






Vind- og produksjonsindekser for vindkraft i Norge, 2019



Til	Ann Myhrer Østenby, Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)
Fra	Meventus AS
Dato	31.01.2020
Rapportens tittel	Vind- og produksjonsindekser for vindkraft i Norge, 2019
Rapportnr.	2020-001
Skrevet av	Mads Sørensen, Kyle Brennan

	Navn	Dato	Signatur
Utført av	Mads Sørensen Kyle Brennan	31.01.2020	 
Kontrollert av	Anne Haaland Simonsen	31.01.2020	

De presenterte resultatene er basert på informasjon som refereres til i dette dokumentet ved hjelp av kjente analysemetoder og industristandarder og betyr ikke at ikke noe informasjon kan endres. Alle estimater eller beregninger innebærer usikkerhet, og ingenting i dette dokumentet garanterer noen bestemt vindhastighet eller vindforhold. Meventus skal ikke være ansvarlig for fremtidig bruk av resultater i dette dokumentet, eller for direkte eller indirekte tap som kan skyldes mulige feil i dokumentet.

Innholdsfortegnelse

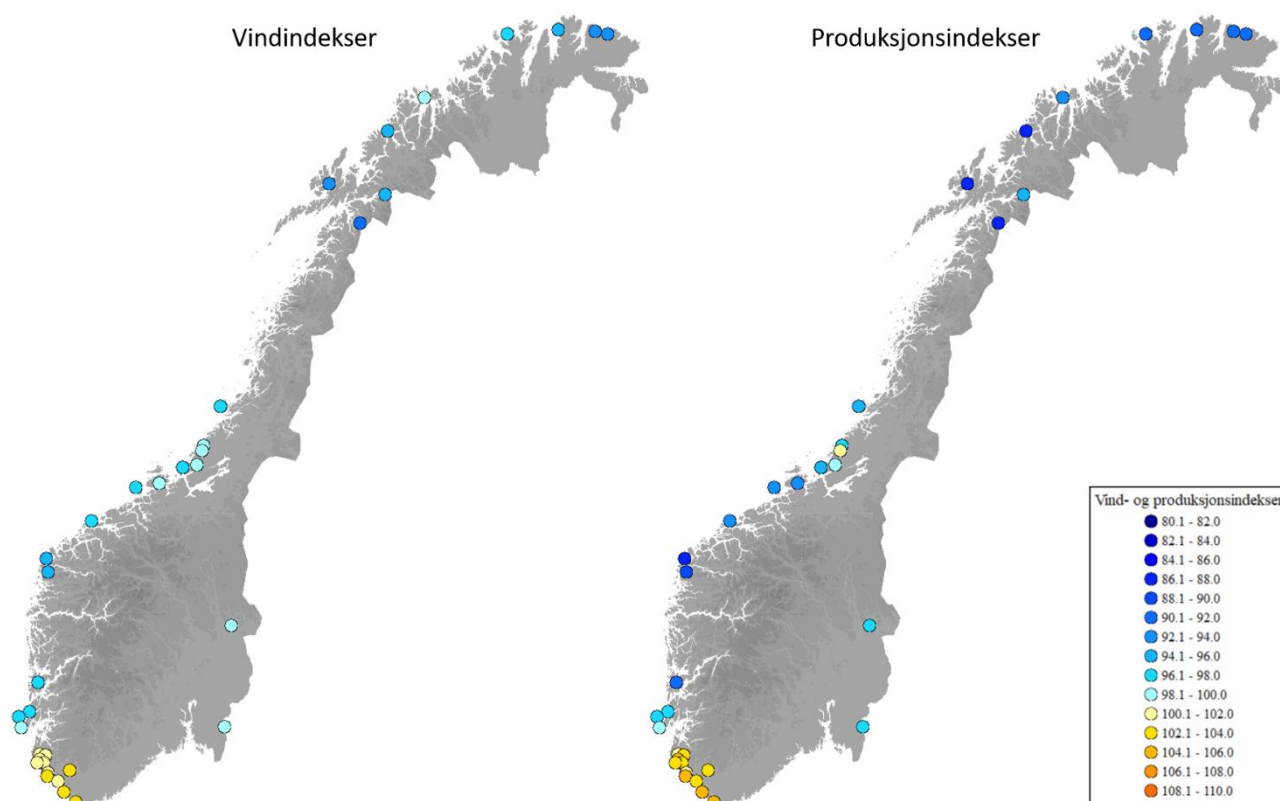
Innholdsfortegnelse	3
Sammendrag	4
1 Innledning.....	5
2 Datagrunnlag	7
2.1 Turbinposisjoner.....	7
2.2 Turbintyper og effektkurver	7
2.3 Terreng- og ruhetsdata.....	8
2.4 Meteorologiske referansedata	9
2.5 Historiske produksjonsdata	9
3 Beregningsmetode	10
3.1 Strømningsmodeller	10
3.2 Produksjonsmodeller	10
3.3 Skalering av WRF-data	11
3.4 Vind- og produksjonsserier	12
3.5 Verifikasjon av produksjonsmodell	12
4 Vind- og produksjonsindekser.....	14
5 Referanser.....	17
Appendiks A: Effektkurver for turbinene	18
Appendiks B: Valg av modelloppsett	20
Appendiks C: Modellverifikasjon	21

Sammendrag

På oppdrag fra Norges Vassdrags- og Energidirektorat (NVE) har Meventus beregnet vind- og produksjonsindekser for året 2019 for samtlige vindkraftverk i Norge som har vært i normal drift eller under utbygging dette året.

Beregningsmetodikken som er benyttet i analysen tar hensyn til de lokale vindforholdene og tar høyde for relevante stedsspesifikke faktorer som påvirker produksjonen, som terreng, ruhet, retningsavhengige vaketap og luftens tetthet. Indeksene er beregnet basert på normalårsverdier fra en 15 års referanseperiode fra 2003 til 2017.

Store deler av landet har hatt vind- og produksjonsindekser under normalen i 2019. De laveste indeksverdiene er beregnet for vindkraftverkene på Nordvestlandet og i nordlige deler av landet, mens indeksverdiene for vindkraftverkene i de sørvestlige delene av landet ligger høyest, med verdier opp i 4.4 % over normalen. Kapasitetsvektet gjennomsnitt av produksjonsindeksene for 2019 er på 96.8 %. De beregnede vind- og produksjonsindeksene er presentert i Figur 1 under.



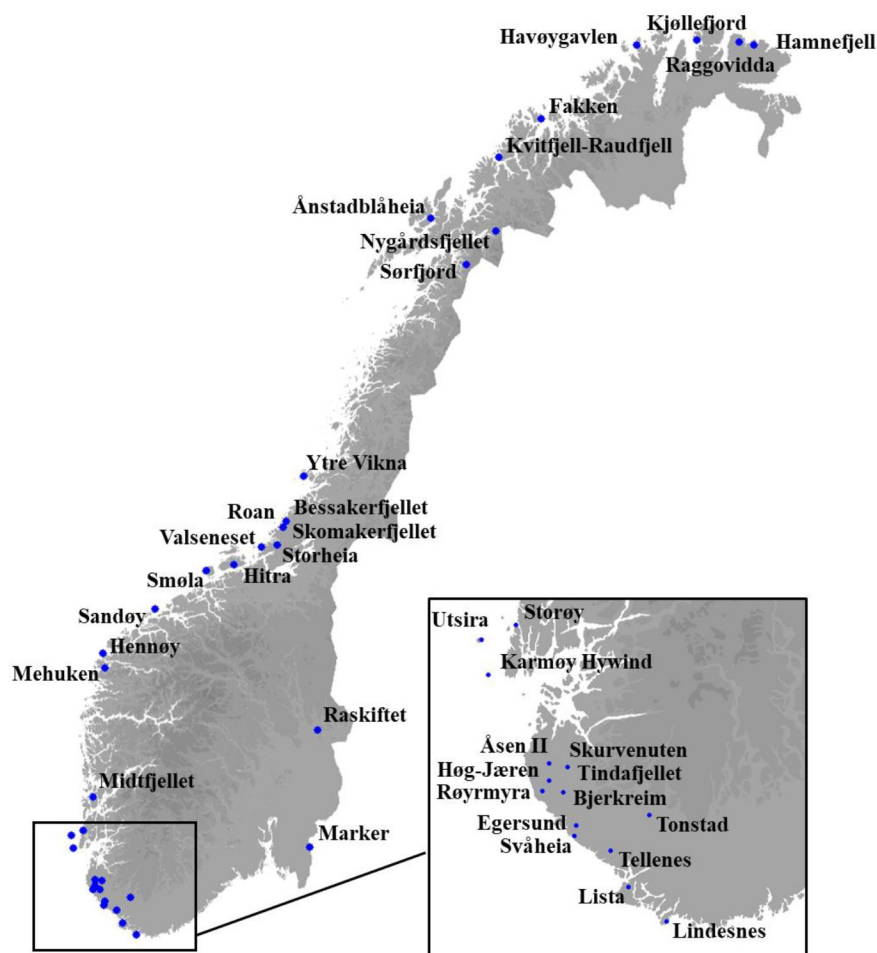
Figur 1 – Oversiktskart med beregnede indekser for samtlige norske vindparker som er inkludert i analysen

1 Innledning

På oppdrag fra Norges Vassdrags- og Energidirektorat (NVE) har Meventus beregnet vind- og produksjonsindekser for året 2019 for samtlige vindkraftverk i Norge som har vært i normal drift eller under utbygging dette året. Formålet med arbeidet er å få en oversikt over hvordan energiproduksjonen i hvert av disse anleggene var i 2019 sammenlignet med normalårsverdier, informasjon som blir brukt direkte i NVEs arbeid med overvåking og rapportering av Norges vindkraftproduksjon. Perioden 2003 - 2017 er i samråd med NVE valgt som referanseperiode, og de gjennomsnittlige vindforholdene i denne perioden er brukt for beregning av normalverdier for middelvind og produksjon.

Metodikken som er benyttet i denne analysen hensyntar de lokale vindforholdene og tar høyde for relevante stedsspesifikke faktorer som påvirker produksjonen, som terreng, ruhet, retningsavhengige vaketap og luftens tetthet. Beregningsmetodikken er beskrevet i detalj i kapittel 3, mens de beregnede indeksverdiene er presentert og kommentert i kapittel 4.

En oversikt over vindkraftverkene som er inkludert i rapporten er presentert i Figur 2 under.



Figur 2 – Oversikt over vindkraftverkene som er inkludert i analysen

1.1 Endringer i vindkraftverkernes status fra fjorårets rapport

I løpet av 2019 er flere nye vindkraftverk bygget ut og satt i drift, mens noen er lagt ned. Følgende endringer er registrert og hensyntatt i denne rapporten:

- Kvalnes vindkraftverk (1 vindturbin) er lagt ned
- Fjeldskår vindkraftverk (5 vindturbiner) er lagt ned. Et nytt vindkraftverk med 2 vindturbiner, Lindesnes, ble bygget på det samme planområdet.
- Valseneset testsenter (1 vindturbin) er lagt ned. Et nytt vindkraftverk med tre vindturbiner, Valseneset vindkraftverk, ble bygget på det samme planområdet, vest for de 5 eksisterende turbinene på Valseneset. Kun 2 av de 3 vindturbinene var i drift ved utgangen av 2019.
- Ti nye vindkraftverk ble idriftsatt på slutten av 2018 eller i 2019. Dette inkluderer Hennøy, Hitra 2, Marker, Roan, Skurvenuten, Storheia, Storøy, Svåheia, Tindafjellet og Ånstadblåheia.
- Seks vindkraftverk under utbygging ved utgangen av 2019 er inkludert i rapporten. Disse inkluderer Bjerkreim, Kvitfjell, Raudfjell, Skinansfjellet og Gravdal, Sørfjord og Tonstad.

I henhold til avtale med NVE, er følgende naboprojekter gruppert i rapporteringsarbeidet.

- Kvitfjell og Raudfjell vurderes samlet som Kvitfjell–Raudfjell
- Bjerkreim, Skinansfjellet og Gravdal vurderes samlet som Bjerkreim.

Prosjekter som ikke var fullt utbygd innen utgangen av 2019 er vurdert ut fra parkens planlagte totalkapasitet.

2 Datagrunnlag

2.1 Turbinposisjoner

Turbinposisjonene i hvert av vindkraftverkene som inngår i rapporten ble hentet fra NVEs nettside og offentlige databaser (OMS/OSM) som er tilgjengelige i programvaren WindPRO. Samtlige posisjoner er bekreftet ved bruk av satellittbilder for å sikre at de antatte posisjonene samsvarer med det som faktisk er bygget.

2.2 Turbintyper og effektkurver

Informasjon om hvilken turbintype og navhøyde som er benyttet i hvert av anleggene ble hentet fra NVEs database om utbygde vindkraftverk (NVE, 2020), fra forrige årsrapport (NVE, 2019) eller fra offentlig tilgjengelige data fra de respektive anleggenes nettsider. En oversikt over turbintypene som ligger til grunn i beregningene for hvert av vindkraftverkene er presentert i Tabell 1 og Tabell 2.

Tabell 1 – Oversikt over vindkraftverk inkludert i denne rapporten (og inkludert i fjorårets rapport)

Vindkraftverk	Antall turbiner	Idriftsatt	Turbintype(r)
Hamnefjell	15	2017	Vestas V112 - 3.45MW
Raggovidda	15	2014	Siemens SWT101 - 3.0MW
Havøygavlen	15	2002	Nordex N80 - 2.5MW
	1		Siemens SWT101 - 3.0MW
Kjøllefjord	17	2006	Siemens SWT82 - 2.3MW
Fakken	18	2012	Vestas V90 - 3.0MW
Nygårdsfjellet	14	2005	Siemens SWT93 - 2.3MW
Ytre Vikna	17	2012	Enercon E70 - 2.3MW
Bessakerfjellet	25	2007	Enercon E70 - 2.3MW
Skomakerfjellet	4	2015	Vestas V112 - 3.3MW
Valsneset	5	2006	Enercon E70 - 2.3MW
Hitra	24	2004	Bonus 82 - 2.3 MW*
Smøla	20	2002	Bonus 76 - 2.0MW
	48		Bonus 82 - 2.3MW*
Sandøy	5	1999	Neg Micon NM48 - 0.75
Mehuken	11	2001	Enercon E70 - 2.3MW
Raskiftet	31	2018	Vestas V126 - 3.6MW
Midtfjellet	34	2012	Nordex N90 - 2.5MW
	10		Nordex N100 - 2.5 MW
	11		Nordex N117 - 3.6MW
Utsira	2	2004	Enercon E40 - 0.6MW
Karmøy Hywind	1	2009	Siemens SWT82 - 2.3MW
Åsen II	2	2012	Enercon E48 - 0.8MW
Høg-Jæren	32	2011	Siemens SWT93 - 2.3MW
Røyrmøya	3	2015	Enercon E48 - 0.8MW
Egersund	33	2017	Senvion 3.4M114
Tellenes	50	2017	Siemens SWT113 - 3.2MW
Lista	31	2012	Siemens SWT93 - 2.3MW

*Bonus ble kjøpt av Siemens i 2004, Bonus 82 2.3 MW ble deretter kalt SWT82 2.3MW

Tabell 2 – Oversikt over nye vindkraftverk inkludert i denne rapporten (ikke inkludert i fjorårets rapport)

Vindkraftverk	Antall turbiner	I driftsatt	Turbintype
Bjerkreim	70	2019*	SiemensGamesa SWT130 4.3 MW
Hennøy	12	2019	Vestas V117 4.2 MW
Hitra 2	26	2019	Vestas V117 3.6 MW
Kvitfjell-Raudfjell	67	2019*	SiemensGamesa SWT130 4.2 MW
Lindesnes	2	2019	Vestas V112 3.6 MW
Marker	15	2019	Vestas V136 3.6 MW
Roan	71	2018	Vestas V117 3.6 MW
Skurvenuten	2	2018	Vestas V117 3.45 MW
Sørfjord	23	2019*	SiemensGamesa SWT130 4.2 MW
Storheia	80	2019	Vestas V117 3.6 MW
Storøy	2	2018	Enercon E115 3.2 MW
Svåheia	7	2018	Vestas V126 3.6 MW
Tindafjellet	3	2018	Vestas V117 3.45 MW
Tonstad	52	2019*	SiemensGamesa SWT142 4.1 MW
Valsneset vindkraftverk	3	2019*	Vestas V117 4.2 MW
Ånstadblåheia	14	2018	Vestas V126 3.6 MW

*ikke ferdigstilt i 2019

Spesifikke effektkurver er hentet fra WindPROs WTG (Wind Turbine Generator) database.

En fullstendig liste over effektkurvene som er benyttet for hver spesifikke turbintype er presentert i Appendiks A.

2.3 Terreng- og ruhetsdata

For terrengbeskrivelse i hvert av områdene ble det benyttet høykvalitets høydedata (DTM data med 10 m oppløsning eller 10 m høydekoter). For ruhetsbeskrivelse ble det i WindSim benyttet ruhetsdata basert på N50 datasettet fra Statens Kartverk, mens det for vindkraftverkene modellert med WAsP ble benyttet ruhetsbeskrivelse fra datasettet Corine 2012¹. Ruhetsverdiene som ble benyttet for hver respektive terrengtype for hvert av de to datasettene er presentert i Tabell 3.

Tabell 3 – Oversikt over ruhetslengder benyttet i beregningene

Type område	Ruhetslengde [m]	
	WindSim	WAsP
Hav/innsjø	0.0001	0.00
Åpent Område	0.03	0.03
Dyrket mark	0.05	0.06
Myr	0.1	0.02
Bebyggelse	0.4	0.4
Skog	0.8	0.5

¹ http://help.emd.dk/mediawiki/index.php?title=Corine_2012

2.4 Meteorologiske referansedata

De meteorologiske referansedataene (hindcast) som er benyttet for denne analysen er EMD-WRF globale mesoskala data², levert av det danske selskapet EMD International A/S (leverandør av programvaren WindPRO). WRF (Weather Research and Forecasting model) er et veletablert mesoskala numerisk værvarslingssystem designet for både atmosfærisk forskning og operasjonelle prognoseapplikasjoner. Gjennom WindPRO kan dette datasettet genereres for ønsket område og produseres ved bruk av WRF-modellen og grensebetingelser fra et utvalg av meteorologiske referansedata med tidsoppløsning på 1 time og romlig oppløsning på 3 x 3 km.

Grensebetingelsene for WRF-modellen er for denne analysen hentet fra det meteorologiske referansedatasettet CFSR/CFSv2 (Climate Forecast System Reanalysis data)³.

For denne analysen ble det lastet ned en historisk mesoskala (WRF) tidsserie for perioden fra 2003 og ut 2019 for et representativt sted innenfor hvert av vindkraftverkene. Det aktuelle datasettet inkluderer vindhastighet og vindretning for 5 ulike høyder mellom 10 og 200 meter, samt temperatur og lufttrykk som ble benyttet for beregning av lufttettheten for hvert tidssteg.

2.5 Historiske produksjonsdata

Produksjonsdata for hele referanseperioden fra hvert av vindkraftverkene ble gjort tilgjengelig av NVE for bruk i denne analysen. Dataene ble benyttet for kalibrering av produksjonsmodellen og for verifikasjon av resultatene. De timesoppløste aggregerte produksjonsverdiene (totalproduksjon for hvert vindkraftverk) var registrert av Statnett på inmatingspunktet.

Det påpekes at enkelte vindkraftverk ikke var ferdigstilt ved utgangen av 2019, og den oppgitte produksjonen for de aktuelle vindkraftverkene vil da ikke reflektere anleggenes fulle kapasitet. For Sørfjord vindkraftverk var ingen data tilgjengelig for denne rapporten.

² <https://www.emd.dk/windpro/mesoscale-data/emd-wrf-meso-scale-on-demand-service/>

³ <https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/model-data/model-datasets/climate-forecast-system-version2-cfsv2>

3 Beregningsmetode

Modelleringsmetodikken som er benyttet for beregning av vind- og produksjonsindekser er konsekvent for samtlige vindkraftprosjekter som inngår i denne analysen, uavhengig av anleggenes størrelse. Dette sikrer sammenlignbare resultater og er viktig for å kunne kartlegge eventuelle geografiske mønstre i resultatene.

Metodikken som er benyttet hensyntar de lokale vindforholdene og tar høyde for relevante stedsspesifikke faktorer som påvirker produksjonen, som terreng, ruhet, retningsavhengige vaketap og luftens tetthet.

Kort oppsummert er følgende fremgangsmåte benyttet:

- **Strømningsmodell:** En tilpasset strømningsmodell er satt opp for hvert område.
- **Produksjonsmodell:** Basert på turbinposisjonene med tilhørende effektkurver og parametere for vakemodellering er samlede effektkurver for alle mulige kombinasjoner av vindhastighet, vindretningssektorer og variasjon i lufttetthet beregnet for hvert av anleggene.
- **Skalering av WRF-data:** Parkspesifikke skaleringsfaktorer for justering av inngangsdata fra WRF til forventet nivå er beregnet. Dette er gjort ved en sammenligning av parkens beregnede produksjon basert på WRF-data og historiske produksjonsdata fra NVE/Statnett.
- **Vind- og produksjonsserier:** De resulterende kalibreringsfaktorene og effektkurvene (for samlet produksjon for hvert vindkraftanlegg) for hver kombinasjon av vindhastighet, vindretning og lufttetthet er deretter benyttet direkte på oppdatert tidsserier fra WRF.

Fremgangsmåten som er benyttet er beskrevet nærmere i de følgende underkapitlene.

3.1 Strømningsmodeller

Avhengig av størrelse og terrengforhold for hvert av de individuelle vindkraftanleggene er en av følgende beregningsmetodikker benyttet for modellering av strømningsforholdene:

- WindSim CFD-modell (Computational Fluid Dynamics) med høy oppløsning
- WindSim CFD-modell med moderat oppløsning
- WASP (Wind Atlas Analysis and Application Program) lineær strømningsmodell

Hvilken type strømningsmodell som er benyttet for hvert av de aktuelle vindkraftanleggene er presentert i Appendiks B. Valg av strømningsmodeller er avklart med NVE.

3.2 Produksjonsmodeller

Et WindPRO-prosjekt er satt opp for hvert enkelt vindkraftanlegg. WindPRO-prosjektene inneholder detaljerte høyde- og ruhetsdata for området innenfor og rundt anleggene, turbinposisjoner, tilhørende effektkurve(r) og langtidskorrigerede vinddata. For små prosjekter hvor det er benyttet en

lineær WASP-modell er denne modellen satt opp direkte i WindPRO. For større parker hvor strømningsforholdene er beregnet med en WindSim CFD-strømningsmodell er relevante data hentet inn i WindPRO-prosjektet ved bruk av en WindSim FLOWRES eksportfil.

Turbinenes vaketap er modellert ved bruk av N.O.Jensen-modellen med en vakereduksjonskonstant på 0.075. Dette er en standard verdi for landbaserte vindkraftprosjekter.

Det resulterende WindPRO-prosjektet er benyttet for beregning av effektkurver for vindkraftverkens samlede produksjon for alle mulige kombinasjoner av vindhastighet, vindretning og lufttetthet. Disse effektkurvene er frembragt basert på en syntetisk tidsserie som inneholder alle kombinasjoner av 36 vindretningssektorer, vindhastigheter fra 0 til 40 m/s, og et spekter av tetthetsverdier (fra 1.050 til 1.475 kg/m³, i intervaller på 0.025) som kan forventes for hvert område.

3.3 Skalering av WRF-data

En historisk WRF-tidsserie med høy oppløsning (som beskrevet i seksjon 2.4) er benyttet som inngangsdata for produksjonsmodellene som er satt opp for hvert enkelt vindkraftverk. Ettersom vindhastigheten fra WRF-modellene ikke alltid samsvarer helt med det som forventes i området, er WRF-dataene skalert før bruk i produksjonsberegningene. WRF-data beregnet i 100 m høyde over bakken er benyttet, og dataene er justert til aktuell navhøyde ved bruk av strømningsmodellen.

Skaleringen er gjennomført ved beregning av tidsvarierende produksjonsverdier for hvert av vindkraftanleggene basert på tidsserier med vindhastighet, vindretning og lufttetthet (basert på temperatur og lufttrykk) fra WRF-datasettet. Disse tidsseriene ble sammenlignet med de historiske produksjonsdataene fra NVE/Statnett for beregning av egnet skaleringsfaktor. Produksjonen på timesbasis vil ofte variere mye fra time til time, basert på variasjon i vindforhold i de enkelte turbinposisjonene og eventuelle tekniske problemer. For å redusere resultatenes sensitivitet til statusen på de individuelle turbinene ble produksjonen samlet til daglige produksjonsverdier for skalering. Dette gjorde det også lettere å ekskludere data med tekniske problemer.

For å sikre en best mulig tilpassing av WRF-dataene til de faktiske forholdene i hvert område, ble følgende perioder ekskludert i kalibreringsprosessen:

- samtlige vinterdata (f.o.m. desember t.o.m. februar) for å redusere påvirkning fra eventuelle isingsperioder
- oppstartsperioder for nye vindturbiner
- Perioder hvor turbinene tydelig ikke produserer optimalt.

For prosjekter hvor det er gjennomført en stegvis utbygging ble kalibreringen utført basert på data fra det oppsettet som har vært gjeldende lengst. Dette for å maksimere mengden data som var tilgjengelig for tilpassingen.

For nye prosjekter med lite historiske produksjonsdata tilgjengelig er skaleringsfaktoren delvis basert på faktorer benyttet for lignende prosjekter og en erfaringsbasert vurdering.

3.4 Vind- og produksjonsserier

Korrigerede timesoppløste tidsserier for vindhastighet, vindretning og lufttetthet ble beregnet for hvert av prosjektene basert på de historiske WRF-dataene og de respektive skaleringsfaktorene. Lufttettheten for hvert tidssteg ble beregnet basert på modellert temperatur og lufttrykk i 100 m høyde. Lufttettheten ble i denne prosessen avrundet til nærmeste 0.025 for å tilpasses nivåene i de genererte parkspesifikke effektkurvene. Vindhastigheten ble samtidig korrigert for endringen i lufttetthet i henhold til IEC 61400-12-1 (IEC, 2005) ved hjelp av ligningen under (1).

$$V_{korr} = V_{mod} \left(\frac{\rho_{mod}}{\rho_{avr}} \right)^{1/3} \quad (1)$$

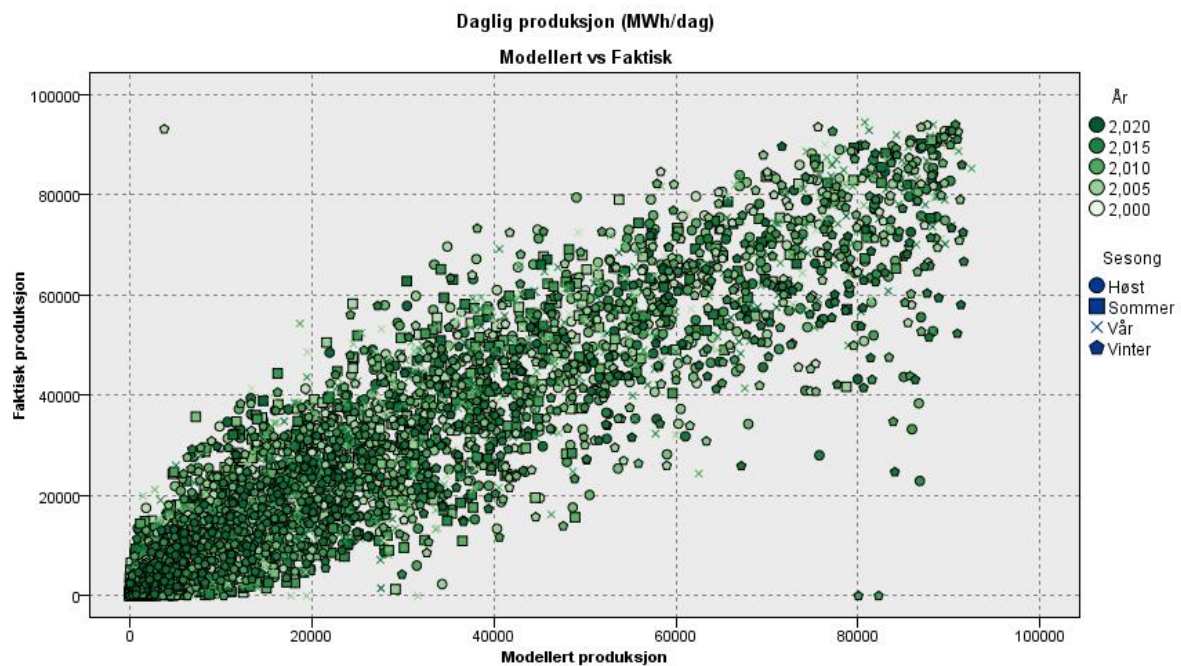
Lufttettheten ρ_{mod} er den modellerte lufttettheten som benyttes for å justere den modellerte vindhastigheten V_{mod} til den vindhastigheten V_{korr} som med nærmeste avrundede lufttetthet (ρ_{avr}) vil representere den samme vindenergien.

De korrigerede tidsseriene ble videre benyttet i kombinasjon med aktuell effektkurve for parkens samlede produksjon for beregning av tidsserie med forventet produksjon, inkludert vaketap, for tidsperioden fra 2003 og frem til dagens dato. Figurer som viser modellert produksjon sammenlignet med faktisk produksjon for hvert av vindkraftverkene er inkludert i Appendiks C.

Denne produksjonen ble samlet til årlige verdier for beregning av vind- og produksjonsindekser. For vindkraftanlegg som var under bygging i 2019, som f.eks. Bjerkreim og Sørfjord, var det anleggets planlagte totalkapasitet som ble lagt til grunn for beregning av indeksene, uansett om hele anlegget ble idriftsatt i 2019 eller ikke.

3.5 Verifikasjon av produksjonsmodell

De modellerte tidsseriene med produksjonsdata ble sammenlignet med de faktiske produksjonsdataene for å sikre at modellen klarer å gjenspeile de faktiske forholdene. En sammenligning mellom modellert og faktisk produksjon for et av vindkraftverkene i analysen er vist i Figur 3. Markørene i figuren er fargelagt med hensyn på årstallet, mens formen på markørene angir hvilken sesong datapunktet gjelder for.



Figur 3 – Eksempel på verifikasjonsplot. Figuren viser sammenligning mellom modellert produksjon og faktisk produksjon for et av vindkraftverkene i analysen.

Verifikasjonsplot for produksjonen i 2019 er presentert i Appendiks C for samtlige inkluderte vindkraftverk med tilgjengelige produksjonsdata.

4 Vind- og produksjonsindekser

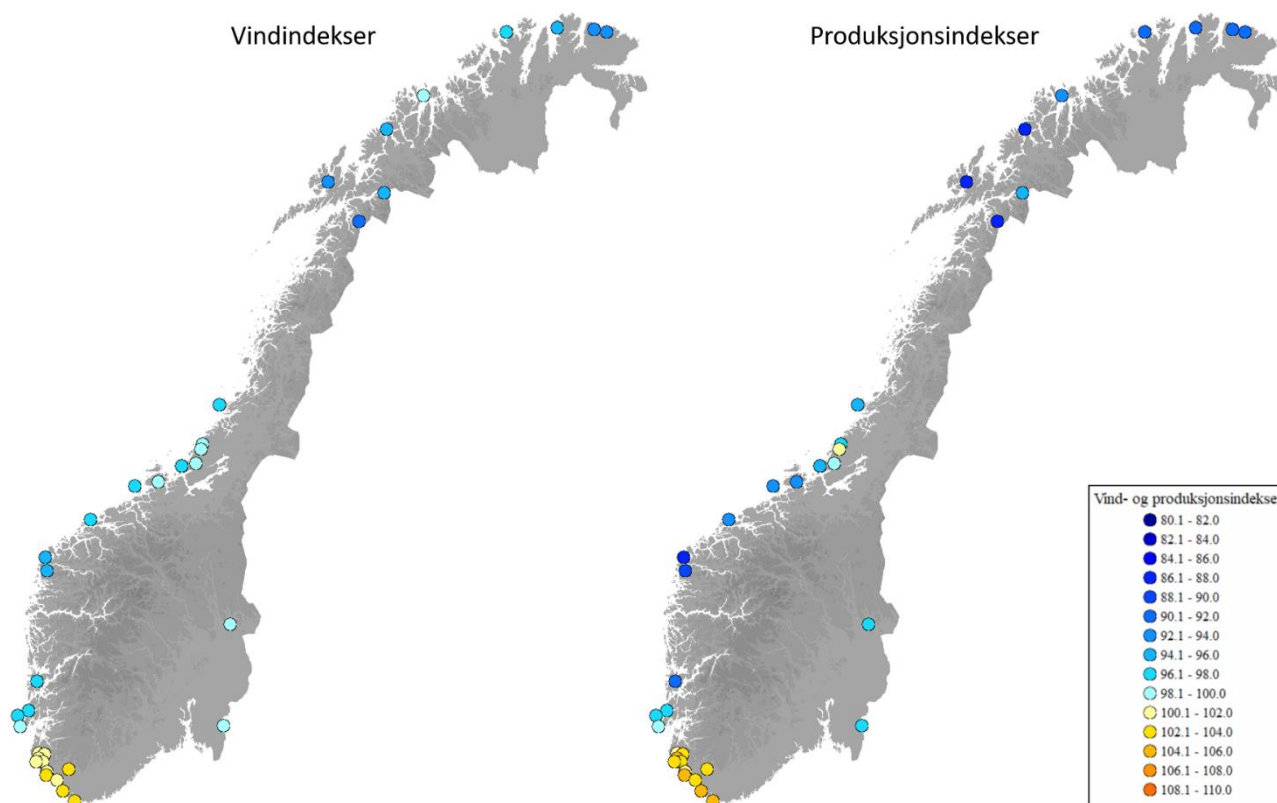
Vind- og produksjonsindekser for 2019 ble beregnet basert på en 15 års referanseperiode, f.o.m. 2003 t.o.m. 2017.

Beregnete vind- og produksjonsindekser for samtlige vindkraftverk i Norge som var i normal drift i 2019 er presentert i Tabell 4 under. Tabellen viser også årlig standardavvik i produksjonsindeksen for hvert av anleggene, basert på produksjonsindekser beregnet for perioden 2003–2019. Denne verdien gir en indikasjon på årlig variasjon i produksjonen for hvert av vindkraftverkene.

Tabell 4 – Vind- og produksjonsindekser for samtlige vindkraftanlegg i Norge i normal drift i 2019.

Vindkraftanlegg	Vindindeks 2019 [%]	Produksjonsindeks 2019 [%]	Årlig standardavvik i produksjonsindeksene [%]
Hamnefjell	93.4	90.2	5.8
Raggovidda	93.1	90.5	5.2
Havøygavlen	96.9	91.9	7.6
Kjøllefjord	96.0	90.6	6.5
Fakken	98.4	92.8	7.4
Kvitfjell-Raudfjell	94.9	86.8	6.4
Ånstadblåheia	94.0	87.8	8.2
Nygårdsfjellet	95.6	94.5	6.8
Sørfjord	91.5	88.0	6.7
Ytre Vikna	96.6	94.3	8.0
Bessakerfjellet	98.9	96.5	7.2
Skomakerfjellet	98.9	97.0	7.6
Valsneset	97.8	95.1	7.6
Valsneset vindkraftverk	97.8	94.2	6.4
Roan	99.3	100.2	7.2
Storheia	99.3	99.1	7.1
Hitra	98.5	95.2	10.8
Hitra 2	98.5	93.4	9.7
Smøla	96.9	93.4	13.6
Sandøy	96.3	93.1	13.3
Mehuken	94.9	86.9	11.6
Hennøy	94.4	88.1	10.5
Raskiftet	98.6	97.1	8.5
Midtfjellet	97.5	91.7	9.9
Marker	99.9	98.0	7.9
Storøy	97.8	97.8	6.7
Utsira	97.2	96.8	7.2
Karmøy Hywind	98.4	99.5	6.7
Åsen II	100.8	101.3	8.6
Skurvenuten	101.5	101.7	8.1
Tindafjellet	101.6	103.4	7.4
Høg-Jæren	101.0	104.3	6.1
Bjerkreim	101.5	102.9	6.9
Røyrymyra	101.2	103.5	7.0
Tonstad	102.4	103.7	7.0
Egersund	101.9	101.7	7.0
Svåheia	102.5	104.3	7.3
Tellenes	101.9	104.0	6.3
Lista	102.4	104.4	7.4
Lindesnes	102.5	104.2	7.3

De beregnede indeksene for hvert av anleggene er markert geografisk på kartene i Figur 4.



Figur 4 – Oversiktskart med beregnede indekser for samtlige norske vindparker som er inkludert i analysen

Vind- og produksjonsindeksene følger generelt det samme mønsteret. Resultatene viser at for 13 av 40 av vindparkene i Norge var vind- og produksjonsindeksene over normalen i 2019, mens for de resterende 27 vindparkene var 2019 et lavvindsår med forventet produksjon under normalen.

Som det fremgår av oversiktskartet i Figur 4 er det i de sørvestlige delene av landet man finner de høyeste produksjonsindeksene for 2019, mens for vindkraftanleggene på Nordvestlandet og i nordlige deler av landet var produksjonsindeksen for dette året generelt et stykke under normalen.

Den høyeste produksjonsindeksen er beregnet for vindkraftverket Lista på 104.4 % av normalen, mens den laveste produksjonsindeksen er beregnet for Kvitfjell-Raudfjell vindkraftverk på 86.8 % av normalen.

Standardavviket i produksjonsindeksen gir en indikasjon på hvor mye produksjonen vil kunne variere fra år til år. Som det fremgår av Tabell 4 varierer standardavviket mellom 5.2 % og 13.6 % for de 40 vindkraftverkene som inngår i analysen. Beregnet standardavvik er lavest for vindkraftverkene i Øst-Finnmark (Raggovidda og Hamnefjell), mens de høyeste verdiene er beregnet for vindkraftverkene på Nordvestlandet.

Gjennomsnittlig produksjonsindeks for 2019 er beregnet til 96.5 %, mens kapasitetsvektet gjennomsnitt av produksjonsindeksen ligger litt høyere på 96.8 %.

5 Referanser

- NVE, 2014 Vindkraft – produksjon i 2014, Rapport nr. 18 – 2015, Norges Vassdrags- og Energidirektorat
- NVE, 2018 Vindkraft – produksjon i 2017, Rapport nr. 10 – 2018, Norges Vassdrags- og Energidirektorat
- NVE, 2019 Vind- og produksjonsindekser for vindkraft i Norge, 2019 (<https://www.nve.no/media/7886/vind-og-produksjonsindekser-for-vindkraft-i-norge-2018.pdf>)
- NVE, 2020 NVEs nettside om utbygde vindkraftverk (01.2020) (<https://www.nve.no/energiforsyning/vindkraft/utbygde-vindkraftverk/>)
- IEC, 2005 IEC 61400-12-1:2005, Wind turbines – Part 12-1: Power performance measurements of electricity producing wind turbines, 2005

Appendiks A: Effektkurver for turbinene

Tabell 5 – Oversikt over effektkurver benyttet i analysen (Del 1 av 2). Effekten er oppgitt i kW.

Vindhastighet [m/s]	Bonus	Enercon				NEG Micon	Senvion	Siemens / SiemensGamesa						Vestas	
	B76 2.0MW	E40 0.6MW	E48 0.8MW	E70 2.3MW	NM48 0.75MW	Senvion 3.4M114	SWT82 2.3MW	SWT93 2.3MW	SWT101 3.0MW	SWT113 3.2MW	SWT130 4.2MW	SWT142 4.1MW	V90 3.0MW	V136 3.6MW	
2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3	0	2	5	18	0	23	0	0	50	63	30.9	40	0	43	
4	0	15	25	56	20	140	75	103	132	171	195.2	245	77	184	
5	55	41	60	127	53	327	161	221	272	355	453.4	556	190	421	
6	190	80	110	240	97	601	294	401	485	628	813.6	992	353	778	
7	378	136	180	400	155	988	478	652	783	1008	1301.9	1583	581	1269	
8	611	208	275	626	245	1502	721	981	1177	1503	1922	2308	886	1901	
9	902	295	400	892	349	2105	1031	1408	1674	2074	2632.9	3056	1273	2630	
10	1242	405	555	1223	462	2721	1413	1892	2258	2601	3342.6	3698	1710	3261	
11	1609	508	671	1590	565	3208	1829	2241	2757	2949	3894.7	4020	2145	3534	
12	1901	571	750	1900	641	3400	2155	2299	2955	3114	4139.4	4092	2544	3593	
13	2000	600	790	2080	696	3400	2275	2300	2995	3173	4192.9	4099	2837	3600	
14	2000	600	810	2230	730	3400	2297	2300	3000	3192	4199.4	4100	2965	3600	
15	2000	600	810	2300	746	3400	2300	2300	3000	3198	4200	4100	2995	3600	
16	2000	600	810	2310	750	3400	2300	2300	3000	3199	4200	4100	3000	3600	
17	2000	600	810	2310	745	3400	2300	2300	3000	3200	4200	4100	3000	3600	
18	2000	600	810	2310	735	3400	2300	2300	3000	3200	4200	4100	3000	3600	
19	2000	600	810	2310	723	3400	2300	2300	3000	3200	4200	4100	3000	3600	
20	2000	600	810	2310	712	3400	2300	2300	3000	3200	4200	4100	3000	3600	
21	2000	600	810	2310	701	3400	2300	2300	3000	3200	4200	3553	3000	3600	
22	2000	600	810	2310	694	3400	2300	2300	3000	3200	4200	3007	3000	3600	
23	2000	600	810	2310	693		2300	2300	3000	3168	4200	2460	3000	3600	
24	2000	600	810	2310	695		2300	2300	3000	3136	3528	1913	3000	3600	
25	2000	600	810	2310	701		2300	2300	3000	2844	2856	1367	3000	3600	
26										2489	2184	820			
27										2133	1512				
28										1778	840				
29										1422					
30										1067					
31										711					
32										356					

Tabell 6 – Oversikt over effektkurver benyttet i analysen (Del 2 av 2). Effekten er oppgitt i kW.

Vindhastighet [m/s]	Nordex				Vestas								Siemens Gamesa	Enercon
	N80 2.5MW	N90 2.5MW	N100 2.5MW	N117 3.6MW	V112 3.3MW	V112 3.45MW	V112 3.6MW	V117 3.45MW	V117 4.2MW	V117 3.6MW	V126 3.6MW	V136 4.2MW	SWT130 4.3MW	E115 3.3MW
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19
3	1	9	3	15	6	7	7	22	22	22	36	57	30	49
3.5	24	43	46	70	52	53	53	78	78	78	102	133	92	94
4	60	87	101	146	121	123	123	150	151	150	183	225	189	155
4.5	105	140	171	241	204	208	208	237	237	237	281	338	307	236
5	160	208	256	355	303	309	309	340	341	340	401	479	447	339
5.5	225	292	356	489	417	427	427	466	466	466	546	650	613	468
6	302	390	472	646	553	567	567	617	618	617	721	856	807	628
6.5	392	504	608	830	715	732	732	796	797	796	928	1100	1035	821
7	496	635	765	1043	906	927	927	1006	1008	1006	1169	1386	1298	1036
7.5	615	787	945	1287	1124	1149	1149	1247	1250	1247	1441	1710	1594	1265
8	749	958	1148	1564	1371	1401	1401	1522	1526	1522	1755	2077	1920	1522
8.5	896	1147	1372	1868	1650	1688	1687	1831	1838	1830	2099	2472	2270	1816
9	1055	1353	1615	2188	1957	2006	2006	2178	2185	2176	2470	2858	2637	2125
9.5	1222	1572	1877	2513	2287	2348	2348	2544	2551	2541	2826	3212	3008	2419
10	1396	1802	2108	2824	2627	2693	2693	2905	2915	2903	3142	3548	3366	2677
10.5	1573	2038	2282	3089	2925	3011	3010	3201	3253	3209	3379	3834	3692	2881
11	1752	2232	2401	3288	3125	3252	3263	3374	3555	3418	3517	4029	3954	3030
11.5	1931	2369	2473	3429	3239	3388	3441	3435	3807	3543	3581	4140	4131	3125
12	2100	2455	2498	3523	3285	3436	3545	3448	3997	3589	3597	4185	4229	3177
12.5	2237	2496	2500	3576	3297	3448	3587	3450	4115	3599	3600	4197	4274	3197
13	2340	2500	2500	3598	3300	3450	3598	3450	4173	3600	3600	4199	4291	3200
13.5	2416	2500	2500	3600	3300	3450	3599	3450	4184	3600	3600	4200	4297	3200
14	2465	2500	2500	3600	3300	3450	3600	3450	4196	3600	3600	4200	4299	3200
14.5	2492	2500	2500	3600	3300	3450	3600	3450	4200	3600	3600	4200	4300	3200
15	2500	2500	2500	3600	3300	3450	3600	3450	4200	3600	3600	4200	4300	3200
15.5	2500	2500	2500	3600	3300	3450	3600	3450	4200	3600	3600	4200	4300	3200
16	2500	2500	2500	3600	3300	3450	3600	3450	4200	3600	3600	4200	4300	3200
16.5	2500	2500	2500	3600	3300	3450	3600	3450	4200	3600	3600	4200	4300	3200
17	2500	2500	2500	3600	3300	3450	3600	3450	4200	3600	3600	4200	4300	3200
17.5	2500	2500	2500	3600	3300	3450	3600	3450	4200	3600	3600	4200	4300	3200
18	2500	2500	2500	3600	3300	3450	3600	3450	4200	3600	3600	4200	4300	3200
18.5	2500	2500	2500	3600	3300	3450	3600	3450	4200	3600	3600	4200	4300	3200
19	2500	2500	2500	3600	3300	3450	3600	3450	4200	3600	3600	4200	4300	3200
19.5	2500	2500	2500	3600	3300	3450	3600	3450	4200	3600	3600	4200	4300	3200
20	2500	2500	2500	3600	3300	3450	3600	3450	4200	3600	3600	4200	4300	3200
20.5	2500	2500	2500	3600	3300	3450	3600	3450	4200	3600	3600	4200	4300	3200
21	2500	2500	2500	3600	3300	3450	3600	3450	4200	3600	3600	4200	4300	3200
21.5	2500	2500	2500	3600	3300	3450	3600	3450	4200	3600	3600	4200	4300	3200
22	2500	2500	2500	3600	3300	3450	3600	3450	4200	3600	3600	4200	4300	3200
22.5	2500	2500	2500	3600	3300	3450	3600	3450	4200	3600	3600	4200	4300	3200
23	2500	2500	2500	3600	3300	3450	3600	3450	4200	3600		4200	4300	3200
23.5	2500	2500	2500	3600	3300	3450	3600	3450	4200	3600		4200	3956	3200
24	2500	2500	2500	3600	3300	3450	3600	3450	4200	3600		4200	3612	3200
24.5	2500	2500	2500	3600	3300	3450	3600	3450	4200	3600		4200	3268	3200
25	2500	2500	2500	3600	3300	3450	3600	3450	4200	3600		4200	2924	3200
25.5													2580	
26													2236	
26.5													1892	
27													1548	
27.5													1204	
28													860	

Appendiks B: Valg av modelloppsett

Tabell 7 under viser en oversikt over hvilken type strømningsmodell som er benyttet for hvert av vindkraftverkene som inngår i analysen. De tre ulike typene strømningsmodell er:

- WindSim CFD-modell med høy oppløsning (20x20 m) (H)
- WindSim CFD-modell med moderat oppløsning (50x50 m) (M)
- WAsP lineær strømningsmodell (W)

Valg av strømningsmodell er basert på en vurdering av anleggets størrelse, kompleksiteten i terrenget i det aktuelle området og terrengforskjellene mellom de ulike turbinposisjonene. Valg av strømningsmodeller er avklart med NVE.

Tabell 7 – Oversikt over samtlige vindkraftverk inkludert i rapporten, med valgt type strømningsmodell

Vindkraftverk	Antall Turbiner	Valgt strømningsmodell	Vindkraftverk	Antall Turbiner	Valgt strømningsmodell
Hamnefjell	15	H	Mehuken	11	M
Raggovidda	15	M	Hennøy	12	M
Havøygavlen	16	M	Raskiftet	31	H
Kjøllefjord	17	H	Midtfjellet	44	M
Fakken	18	M	Marker	15	M
Kvitfjell-Raudfjell	67	M	Storøy	2	W
Ånstadblåheia	14	M	Utsira	2	W
Nygårdsfjellet	14	M	Karmøy Hywind	1	W
Sørfjord	23	M	Åsen II	2	W
Ytre Vikna	17	M	Skurvenuten	2	W
Bessakerfjellet	25	H	Tindafjellet	3	W
Skomakerfjellet	4	H	Høg-Jæren	32	H
Valsneset	5	W	Bjerkreim	70	H
Valsneset vindkraftverk	3	W	Røyrmøya	3	W
Roan	71	H	Tonstad	52	H
Storheia	80	H	Egersund	33	H
Hitra	24	H	Svåheia	7	W
Hitra 2	26	H	Tellenes	50	H
Smøla	68	M	Lista	31	H
Sandøy	5	W	Lindesnes	2	M

Appendiks C: Modellverifikasjon

