



UiO : **Department of Mathematics**
University of Oslo

Modeller for klima og vær — re-analyse

MAT1020, tirsdag 10. februar 2025



Hva har vi (i MAT1020)?

- Enkel klimamodell for jordas snitt-temperatur

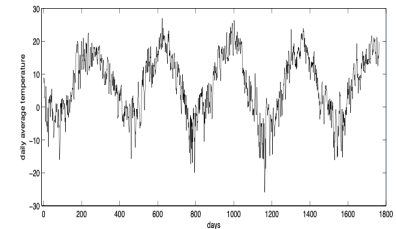
$$CT'(t) = \frac{S}{4}(1 - \alpha(T(t))) - \varepsilon\sigma T(t)^4$$

Hva ønsker vi (utover MAT1020...)?

- Modell for været
 - Hvordan det endrer seg med tiden (på kort og lang sikt)
 - Hvordan det varierer over kloden
 - Hvordan klimagasser påvirker været
- Modell(er!) som brukes av IPCC etc....!
 - IPCC=Intergovernmental Panel on Climate Change (Klimapanelet)

Klima- og værdata: Hva har vi?

- Historiske målinger fra værstasjoner,
 - Vind, temperatur, trykk, fuktighet etc....
 - Kun fra gitte steder

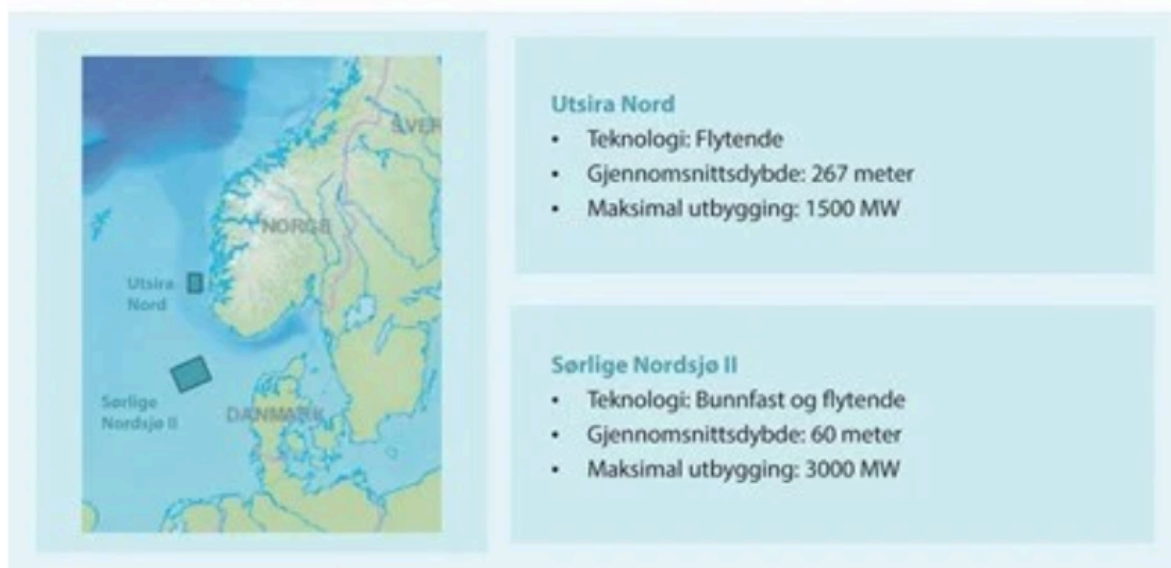


- Satelittdata
 - skydekke, solinnstråling, CO2-konsentrasjoner....
 - Over hele områder



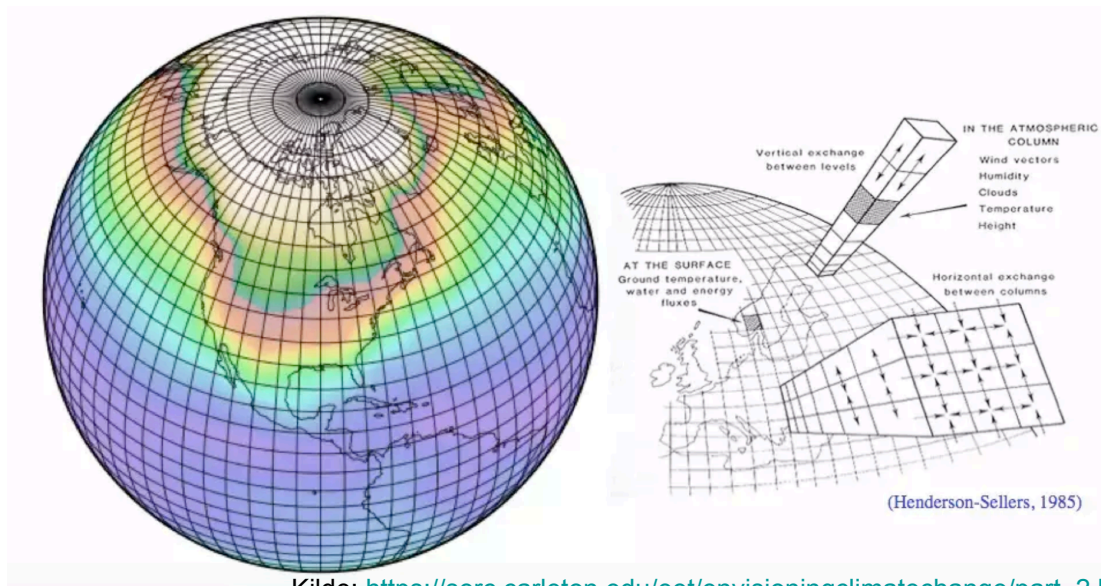
Klima- og værdata: hva har vi?

- Hva med været der vi ikke har stasjoner?
- Og områder satellitter ikke dekker i tid og rom og variable?
- **Eksempel:** Offshore havvind....og områder for landbasert vind



Klima- og værdata: hva har vi?

- Data fra **RE-ANALYSE**:
 - **KONSTRUERTE** historiske data for vind, temperatur, etc....
 - ...over et fint nettverk av bokser (områder) på jorda
 - ...på en fin tidsskala (ned til timer)



Kilde: https://serc.carleton.edu/eet/envisioningclimatechange/part_2.html

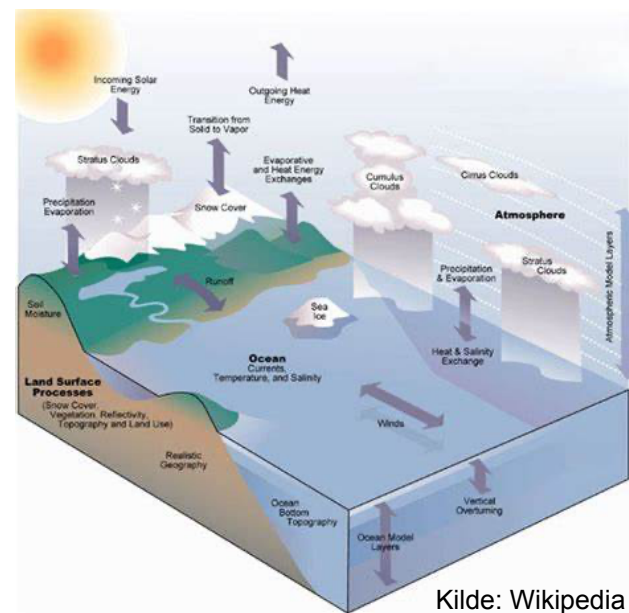
Klima- og værdata: hva har vi?

- **Re-analyse:**
 - Ide: Kombiner fysiske/meteorologiske **modeller** med **observasjoner**
 - Dynamiske modeller, i form av partielle differensiallikninger
 - trykk, vind, temperatur, luftfuktighet.....
 - General circulation models (GCM)
 - Navier-Stokes' likninger for sirkulasjon

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_\alpha)}{\partial x_\alpha} = 0,$$

$$\frac{\partial(\rho u_\alpha)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_\alpha u_\beta)}{\partial x_\beta} + \frac{\partial P \delta_{\alpha\beta}}{\partial x_\beta} = \frac{\partial \sigma_{\alpha\beta}}{\partial x_\beta},$$

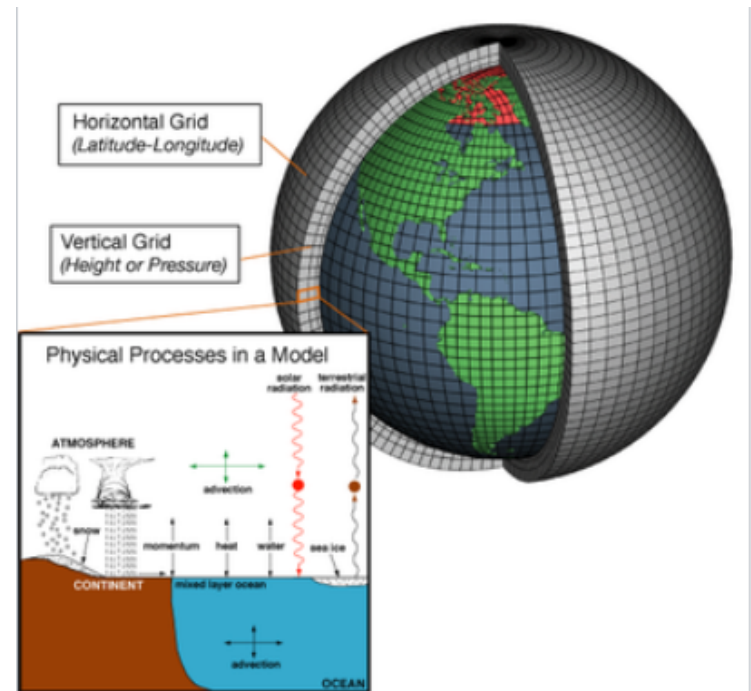
$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho e + \frac{1}{2}\rho u^2) + \frac{\partial}{\partial x_\alpha}[u_\alpha(\rho e + \frac{1}{2}\rho u^2 + P)] = \frac{\partial}{\partial x_\alpha}[Q_\alpha + u_\beta \sigma_{\alpha\beta}]$$



Kilde: Wikipedia

Re-analyse

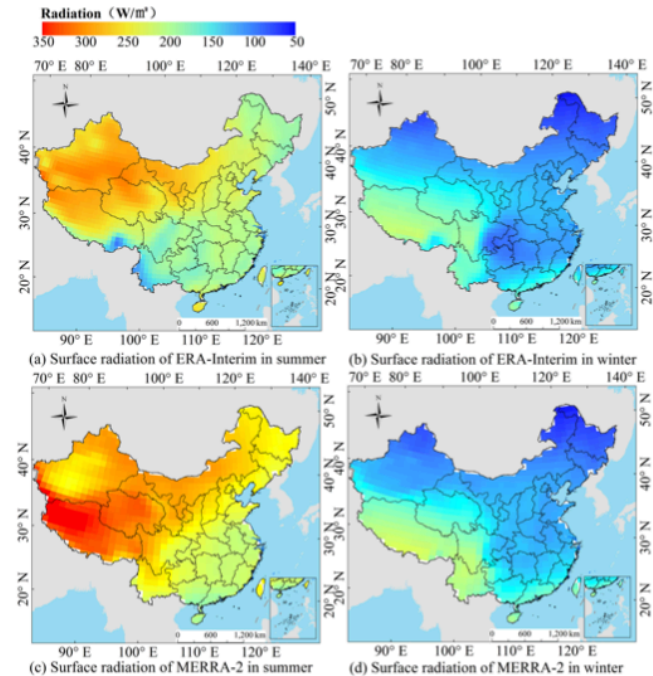
- Regne ut historisk vær og klima
 - Over tid og rom
 - Justerer mot faktiske målinger
- Løse sirkulasjonslikningene numerisk
 - Tung regning, kan kun gjøres i grove bokser
 - Ca. $\sim 9km - 30km$ oppløsning



Kilde: Wikipedia

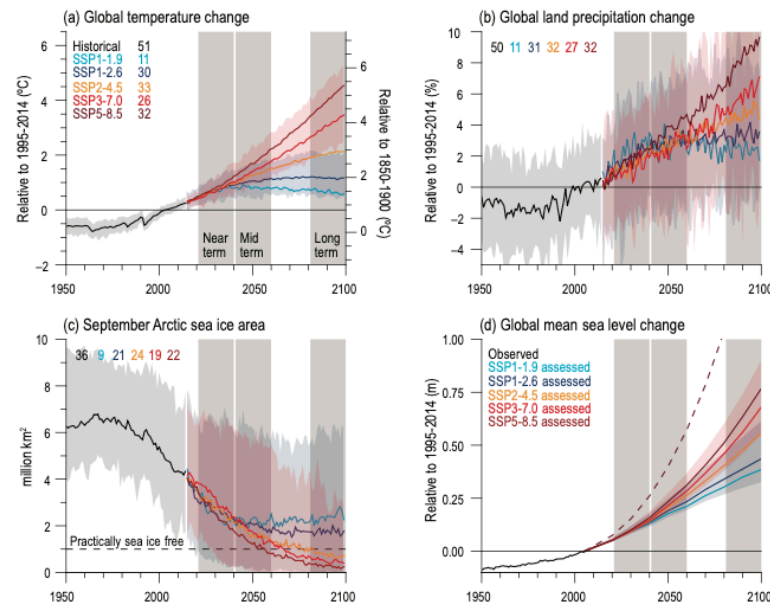
Re-analyse: ulike datasett

- ECMWF
 - European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
 - ERA5
- NASA
 - MERRA
- Sensitivitet:
 - Sommerfugleeffekten
 - Variasjoner i metodikk
 - Ulike tilnærminger



Earth System Models (ESM)

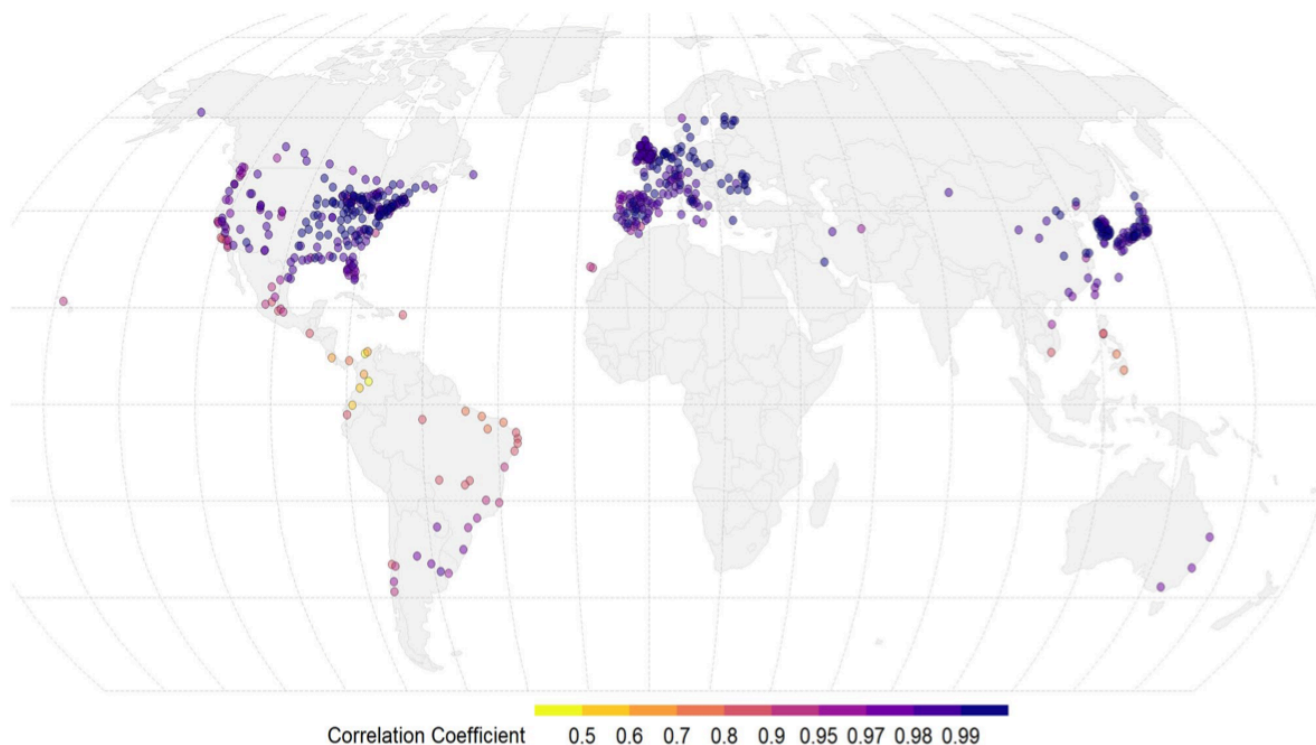
- Globale klimamodeller
 - forklarer sammenhengen mellom vær/klima-variable og drivhusgasser (CO₂)
 - Representerer historien godt
 - Fremskrivninger av klima
- Standardisering (CMIP)
- IPCC
 - Bruker ESMer i sine analyser om fremtidig klima
 - Ulike utslipps-scenarier: SSPer



Kilde: IPCC sin 6. rapport

SSP=Shared Socioeconomic Pathway
CMIP=Coupled Model Intercomparison Project

Korrelasjon mellom **temperaturer** fra ERA5 og værstasjoner (eller...sammenheng mellom målte data og re-analyse data)



- Høy korrelasjon i rike land
 - tett med høykvalitetsmålinger fra stasjoner
- Relativt lav korrelasjon i mellom og sør-Amerika
 - Lengre mellom stasjoner, lavere målekvalitet

ANVENDELSE: SOL OG VIND OG FORNYBAR ENERGI

Solinnstråling og PV



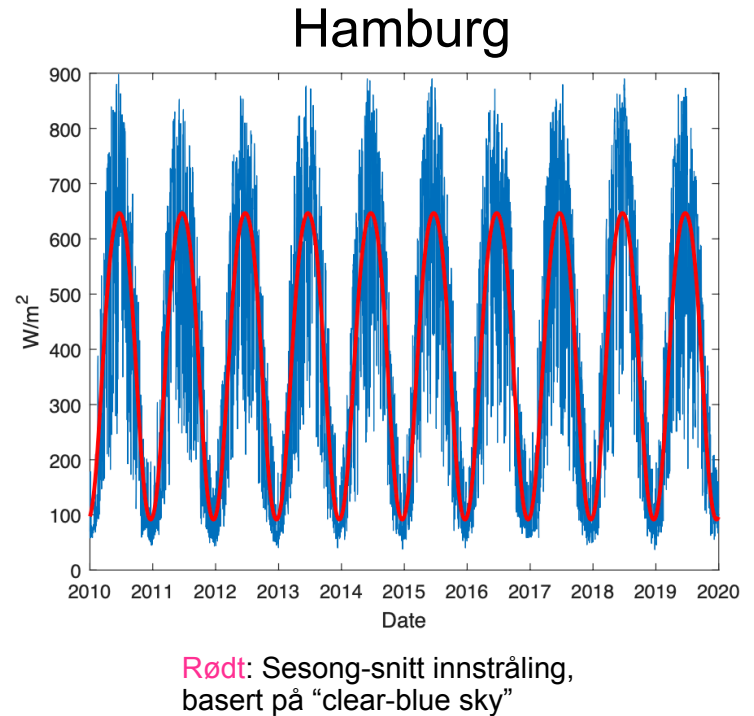
- Modell for PV-produksjon

$$P_t = \alpha I_t (1 - \beta (T_t - 25))$$

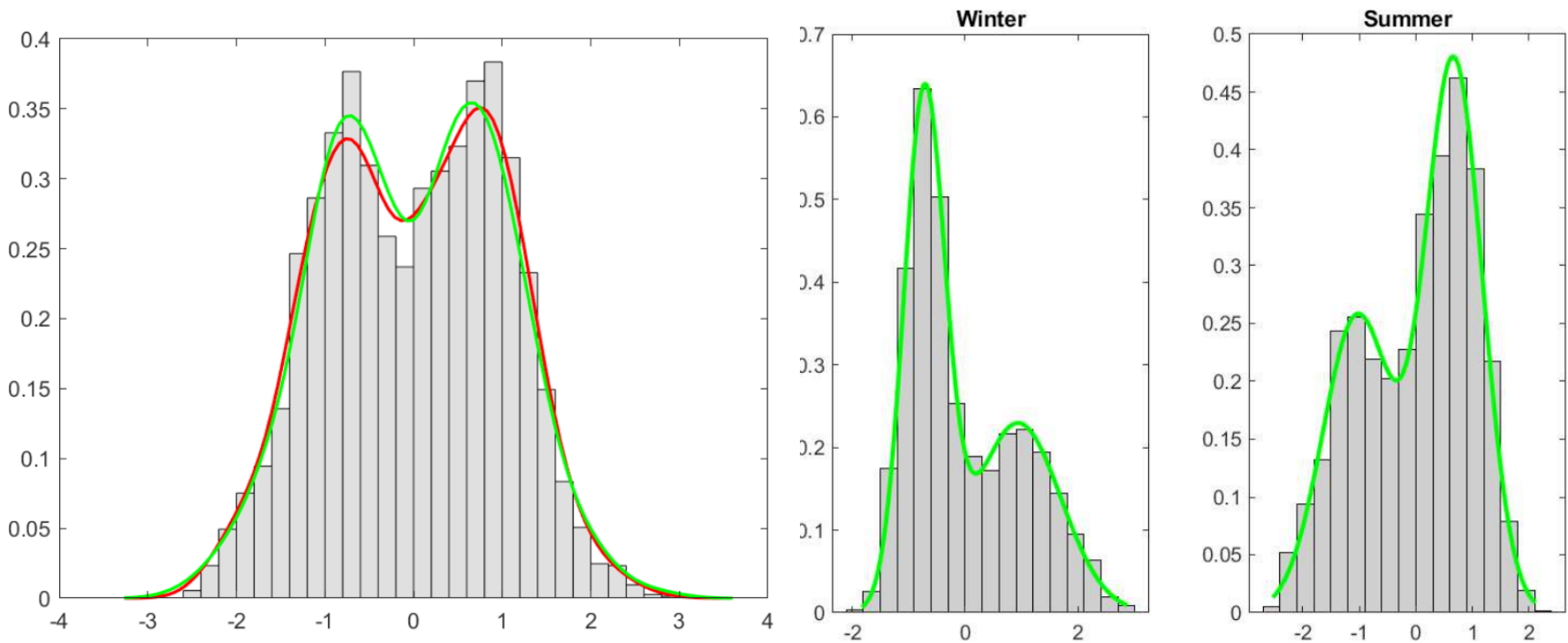
↑ ↑
Innstråling Temperatur

Innstrålingsdata: daglig maksimum

- ERA5-data
 - Målt i W/m^2
 - Innstråling kl. 12 hver dag
- Tilfeldige variasjoner rundt et middel
 - Middel gitt av atmosfærisk modell for skyfrie betingelser



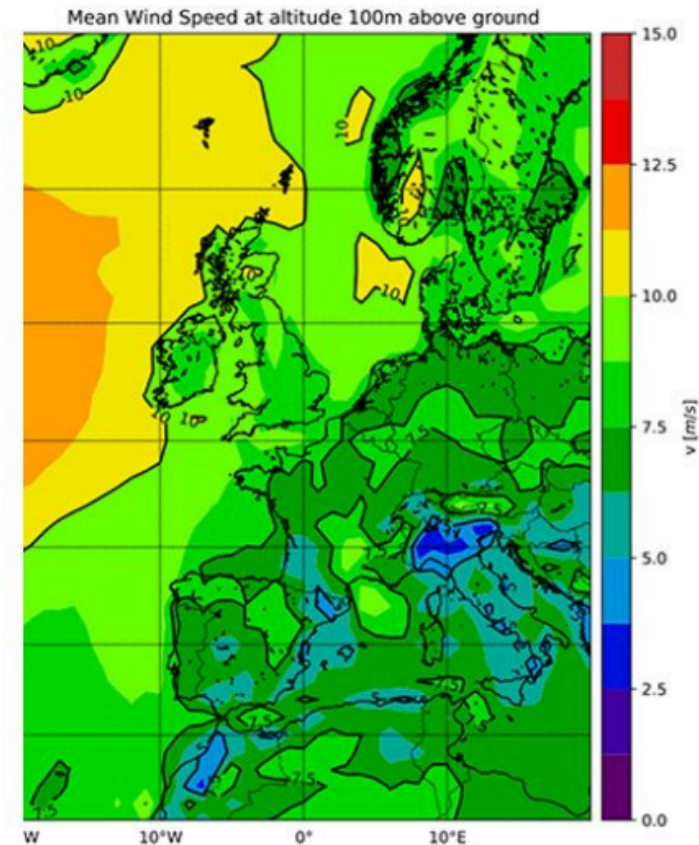
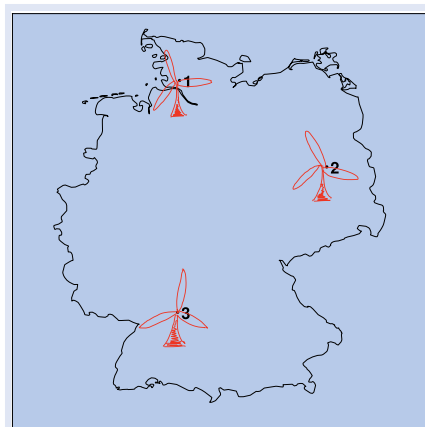
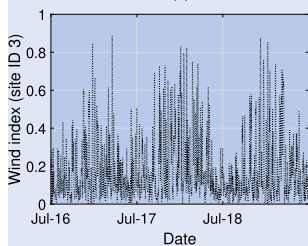
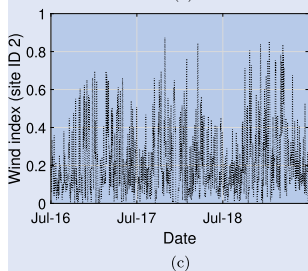
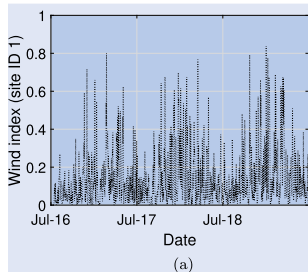
Avvik fra middel-innstråling: histogrammer



Vindhastighet og vindmøller

- Produksjonen fra en vindmølle er kubisk i vindhastighet (Betz' lov)

$$P_t = \alpha W_t^3$$



Source: Jessica Brown, BBC News, 3 May 2019.

KAPASITETSFAKTOR

Kapasitetsfaktor, hva er det?

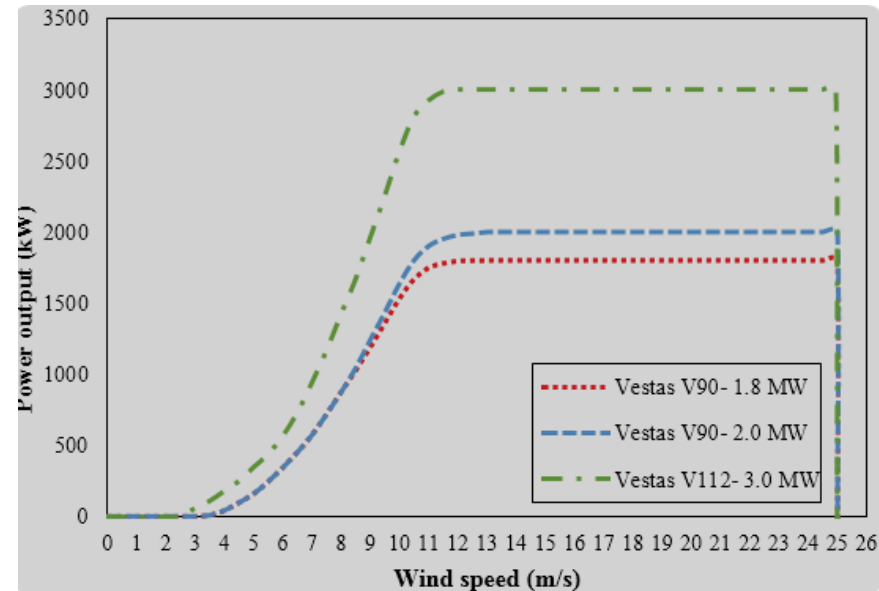
- Hvor mye strøm et kraftverk produserer PER MW effekt installert.
 - Effekt: hvor stor **kapasitet** har kraftverket
- Eksempel: Equinors vindpark i Nordsjøen, kalt Hywind Tampen
 - Vindmøllepark med total effekt/kapasitet 88MW
 - Kan produsere 88MWh energi på 1 time
 - Maksimal årsproduksjon....

$$88MW \times 24 \times 365h = 770880MWh = 770,88GWh$$

- Årsproduksjon i 2022 var 384 GWh. $\frac{384}{770,88} = 0,498$

Kapasitetsfaktor

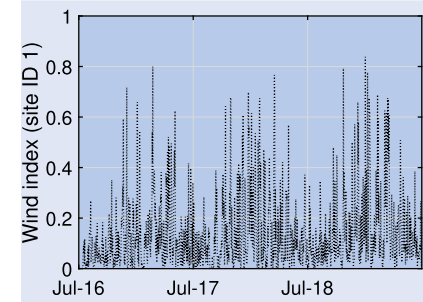
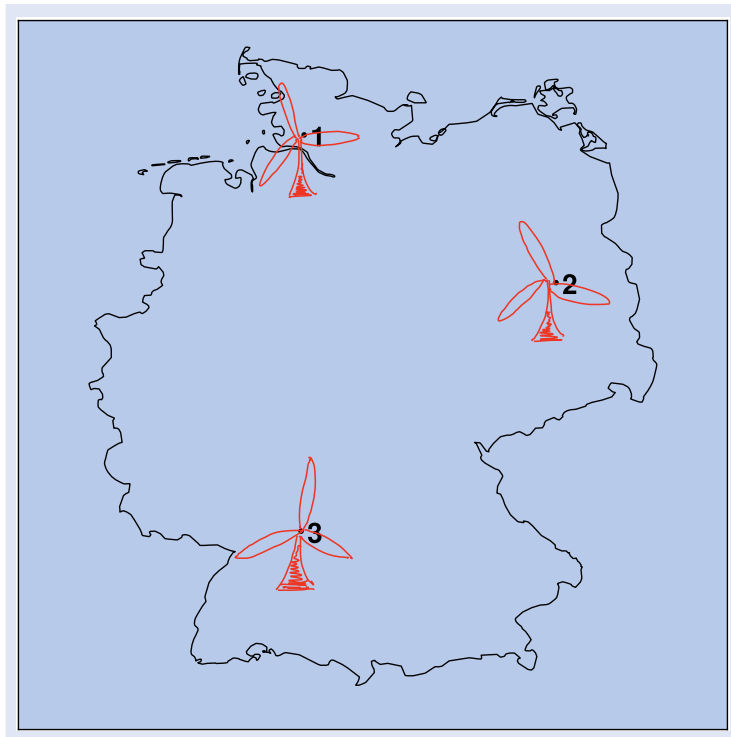
- Vindmøller og solcellepaneler:
 - “Power curves”: sammenhengen mellom vindstyrke eller innstråling og produksjon per MW installert
 - Oppgis av produsentene
- Vestas vindmøller
 - Divider med 1.8, 2 eller 3...
 - ...kapasitetsfaktorer
 - ..som funksjon av vindstyrke



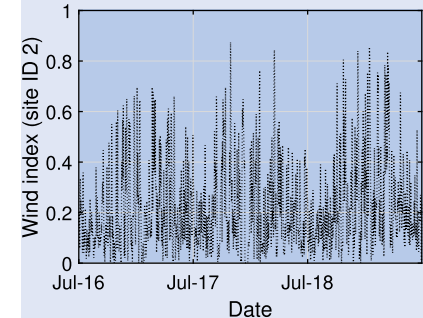
Kapasitetsfaktor

- ERA5 gir tidsserier for vindstyrke
- “Power curves” omformer dette til tidsserier for kapasitetsfaktorer
- Vi kan analysere hvor mye som produserer fra en vind eller solpark
 - per MW installert kapasitet: tall mellom 0 og 1

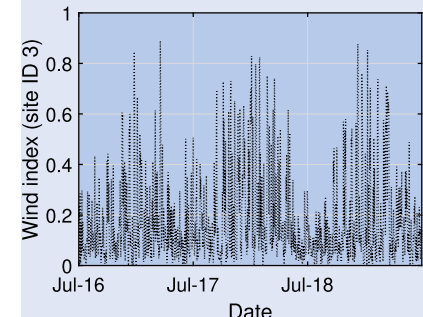
Kapasitetsfaktorer for vind i Tyskland



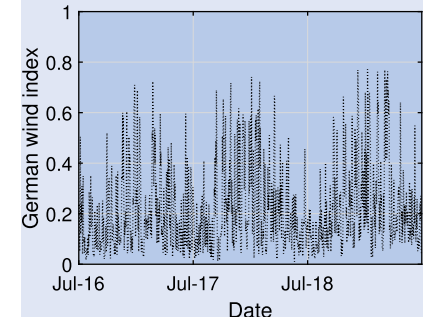
(a)



(c)



(e)



(g)

Hvor er det best å installere sol og vindkraft?

- Historiske ERA5-data:
 - Vindstyrke og solinnstråling
 - Aggregert for EU+EØS-land
- Omformet til kapasitetsfaktorer
 - Basert på teknologi for solceller og vindmøller
 - **Alite**: pakke som gjør omformingen

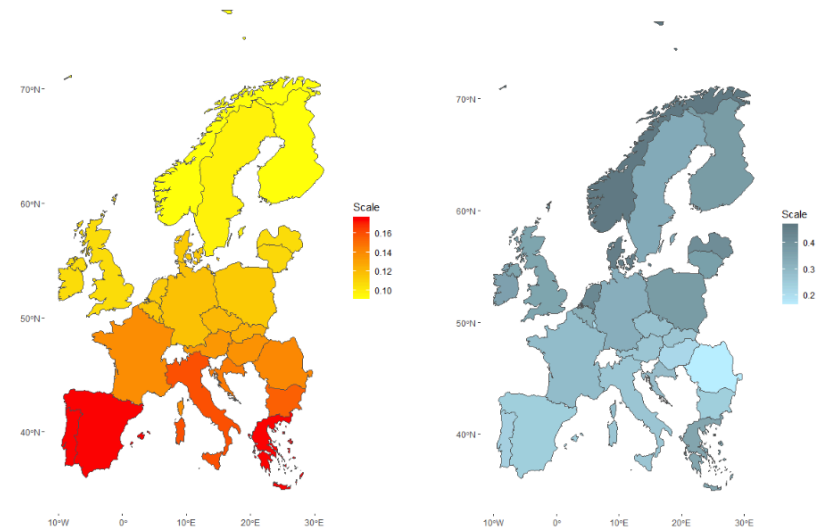
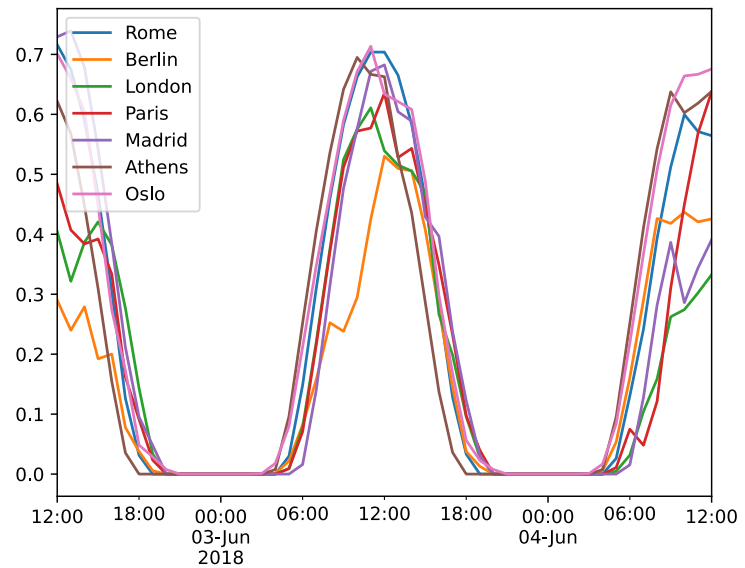
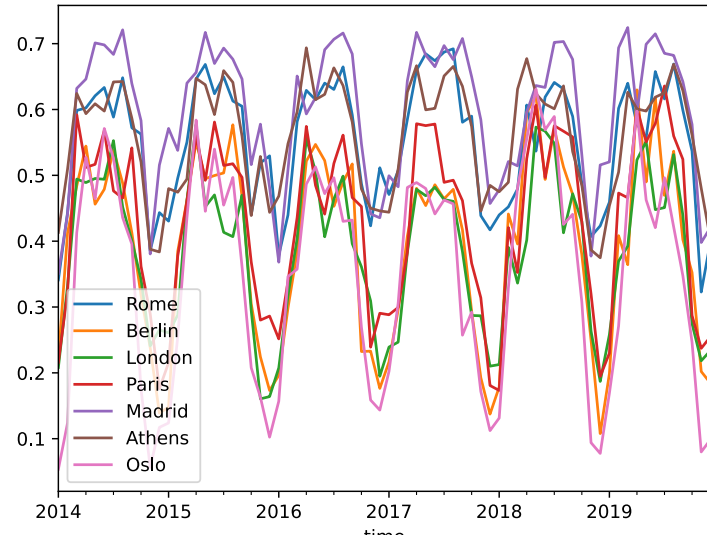


Figure 1: Mean daily solar (left) and wind (right) power capacity factors for 27 European countries, historical data, 1979 - 2019.

VIND OG SOLDATA

Sol i Europa



Vind i Norge

