i forskningen om den samlede effekten mellom

disse to målene. Vi ønsket derfor å bidra til dette kunnskapshullet ved å selv undersøke forholdet mellom fornybar energi og biologisk mangfold.

For å forstå helheten i samspillet mellom fornybar energi og biologisk mangfold, må man skille mellom påvirkning på lokal, nasjonal og global skala. På prosjektnivå vil utbygging av fornybar energi ofte ha direkte negative konsekvenser for biologisk mangfold. Dette skyldes at arealinngrepene som kommer av en slik utbygging påvirker lokalt dyreliv gjennom fragmentering av habitater og nedbygging av naturområder. Kompleksiteten i forholdet kommer inn når man ser på påvirkning i en større skala. Samtidig er det viktig å anerkjenne at fornybar energi på nasjonalt nivå kan ha positive effekter for biologisk mangfold. Dette kommer av reduksjonen i klimagassutslipp, som følge av at fornybar energi erstatter fossile energikilder. En slik reduksjon i klimagassutslipp kan dempe klimaendringer, som i seg selv truer økosystemer globalt. I tillegg kan overgangen fra fossil energi redusere utslipp av partikler og stoffer som kan være skadelig for både natur og miljø. Samtidig vil arealinngrepene som følger av fornybar energi være verdt å bemerke seg, ettersom arealendringer er en av de største truslene mot biologisk mangfold. Denne dobbelpåvirkningen av fornybar energi, gjør det viktig å analysere samspillet på tvers av skalaer. Dermed legger vi opp vår analyse på en måte som bruker data på landsbasis, for å få et bedre innblikk i denne komplekse sammenhengen på større skala.

5.2 Hvordan skiller miljøfotavtrykk seg fra økologisk fotavtrykk?

I denne delen av diskusjonen drøftes forskjellene mellom miljøfotavtrykk og økologisk fotavtrykk, med utgangspunkt i resultatene fra de robuste regresjonsmodellene. Analysen viste at for miljøfotavtrykk er det kun BNP (gdp) som fremstår som statistisk signifikant, mens for økologisk fotavtrykk er både BNP og andelen fornybar energi (REP) signifikante forklaringsvariabler. Dette kan i stor grad forklares med hvordan modellen er bygd opp.

Økologisk fotavtrykk inkluderer karbonkomponenten, som er en viktig del av det samlede fotavtrykket, mens miljøfotavtrykk har ikke denne komponenten med. Det er ingen tvil om at økt bruk av fornybar energi reduserer karbonutslipp ved å erstatte fossile energikilder, og dermed også reduserer det økologiske fotavtrykket. Denne effekten er så tydelig at den oppveier eventuelle negative konsekvenser av fornybar energi når man ser på økologisk fotavtrykk. Det

kan for eksempel være at de negative konsekvens med arealinngrep ved utbygging av fornybare energikilder kommer i skyggen av de positive sidene med reduksjon av fossile energikilder. I Figur 2 vises det tydelig at karbonkomponenten utgjør en stor andel av det totale økologiske fotavtrykket, noe som understøtter den sterke effekten av fornybar energi i analysen med karbonkomponenten. Forskjellen i hvordan indikatorene behandler karbonkomponenten kan dermed forklare hvorfor fornybar energi er signifikant i analysen av økologisk fotavtrykk, men ikke i miljøfotavtrykk.

En sentral årsak til at fornybar energi er statistisk signifikant i analysen med økologisk fotavtrykk, er trolig dens evne til å redusere karbonutslipp. Den mest direkte og målbare effekten av fornybar energi er reduksjon i karbonutslipp. Når karbonkomponenten ikke inkluderes i analysen (som ved miljøfotavtrykk), forsvinner også det mest umiddelbare leddet i hvordan fornybar energi bidrar til et bedre miljø, noe som svekker den statistiske forklaringskraften til fornybar energi. Når karbonkomponenten tas ut av analysen, blir fornybar energi ikke en signifikant forklaringsvariabel på miljøfotavtrykket. Når karbonkomponenten derimot inkluderes i analysen av økologisk fotavtrykk, blir sammenhengen mellom fornybar energi og miljøeffekt langt tydeligere. Her virker fornybar energi gjennom sin evne til å redusere karbonutslipp ved å erstatte fossile energikilder, noe som skaper en mer direkte, målbar og konsistent effekt. Dette gjenspeiles i at fornybar energi fremstår som signifikant i modellen. Resultatene til analysene understreker at inkludering av karbonkomponenten er avgjørende for å fange opp den faktiske miljøeffekten av fornybar energi.

Når karbonkomponenten utelates fra miljøfotavtrykket, forsvinner den mest direkte mekanismen som knytter fornybar energi til redusert miljøbelastning. En mulig forklaring på hvorfor fornybar energi ikke ble signifikant uten karbon, er at modellen kun måler andelen av energimiksen som kommer fra fornybare kilder, uten å skille mellom ulike teknologier som kan bli brukt for å produsere fornybar energi. For eksempel kan vi se for oss to ulike land, land A og land B, der begge har en høy andel fornybar energi i energimiksen sin. I land A er solenergi den største fornybare energikilden, mens land B hovedsakelig bruker vindkraft. Selv om begge landene rapporterer samme andel fornybar energi, kan den faktiske miljøpåvirkningen være svært forskjellig. Vindkraft krever ofte betydelig mer areal enn solenergi, noe som fører til større inngrep i naturen. Det betyr at en økning på én prosent i andelen fornybar energi vil kunne ha

langt større konsekvenser for miljøfotavtrykket i land B enn i land A. Dette er en viktig nyanse som ikke fanges opp i modellen, ettersom den kun måler hvor stor andel av energimiksen som er fornybar, uten å skille mellom hvilke energikilder som benyttes. Derfor kan sammenhengen mellom fornybar energi og miljøfotavtrykk variere mye mellom land, noe som bidrar til mer ujevne og usikre resultater i analysen uten karbon.

Resultatene viser at BNP er en signifikant variabel i begge modeller, noe som er i tråd med eksisterende litteratur. En høyere BNP indikerer økonomisk vekst, som ofte henger sammen med økt velferd. Økt velferd fører gjerne til høyere forbruk, mer produksjon, økt industrialisering og et større behov for transport. Dette er faktorer som i stor grad påvirker det økologiske fotavtrykket, både når karbonkomponenten er inkludert og når det er utelatt. Estimatet for BNP er noe høyere i modellen som inkluderer karbon, noe som er forventet, siden mange av de nevnte faktorene også bidrar til økte utslipp. Likevel er det verdt å merke seg at sammenhengen mellom BNP og miljøfotavtrykk er sterk selv uten karbon. Økonomisk vekst innebærer økt etterspørsel etter varer og tjenester, som igjen krever råmaterialer og energi, samt infrastrukturbygging. Økonomisk vekst er dermed en robust og sentral forklaringsvariabel uavhengig av hvilken indikator som benyttes.

Analysen viser tydelig at karbonkomponenten spiller en sentral rolle i resultatene. Når modellen ikke fanger opp hvilken type fornybar energikilde som benyttes, vil heller ikke eventuelle arealinngrep komme tydelig frem. Dette kan bidra til at fornybar energi ikke fremstår som signifikant i analysen av miljøfotavtrykk. BNP, derimot, er en robust forklaringsvariabel uavhengig av om karbonkomponenten er inkludert eller ikke.

5.3 I hvilken grad kan miljøfotavtrykk fungere som en indikator på biologisk mangfold?

Grunnlaget for oppgaven var å undersøke hvordan fornybar energi påvirker det biologiske mangfoldet. Etter å ha gjennomgått mye av den eksisterende litteraturen, er det tydelig at store deler av artiklene vi har sett på bruker økologisk fotavtrykk og/eller CO₂ til å fange opp miljøbelastning. Ettersom andre analyser har fokus på miljøbelastning ble det tydelig at det finnes et kunnskapshull på området rundt biologisk mangfold.

Miljøfotavtrykk og økologisk fotavtrykk har ulik evne til å fange opp effekter på biologisk mangfold, noe som er viktig for valg av indikator. Økologisk fotavtrykk brukes hovedsakelig som en variabel på miljøbelastning, og fanger i liten grad opp direkte tap av biologisk mangfold. Økologisk fotavtrykk måler ressursbruk, utslipp og arealbruk, men kartlegger ikke direkte endringer i biologisk mangfold. For å fange opp slike endringer kreves mer spesifikke variabler knyttet til biologisk mangfold, som tydeligere viser effekten av arealinngrep, fragmentering og skader på økosystemer. Ved å justere økologisk fotavtrykk til miljøfotavtrykk, ved å fjerne karbonkomponenten fremheves effekten av arealbruk, som er en viktig driver for påvirkning av biologisk mangfold. Dette skulle vise hvordan utbyggelse av fornybar energi kan føre til skade, uten at denne effekten kommer i skyggen av reduksjonen i karbonutslipp. Justeringen til miljøfotavtrykk er et steg i riktig retning for å isolere effekten på biologisk mangfold, men har fremdeles begrensninger som indikator.

En sentral utfordring med miljøfotavtrykk er manglende evne til å fange opp langtidseffekter av arealinngrep og habitatødeleggelse på biologisk mangfold. Arealinngrep og ødeleggelse av leveområder fører ikke nødvendigvis til umiddelbart tap av biologisk mangfold. Konsekvensene kan være forsinket, og det kan ta lang tid før man ser de reelle effektene. Selv om et område fragmenteres eller forringes, kan arter fortsette å eksistere midlertidig, men over tid fører mindre leveområder, økt isolasjon og dårligere habitatkvalitet til svekkede økosystemer og tap av arter. Arealinngrep som utbygging av fornybar energi har ofte forsinkede effekter på biologisk mangfold. Tap av arter og svekkelse av biologisk mangfold kan oppstå lenge etter at inngrepene ble gjort.

Bruken av miljøfotavtrykk er justert økologisk fotavtrykk, noe som kan være et problem ettersom det bygger på en indikator som alt er kritisert for å være en misvisende indikator. Mye av kritikken er rettet mot karbonkomponenten i økologisk fotavtrykk. Blant annet baserer kritikken seg på at økologisk fotavtrykk sin karbondel tar utgangspunkt i et hypotetiske areal som i teorien trengs for å ta opp andelen karbon og ikke på et reelt areal som faktisk blir brukt. Ettersom denne komponenten blir tatt ut i miljøfotavtrykk er et annet argument at store deler av økologisk fotavtrykk baserer seg på karbonkomponenten og at de andre fem komponentene ikke utgjør noe særlig underskudd. Svakheten her er ikke at karbonkomponenten er en så stor del, fordi det er reelt i spesielt rike land, men at når den komponenten blir tatt ut av regnestykke vil

de resterende komponentene gi et ufullstendig bilde fordi datagrunnlaget er mangelfullt. Et eksempel er når man ser på tall for dyrket mark blir data fra Food and Agriculture Organization (FAO) brukt. De viser hvor mye som produseres på jordene, men sier ikke noe om jordas tilstand etter bruk. Det betyr at man kan ha høye avling i dag, samtidig som kvaliteten på jorda gradvis blir dårligere. Over tid kan dette føre til at vi tømmer ressursene vi er avhengige av for framtidig matproduksjon (Rees & Wackernagel, 2023). Jóhannesson et al. (2020) uttrykker også i artikkelen sin kritikk rundt økologisk fotavtrykk. De forklarer at økologisk fotavtrykk er lite presist, og at de ikke gjør det tydelig nok at det er mye usikkerhet rundt tallet. De påpeker på at tallet til økologisk fotavtrykk blir presentert som absolutte og konkrete tall. Selv med kritikk til indikatoren peker de på at indikator er vellykket når det kommer til å gjøre folk bevisste på det er et stort press på naturen med menneskelig aktivitet. Det er en indikator som er lett å forstå for allmenheten som gjør det mulig for flere å se konsekvensen av menneskelig aktivitet. Den fremhever overforbruk av naturressurser, men fanger ikke direkte opp påvirkning på biologisk mangfold.

Det er et potensial for å utvikle bedre indikatorer gjennom justeringer av eksisterende indikatorer. Økologisk fotavtrykk er en enkel og forståelig indikator, men som likevel har mangler og fått en del kritikk. Ettersom kritikken viser svakheter med økologisk fotavtrykk som indikator, kan samme kritikken også videreføres ved bruken av miljøfotavtrykk. På den andre siden vil miljøfotavtrykk ikke inkludere karbonkomponenten, som er den delen som har fått mest kritikk. Dette gjør at miljøfotavtrykk unngår noe av usikkerheten knyttet til økologisk fotavtrykk. Miljøfotavtrykk er likevel begrenset som en helhetlig indikator på biologisk mangfold på bakgrunn av kritikk rundt dataen som blir brukt i indikatoren.

5.4 Hvordan samsvarer våre resultater for økologisk fotavtrykk og miljøfotavtrykk med forventningene basert på tidligere studier og virkelige forhold?

Vi hadde en viss teori om hvordan effekten av enkelte variabler kom til å bli i resultatet vårt, mens andre variabler var mer usikre. Dette er fordi de har vist seg mer uforutsigbare i tidligere forskning. Her var vi generelt sett tryggere på forventningene knyttet til økologisk fotavtrykk fremfor miljøfotavtrykk. Dette er fordi i de artiklene vi har sett på gjennom litteraturstudien

bruker alle økologisk fotavtrykk, eller CO₂ utslipp, til avhengig variabel. Vi har ikke funnet noen andre analyser som bruker miljøfotavtrykk, og ønsket selv å utforske dette mulighetsrommet. Det blir dermed vanskeligere å kunne sammenligne analysen med miljøfotavtrykk med de fra litteraturstudien. Vi velger likevel å se på hvordan begge våre analyser, med både miljøfotavtrykk og økologisk fotavtrykk, kan sammenlignes med tidligere studier.

Resultatene våre fra BNP og fornybar energi stemmer godt med funn fra tidligere studier, da de viser til at både fornybar energi og BNP har en statistisk signifikant effekt på de avhengige variablene våre. For miljøfotavtrykk er det kun BNP som har en signifikant effekt, mens for økologisk fotavtrykk er både BNP og fornybar energi signifikante. Dette stemmer overens med funnene i litteraturen vi har gjennomgått, hvor begge disse variablene har vist seg å være viktige faktorer når det kommer til miljøpåvirkning. Den negative påvirkningen av BNP og den positive påvirkningen av fornybar energi reflekterer funnene fra artiklene vi har gjennomgått, selv om størrelsen på effektene kan variere mellom analyser. Disse resultatene var altså i samsvar med hva vi forventet, og stemmer overens med tidligere funn.

Noen studier viser varierende funn, noe som understreker betydningen av metodiske valg. Dette ser vi blant annet i studien av Ahmed et al. (2021), hvor det gjennomføres analyser med både symmetrisk og asymmetrisk autoregressive distributed lag (ARDL) modell. Her finner de at BNP ha en forsterkende effekt på økologisk fotavtrykk i analysen med symmetrisk ARDL, mens effekten blir reduserende ved bruk av en usymmetrisk ARDL. Dette viser til hvordan metodiske valg kan ha stor påvirkning på resultatene. Videre fant Ulucak et al. (2020) at fornybar energi reduserer både økologisk fotavtrykk og karbonfotavtrykk, men ikke har en signifikant effekt på CO₂-utslipp. Dette er en interessant effekt, ettersom karbon er en viktig del av alle tre avhengige variablene. Vi har dessuten sett i vår analyse at for våre variabler er det karbondelen som har mest å si, da det å ta vekk denne fører til mindre signifikante resultater. Dette understreker betydningen av valg av variabler, ettersom dette er det eneste som endrer seg for analysene. Her kan det være forskjeller på hvordan de ulike variablene fanger opp dette, som fører til ulike resultat. Tilsvarende variasjoner finner man i studien av Pata (2021), som finner at fornybar energi vil ha en positiv miljøeffekt i Kina og Brasil, mens de ikke fant statistisk signifikante effekter i Russland og India. Slike variasjoner kan skyldes forskjeller i nasjonale forhold, metodiske forskjeller, eller varierende datakvalitet mellom land. Utenom disse resultatene vil alle

artiklene vi har brukt oppnå et negativt estimat på fornybar energi, og et positivt estimat på BNP. Det at noen har fått resultat som varierer litt fra dette, viser til effekten av metodiske valg.

Landbruk ga et uventet resultat, da det var den eneste variabelen som ikke hadde signifikans i analysen uten robuste standardfeil for økologisk fotavtrykk. Det er et uventet resultat ettersom landbrukssektoren har en kjent effekt på miljøet. Av artiklene vi har gått gjennom er det bare en av dem som inkluderer landbruk i analysen, og det er artikkelen av Pata (2021). Her er resultatet at landbruk bidrar til større økologisk fotavtrykk og mer CO₂ utslipp i alle landene som inkluderes. Det at vi da ikke har fått et signifikant resultat kan skyldes ulike grunner. En mulig forklaring kan være at det har vært et problem med datakvaliteten eller at de spesifikke forholdene i vårt datasett ikke har fanget opp den effekten vi forventet. Ettersom resultatet ikke ble signifikant kan vi altså ikke si med sikkerhet om effekten er null, eller om det bare er et resultat av databehandlinger. Slik usikkerhet understreker utfordringene med databehandling og den potensielle innvirkningen av variabelutvalg på resultatene.

Variablene naturressursrente (NRR) og urbanisering var mer usikre variabler, da de har gitt varierende resultat i tidligere studier. Dette gjelder både for resultatene til de artiklene vi har gjennomgått og de litteraturstudiene de selv har gjennomført. Studier som har undersøkt sammenhengen mellom NRR og økologisk fotavtrykk får varierende svar, og Huang et al. (2023) finner at det er liten enighet om renten har en positiv eller negativ påvirkning på miljøet. I artikkelen av Chen et al. (2023) trekker de i deres litteraturstudie frem en analyse hvor det tas utgangspunkt i BRICS land med en advanced metallurgical group (AMG) tilnærming. Denne viser til at NRR vil ha en negativ effekt på det økologiske fotavtrykket i Sør-Afrika, mens det hadde en mild positiv effekt i Russland. Tilsvarende vil urbaniseringseffekten også variere mellom ulike studier. Tidligere studier har fått både positive og negative effekter i resultatet av analysen. I studier som har tatt for seg et mindre utvalg av land, og dermed analysert resultatene av hvert land, er det funnet ulik påvirkning på de forskjellige landene (Danish et al., 2020). Der urbanisering har negativ effekt på det økologiske fotavtrykket anses det at bedre retningslinjer innen arealplanlegging av byene kan minske det negative effektene av urbanisering (Al-Mulali & Ozturk, 2015). Disse resultatene viser til at effekten av både urbanisering og NRR er sterkt kontekstavhengige, og dermed vanskeligere å generalisere på tvers av land. Det er derfor viktig å

vurdere lokale forhold når man analyserer hvordan urbanisering og NRR påvirker miljøet. Dette er noe som kan ha hatt effekt for vår analyse, ettersom vi inkluderte et bredt utvalg av land.

Vi inkluderte Gini-koeffesienten basert på egne teorier, men manglet tidligere forskning å sammenligne våre resultater med. Som nevnt tidligere i metode er det flere teorier rundt økonomisk likhet og dens påvirkning på miljø. Det finnes ulike argumenter for og imot hvorvidt økonomisk likhet eller ulikhet er best for miljøet. Ved økt likhet vil det være naturlig at flere mennesker får muligheten til å benytte seg av naturressurser ved økt forbruk. Mer økonomisk likhet øker kjøpekraften som bidrar til en sterkere bruk-og-kast-mentalitet, der det blir vanligere å erstatte brukbare varer med nye. Dette senker terskelen for forbruk og fører til økt produksjon av varer og tjenester, noe som igjen legger større press på jordens naturressurser. Dette støtter teorien om at ulikhet er det beste for klimaet (Brandslet, 2025). Wilkinson og Pickett (2010) påpeker i boken at likhet også kan være løsningen ved at man sammen som et samfunn kan jobbe for klimatiltak, der man unngår et samfunn hvor det ikke lengre er konkurranse om å ha det nyeste eller det beste, men at alle har likt. Oppsummert viser dette at forholdet mellom økonomisk likhet og miljøpåvirkning er komplekst, der både likhet og ulikhet kan ha motstridende effekter på miljøet. Ettersom resultatet vårt ikke ble statistisk signifikant får vi heller ikke et resultat som kan brukes til tolkning, og vi kan derfor ikke trekke noen konkrete konklusjoner om dens effekt på økologisk fotavtrykk eller miljøfotavtrykk.

Hva forklarer eventuelle ulikheter mellom våre resultater og eksisterende forskning på temaet?

Valg av land som inkluderes i analysen kan påvirke resultatet i betydelig grad, og dermed også forklare noen av avvikene mellom vår studie og artiklene vi har lest. I arbeidet med vår kunnskapsstatus har vi samlet inn 14 tidligere studier med lignende statistisk tilnærming som oss. Disse analysene varierer i utvalg av land, tidsspenn, variabler og valg av modell. Her er det noen som har tatt utgangspunkt i en mindre gruppe land, slik som BRICS landene, mens andre har gått for større grupper. Vårt valg om å inkludere et større utvalg land kan også ha innvirkning på forskjellene i vårt resultat og de andre artiklene. Dette vil gi oss flere datapunkter for å estimere koeffisientene. Det er noe som potensielt kan gi mer robuste resultat, og gjøre det lettere å påvise sammenhenger mellom uavhengig- og avhengig variabel. Samtidig kan flere land også føre til mer variasjon, spesielt dersom dataene varierer sterk mellom land, spesielt om det er betydelige

økonomiske, geografiske eller energi relaterte forskjeller mellom landene. Denne økte variasjonen kan gjøre det vanskeligere å oppnå presise estimater, og koeffisientene kan bli mindre stabile enn i studier med likere land. Altså vil vårt valg om å inkludere et større utvalg av land kunne føre til både fordeler og utfordringer i analysen, som kan bidra til å forklare deler av forskjellene mellom våre resultat og tidligere studier.

Våre resultater viste seg å være følsomme for metodiske valg knyttet til håndtering av autokorrelasjon og heteroskedastisitet. Gjennom arbeidet med vår analyse har vi gjennomført flere statistiske tester for å sjekke kvaliteten av modellen vår. Dette førte til at vi måtte inkludere robuste standardfeil i analysen, for å korrigere for autokorrelasjon og heteroskedastisitet. Å ta høyde for dette hadde stor effekt på resultatene våre, da de fleste signifikante verdiene mistet sin signifikans etter denne korrigeringen. Dette var likevel den metoden som var best egnet for vår modell, og var nødvendig for å gi oss et resultat vi kunne stole på. Dette viser til at manglende korreksjon for slike forhold kan gi et feilaktig bilde av hvordan uavhengige variabler påvirker avhengig variabel. Vi ser at flere av artiklene fra litteraturstudien har benyttet modeller som FMOLS, DOLS, CS-ARDL og GMM. Disse modellen skal i teorien korrigere for utfordringer som endogenitet, autokorrelasjon og heteroskedastisitet. Dette er noe Ansari et al. (2021) trekker frem i deres artikkel, at deres valg av å bruke en FMOLS modell vil eliminere endogenitet og autokorrelasjon, men denne effekten nevnes sjelden i de andre artiklene. I noen tilfeller utføres det også tester for å bekrefte at slike problemer er håndtert korrekt, da det ikke er gitt selv ved bruk av slike modeller. Her bruker blant annet Al-mulali et al. (2015) en White-test mens Nathaniel et al. (2021) gjennomfører en Breusch-Pagan test til å teste for heteroskedastisitet. Til tross for disse eksemplene er det fortsatt variasjon i hvor systematisk slike diagnostiske tester rapporteres. Det er flere studier som ikke nevner om slike tester er gjennomført, og hvordan disse eventuelt påvirker resultatene. Dette gjør det vanskelig å vurdere robustheten i tidligere funn, og gjør sammenlignbarhet på tvers av studier vanskeligere. I tillegg nevner Al-mulali et al. (2015) i deres studie at fixed effects modellen er mer sensitiv for problemer med autokorrelasjon og heterogenitet, men som kan korrigeres med bruk av robuste standardfeil. I artikkelen av Aşıcı og Acar (2016) brukes også en fixed effects modell, men her nevnes det ikke noe om bruk av robuste standardfeil, eller tester for å sjekke om dette er nødvendig. Mangel på rapportering rundt metodiske justeringer i litteraturen gjør det krevende å vurdere i hvilken grad modellfeilforutsetninger er brutt, og hvilken effekt dette har hatt på resultatene. Dermed kan

metodiske korrigeringer være en viktig årsak til ulikhet fra tidligere studier, og fremhever behovet for mer transparens rundt metodiske valg i litteraturen.

Noe annet som er verdt å notere seg for tolkningen av resultatene er bruken av naturlig logaritme i analysene. Log-transformering av variabler kan brukes for å håndtere skjevhet og unngå ekstremverdier i dataene. Å bruke dette vil også endre på måten man tolker resultatene på, fra absolutte endringer til prosentvise endringer. Vi valgte å bruke log-transformasjon på de variablene som ikke er oppgitt i prosentvis skala, som i vårt tilfelle ble økologisk fotavtrykk, miljøfotavtrykk og BNP. Dette resulterer i en mer konsistent tolkning av resultatene våre, da alle kan tolkes som prosentvis endring. Studiene vi har gjennomgått varierer betydelig i sin bruk av log-transformasjoner, hvor noen studier log-transformerer alle variabler, noen ingen, og andre kun et utvalg. Dette kan gjøre direkte sammenligninger mellom studiene utfordrende, da en økning på ett prosent kan skille seg vesentlig fra en økning på en enhet. Enkelte studier log-transformerer også prosentvise variabler, noe som fører til at resultatene må tolkes som endring i prosentpoeng. Denne varierende praksisen gir flere ulike tolkninger av resultater i litteraturen, noe som igjen gjør sammenligninger komplekse og krevende.

Samlet sett har våre resultater både likheter og ulikheter sammenlignet med tidligere studier. Våre funn samsvarer med litteraturen når det kommer til effekten av BNP og fornybar energi. Her har vi også møtt på mer uventede resultat når det kommer til landbruk, og ikke signifikante resultat på resten av de uavhengige variablene. Dette er noe som fremhever hvordan metodiske valg, valg av variabler, og forskjeller i datasett kan ha stor innvirkning på det endelige resultatet. Vårt valg av et bredere utvalg av land, robuste standardfeil og valg av modell er avgjørende faktorer som kan ha bidratt til at våre resultater skiller seg fra eksisterende studier. Dessuten vil metodiske valg som ikke er klart dokumentert i tidligere forskning gjøre det utfordrende å gjennomføre direkte sammenligninger. Det er også mulig at vår modell ikke fullt ut fanger opp alle relevante variabler som påvirker økologisk fotavtrykk og miljøfotavtrykk, eller at spesifikke forhold i vårt datasett kan ha påvirket resultatene.

Oppsummering av forskningsspørsmålene

Vi har sett på hvordan fornybar energi påvirker biologisk mangfold, og i sammenheng med dette undersøkt om miljøfotavtrykk kan brukes som en indikator for denne interaksjonen. Samspillet mellom fornybar energi og biologisk mangfold er komplekst, da det på lokalt nivå kan føre til

skade på natur i forbindelse med utbygging, mens på større skala kan ha positive effekter gjennom lavere utslipp.

I oppgaven fant vi at både fornybar energi og økonomisk vekst har en tydelig påvirkning på miljøet, noe som stemmer godt overens med tidligere forskning. Vi fant også at BNP har en tydelig påvirkning på biologisk mangfold, men klarte ikke å påvise en påvirkning av fornybar energi. For de andre variablene påviste resultatene våre ikke en tydelig påvirkning på hverken miljø eller biologisk mangfold. En viktig grunn til dette er at resultatene var følsomme for hvilken metode som ble brukt, og databehandlingsprosessen. Vi merket også at flere tidligere studier ikke forklarer metodene sine i detalj, noe som gjør det vanskelig å sammenligne resultatene direkte. Dette viser til at valg av modell, datagrunnlag og hvordan man håndterer feil og usikkerhet kan ha stor betydning. For å bedre kunne forstå sammenhengen mellom fornybar energi og biologisk mangfold på en større skala trengs det mer forskning, bedre indikatorer og tydeligere metodisk rapportering.

5.5 Resultatvurdering og forbedringsmuligheter

Som nevnt tidligere i metoddelen oppsto det utfordringer knyttet til heteroskedastisitet og autokorrelasjon i modellen. For å kunne stole på resultatene benyttet vi robuste standardfeil, noe som løste disse problemene. En konsekvens av dette var imidlertid høyere p-verdier, noe som førte til at færre variabler ble statistisk signifikante. Grunnet oppgavens tidsramme har vi ikke hatt anledning til å forbedre modellspesifikasjoner ytterligere, dersom vi hadde hatt mulighet ville vi forsøkt å gjøre to vesentlige endringer for å teste om resultatene kunne blitt mer robuste og signifikante. For det første ville vi testet alternative estimeringsmetoder for å vurdere robustheten i resultatene. For det andre ville vi forbedret spesifikasjonen av de uavhengige variablene, enten ved å inkludere flere relevante kontrollvariabler eller ved å benytte bedre mål på de eksisterende variablene.

Vi benyttet OLS (Ordinary Least Squares) som hovedestimeringsmetode i analysen. Dersom vi hadde hatt mer tid, kunne vi ønsket å prøve ut en Two-Stage Least Squares (2SLS)-modell som et alternativ. Selv om det ikke er gitt at 2SLS ville ha gitt bedre resultater, kunne det vært en annen måte å løse problemene på, og kanskje gjort analysen med solid.

En annen løsning vi kunne prøvd er å gjøre endringer i de uavhengige variablene ved å ha en ny kombinasjon med variabler, slik at det hadde gitt oss mer signifikante resultat. Ved å endre på variablene kunne vi fått en kombinasjon som enda bedre forklarte sammenhengen mellom de uavhengige variablene og de avhenge variablene. Det kan innebære både å legge til nye variabler og å fjerne noen av dem som allerede er inkludert i modellen.

5.6 Videre forskning

Vi vil i dette delkapittelet diskutere ulike metoder og tilnærminger vi ville utnyttet om vi hadde hatt tid, og hva som eventuelt kan gjøres videre i fremtidig forskning. Dette er basert på den kunnskapen vi har oppnådd gjennom arbeidet med denne oppgaven.

Indikator for biologisk mangfold

Å måle biologisk mangfold er en kompleks utfordring, og det finnes foreløpig ingen enkelt indikator som på en tilfredsstillende måte fanger opp påvirkning på biologisk mangfold. Når man ser på økologisk fotavtrykk, vil en endring i hver av delene ha en effekt på biologisk mangfold. For eksempel kan en økning i beiteareal føre til større press på naturlige habitater og dermed gi negativ påvirkning på biologisk mangfold. Det samme gjelder dersom man har en endring i skogbruk, avhengig av hvordan skogen forvaltes og hva slags tiltak som gjennomføres, kan påvirkningen være både positiv og negativ. Denne effekten blir ikke plukket opp når man bruker økologisk fotavtrykk som indikator.

I begynnelsen av oppgaven vurderte vi hvilken indikator vi ønsket å bruke. Vi endte opp med å bruke økologisk fotavtrykk som avhengig variabel ettersom det var mye tilgjengelig data og den var enkel å tolke. Grunnet tidsrommet til oppgaven var det ikke mulighet til å samle inn og teste ut andre indikatorer som rødlistearter eller biodiversity Intactness Index (BII) for å prøve å isolere effekten av fornybar energi på biologisk mangfold tydeligere. Det er lite litteratur på de øvrige indikatorene er brukt som indikator, noe som var en faktor i valget vårt. Hver indikator har både fordeler og begrensninger når det gjelder å måle biologisk mangfold.

Rødliste arter fremmer sårbare arter som kan ha store konsekvenser av utbygging av fornybar energi eller andre arealendringer. Ved å bruke rødlistearter som indikator, retter man fokus mer

direkte mot hvordan biologisk mangfold påvirkes. Dette gir en mer konkret og målrettet tilnærming til å vurdere konsekvenser for naturen, sammenlignet med bredere indikatorer som beskriver mer generelle miljøbelastninger. Rødlistet arter er en viktig del av biologisk mangfold, men har sine svakheter. Dersom man bare ser på rødlistet arter overser man det bredere mangfoldet av arter som også påvirkes av endringer og arealinngrep, men som ikke nødvendigvis er klassifisert som sårbare. Dette kan gi et skjevt bilde av utfallet, siden man kun ser på de mest utsatt artene og ikke alle artene som blir påvirket.

En annen indikator vi vurderte å bruke var BII. Indeksen handler om hvor mye av et områdes naturlige biologiske mangfold som i gjennomsnitt fortsatt er intakt. Den bygger på data om forekomster av planter, sopp og dyr fra hele verden, og viser hvordan biologisk mangfold endres som følge av menneskelige aktiviteter og påvirkninger. Indikatoren kan spesielt være nyttig for å se effekten av arealbruksendringer (Natural History Museum, u.å). Denne indikatoren kunne vært godt egnet i vår oppgave, ettersom BII gir et mer helhetlig bilde av biologisk mangfold. I motsetning til indikatorer som fokuserer på enkeltarter, ser indikatoren på flere arter samtidig. Vi ønsket å gjennomføre en analyse over flere år, men siden BII ikke har oppdatert data etter 2014, var ikke denne indikatoren tilstrekkelig for formålet med vår oppgave. Når det er mer oppdatert og tilgjengelig data, vil denne indeksen være et godt utgangspunkt som indikator for biologisk mangfold.

Som nevnt tidligere er biologisk mangfold et svært komplekst tema. Det finnes flere mulige indikatorer som kan tas i bruk, men som trenger justering og tilrettelegging for å kunne måle tap av biologisk mangfold. For å forstå både omfanget av påvirkningen og hva den faktisk fører til, kan det være nødvendig å kombinere flere ulike indikatorer som utfyller hverandre.

6. Konklusjon

Formålet med oppgaven var å få mer kunnskap om hvordan fornybar energi påvirket biologisk mangfold. Gjennom litteraturstudiet fant vi en mangel på artikler som tok for seg forholdet mellom fornybar energi og biologisk mangfold på større skala. Å fange opp dette forholdet er utfordrende, blant annet på grunn av mangel på en indikator som direkte måler hvordan biologisk mangfold påvirkes. For å kunne utforske dette videre måtte vi derfor velge en variabel som kunne brukes som indikator på biologisk mangfold. Måten vi gjorde dette var å ta utgangspunkt i økologisk fotavtrykk, men gjorde justeringer for å prøve å plukke opp effekten på biologisk mangfold. Her tok vi karbonkomponenten ut av regnestykket, og satt igjen med arealpåvirkningen i fotavtrykket: miljøfotavtrykket. Derfor ble problemstillingen til oppgaven vår:

Hvordan påvirker omfanget av fornybar energi biologisk mangfold, og kan miljøfotavtrykk benyttes som en indikator for denne interaksjonen?

På bakgrunn av forskningsspørsmålene vi har diskutert i diskusjonsdelen og resultatene fra analysene har vi nok grunnlag til å kommentere på dette. Første del av problemstillingen er: ***Hvordan påvirker omfanget av fornybar energi biologisk mangfold?*** Vi kan med utgangspunkt i vår analyse med miljøfotavtrykk ikke si noe med sikkerhet om hvordan dette forholdet utspiller seg, ettersom vi ikke fikk signifikante resultater. Når karbonaspektet av det økologiske fotavtrykket inkluderes i analysen klarer vi å påvise at fornybar energi vil ha en positiv miljøpåvirkning, med signifikante resultater. Det er når denne deles tas ut av regnestykket at vi ikke lenger kan si med sikkerhet om fornybar energi vil ha en effekt på det resterende fotavtrykket. Vi vet at fornybar energi vil ha en negativ påvirkning på biologisk mangfold på prosjektnivå, men her undersøkes det påvirkning på større skala. Dette er mer komplekst, da den positive verdien av fornybar energi for naturen også kan ha påvirkning på resultatet. Ettersom dette forholdet er mer komplekst, kan det bli vanskeligere å fastslå en effekt på aggregert landsnivå. Dette kan skyldes flere grunner, som at variabelen er lite egnet, eller at effekten av fornybar energi blir overskygget av andre forhold. Uansett grunn får vi ikke et kvantitativt resultat som fastslår hvordan fornybar energi påvirker biologisk mangfold på større skala.

Andre del av problemstillingen tar for seg: ***kan miljøfotavtrykk benyttes som en indikator for denne interaksjonen?*** I vårt tilfelle, nei. Vi fikk ikke selv resultat som var gode nok til å indikere at dette er en indikator som godt fanger opp interaksjonen mellom fornybar energi og biologisk mangfold. Vi vet ikke om dette resultatet skyldes mangler i egen analyse eller at miljøfotavtrykk ikke fungerer som indikator. Uansett vil det å kunne bruke miljøfotavtrykk som indikator på biologisk mangfold kreve videre arbeid og flere analyser. Dersom videre forskning klarer å oppnå signifikante resultat er vi ikke sikre på om denne indikatoren alene vil være nok til å fange opp kompleksiteten rundt biologisk mangfold, eller om det trengs flere indikatorer som sammen kan si noe om dette.

7. Referanser

- Adebayo, T. S., Aga, M. & Kartal, M. T. (2023). Analyzing the co-movement between CO₂ emissions and disaggregated nonrenewable and renewable energy consumption in BRICS: evidence through the lens of wavelet coherence. *Environ Sci Pollut Res Int*, 30(13), 38921-38938. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-24707-w>
- Ahmad, M., Jiang, P., Majeed, A., Umar, M., Khan, Z. & Muhammad, S. (2020). The dynamic impact of natural resources, technological innovations and economic growth on ecological footprint: An advanced panel data estimation. *Resources Policy*, 69. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101817>
- Ahmed, Z., Zhang, B. & Cary, M. (2021). Linking economic globalization, economic growth, financial development, and ecological footprint: Evidence from symmetric and asymmetric ARDL. *Ecological Indicators*, 121. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107060>
- Al-Mulali, U. & Ozturk, I. (2015). The effect of energy consumption, urbanization, trade openness, industrial output, and the political stability on the environmental degradation in the MENA (Middle East and North African) region. *Energy*, 84, 382-389. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.03.004>
- Al-mulali, U., Weng-Wai, C., Sheau-Ting, L. & Mohammed, A. H. (2015). Investigating the environmental Kuznets curve (EKC) hypothesis by utilizing the ecological footprint as an indicator of environmental degradation. *Ecological Indicators*, 48, 315-323. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.08.029>
- Ansari, M. A., Haider, S. & Masood, T. (2021). Do renewable energy and globalization enhance ecological footprint: an analysis of top renewable energy countries? *Environmental Science and Pollution Research*, 28(6), 6719-6732. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10786-0>
- Barbier, E. B. & Burgess, J. C. (2017). The Sustainable Development Goals and the systems approach to sustainability. *Economics: The Open-Access, Open-Assessment E-Journal*, 11, 1-22. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.5018/economics-ejournal.ja.2017-28>
- Bjørnnes, A. K. & Gjevjon, E. R. (2019). Kvalitet i kvantitativ metode – et innblikk. <https://sykepleien.no/forskning/2019/09/kvalitet-i-kvantitativ-metode-et-innblikk>
- Brandslet, S. (2025). *Urettferdig fordeling av godene er best for klimaet*. Gemini.no. https://gemini.no/2025/03/beklager-men-urettferdig-fordeling-er-best-for-klimaet/?utm_source=RSS+Nyhetsbrev&utm_campaign=6d4338e389-RSS_CAMPAIGN_ALT&utm_medium=email&utm_term=0_de4d883975-6d4338e389-68307013
- Chen, F.-f., Wang, Q.-S., Umar, M. & Zheng, L. (2023). Towards sustainable resource management: The role of governance, natural resource rent and energy productivity. *Resources Policy*, 85. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.104026>
- Danish, Ulucak, R. & Khan, S. U.-D. (2020). Determinants of the ecological footprint: Role of renewable energy, natural resources, and urbanization. *Sustainable Cities and Society*, 54. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101996>

- Endsley, K. A. (2016). *Diagnostics for fixed effects panel models in R*.
<http://karthur.org/2016/fixed-effects-panel-models-in-r.html#>
- FN-sambandet. (2015a, 01.02.2024). *FNs bærekraftsmål*. <https://fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal>
- FN-sambandet. (2015b, 19.02.2025). *Ren energi til alle*. <https://fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal/ren-energi-til-alle>
- FN-sambandet. (2020). *Last ned grafikk*. FN.no <https://fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal/last-ned-grafikk>
- FN-sambandet. (2024a, 05.06). *Bærekraftig utvikling*. FN-sambandet.
<https://fn.no/tema/baerekraftig-utvikling-fattigdom-og-befolkning/baerekraftig-utvikling#Tidslinje:Historientilb%C3%A6rekraftigutvikling-8>
- FN-sambandet. (2024b). *Klimaendringer*. <https://fn.no/tema/klima-og-miljoe/klimaendringer>
- FN-sambandet. (2024c). *Parisavtalen*. <https://fn.no/avtaler/miljoe-og-klima/parisavtalen>
- Global Footprint Network. (u.å.). *Ecological Footprint*.
<https://www.footprintnetwork.org/our-work/ecological-footprint/>
- Global Footprint Network, York universite & foundation, F. d. (2025). *Analyze by Land Types*. Global Footprint network.
https://data.footprintnetwork.org/?_ga=2.205274640.1891021839.1747035969-315174523.1737368835#/analyzeTrends?type=EFCpc&cn=5001
- Gozzini, B., Giorgio, B. & Daniele, G. (2021). The Climate Crisis and Its Impact on the Territory,
 Economic and Social Effects. *Modern Environmental Science and Engineering*, 7, 871-881.
https://www.researchgate.net/profile/Daniele-Grifoni/publication/361249986_The_Climate_Crisis_and_Its_Impact_on_the_Territory_Economic_and_Social_Effects/links/62a61cbd6886635d5cd421c4/The-Climate-Crisis-and-Its-Impact-on-the-Territory-Economic-and-Social-Effects.pdf
- Holden, E. & Linnerud, K. (2021). *Bærekraftig utvikling : en idé om rettferdighet*. Universitetsforlaget.
- Huang, S. Z., Sadiq, M. & Chien, F. (2023). The impact of natural resource rent, financial development, and urbanization on carbon emission. *Environ Sci Pollut Res Int*, 30(15), 42753-42765. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16818-7>
- International Science Council. (2017). *A Guide to SDG Interactions: from Science to Implementation*. <https://council.science/wp-content/uploads/2017/05/SDGs-Guide-to-Interactions.pdf>
- Jakobsson, S. & Pedersen, B. r. (2020). *Naturindeks for Norge*
 2020. *Tilstand og utvikling for biologisk mangfold*. (NINA Rapport 1886). Norsk institutt for naturforskning.
https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/m1800/naturindeksfor norge2020_m1800.pdf

- Jóhannesson, S. E., Heinonen, J. & Davíðsdóttir, B. (2020). Data accuracy in Ecological Footprint's carbon footprint. *Ecological Indicators*, 111, 9. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105983>
- Kim, S. K. & Park, S. (2023). Impacts of renewable energy on climate vulnerability: A global perspective for energy transition in a climate adaptation framework. *Sci Total Environ*, 859(Pt 1), 160175. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160175>
- McCollum, D. L., Echeverri, L. G., Busch, S., Pachauri, S., Parkinson, S., Rogelj, J., Krey, V., Minx, J. C., Nilsson, M., Stevance, A.-S. & Riahi, K. (2018). Connecting the sustainable development goals by their energy inter-linkages. *Environmental Research Letters*, 13(3). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaafe3>
- Miljødirektoratet. (2021). *Økosystemtjenester*. Miljødirektoratet.
- Nathaniel, S. P., Yalçiner, K. & Bekun, F. V. (2021). Assessing the environmental sustainability corridor: Linking natural resources, renewable energy, human capital, and ecological footprint in BRICS. *Resources Policy*, 70. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101924>
- Natural History Museum. (u.å). *Biodiversity Intactness Index*. nhm.ac.uk. <https://www.nhm.ac.uk/our-science/services/data/biodiversity-intactness-index.html>
- NVE. (2022, 18.08.2022). *Direkte påvirket areal*. NVE. <https://www.nve.no/energi/energisystem/vindkraft-paa-land/arealbruk-for-vindkraftverk/direkte-paavirket-areal/>
- Ourworldindata. (2025, 24.01.2025). *Total natural resource rents*. Ourworldindata.org. <https://ourworldindata.org/grapher/natural-resource-rents>
- Pata, U. K. (2021). Linking renewable energy, globalization, agriculture, CO2 emissions and ecological footprint in BRIC countries: A sustainability perspective. *Renewable Energy*, 173, 197-208. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.03.125>
- Rees, W. E. & Wackernagel, M. (2023). Ecological footprint accounting - Thirty years and still gathering steam *Environment: Science and policy for sustainable development* 65(5), 5-18. <https://doi.org/10.1080/00139157.2023.2225405>
- Regjeringen.no. (2025). *Norges første rapportering under Parisavtalen*. Regjeringen.no <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/norges-forste-rapportering-under-parisavtalen/id3086410/>
- Ritchie, H., Rosado, P. & Roser, M. (2022, 01.11.2022). *Environmental Impacts of Food Production*. Ourworldindata.org <https://ourworldindata.org/environmental-impacts-of-food>
- Ritchie, H. & Roser, M. (2019, 16.02.2024). *Half of the world's habitable land is used for agriculture*. Ourworldindata.org. <https://ourworldindata.org/global-land-for-agriculture#article-citation>
- S. Díaz, J. Settele, E. S. Brondízio E.S., H. T. Ngo, M. G., J. Agard, A. A., P. Balvanera, , K. A. Brauman, S. H. M. Butchart, K. M. A. Chan, L. A. Garibaldi, K. Ichii, J. Liu, S. M. S., G. F. Midgley, P. Miloslavich, Z. Molnár, D. Obura, A. Pfaff, S. Polasky, A. Purvis, J. Razzaque, . . . (eds.), C. N. Z. (2019). *The global assessment report on BIODIVERSITY AND ECOSYSTEM SERVICES*. IPBES.

- Samset, B. H. (2021). *2070 - alt du lurder på om klimakrisen, og hvordan vi kan komme oss forbi den*. Cappelen damm as.
- Scoones, I. (2007). Sustainability. *Development in Practice*, 17:4-5.
<https://doi.org/10.1080/09614520701469609>
- Ulucak, R., Danish & Ozcan, B. (2020). Relationship between energy consumption and environmental sustainability in OECD countries: The role of natural resources rents. *Resources Policy*, 69. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101803>
- University of Oxford. (2024). *Expert comment: Urbanisation's role in the climate crisis is being overlooked*. University of Oxford <https://www.ox.ac.uk/news/2024-01-29-expert-comment-urbanisation-s-role-climate-crisis-being-overlooked>
- Verdenskommisjonen for miljø og utvikling. (1987). *Vår felles framtid*. Tiden Norsk Forlag.
- Wilkinson, R. & Pickett, K. (2010). *The Spirit Level - Why Equality is Better for Everyone* penguin group
- Wooldridge, J. M. (2019). *Introductory Econometrics A Modern Approach* (7. utg.). South-Western College Publishing.

8. Vedlegg

Nødvendige pakker

```
{r}
options(repos = c(CRAN = "https://cran.r-project.org/"))

install.packages("owidR")
install.packages("tidyverse")
install.packages("here")
install.packages("dplyr")
library(dplyr)
install.packages("tidyr")
library(tidyr)
install.packages("jsonlite")
library(jsonlite)
install.packages("httr")
library(httr)
install.packages("plm")
library(plm)
install.packages("lmtest")
library(lmtest)
install.packages("ggplot2")
library(ggplot2)
install.packages("visdat")
library(visdat)
install.packages("readxl")
library(readxl)
install.packages("plm")
install.packages("tseries")
install.packages("urca")
install.packages("lfe")
```

Regresjonsanalyse

Teste hvilken modell som skal brukes med Hausman test

```
{r}
library(plm)

# Fixed Effects (within)
fe_model <- plm(evf ~ REP + URB + gdp + NRR + GINI + AGR, data = panel_data, model
= "within")

# Random Effects
re_model <- plm(evf ~ REP + URB + gdp + NRR + GINI + AGR, data = panel_data, model
= "random")

# Hausman-test
hausman_test <- phptest(fe_model, re_model)

# Vis resultatet
print(hausman_test)
#Får lav p-verdi og skal dermed bruke fixed effects
```

Hausman Test

```
data:  evf ~ REP + URB + gdp + NRR + GINI + AGR
chisq = 81.48, df = 6, p-value = 1.767e-15
alternative hypothesis: one model is inconsistent
```

Teste for endogenitet AGR

```
{r}
#nødvendig pakke (flytte opp etterhvert)
install.packages("AER")      # Om du ikke allerede har den
library(AER)
#Sette opp en IV regresjon så kjøre en Durbin-Wu-Hausman test for AGR
#Prøve med lag
library(AER)
library(dplyr)

# Først: lag en lagget versjon av GDP og AGR
panel_data_test <- panel_data %>%
  group_by(Entity) %>%
  arrange(Year) %>%
  mutate(
    GDP_lag = lag(gdp, 1),
    AGR_lag = lag(AGR, 1)
  ) %>%
  ungroup()
# Sjekk at det er nok data igjen etter lagging
summary(panel_data_test$GDP_lag)
summary(panel_data_test$AGR_lag)
#128 NA per, som tyder på en hvert land som er normalt da en observasjon per land
forsvinner med første lagg
#AGR
library(AER)
iv_agr <- ivreg(evf ~ REP + URB + gdp + NRR + GINI + AGR |
  REP + URB + gdp + NRR + GINI + AGR_lag,
  data = panel_data_test)

ols_agr <- lm(evf ~ REP + URB + gdp + NRR + GINI + AGR, data = panel_data_test)
hausman_test_agr <- hausman_test(iv_agr, ols_agr)
hausman_test_agr
#P verdi høy, da er AGR eksogen, og ikke tegn til endogenitet
```

```
Error in install.packages : Updating loaded packages
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
 6.568  8.287   9.347   9.255 10.161  11.853
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
 0.2935  4.3770 11.4198 15.9658 23.4410 64.1469
$statistic
[1] -7.944361e-12

$p.value
[1] 1

$df
[1] 7
```

Teste for endogenitet GDP

```
{r}  
#IV regresjon  
iv_gdp <- ivreg(evf ~ REP + URB + AGR + NRR + GINI + gdp |  
               REP + URB + AGR + NRR + GINI + GDP_lag,  
               data = panel_data_test)  
  
#OLS modell  
ols_gdp <- lm(evf ~ REP + URB + AGR + NRR + GINI + gdp, data = panel_data_test)  
  
#Hausman test for sammenligning  
hausman_test_gdp <- hausman_test(iv_gdp, ols_gdp)  
hausman_test_gdp  
  
#GDP er også eksogen, ikke endogen
```

```
$statistic  
[1] 1.618345e-12  
  
$p.value  
[1] 1  
  
$df  
[1] 7
```

Teste for heteroskedastisitet

```
{r}  
#Breusch-pagan test for fe1m modell |  
resid <- residuals(model_lfe)  
fitted <- fitted.values(model_lfe)  
lmtest::bptest(resid ~ fitted + I(fitted^2))  
  
#Lav p-verdi viser til heteroskedastisitet
```

```
studentized Breusch-Pagan test  
  
data: resid ~ fitted + I(fitted^2)  
BP = 107.58, df = 2, p-value < 2.2e-16
```

Test for autokorrelasjon (med plm-pakken)

```
{r}  
# Autokorrelasjonstest (Breusch-Godfrey)  
bg_test <- pbgttest(model_fe)  
summary(bg_test)  
bg_test_result <- pbgttest(model_fe)  
bg_test_result$p.value  
  
#Lav p-verdi indikerer tegn til autokorrelasjon
```

	Length	Class	Mode
statistic	1	-none-	numeric
parameter	1	-none-	numeric
method	1	-none-	character
p.value	1	-none-	numeric
data.name	1	-none-	character
coefficients	22	-none-	numeric
vcov	484	-none-	numeric
alternative	1	-none-	character

[1] 3.760916e-163

Sjekke for multikollinearitet

```
{r}  
#Først lage ny lm modell  
lm_model <- lm(evf ~ REP + URB + gdp + NRR + GINI + AGR, data = panel_data)  
  
# Husk å laste inn pakken først  
library(car)  
  
# Beregn VIF  
vif_values <- vif(lm_model)  
print(vif_values)  
  
#Ingen verdier over ti, ikke tegn til multikollinearitet
```

REP	URB	gdp	NRR	GINI	AGR
1.117436	2.585201	3.032653	1.228141	1.244887	1.168817

Kjøre modell med robuste standardfeil inkludert

```
{r}  
# Kjører modellen med clustered (robuste) standardfeil per land  
library(lfe)  
model_lfe_cluster <- felm(evf ~ REP + URB + gdp + GINI + AGR + NRR | Entity + Year,  
                          data = panel_data,  
                          cluster = "Entity")  
  
summary(model_lfe_cluster)
```

```
Call:
  feIm(formula = evf ~ REP + URB + gdp + GINI + AGR + NRR | Entity +      Year,
data = panel_data, cluster = "Entity")

Residuals:
      Min       1Q   Median       3Q      Max
-1.93694 -0.06704 -0.00109  0.07257  1.15175

Coefficients:
      Estimate Cluster s.e. t value Pr(>|t|)
REP  -0.0044137    0.0033661  -1.311    0.192
URB  -0.0017948    0.0047852  -0.375    0.708
gdp   0.3107258    0.0579462   5.362 3.56e-07 ***
GINI  -0.2116891    0.4204530  -0.503    0.615
AGR  -0.0018226    0.0042492  -0.429    0.669
NRR  -0.0003915    0.0014878  -0.263    0.793
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.1873 on 2629 degrees of freedom
(5 observations deleted due to missingness)
Multiple R-squared(full model): 0.9211 Adjusted R-squared: 0.9164
Multiple R-squared(proj model): 0.05475 Adjusted R-squared: -0.002061
F-statistic(full model, *iid*):194.3 on 158 and 2629 DF, p-value: < 2.2e-16
F-statistic(proj model): 8.139 on 6 and 132 DF, p-value: 1.711e-07
```

Kjøre ny modell med komplett økologisk fotavtrykk

Korrigere med robuste standardfeil

```
{r}
#Økologisk fotavtrykk får samme testresultat som miljøfotavtrykk (med ulike verdier
), men må da også bruke robuste standardfeil her
# Kjør modellen med clustered (robuste) standardfeil per land
library(lfe)
model_lfe_cluster2 <- feIm(ef ~ REP + URB + gdp + GINI + AGR + NRR | Entity + Year,

                           data = panel_data,
                           cluster = "Entity")

summary(model_lfe_cluster2)
```

```
Call:
  feIm(formula = ef ~ REP + URB + gdp + GINI + AGR + NRR | Entity +      Year,
data = panel_data, cluster = "Entity")

Residuals:
      Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.98833 -0.05947  0.00196  0.06023  1.08204

Coefficients:
      Estimate Cluster s.e. t value Pr(>|t|)
REP  -0.0081469    0.0027174  -2.998  0.00325 **
URB   0.0042703    0.0042144   1.013  0.31280
gdp   0.3802688    0.0569990   6.672 6.34e-10 ***
GINI  -0.4340031    0.3526862  -1.231  0.22067
AGR   0.0004216    0.0031071   0.136  0.89226
NRR  -0.0016640    0.0017280  -0.963  0.33731
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.1408 on 2629 degrees of freedom
(5 observations deleted due to missingness)
Multiple R-squared(full model): 0.9681 Adjusted R-squared: 0.9662
Multiple R-squared(proj model): 0.1644 Adjusted R-squared: 0.1142
F-statistic(full model, *iid*):504.8 on 158 and 2629 DF, p-value: < 2.2e-16
F-statistic(proj model): 13.31 on 6 and 132 DF, p-value: 9.371e-12
```



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelege universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway