

Miljøkonsekvenser knyttet til småskala fornybar kraftforsyning

En litteraturstudie

Bård G. Stokke
Roel May
Kjetil Bevanger
Torgeir Nygård

NINAs publikasjoner

NINA Rapport

Dette er en elektronisk serie fra 2005 som erstatter de tidligere seriene NINA Fagrapport, NINA Oppdragsmelding og NINA Project Report. Normalt er dette NINAs rapportering til oppdragsgiver etter gjennomført forsknings-, overvåkings- eller utredningsarbeid. I tillegg vil serien favne mye av instituttets øvrige rapportering, for eksempel fra seminarer og konferanser, resultater av eget forsknings- og utredningsarbeid og litteraturstudier. NINA Rapport kan også utgis på annet språk når det er hensiktsmessig.

NINA Kortrapport

Dette er en enklere og ofte kortere rapportform til oppdragsgiver, gjerne for prosjekt med mindre arbeidsomfang enn det som ligger til grunn for NINA Rapport. Det er ikke krav om sammendrag på engelsk. Rapportserien kan også benyttes til framdriftsrapporter eller foreløpige meldinger til oppdragsgiver.

NINA Temahefte

Som navnet angir behandler temaheftene spesielle emner. Heftene utarbeides etter behov og serien favner svært vidt; fra systematiske bestemmelsesnøkler til informasjon om viktige problemstillinger i samfunnet. NINA Temahefte gis vanligvis en populærvitenskapelig form med mer vekt på illustrasjoner enn NINA Rapport.

NINA Fakta

Faktaarkene har som mål å gjøre NINAs forskningsresultater raskt og enkelt tilgjengelig for et større publikum. De sendes til presse, ideelle organisasjoner, naturforvaltningen på ulike nivå, politikere og andre spesielt interesserte. Faktaarkene gir en kort framstilling av noen av våre viktigste forskningstema.

Annen publisering

I tillegg til rapporteringen i NINAs egne serier publiserer instituttets ansatte en stor del av sine vitenskapelige resultater i internasjonale journaler, populærfaglige bøker og tidsskrifter.

Miljøkonsekvenser knyttet til småskala fornybar kraftforsyning

En litteraturstudie

Bård G. Stokke
Roel May
Kjetil Bevanger
Torgeir Nygård

Stokke, B. G., May, R., Bevanger, K. & Nygård, T. 2017 Miljøkonsekvenser knyttet til småskala fornybar kraftforsyning. *En litteraturstudie*. - NINA Kortrapport 66. 24 s.

Trondheim, april 2017

ISSN: 2464-2797

ISBN: 978-82-426-3048-3

RETTIGHETSHAVER

© Norsk institutt for naturforskning

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

TILGJENGELIGHET

Åpen

PUBLISERINGSTYPE

Digitalt dokument (pdf)

KVALITETSSIKRET AV

Erlend Birkeland Nilsen

ANSVARLIG SIGNATUR

Forskningsjef Hans Chr. Pedersen (sign.)

OPPDRAGSGIVER(E)/BIDRAGSYTER(E)

TrønderEnergi AS

OPPDRAGSGIVERS REFERANSE

Ingen

KONTAKTPERSON(ER) HOS OPPDRAGSGIVER/BIDRAGSYTER

Gøril Forbord og Bernhard Kvaal

NØKKEWORD

- Småskala energiproduksjon
- Miljøkonsekvenser
- TrønderEnergi
- Kraftledninger, brenselceller, biogass, vindturbiner, solceller

KEY WORDS

- Small scale energy production
- Environmental impact
- TrønderEnergi
- Power lines, fuel cells, biogas, wind turbines, solar panels

KONTAKTOPPLYSNINGER

NINA hovedkontor

Postboks 5685 Sluppen
7485 Trondheim
Telefon: 73 80 14 00

NINA Oslo

Gaustadalléen 21
0349 Oslo
Telefon: 73 80 14 00

NINA Tromsø

Framsenteret
9296 Tromsø
Telefon: 77 75 04 00

NINA Lillehammer

Fakkeltgården
2624 Lillehammer
Telefon: 73 80 14 00

www.nina.no

Sammendrag

Stokke, B. G., May, R., Bevanger, K. & Nygård, T. 2017. Miljøkonsekvenser knyttet til småskala fornybar kraftforsyning. *En litteraturstudie*. - NINA Korrapport 66. 24 s.

Verdens energiforbruk øker i takt med behov fra den teknologiske utviklingen. Energi fra fornybare kilder som sol, vind og biomasse øker årlig, men utgjør fortsatt bare en liten andel sammenlignet med kull og gass. Fornybare energikilder blir ofte betraktet som miljømessig mer «rene» enn konvensjonelle fossile energikilder som olje og gass, først og fremst på grunn av betydelig lavere utslipp av CO₂ til atmosfæren. Det er allikevel på det rene at også fornybare energikilder kan ha negative miljøkonsekvenser.

Det er tre hovedrisikofaktorer for dyreliv ved utbygging av energi. For det første vil anleggene og deres infrastruktur kunne føre til at arter blir fortrent fra området. For det andre vil enhver utbygging føre til tap eller endring av habitater og areal som kan føre til fragmentering av viktige naturtyper. Dette vil igjen kunne medføre lavere tettheter hos arter som lever i slike områder. For det tredje vil man løpe en risiko for at dyr på en eller annen måte blir direkte påvirket av konstruksjonene, for eksempel gjennom fysisk kollisjon. De tre hovedrisikofaktorene kan ha ulike effekter på dyrelivet som alle kan bidra til at artenes bestandsstørrelse blir påvirket.

I denne rapporten presenteres, på bakgrunn av en omfattende litteraturstudie, en sammenstilling av miljøkonsekvenser knyttet til produksjon av energi fra utvalgte fornybare energikilder. Mer spesifikt gjelder dette elektrisitet produsert ved bruk av solceller, biogassanlegg, hydrogenbrenselceller og vindturbiner, samt overføring av produsert elektrisitet via kraftledninger.

Litteraturstudien viser at effekten på naturmiljøet av kraftledninger og vindturbiner er godt dokumentert. Det foreligger også et økende antall studier som har omhandlet miljøeffekter av solceller og annen teknologi knyttet til produksjon av solenergi. Når det gjelder energiproduksjon knyttet til biogass og brenselceller er miljøeffekter knyttet til selve energiproduksjonen svært mangelfullt belyst så langt. Felles for alle energikildene er at studiene i all hovedsak har omhandlet storskala («utility scale») produksjon. Svært få studier har fokusert på effekter av småskalaproduksjon. Vi har vurdert energikildene ut fra tilgjengelig kunnskap, men det bør bemerkes at dette i stor grad gjelder større anlegg.

Grundige for- og etterundersøkelser er svært viktig for å utrede eventuelle konsekvenser på naturmiljøet. Optimal plassering, utforming og dimensjonering kan bidra til å redusere konflikten mellom naturmiljøet og energiproduksjonsanlegg inklusive deres infrastruktur som for eksempel kraftledninger. For å forhindre kollisjoner kan man merke linene med fugleavvisere eller legge kablene i jord på spesielt kollisjonsutsatte steder. Fuglevern på mastene kan redusere risikoen for elektrokusjon, mens solcellepaneler kan monteres på allerede eksisterende bygninger for å unngå at det unødvendig legges beslag på arealer. For vindturbiner kan man vurdere å anvende vertikalakslele vindturbiner (VAWT) for å minimere bruk av land- og luftarealet.

Bård G. Stokke, NINA, Postboks 5685 Sluppen, 7485 Trondheim, Bard.Stokke@nina.no
Roel May, NINA, Postboks 5685 Sluppen, 7485 Trondheim, Roel.May@nina.no
Kjetil Bevanger, NINA, Postboks 5685 Sluppen, 7485 Trondheim, Kjetil.Bevanger@nina.no
Torgeir Nygård, NINA, Postboks 5685 Sluppen, 7485 Trondheim, Torgeir.Nygard@nina.no

Innhold

Sammendrag	3
Innhold	4
Forord	5
1 Innledning	6
2 Metode	8
3 Energikilder og miljøkonsekvenser	9
3.1 Kraftledninger.....	9
3.2 Solceller	10
3.3 Biogassanlegg	12
3.4 Hydrogenbrenselceller	13
3.5 Vindturbiner.....	13
4 Oppsummering - vurdering av ulike energikilder	17
5 Referanser	19

Forord

Utbygging av småskala energiforsyning kan fra et teknisk, økonomisk, samfunnsmessig og driftsmessig ståsted være hensiktsmessig i gitte tilfeller. Ett av problemene man står overfor ved vurdering av slike energikilder er at vi generelt ikke har kunnskap om hvilke effekter de har på naturmiljøet. I denne rapporten presenteres, på bakgrunn av en omfattende litteraturstudie, en sammenstilling av miljøkonsekvenser knyttet til produksjon av energi fra utvalgte fornybare energikilder. Mer spesifikt gjelder dette elektrisitet produsert ved bruk av solceller, biogassanlegg, hydrogenbrenselceller og vindturbiner, samt overføring av produsert elektrisitet via kraftledninger. Studien er utført for å danne et beslutningsverktøy for vurdering av bruk av disse energikildene i småskala energiforsyning til lokalsamfunn med et begrenset antall abonnenter.

I tillegg til denne rapporten er det også blitt opprettet en database med bakgrunns-litteraturen som er tilgjengelig for TrønderEnergi. Denne databasen er bygd opp som en web-basert søkbar base i EndNote web. Denne basen vil ikke være statisk, men vil kunne oppdateres og være søkbar til enhver tid.

Vi ønsker å takke Gøril Forbord og Bernhard Kvaal i TrønderEnergi AS for godt samarbeid gjennom prosjektperioden.

Prosjektet ble finansiert av TrønderEnergi AS.

Trondheim, 20. april 2017, Bård G. Stokke

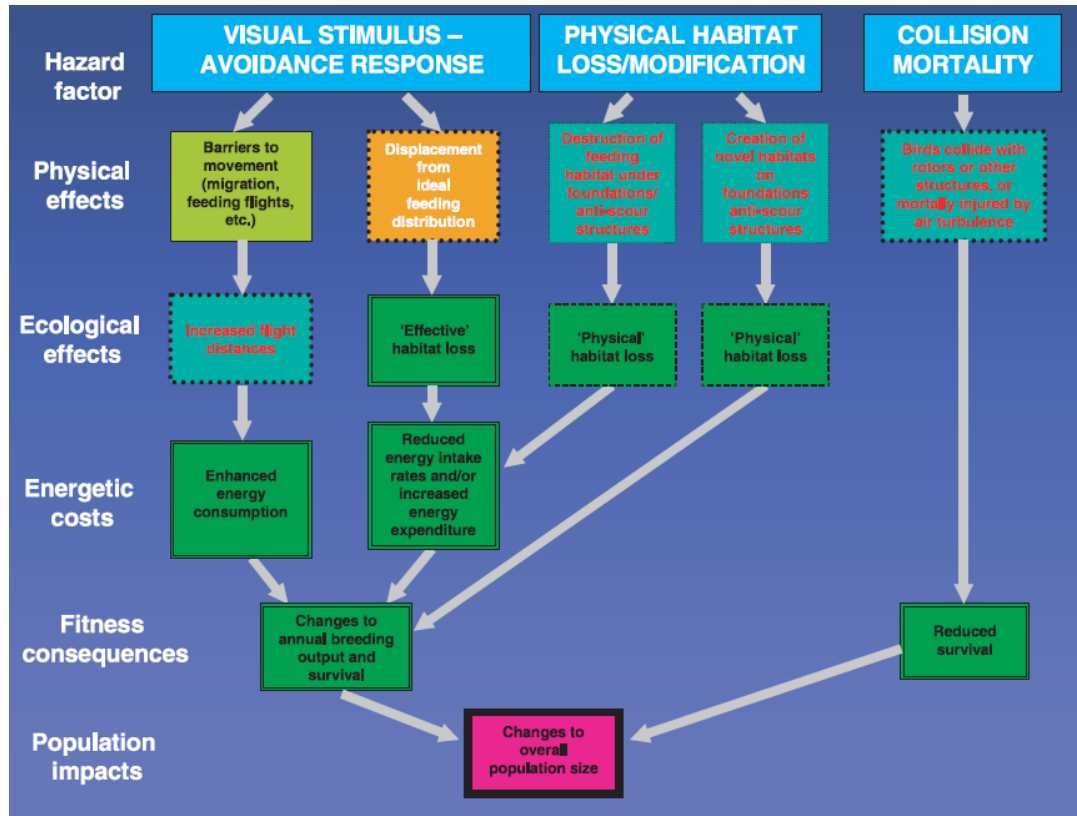
1 Innledning

Verdens energiforbruk øker eksponentielt i takt med behov fra den teknologiske utviklingen (Aman et al. 2015). Vannkraft utgjør ca. 16% av den totale globale elektrisitetsproduksjonen, og også andre fornybare kilder som sol, vind og biomasse øker årlig, men utgjør fortsatt bare en liten andel (ca. 5%) sammenlignet med kull og gass (ca. 62%) (Anonymous 2016). Fornybare energikilder blir ofte betraktet som miljømessig mer «rene» enn konvensjonelle fossile energikilder som olje og gass, på grunn av betydelig lavere utslipp av CO₂ til atmosfæren for hver KWh produsert. Det er allikevel på det rene at også fornybare energikilder kan ha negative miljøkonsekvenser (Abbasi & Abbasi 2000, Aman et al. 2015, Bevanger et al. 2016b, May et al. 2012, Northrup & Wittemyer 2013, Smith & Dwyer 2016).

Mens storskala produksjon ville være mest effektiv i de fleste tilfeller, finnes det områder som har behov for tilpasset energiproduksjon. Langs den vidstrakte norskekysten, men også i fjellområdene i innlandet, finnes det relativt isolerte småsamfunn. For å garantere energileveranse til disse stedene, trengs det omfattende og kostbar infrastruktur for overføring av elektrisitet via sjøkabler eller kraftledninger. Disse lange overføringslinjene er kostnadskrevenne med hensyn til både konstruksjon og vedlikehold. Småskala produksjon i småsamfunnene kan være et mulig alternativ for å ivareta leveransen lokalt og redusere lange overføringslinjer gjennom landskapet. I denne rapporten presenteres, på bakgrunn av en omfattende litteraturstudie, en sammenstilling av miljøkonsekvenser knyttet til småskala produksjon av energi fra utvalgte fornybare energikilder. Mer spesifikt gjelder dette elektrisitet produsert av solceller, biogassanlegg, hydrogenbrenselceller og vindturbiner, samt overføring av produsert elektrisitet via kraftledninger.

Felles for alle typer konstruksjoner er at de krever opparbeiding av areal og installering av infrastruktur som medfører menneskelig aktivitet og endringer i arealbruk. Dette gjelder for eksempel gravearbeider for konstruksjon av bygninger, veier, vindmøller, kraftledningsmaster, osv.

Langston et al. (2006) oppgir tre hovedrisikofaktorer for fugler ved utbygging av vindkraftanlegg (Figur 1), men dette kan utvides til å gjelde generelle effekter av alle typer energiutbygginger på både fugler og annet dyreliv. For det første vil anleggene og deres infrastruktur kunne føre til at arter blir fortrent fra området. Det er for eksempel vist at arter som hubro (*Bubo bubo*) og havørn (*Haliaeetus albicilla*) er svært sensitive overfor forstyrrelser ved hekkeplassen, og menneskelig aktivitet av ulike art kan medføre at lokalitetene oppgis som hekkeplass (Dahl et al. 2012, Pearce-Higgins et al. 2009). For det andre vil enhver utbygging føre til tap, forringelse eller fragmentering av habitat, noe som igjen kan medføre lavere tettheter av arter som lever i slike områder. For det tredje vil man løpe en risiko for at dyr på en eller annen måte blir direkte påvirket av konstruksjonene, for eksempel gjennom fysisk kollisjon med vindturbiner. De tre hovedrisikofaktorene kan føre til ulike effekter på dyrelivet som alle kan bidra til at artenes bestandsstørrelse blir påvirket (Figur 1).



Figur 1. Hovedrisikofaktorer og potensielle effekter på dyreliv av vindkraftutbygging (Langston et al. 2006).

2 Metode

Litteratursøk i Google Scholar og Web of Science (Thomson Reuters, Philadelphia, Pennsylvania, USA) ble gjennomført i januar og februar 2017. I tillegg ble litteratur som enten ble sitert i eller som siterte funnene i søket inkludert.

Søkestrengene omfattet blant annet «environmental impact», «wildlife», «animal», «bird», «vegetation», «environment» i ulike kombinasjoner med de ulike energikildene («solar», «photovoltaic», «wind», «biogas», «biomass», «hydrogen», «fuel cell»).

Enkelte avgrensninger ble gjort med hensyn til sol-, vind-, og bioenergi, slik at det i all hovedsak ble fokusert på den teknologi som ble avtalt med oppdragsgiver (sol-celler, landbasert vindkraft og biogass).

Det ble lagt hovedvekt på miljøeffekter i konstruksjons- og driftsfasen (in-situ), og mindre vekt på selve produksjonen av komponenter til de ulike teknologiene. Det ble derfor ikke foretatt noen livssyklus evaluering («life-cycle assessment»). Videre er det ikke lagt vekt på effekter som kan være viktige for oss mennesker, slik som estetikk.

Det ble fokusert på å finne litteratur som omhandlet småskala energiproduksjon («microgrids»), men det viste seg at det var svært sparsomt med studier rundt dette. Mye av teksten som omhandler de ulike energikildene er derfor basert på større anlegg («utility scale»).

Totalt resulterte søket i over 20 000 treff, men mange av disse ble forkastet da de viste seg å ikke være relevante for fokusområdene i dette oppdraget. Til slutt endte vi opp med om lag 4 000 referanser, hvorav de aller fleste omhandlet vindkraft og kraftlinjer. Et utvalg av disse er sitert i teksten (i stor grad større sammenstillinger, såkalte «reviews»), og det er laget en web-basert EndNote-database hvor disse referansene er inkludert med sammendrag i de tilfeller det har latt seg gjøre å innhente dette.

3 Energikilder og miljøkonsekvenser

3.1 Kraftledninger

Elektrisitet produsert ved hjelp av flere av energikildene omtalt i denne rapporten vil ofte distribueres ved hjelp av kraftledninger eller sjøkabler. Det foreligger mange studier som omhandler miljømessige utfordringer i forhold til kraftledninger (for eksempel Loss 2016, Loss et al. 2015). Disse er oppsummert i et populærvitenskapelig format i et nylig utgitt temahefte (Bevanger et al. 2016a). Vi henviser til dette temaheftet for nærmere detaljer rundt utfordringer i forhold til kraftledninger og dyreliv, samt hvordan disse utfordringene kan løses. Det er også lagt ved en rekke referanser i EndNote-databasen som omhandler dette tema.

Her oppsummeres de viktigste miljøeffektene av kraftledninger (Bevanger et al. 2016a):

- 1) Kraftledninger og kraftledningsgater kan virke som barrierer for enkelte arter (for eksempel villrein (*Rangifer tarandus tarandus*)), forhindre spredning og dermed begrense genflyt.
- 2) Kraftledninger og kraftledningsgater kan skape økotoneffekter, det vil si et skarpt skille mellom kraftledningsgata og områdene rundt (med både positive og negative følger).
- 3) Kraftledninger kan medføre stor risiko for fuglekollisjoner (Figur 2), og en lang rekke arter er utsatte for dette. Tiltak for å forhindre dette kan være merking av linene, plassering av ledningsnettet utenfor viktige områder for fugl, eller bruke jordkabling på spesielt utsatte områder.
- 4) Kraftledninger kan medføre stor risiko for elektrokusjon av/for fugl. I hovedsak er det større rovfugl som ørner og store ugler som er utsatte, fordi de bruker kraftledningsmastene som utkikkspunkter. Det har vist seg at noen master er mer utsatt enn andre på grunn av deres utforming eller plassering i landskapet (såkalte «lethal poles»). For å redusere risikoen for elektrokusjon kan man blant annet isolere traversene, montere traversforlenger eller bruke fuglevern.



Figur 2. Sangsvane (*Cygnus cygnus*) som har kollidert med kraftline. Foto: Kjetil Bevanger ©.

3.2 Solceller

Solenergi er den fornybare energikilden med størst potensiale for økt anvendelse globalt (Aman et al. 2015), og bruk av solenergiteknologi øker eksponentielt (Hernandez et al. 2014). Solcellepaneler («photovoltaic (PV) panels») omformer solstråling til elektrisitet. Det er mange fordeler forbundet med denne typen energiproduksjon, som for eksempel lave karbonutslipp, uavhengighet av fossilt brensel, og pålitelig tilgang til energikilden. Siden solcelleanlegg består av kun statiske komponenter, vil det ikke produseres støy under energiproduksjonen. På minussiden kan man oppføre bruk av giftige kjemikalier som for eksempel kadmium, bly, nikkel ved produksjonen av solceller, noe som kan medføre svært uheldige lokale miljøkonsekvenser i områder hvor solcellene produseres (Aman et al. 2015), og som kan føre til lekkasjer i energiproduksjonsområdene (Tammaro et al. 2016).

I energiproduksjonsområdet vil man måtte bygge ut infrastruktur som veier, servicebygninger, og annet for installasjon og drift av solcelleanlegget. Omfanget av dette avhenger av størrelsen på installasjonen (Lovich & Ennen 2011, McDonald et al. 2009). I tillegg vil etablering av frittstående anlegg (dvs. anlegg montert på bakken i stedet for på allerede eksisterende bygninger) legge beslag på arealer som vil kunne medføre endringer i lokale biotoper (ødeleggelse eller fragmentering) (Ong et al. 2013). For større anlegg vil slike arealbeslag være betydelige (Hernandez et al. 2015, Katzner et al. 2013, Wu et al. 2014), og kan føre til at enkelte arter blir fortrent («displaced») fra sine leveområder (Jenkins et al. 2015, Pearce-Higgins et al. 2008, Tröltzsch & Neuling 2013). Bakkemonterte anlegg krever i tillegg at all høyere vegetasjon fjernes, noe som også vil bidra til å endre biotopen (Jacobson & Delucchi 2011). Slike endringer kan påvirke lokalt dyre- og planteliv, men foreløpig er det få studier som har satt fokus på dette (Hernandez et al. 2014, Jenkins et al. 2015, Turney & Fthenakis 2011). Studier har vist at bakkemonterte solcellepaneler kan forårsake sesong- og døgnmessige variasjoner i luft- og jordmikroklima, noe som kan påvirke den botaniske artsdiversiteten ved slike anlegg (Armstrong et al. 2016). Ved å montere solcellepaneler på allerede eksisterende strukturer som for eksempel bygninger unngår man mange av disse negative effektene. For optimal energiproduksjon må solcellene renses med spesielle kjemikalier som kan medføre avrenning til grunnvannet (Hernandez et al. 2014, Stoms et al. 2013). I tillegg må solcellepanelene vaskes med vann for å fjerne støv, osv., noe som medfører betydelig vannforbruk dersom anleggene er av en viss størrelse. Dette kan være problematisk i områder hvor vann er en begrenset ressurs, som for eksempel i ørkenstrøk (Hernandez et al. 2014).

Foreløpig foreligger det lite data som tyder på direkte negative effekter av solcellepaneler for fugl eller andre dyr (Northrup & Wittemyer 2013, Smith & Dwyer 2016), men dette kan også skyldes mangelfull overvåkning av slike anlegg (Anonymous 2011). Man vet at teknologi knyttet til termisk solkraft (linser og speil) kan medføre både kollisjoner og brannskader for fugl (Kagan et al. 2014, McCrary et al. 1986, Walston Jr. et al. 2016, Wu et al. 2014). Fugler som er knyttet til vann kan feilaktig anse solspeil («heliostats») som vannflater og dermed kollidere med disse i forsøk på å lande på «vannet». Solspeil er strukturelt like solcellepanelene. Solcellepaneler er imidlertid svært mørke og ikke reflekterende, siden de er laget for å absorbere og ikke reflektere sollys i motsetning til solspeil. Dette reduserer risikoen for fuglekollisjoner, men en ny studie fra USA viser at også storskala solcelleparker er ansvarlig for et betydelig antall døde fugler (Walston Jr. et al. 2016). I større solcelleparker i Sør-Afrika er det funnet at habitatspesialister påvirkes negativt, mens generalister påvirkes positivt av installasjonene som følge av endringer i leveområdene (Visser 2016). I USA ble det i et utvalg habitattyper funnet en større artsdiversitet hos fugl i områder uten solcellepaneler enn i tilsvarende områder med slike installasjoner (DeVault et al. 2014). Dersom solcelleparker blir anlagt i tidligere monokultur-jordbruksland eller andre områder med i utgangspunktet «lav» kvalitet med hensyn til biodiversitet, kan solcelleanleggene føre til økt biodiversitet av for eksempel flora og insekter dersom det blir lagt til rette for dette (Parker & McQueen 2013, Peschel 2010). Det er i så henseende viktig at det utarbeides forvaltningsplaner med den hensikt å fremme biodiversiteten.

Insekter som legger egg i vann (døgnfluer (Ephemeroptera), steinfluer (Plecoptera), osv) kan bli lurt til å tro at solcellepaneler er vannspeil fordi polarisert lys blir reflektert fra panelene. Panelene vil på denne måten fungere som såkalte økologiske feller («ecological traps»). I noen tilfeller er det funnet at slike insekter kan legge sine egg på panelene i den tro at de legger eggene i vann (Horváth et al. 2010). Dette igjen kan påvirke fugler som er avhengige av slike insekter. Enkle tiltak som hvite rammer rundt panelene kan gjøre dem mindre attraktive for insekter (Horváth et al. 2010).

Som med andre energikilder må solcelleanleggene knyttes til kraftlinjer, noe som medfører en sekundær risiko tilknyttet kraftledninger (Bevanger et al. 2016a). Inngjerding av solcelleanleggene kan skape barrierer for pattedyr, krypdyr og amfibier (Stodola 2012, Turney & Fthenakis 2011), samt representere en kollisjonsrisiko for fugl.

På bakgrunn av disse momentene anbefaler RSPB (Royal Society for Protection of Birds) at solcelleanlegg plasseres utenfor vernede områder (se også Hernandez et al. 2015, Stoms et al. 2013, Tsoutsos et al. 2005), og spesielt utenfor viktige ferskvannsområder. Det foreslås også jordkabling dersom kraftledninger må passere slike områder, og anleggsvirksomhet bør ikke utføres i sensitive perioder av året som for eksempel hekkesesongen for fugl. Det anbefales også at vegetasjonen ved panelene gresses av beitedyr som sau og geit eller naturlig av gjess heller enn at det benyttes herbicider for å holde vegetasjonshøyden nede (Anonymous 2014). Det er også utviklet verktøy for optimal plassering av solenergianlegg der man bruker GIS (Geographical Information Systems) og MCDM (Multi-Criteria Decision Making) metoder hvor man inkluderer en lang rekke faktorer, deriblant sårbare områder med hensyn til dyreliv (Sánchez-Lozano et al. 2013). En annen tilnærming modellerer sannsynligheten for at plassering av solenergianlegg på forskjellige lokaliteter vil føre til uheldige konsekvenser for biologiske ressurser (Compatibility Index, Stoms et al. 2013). I Peschel (2010) og Parker and McQueen (2013) finner man mye nyttig informasjon om hvordan man kan fremme biodiversitet i solcelleparker.

3.3 Biogassanlegg

Biogass er en samlebetegnelse for ulike gasser som produseres under nedbrytning av organisk materiale (først og fremst kloakk/avløpsslam, husdyrgjødsel, organisk avfall, jordbruksvekster og søppeldeponier) under anaerobe forhold. I Norge er potensialet størst ved bruk av husdyrgjødsel og organisk avfall fra industrien (Raadal et al. 2008). Den viktigste biogassen er metan, etterfulgt av karbondioksid (Budzianowski 2012). Bruken av biogass i energiproduksjon er fordelaktig siden dette forhindrer lekkasje ut i naturen (spesielt fra avfall og kloakk) og reduserer utslipp av klimagasser. For å utløse disse fordelene fordrer det riktig konstruksjon av biogassanleggene (Börjesson & Berglund 2007, Holm-Nielsen et al. 2009, Lansche & Müller 2012, Nayal et al. 2016, Patterson et al. 2011). Det finnes mange typer biogassanlegg, noe som gjør en felles evaluering av deres miljøeffekter til en komplisert affære. Effektene varierer med teknologien som benyttes, hvilke biogasskilder som anvendes, hvordan disse kildene håndteres, osv. (Poeschl et al. 2012a, Poeschl et al. 2012b, Tilman et al. 2009). Bruk av utilfredsstillende teknologi kan for eksempel lede til ukontrollerte og uheldige utslipp av metan, som er en mye viktigere

drivhusgass enn karbondioksid, men også til økte utslipp av nitrater og ammoniakk som kan medføre eutrofiering og forsuring (Börjesson & Berglund 2007). Bruk av jordbruksplanter som for eksempel mais (*Zea mays*) for produksjon av biogass har vist seg å være profitabelt med hensyn til energieffektivitet og profitt, men kultivering av store områder med slike planter er kontroversielt fordi det legger beslag på store arealer, kan føre til intensivt jordbruk med monokulturer, avskoging av regnskog, og legger beslag på arealer med potensiale for produksjon av mat (Fargione et al. 2009, Fargione et al. 2010, Hastik et al. 2015, Sverdrup-Thygeson & Framstad 2007).

Foruten de tidligere nevnte utfordringene som omhandler produksjon av biogass, er det få studier som har fokusert på effekter på flora og fauna av selve biogassanleggene (Anderson & Fergusson 2006, Lapčík & Lapčíková 2011). Slike anlegg krever opparbeidet infrastruktur og legger beslag på arealer, samt tilknytning til lokale kraftledningsnett. Omfanget på disse inngrepene avhenger av størrelsen på anleggene og hvor i landskapet de anlegges. I tillegg kreves det oppsamlingstank til biogass ved anleggene som må etterfylles jevnlig og derfor krever transportaktivitet.

3.4 Hydrogenbrenselceller

I brenselceller konverteres hydrogen og oksygen til elektrisitet gjennom elektrokjemiske prosesser (Edwards et al. 2008). Energi produsert ved hjelp av hydrogenbrenselceller er fordelaktig i et miljøperspektiv siden vanndamp er det eneste biproduktet fra slik produksjon (Pehnt & Ramesohl 2003, Serrano et al. 2009). Det er verdt å merke seg at brenselceller kun anses å være en fornybar energikilde dersom hydrogenet som brukes i brenselcellene produseres ved hjelp av elektrisitet fra fornybare kilder som vind- eller solenergi, og ikke fra fossilt brennstoff (Dincer 2007, Hossell et al. 2006, Kothari et al. 2008, Pehnt & Ramesohl 2003). På den annen side kan bruk av slike brenselceller medføre utslipp av hydrogen som igjen kan føre til økt konsentrasjon av vanndamp i stratosfæren. Dette kan bidra til nedkjøling av stratosfæren og nedbrytning av ozonlaget (Tromp et al. 2003).

Når det gjelder miljøeffekter av energi produsert ved hjelp av hydrogenbrenselceller vil disse indirekte omfatte energikildene for produksjon av hydrogen, slik som vind- og solenergi. Det henvises derfor til disse underkapitlene. Selve hydrogenproduksjonen foretas ofte i spesielle anlegg, mens brenselcellene ofte lagres i spesielle containere. Som for de andre fornybare energikildene vil disse anleggene kreve opparbeidet infrastruktur og legge beslag på arealer, samt tilknytning til lokale kraftledningsnett. Omfanget på disse inngrepene avhenger av størrelsen på anleggene.

3.5 Vindturbiner

Energi produsert fra vindkraft er en av de aller viktigste fornybare energikildene (etter vannkraft), og bruken har økt kraftig i de seneste årene (Baños et al. 2011, Dai et al. 2015). Dette er også den fornybare energikilden hvor flest undersøkelser er utført med det formål å avdekke miljømessige konsekvenser (Dai et al. 2015, Katzner et al. 2013, Kunz et al. 2007a, Leung & Yang 2012, Northrup & Wittemyer 2013, Saidur et al. 2011, Schuster et al. 2015, Tabassum-Abbasi et al. 2014).

Utfordringer for fugl og pattedyr i sammenheng med landbasert vindkraft er oppsummert i et populærvitenskapelig format i Bevinger et al. (2016b). Mye av kunnskapen vi har om problematikken knyttet til vindkraft og dyreliv i Norge har sin opprinnelse i mangeårige studier fra vindkraftverket på Smøla (Figur 3). Dette behandles grundig i Bevinger et al. (2016b) sammen med blant annet mer generell informasjon om lovverk og forvaltning. I tillegg beskrives ulike former for miljødisegn for å redusere de negative effektene på dyrelivet (se også Dai et al. 2015, Marques et al. 2014).

Energi fra vindkraft legger ofte beslag på store arealer for plassering av turbiner, vegforbindelser og kraftledninger. Dette kan medføre habitatfragmentering og samtidig åpne opp områder for fremmede arter som for eksempel eksotiske planter langs de nye innferdselsveiene (Kuvlesky Jr. et al. 2007).

For fugl er det primært fire hovedutfordringer knyttet til vindturbiner (Drewitt & Langston 2006, Smith & Dwyer 2016):

- 1) For det første har det lenge vært kjent at fugler kan kollidere med vindturbiner (Kuvlesky Jr. et al. 2007, Marques et al. 2014, Wang et al. 2015), og antall fugl som drepes på denne måten kan være betydelig (Loss et al. 2013, Loss et al. 2015). Det er mange faktorer som kan påvirke kollisjonsrisikoen, og disse kan grovt deles inn i artsspesifikke, stedsspesifikke og turbinspesifikke faktorer (Marques et al. 2014, May et al. 2015). På Smøla er en lang rekke arter funnet kollisjonsdrep, med lirype (*Lagopus lagopus*) og havørn som de mest frekvente kollisjonsoffer. Det er imidlertid ulikheter med hensyn til hvordan dette foregår. Rypene kolliderer med selve turbintårnene, mens ørnene kolliderer med rotorbladene (Bevinger et al. 2016b). Distribusjon av elektrisitet fra energikilden via kraftledninger vil også medføre kollisjonsrisiko samt elektrokusjonsfare (Bevinger et al. 2016a).
- 2) En del fuglearter er sårbare overfor forstyrrelser i hekkesesongen og kan lett fortrennes fra disse områdene (Dahl et al. 2012, Langston & Pullan 2003). En slik effekt kan skyldes den fysiske tilstedeværelsen av vindturbinene i seg selv (visuelt, lyd eller vibrasjoner), eller som resultat av menneskelig tilstedeværelse under ulike faser av konstruksjons- eller driftsfasen.
- 3) Noen fuglearter kan oppleve vindkraftverk som fysiske barrierer, og vil endre sitt bevegelsesmønster slik at de unngår disse områdene (Christensen et al. 2004). Fugler som vanligvis forflytter seg gjennom et område vil derfor måtte fly rundt i stedet og bruke ekstra energi på forflytningen.
- 4) Vindturbinene og all infrastrukturen som er knyttet til disse vil nødvendigvis medføre forringelse eller tap av habitater (Langston & Pullan 2003). Dette kan igjen medføre et lavere antall individer hos arter som lever i habitatene enn i intakte systemer (Kuvlesky Jr. et al. 2007).



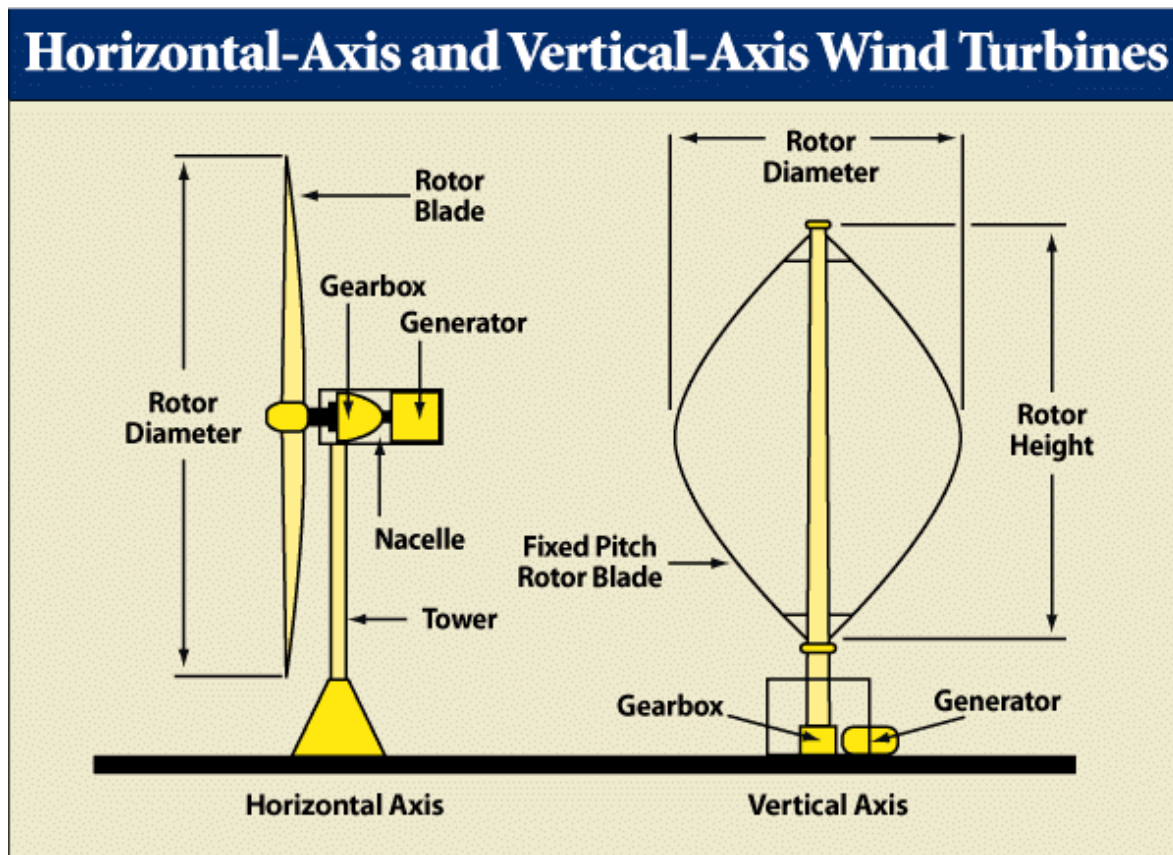
Figur 3. Havørn ved en av vindmøllene på Smøla, Møre & Romsdal. Foto: Torgeir Nygård ©.

Flaggermus er en annen gruppe organismer som kan påvirkes negativt av vindkraft, og i enkelte områder, spesielt i landskap preget av skog, er dette ansett å være et stort problem (Kuvlesky Jr. et al. 2007). De kan enten kollidere med rotorbladene eller drepes ved lungesprengning (*barotrauma*) (Baerwald et al. 2008, Kunz et al. 2007b).

Det er verdt å merke seg at det er utarbeidet verktøy for optimal lokalisering av fornybare energikilder som vindturbiner samt infrastruktur forbundet med disse kildene (for eksempel kraftledninger). I denne programvaren kan man ved hjelp av en multi-kriterieanalyse finne den optimale lokaliteten/traséen ved å inkorporere faktorer knyttet til økologi, økonomi, samfunn og teknologi (<http://www.nina.no/consite>).

Vindturbiner kan variere i utforming. Grovt sett kan de inndeles i to hovedtyper (Figur 4); horisontal-akse vindturbiner (Horizontal Axis Wind Turbines, HAWT) og vertikal-akse vindturbiner (Vertical Axis Wind Turbines, VAWT). De aller fleste studier av effekter på dyreliv omhandler de tradisjonelle HAWT-typene, mens det fortsatt er svært få studier som har undersøkt effekten av VAWT-typene (Santangeli & Katzner 2015). I følge industrien selv, er en fordel med VAWT-typen er at de har en langt lavere bladrotasjonshastighet sammenlignet med HAWT. Dette skal medføre at de produserer betraktelig mindre støy og ansees for å utgjøre en mindre risiko for fuglekollisjoner (<http://www.windturbinestar.com/hawt-vs-vawt.html>). På grunn av at den industrielle FoU-utviklingen og storskala kommersiell anvendelse har vært tilknyttet HAWT-typen, er det lite kunnskap om mulige konsekvenser av VAWT på dyrelivet. Likeså behøver VAWT mindre land- og luftareal og er antatt å ha minimale effekter på fuglelivet (Islam et al. 2013). De få vitenskapelige undersøkelsene som er utført gir imidlertid ikke noe entydig svar på hvor stor risiko de utgjør for fugl, og

det anbefales sterkt å fokusere på de miljømessige effektene av VAWT i framtidige studier (Anderson et al. 2004, Santangeli & Katzner 2015).



Figur 4. Skisse av de to hovedtypene av vindturbiner. Illustrasjon: American Wind Energy Association (AWEA).

Når det gjelder sammenhengen mellom størrelsen på vindturbinene og risiko for fugle- eller flaggermuskollisjoner, er det funnet at selve rotorbladstørrelsen ikke har noen betydning for kollisjonsfrekvensen. For fugl var heller ikke turbintårnhøyden viktig, men for flaggermus økte kollisjonsrisikoen eksponentielt med høyden på turbinene (Barclay et al. 2007). Få og store turbiner framfor mange små er blitt anbefalt for å redusere antall fuglekollisjoner, mens turbiner med lavere høyde er blitt anbefalt for å unngå flaggermuskollisjoner. I en annen studie ble det imidlertid funnet at større turbiner (med større rotorer og/eller tårn) økte risikoen for fuglekollisjoner signifikant (Loss et al. 2013). Det er derfor vanskelig å finne noe entydig anbefaling med hensyn til turbinenes dimensjoner for å redusere negative effekter på dyrelivet (se også Smallwood & Karas 2009).

4 Oppsummering - vurdering av ulike energikilder

All produksjon av energi krever konstruksjon av anlegg med tilhørende infrastruktur. Dette medfører menneskelig aktivitet og beslag på arealer som kan påvirke naturmiljøet på flere måter. De viktigste påvirkningsfaktorene er fortregning, habitatforringelse og fysiske konfrontasjoner som kollisjoner og elektrokusjon (se Figur 1). For å redusere risikoen for negative effekter av utbygginger bør man søke å redusere omfanget av hver av de tre risikofaktorene i alle faser av konstruksjonsarbeidet. I Tabell 1 oppsummeres effektene av de ulike energikildene som denne rapporten omhandler. Nærmere beskrivelse av påvirkningsfaktorer og deres potensielle effekter er gjengitt i kapittel 3.

Tabell 1. Hovedtyper av påvirkningsfaktorer og deres effekter på ulike energikilder samt kraftledninger. For biogass er det her lagt vekt på anleggene for produksjon av elektrisitet og ikke selve produksjonen av biomasse.

Type energi-kilde og infrastruktur	Unnvikelse	Habitattap	Fysiske konfrontasjoner	Miljøgifter, o.a.
Kraftledninger	Barrierer	Økotoneffekter	Kollisjoner, elektrokusjon	Ikke kjent
Solcellepaneler	Barrierer	Fragmentering	Økologiske feller, kollisjoner	Lekkasje, mikroklima
Biogass	Ikke kjent	Fragmentering	Ikke kjent	Lekkasje
Brenselceller	Relatert til solceller og/eller vindturbiner	Relatert til solceller og/eller vindturbiner	Relatert til solceller og/eller vindturbiner	Lekkasje
Vindturbiner	Barrierer	Fragmentering	Kollisjoner	Ikke kjent

Effekten på naturmiljøet av kraftledninger og vindturbiner er godt dokumentert. Det foreligger også en økende mengde studier som har omhandlet miljøeffekter av solceller og annen teknologi knyttet til produksjon av solenergi. Når det gjelder energi-produksjon knyttet til biogass og brenselceller er miljøeffekter knyttet til selve energi-produksjonen svært mangelfullt belyst så langt. Felles for alle energikildene er at studiene i all hovedsak har omhandlet storskala («utility scale») produksjon. Svært få studier har fokusert på effekter av småskalaproduksjon. Vi har vurdert energikildene ut fra tilgjengelig kunnskap, men det bør altså bemerkes at dette i stor grad gjelder større anlegg.

Hva kan man gjøre for å redusere de negative effektene?

For å unngå negative effekter av utbygginger (Tabell 1) bør man søke å redusere omfanget av hver av de tre risikofaktorene belyst i Figur 1. Slike betraktninger i forhold til flora og fauna bør gjøres for hver enkelt lokalitet hvor det planlegges anlagt energianlegg. Grundige forundersøkelser er derfor svært viktig for å utrede eventuelle konsekvenser på naturmiljøet. Optimal plassering, utforming og dimensjonering kan bidra til å redusere konflikten mellom naturmiljøet og energi-produksjonsanlegg inklusive deres infrastruktur som for eksempel kraftledninger. Det anbefales videre å

utføre etterundersøkelser for å kunne evaluere effektene og eventuelt gjøre avbøtende tiltak (Langston et al. 2006). For å forhindre kollisjoner kan man merke kraftlinjene med fugleavvisere eller legge kablene i jord på spesielt kollisjonsutsatte steder. Fuglevern på mastene kan redusere risikoen for elektrokusjon, mens solcellepaneler kan monteres på allerede eksisterende bygninger for å unngå at det unødvendig legges beslag på arealer. For vindturbiner kan man vurdere å anvende vertikalslete vindturbiner (VAWT) for å minimere bruk av land- og luftarealet. Eventuell risiko for avrenning av miljøskadelige stoffer til vann bør også vurderes i planleggingsfasen.

5 Referanser

- Abbasi, S. A. & Abbasi, N. 2000. The likely adverse environmental impacts of renewable energy sources. - *Applied Energy* 65: 121-144.
- Aman, M. M., Solangi, K. H., Hossain, M. S., Badarudin, A., Jasmon, G. B., Mokhlis, H., Bakar, A. H. A. & Kazi, S. N. 2015. A review of Safety, Health and Environmental (SHE) issues of solar energy system. - *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 41: 1190-1204.
- Anderson, G. Q. A. & Fergusson, M. J. 2006. Energy from biomass in the UK: sources, processes and biodiversity implications. - *Ibis* 148: 180-183.
- Anderson, R., Neumann, N., Tom, J., Erickson, W. P., Strickland, M. D., Bourassa, M., Bay, K. J. & Sernka, K. J. 2004. Avian monitoring and risk assessment at the Tehachapi Pass Wind Resource Area. Period of Performance: October 2, 1996 - May 27, 1998. 90 s. National Renewable Energy Laboratory, Cole Boulevard, Golden, Colorado.
- Anonymous. 2011. Solar power. RSPB Briefing, March 2011. 6 s. RSPB.
- Anonymous. 2014. Solar Energy. RSPB Policy Briefing, December 2014. 7 s. RSPB.
- Anonymous. 2016. Key World energy statistics. 79 s. International Energy Agency.
- Armstrong, A., Ostle, N. J. & Whitaker, J. 2016. Solar park microclimate and vegetation management effects on grassland carbon cycling. - *Environmental Research Letters* 11: 074016.
- Baerwald, E. F., D'Amours, G. H., Klug, B. J. & Barclay, R. M. R. 2008. Barotrauma is a significant cause of bat fatalities at wind turbines. - *Current Biology* 18: R695-696.
- Baños, R., Manzano-Agugliaro, F., Montoya, F. G., Gil, C., Alcayde, A. & Gómez, J. 2011. Optimization methods applied to renewable and sustainable energy: A review. - *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15: 1753-1766.
- Barclay, R. M. R., Baerwald, E. F. & Gruver, J. C. 2007. Variation in bat and bird fatalities at wind energy facilities: assessing the effects of rotor size and tower height. - *Canadian Journal of Zoology* 85: 381-387.
- Bevanger, K., May, R. & Stokke, B. 2016a. Dyreliv og kraftledninger. Miljø- og forsyningsmessige utfordringer. NINA Temahefte 67. 120 s. Norsk institutt for naturforskning, Trondheim.
- Bevanger, K., May, R. & Stokke, B. 2016b. Landbasert vindkraft. Utfordringer for fugl, flaggermus og rein. NINA Temahefte 66. 72 s. Norsk institutt for naturforskning, Trondheim.
- Budzianowski, W. M. 2012. Sustainable biogas energy in Poland: Prospects and challenges. - *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16: 342-349.
- Börjesson, P. & Berglund, M. 2007. Environmental systems analysis of biogas systems - Part II: The environmental impact of replacing various reference systems. - *Biomass and Bioenergy* 31: 326-344.
- Christensen, T. K., Hounisen, J. P., Clausager, I. & Petersen, I. K. 2004. Visual and radar observations of birds in relation to collision risk at the Horns Rev offshore wind farm. Annual status report 2003. Report commissioned by Elsam Engineering A/S 2003. 48 s. Department of Wildlife Ecology and Biodiversity, National Environmental Research Institute, Ministry of Environment, Denmark.
- Dahl, E. L., Bevanger, K., Nygård, T., Røskaft, E. & Stokke, B. G. 2012. Reduced breeding success in white-tailed eagles at Smøla windfarm, western Norway,

- is caused by mortality and displacement. - *Biological Conservation* 145: 79-85.
- Dai, K., Bergot, A., Liang, C., Xiang, W.-N. & Huang, Z. 2015. Environmental issues associated with wind energy - A review. - *Renewable Energy* 75: 911-921.
- DeVault, T. L., Seamans, T. W., Schmidt, J. A., Belant, J. L., Blackwell, B. F., Mooers, N., Tyson, L. A. & Van Pelt, L. 2014. Bird use of solar photovoltaic installations at US airports: Implications for aviation safety. - *Landscape and Urban Planning* 122: 122-128.
- Dincer, I. 2007. Environmental and sustainability aspects of hydrogen and fuel cell systems. - *International Journal of Energy Research* 31: 29-55.
- Drewitt, A. L. & Langston, R. H. W. 2006. Assessing the impacts of wind farms on birds. - *Ibis* 148: 29-42.
- Edwards, P. P., Kuznetsov, V. L., David, W. I. F. & Brandon, N. P. 2008. Hydrogen and fuel cells: Towards a sustainable energy future. - *Energy Policy* 36: 4356-4362.
- Fargione, J. E., Cooper, T. R., Flaspohler, D. J., Hill, J., Lehman, C., McCoy, T., McLeod, S., Nelson, E. J., Oberhauser, K. S. & Tilman, D. 2009. Bioenergy and wildlife: Threats and opportunities for grassland conservation. - *BioScience* 59: 767-777.
- Fargione, J. E., Plevin, R. J. & Hill, J. D. 2010. The ecological impact of biofuels. - *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 41: 351-377.
- Hastik, R., Basso, S., Geitner, C., Haida, C., Poljanec, A., Portaccio, A., Vrščaj, B. & Walzer, C. 2015. Renewable energies and ecosystem service impacts. - *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 48: 608-623.
- Hernandez, R. R., Easter, S. B., Murphy-Mariscal, M. L., Maestre, F. T., Tavassoli, M., Allen, E. B., Barrows, C. W., Belnap, J., Ochoa-Hueso, R., Ravi, S. & Allen, M. F. 2014. Environmental impacts of utility-scale solar energy. - *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 29: 766-779.
- Hernandez, R. R., Hoffacker, M. K., Murphy-Mariscal, M. L., Wu, G. C. & Allen, M. F. 2015. Solar energy development impacts on land cover change and protected areas. - *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 112: 13579-13584.
- Holm-Nielsen, J. B., Al Seadi, T. & Oleskowicz-Popiel, P. 2009. The future of anaerobic digestion and biogas utilization. - *Bioresource Technology* 100: 5478-5484.
- Horváth, G., Blahó, M., Egri, Á., Kriska, G., Seres, I. & Robertson, B. 2010. Reducing the maladaptive attractiveness of solar panels to polarotactic insects. - *Conservation Biology* 24: 1644-1653.
- Hossell, J., Clemence, B., Wright, B., Edwards, R. & Juppenlatz, Z. 2006. Potential impacts of future renewable energy policy on UK biodiversity. Final report to the Department for Environment, Food and Rural Affairs (Defra) and the Scottish Executive Environment and Rural Affairs Department (SEERAD) as part of the Defra Horizon Scanning Programme. 88 s. ADAS.
- Islam, M. R., Mekhilef, S. & Saidur, R. 2013. Progress and recent trends of wind energy technology. - *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 21: 456-468.
- Jacobson, M. Z. & Delucchi, M. A. 2011. Providing all global energy with wind, water, and solar power, Part I: Technologies, energy resources, quantities and areas of infrastructure, and materials. - *Energy Policy* 39: 1154-1169.

- Jenkins, A. R., Ralston, S. & Smit-Robinson, H. A. 2015. Birds and solar energy. Best practice guidelines. 62 s. BirdLife South Africa.
- Kagan, R. A., Viner, T. C., Trail, P. W. & Espinoza, E. O. 2014. Avian mortality at solar energy facilities in Southern California: A preliminary analysis. 28 s. National Fish and Wildlife Forensics Laboratory.
- Katzner, T., Johnson, J. A., Evans, D. M., Garner, T. W. J., Gompper, M. E., Altwegg, R., Branch, T. A., Gordon, I. J. & Petteorelli, N. 2013. Challenges and opportunities for animal conservation from renewable energy development. - *Animal Conservation* 16: 367-369.
- Kothari, R., Buddhi, D. & Sawhney, R. L. 2008. Comparison of environmental and economic aspects of various hydrogen production methods. - *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 12: 553-563.
- Kunz, T. H., Arnett, E. B., Cooper, B. M., Erickson, W. P., Larkin, R. P., Mabee, T., Morrison, M. L., Strickland, M. D. & Szewczak, J. M. 2007a. Assessing impacts of wind-energy development on nocturnally active birds and bats: A guidance document. - *Journal of Wildlife Management* 71: 2449-2486.
- Kunz, T. H., Arnett, E. B., Erickson, W. P., Hoar, A. R., Johnson, G. D., Larkin, R. P., Strickland, M. D., Thresher, R. W. & Tuttle, M. D. 2007b. Ecological impacts of wind energy development on bats: questions, research needs, and hypotheses. - *Frontiers in Ecology and the Environment* 5: 315-324.
- Kuvlesky Jr., W. P., Brennan, L. A., Morrison, M. L., Boydston, K. K., Ballard, B. M. & Bryant, F. C. 2007. Wind energy development and wildlife conservation: Challenges and opportunities. - *Journal of Wildlife Management* 71: 2487-2498.
- Langston, R. H. W., Fox, A. D. & Drewitt, A. L. 2006. Conference plenary discussion, conclusions and recommendations. - *Ibis* 148: 210-216.
- Langston, R. H. W. & Pullan, J. D. 2003. Windfarms and birds: An analysis of the effects of windfarms on birds, and guidance on environmental assessment criteria and site selection issues. Report T-PVS/Inf (2003) 12, by BirdLife International to the Council of Europe, Bern Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats. 58 s. BirdLife International, RSPB, Strasbourg.
- Lansche, J. & Müller, J. 2012. Life cycle assessment of energy generation of biogas fed combined heat and power plants: Environmental impact of different agricultural substrates. - *Engineering in Life Sciences* 12: 313-320.
- Lapčík, V. & Lapčíková, M. 2011. Biogas stations and their environmental impacts. - *Rudarsko-geološko-naftni zbornik* 23: 9-14.
- Leung, D. Y. C. & Yang, Y. 2012. Wind energy development and its environmental impact: A review. - *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16: 1031-1039.
- Loss, S. R. 2016. Avian interactions with energy infrastructure in the context of other anthropogenic threats. - *Condor* 118: 424-432.
- Loss, S. R., Will, T. & Marra, P. P. 2013. Estimates of bird collision mortality at wind facilities in the contiguous United States. - *Biological Conservation* 168: 201-209.
- Loss, S. R., Will, T. & Marra, P. P. 2015. Direct mortality of birds from anthropogenic causes. - *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 46: 99-120.

- Lovich, J. E. & Ennen, J. R. 2011. Wildlife conservation and solar energy development in the desert Southwest, United States. - *BioScience* 61: 982-992.
- Marques, A. T., Batalha, H., Rodrigues, S., Costa, H., Pereira, M. J. R., Fonseca, C., Mascarenhas, M. & Bernardino, J. 2014. Understanding bird collisions at wind farms: An updated review on the causes and possible mitigation strategies. - *Biological Conservation* 179: 40-52.
- May, R., Bevanger, K., van Dijk, J., Petrin, Z. & Brende, H. 2012. Renewable energy respecting nature. A synthesis of knowledge on environmental impacts of renewable energy financed by the Research Council of Norway. NINA Report 874. 53 s. NINA, Trondheim, Norway.
- May, R., Reitan, O., Bevanger, K., Lorentsen, S.-H. & Nygård, T. 2015. Mitigating wind-turbine induced avian mortality: Sensory, aerodynamic and cognitive constraints and options. - *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 42: 170-181.
- McCrary, M. D., McKernan, R. L., Schreiber, R. W., Wagner, W. D. & Sciarrotta, T. C. 1986. Avian mortality at a solar energy power plant. - *Journal of Field Ornithology* 57: 135-141.
- McDonald, R. I., Fargione, J., Kiesecker, J., Miller, W. M. & Powell, J. 2009. Energy sprawl or energy efficiency: climate policy impacts on natural habitat for the United States of America. - *PLoS One* 4: e6802.
- Nayal, F. S., Mammadov, A. & Ciliz, N. 2016. Environmental assessment of energy generation from agricultural and farm waste through anaerobic digestion. - *Journal of Environmental Management* 184: 389-399.
- Northrup, J. M. & Wittemyer, G. 2013. Characterising the impacts of emerging energy development on wildlife, with an eye towards mitigation. - *Ecology Letters* 16: 112-125.
- Ong, S., Campbell, C., Denholm, P., Margolis, R. & Heath, G. 2013. Land-use requirements for solar power plants in the United States. 39 s. National Renewable Energy Laboratory, Golden, CO.
- Parker, G. E. & McQueen, C. 2013. Can solar farms deliver significant benefits for biodiversity? Preliminary Study July-August 2013. Wychwood Biodiversity.
- Patterson, T., Esteves, S., Dinsdale, R. & Guwy, A. 2011. Life cycle assessment of biogas infrastructure options on a regional scale. - *Bioresource Technology* 102: 7313-7323.
- Pearce-Higgins, J. W., Stephen, L., Langston, R. H. W., Bainbridge, I. P. & Bullman, R. 2009. The distribution of breeding birds around upland wind farms. - *Journal of Applied Ecology* 46: 1323-1331.
- Pearce-Higgins, J. W., Stephen, L., Langston, R. H. W. & Bright, J. A. 2008. Assessing the cumulative impacts of wind farms on peatland birds: a case study of golden plover *Pluvialis apricaria* in Scotland. - *Mires and Peat* 4: 1-13.
- Pehnt, M. & Ramesohl, S. 2003. Fuel cells for distributed power: benefits, barriers and perspectives. Commissioned by WWF, in co-operation with Fuel Cell Europe. 8 s. WWF & Fuel Cell Europe, Brussels, Belgium.
- Peschel, T. 2010. Solar parks – Opportunities for biodiversity. A report on biodiversity in and around ground-mounted photovoltaic plants. 35 s. German Renewable Energies Agency, Berlin, Germany.

- Poeschl, M., Ward, S. & Owende, P. 2012a. Environmental impacts of biogas deployment - Part I: life cycle inventory for evaluation of production process emissions to air. - *Journal of Cleaner Production* 24: 168-183.
- Poeschl, M., Ward, S. & Owende, P. 2012b. Environmental impacts of biogas deployment - Part II: life cycle assessment of multiple production and utilization pathways. - *Journal of Cleaner Production* 24: 184-201.
- Raadal, H. L., Schakenda, V. & Morken, J. 2008. Potensialstudie for biogass i Norge. OR 21.08. 55 s. Østfoldforskning AS and UMB.
- Saidur, R., Rahim, N. A., Islam, M. R. & Solangi, K. H. 2011. Environmental impact of wind energy. - *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15: 2423-2430.
- Sánchez-Lozano, J. M., Teruel-Solano, J., Soto-Elvira, P. L. & García-Cascales, M. S. 2013. Geographical Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods for the evaluation of solar farms locations: Case study in south-eastern Spain. - *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 24: 544-556.
- Santangeli, A. & Katzner, T. 2015. A call for conservation scientists to evaluate opportunities and risks from operation of vertical axis wind turbines. - *Frontiers in Ecology and Evolution* 3: 68.
- Schuster, E., Bulling, L. & Köppel, J. 2015. Consolidating the state of knowledge: a synoptical review of wind energy's wildlife effects. - *Environmental Management* 56: 300-331.
- Serrano, E., Rus, G. & García-Martínez, J. 2009. Nanotechnology for sustainable energy. - *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13: 2373-2384.
- Smallwood, K. S. & Karas, B. 2009. Avian and bat fatality rates at old-generation and repowered wind turbines in California. - *Journal of Wildlife Management* 73: 1062-1071.
- Smith, J. A. & Dwyer, J. F. 2016. Avian interactions with renewable energy infrastructure: An update. - *Condor* 118: 411-423.
- Stodola, J. T. 2012. Effects of utility-scale solar developments on the *Gopherus agassizii* in the Mojave desert. *Geography* 368 – Desert Southwest Field Seminar.
- Stoms, D. M., Dashiell, S. L. & Davis, F. W. 2013. Siting solar energy development to minimize biological impacts. - *Renewable Energy* 57: 289-298.
- Sverdrup-Thygeson, A. & Framstad, E. 2007. Bioenergitiltak og effekter på biomangfold. NINA Rapport 311. 38 s. Norsk institutt for naturforskning, Oslo.
- Tabassum-Abbasi, Premalatha, M., Abbasi, T. & Abbasi, S. A. 2014. Wind energy: Increasing deployment, rising environmental concerns. - *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 31: 270-288.
- Tamaro, M., Salluzzo, A., Rimauro, J., Schiavo, S. & Manzo, S. 2016. Experimental investigation to evaluate the potential environmental hazards of photovoltaic panels. - *Journal of Hazardous Materials* 306: 395-405.
- Tilman, D., Socolow, R., Foley, J. A., Hill, J., Larson, E., Lynd, L., Pacala, S., Reilly, J., Searchinger, T., Somerville, C. & Williams, R. 2009. Beneficial biofuels- The food, energy, and environment trilemma. - *Science* 325: 270-271.
- Tromp, T. K., Shia, R.-L., Allen, M., Eiler, J. M. & Yung, Y. L. 2003. Potential environmental impact of a hydrogen economy on the stratosphere. - *Science* 300: 1740-1742.

- Tröltzsch, P. & Neuling, E. 2013. Die Brutvögel großflächiger Photovoltaikanlagen in Brandenburg. - *Vogelwelt* 134: 155-179.
- Tsoutsos, T., Frantzeskaki, N. & Gekas, V. 2005. Environmental impacts from the solar energy technologies. - *Energy Policy* 33: 289-296.
- Turney, D. & Fthenakis, V. 2011. Environmental impacts from the installation and operation of large-scale solar power plants. - *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15: 3261-3270.
- Visser, E. 2016. The impact of South Africa's largest photovoltaic solar energy facility on birds in the Northern Cape, South Africa. Minor Dissertation presented in partial fulfilment of the requirements for the degree of Masters of Science in Conservation Biology. - Percy FitzPatrick Institute of African Ornithology, University of Cape Town, Rondebosch, South Africa. 51.
- Walston Jr., L. J., Rollins, K. E., LaGory, K. E., Smith, K. P. & Meyers, S. A. 2016. A preliminary assessment of avian mortality at utility-scale solar energy facilities in the United States. - *Renewable Energy* 92: 405-414.
- Wang, S., Wang, S. & Smith, P. 2015. Ecological impacts of wind farms on birds: Questions, hypotheses, and research needs. - *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 44: 599-607.
- Wu, Z., Hou, A., Chang, C., Huang, X., Shi, D. & Wang, Z. 2014. Environmental impacts of large-scale CSP plants in northwestern China. - *Environmental Science: Processes & Impacts* 16: 2432-2441.

ISSN: 2464-2797
ISBN: 978-82-426-3048-3

Norsk institutt for naturforskning

NINA Hovedkontor

Postadresse: Postboks 5685 Sluppen, 7485 Trondheim

Besøks-/leveringsadresse: Høgskoleringen 9, 7034 Trondheim

Telefon: 73 80 14 00, Telefaks: 73 80 14 01

E-post: firmapost@nina.no

Organisasjonsnummer 9500 37 687

<http://www.nina.no>

Samarbeid og kunnskap for framtidens miljøløsninger