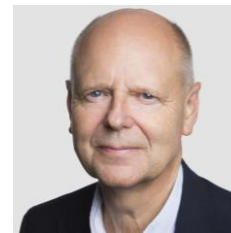


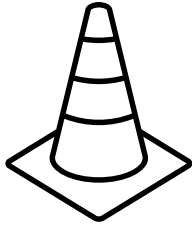
Klimatförändringarnas inverkan på vattenkraftens produktions- och reglerförmåga

Richard Scharff | Energitekniksystem | Vattenkraftens FuO-dagar | 2021-10-07

KLIVA projektgrupp



Work-in-progress



Klimatförändringarnas inverkan på vattenkraftens produktions- och reglerförmåga

Produktions- och reglerförmåga

Produktionsförmåga

Reglerförmåga



Årsproduktion (**energi**)

Producera när det "behövs"

"Optimalt" spill

(Kunna) Följa nettolasten

Variationshantering på flera
tidshorisonter

Effekt & uthållighet

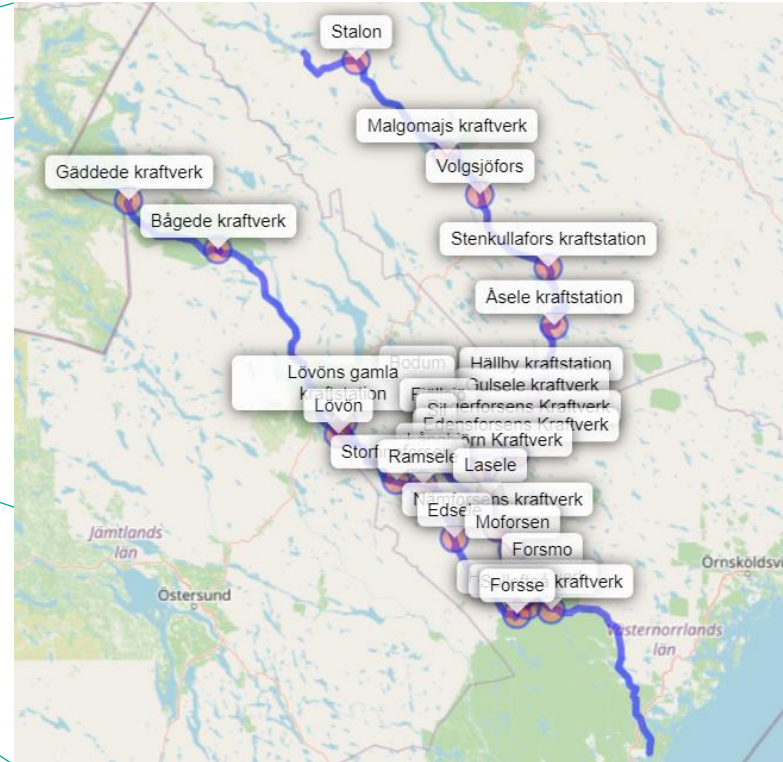
Reducera elsystemets
sårbarhet

Systemtjänster

Effekt

Perspektiv: Allt från älvsystem till aggregat

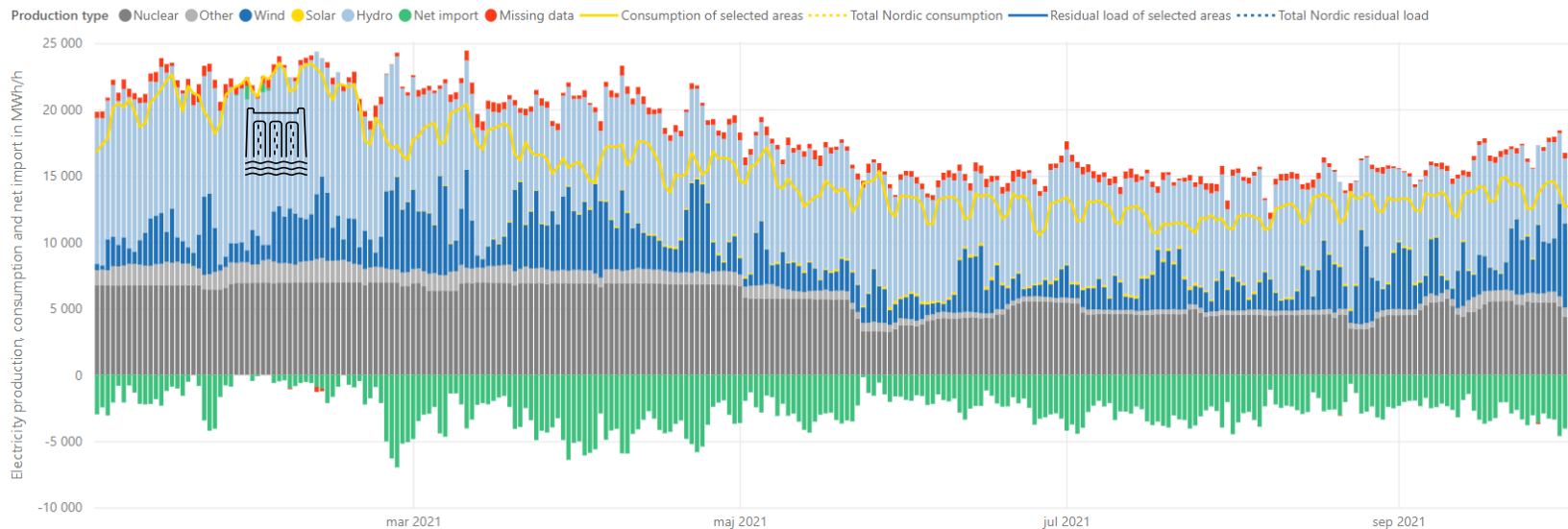
Älvsystem



Kartor: OpenStreetMap. Illustrativt exempel, kan vara ofullständigt.

Vattenkraftens roll (Sverige)

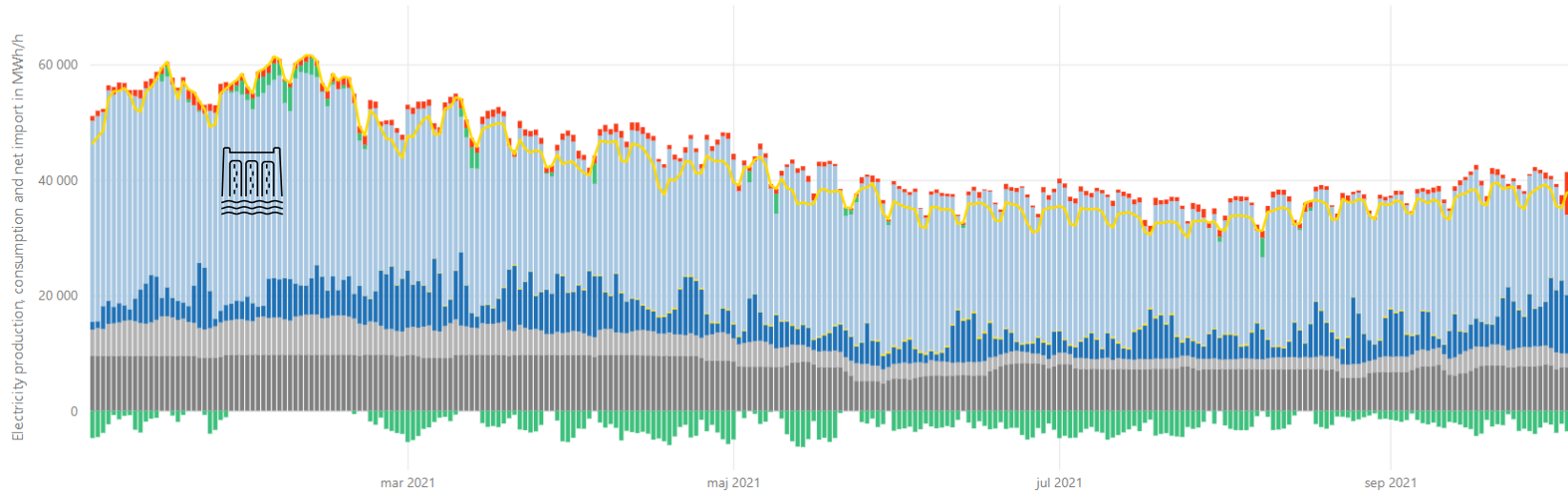
Production, consumption and imports/exports



Vattenkraftens roll (Norden)

Production, consumption and imports/exports

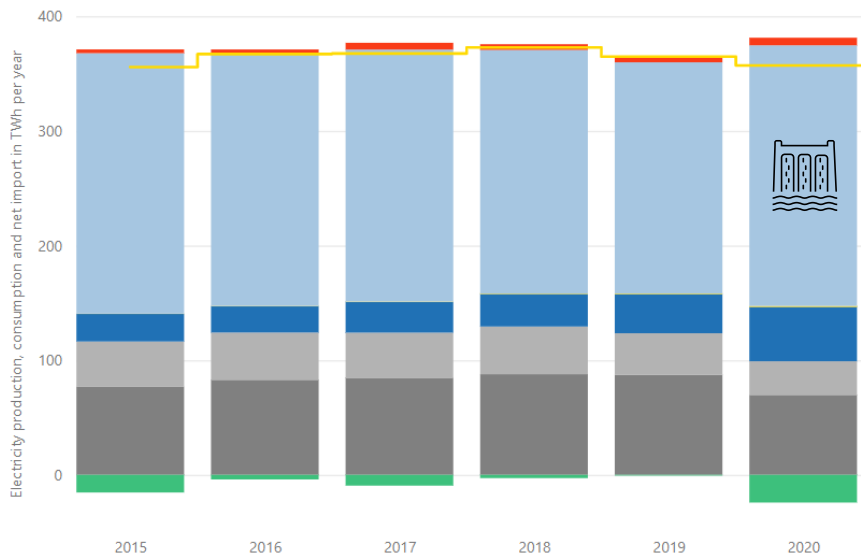
Production type ● Nuclear ● Other ● Wind ● Solar ● Hydro ● Net import ● Missing data — Consumption of selected areas - - - Total Nordic consumption — Residual load of selected areas - - - Total Nordic residual load



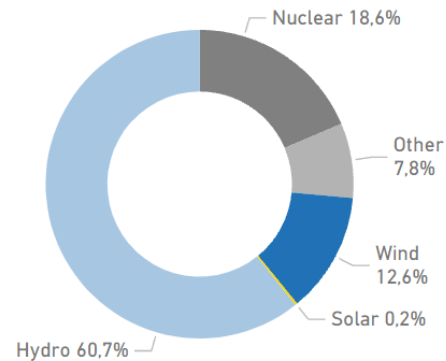
Vattenkraftens roll (Norden)

Energy mix

Production type ● Nuclear ● Other ● Wind ● Solar ● Hydro ● Net import ● Missing data ● Yearly consumption of selected areas



Production mix 2020



Balansbidrag

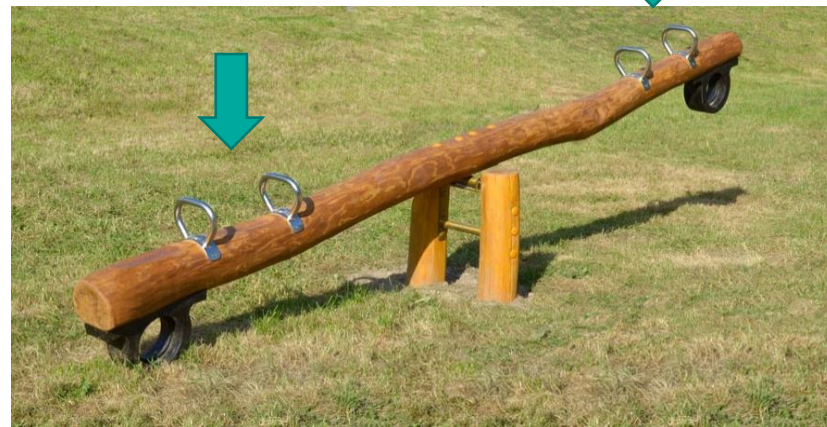
Genomsnittsvärden
2015 - 2021

Total

Production type	Intraday	Intraweek	Imtrayear
Nuclear	0 %	1 %	17 %
Other	5 %	11 %	23 %
Wind	-7 %	-31 %	9 %
Solar	1 %	-0 %	-1 %
Hydro	107 %	98 %	50 %
Net import	-15 %	-14 %	9 %
Missing data	3 %	4 %	1 %
Consumption	-94 %	-69 %	-108 %

Kraftslag som ej
ingår i residuallasten

Residuallast



Klimatförändringarnas inverkan på vattenkraftens produktions- och reglerförmåga



Vattenkraftverk	KLIVA	Sverige
Antal	~200 styck	~2000 styck
Effekt (slutet 2020)	14 805 MW	16 335 MW
Energi (år 2020)	65 TWh	71 TWh

Karta: OpenStreetMap. Statistik: Energiföretagen
https://www.energiforetagen.se/globalassets/energiforetagen/statistik/energiaret/2020/energiaret-2020_tabeller.pdf.

ELSYSTEMET

Det svenska stamnätet för el består av 15 000 km kraftledningar, 160 transformator- och kopplingsstationer och 17 utlandsförbindelser.

OMFATTNING	LUFTLEDNING	KABEL
400 kV växelström	11 010 km	8 km
220 kV växelström	3 550 km	29 km
Högsänt likström (HVDC)	100 km	685 km

- 400 kV ledning
- 275 kV ledning
- 220 kV ledning
- HVDC (likström)
- Sambandsförbindelse för lägre spänning än 220 kV
- Planerad/under byggnad
- Vattenkraftstation
- Värme- och kärnkraftstation
- Vindkraftpark
- Transformatorstation
- Planerad/under byggnad



Olika detaljnivåer:

- Sverige
- Norge
- Omgivningen



Karta: Svenska kraftnät.

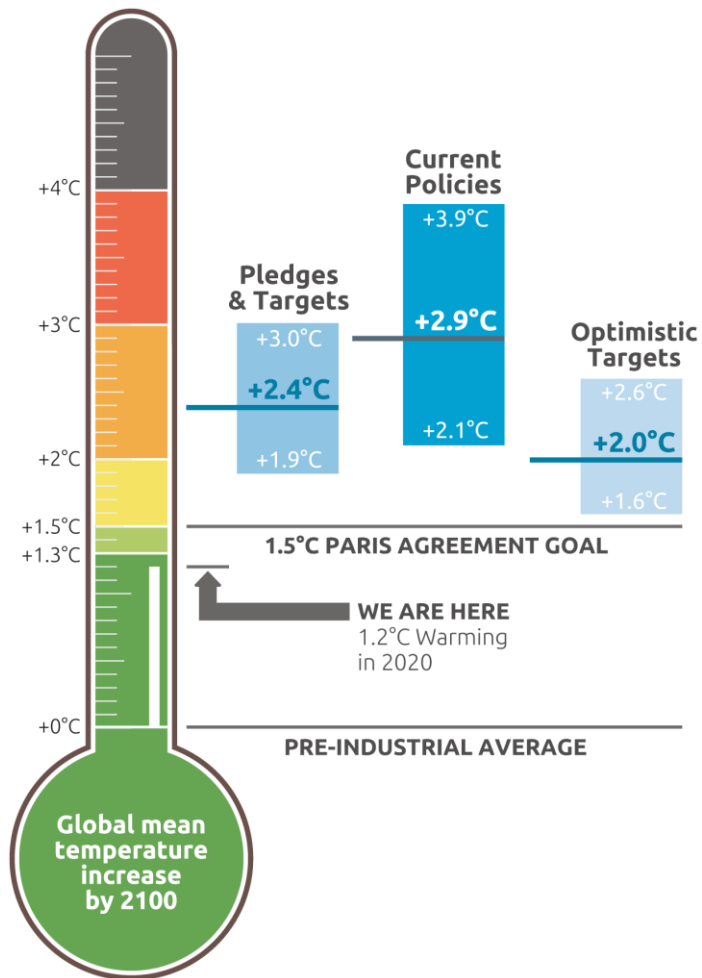
Klimatförändringarnas inverkan på vattenkraftens produktions- och reglerförmåga



Bild: Lenke Sommer, CC BY-SA 4.0 <<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>>, via Wikimedia Commons, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nordrhein-Westfalen_Naturschutzgebiet_Siebengebirge_Drachenfels.jpg. Map: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Germany_location_map_German_color_system.svg



Bild: http://hochwasser-ahr.rlp.de/madmin/_processed_/6/b/csm_20210719_Luftbild_Hochwasser_Ahrtal_Mdl_RLP_16zu9_0331e15ff8.jpg



CAT warming projections Global temperature increase by 2100

May 2021 Update

Planetary Boundaries

after Johan Rockström, Stockholm Resilience Centre et al. 2009

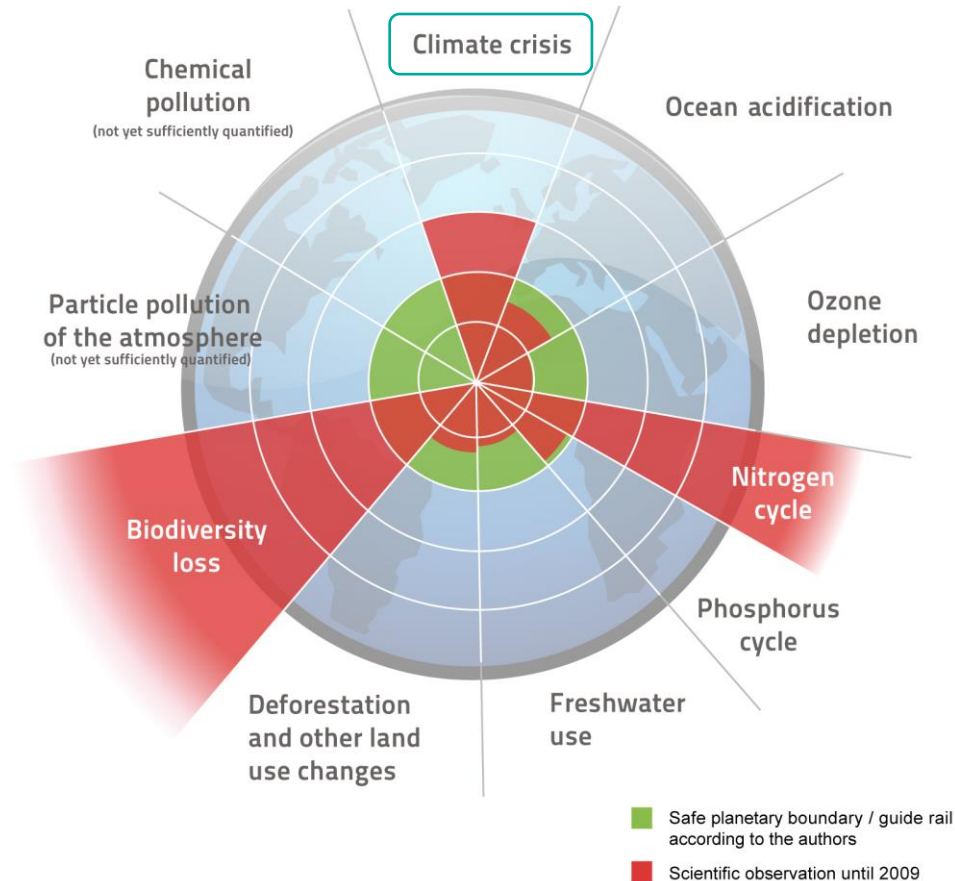


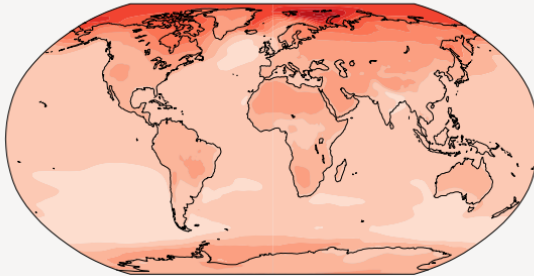
Bild: Felix Mueller, CC BY-SA 4.0
<<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>>, via Wikimedia Commons.

Varmare klimat

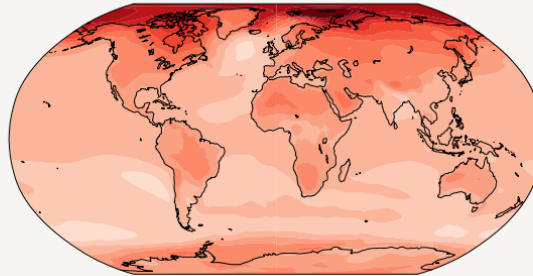
b) Annual mean temperature change (°C) relative to 1850-1900

Across warming levels, land areas warm more than oceans, and the Arctic and Antarctica warm more than the tropics.

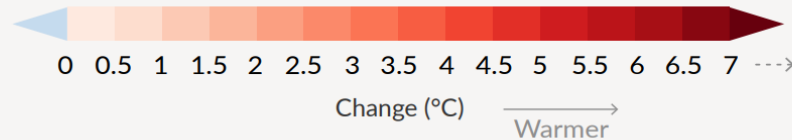
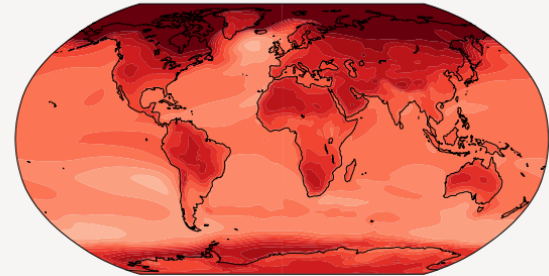
Simulated change at 1.5 °C global warming



Simulated change at 2 °C global warming



Simulated change at 4 °C global warming

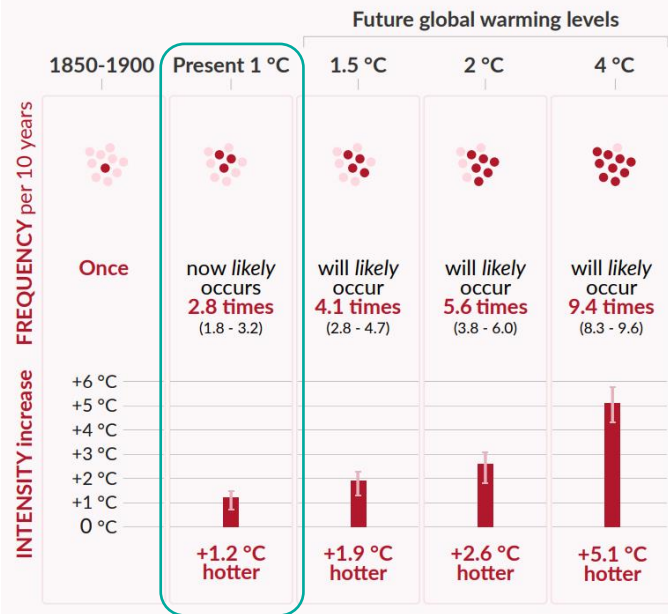


Varmare klimat

Hot temperature extremes over land

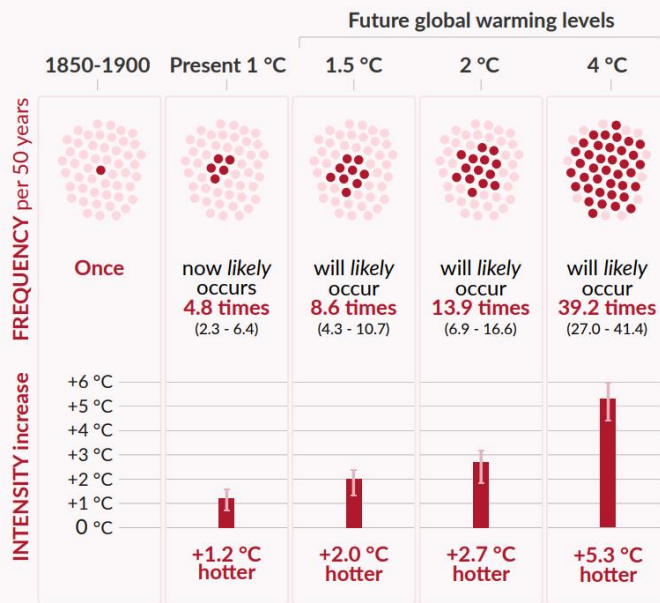
10-year event

Frequency and increase in intensity of extreme temperature event that occurred **once in 10 years** on average in a climate without human influence



50-year event

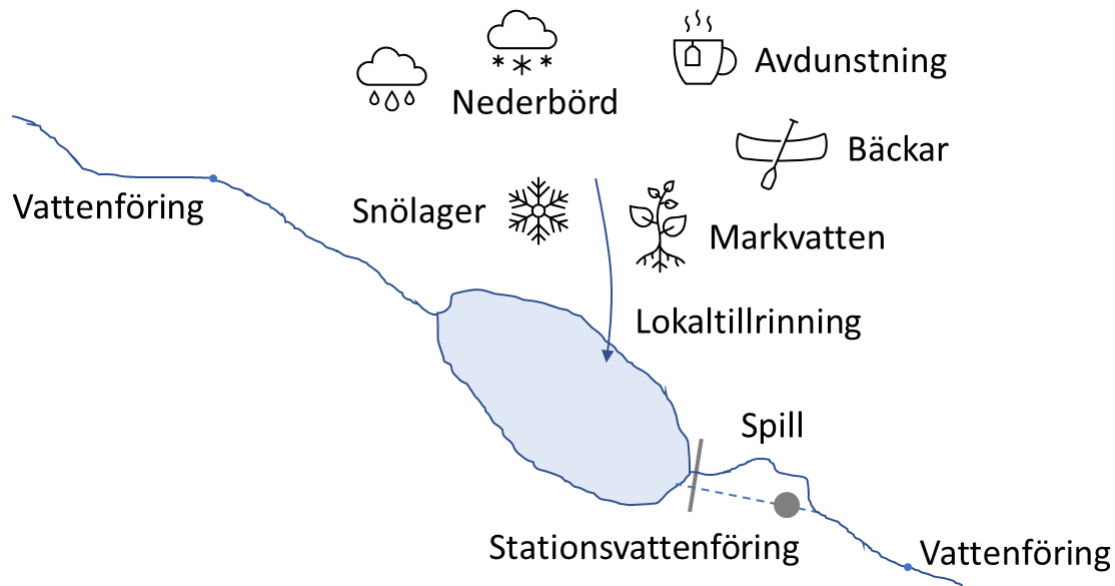
Frequency and increase in intensity of extreme temperature event that occurred **once in 50 years** on average in a climate without human influence



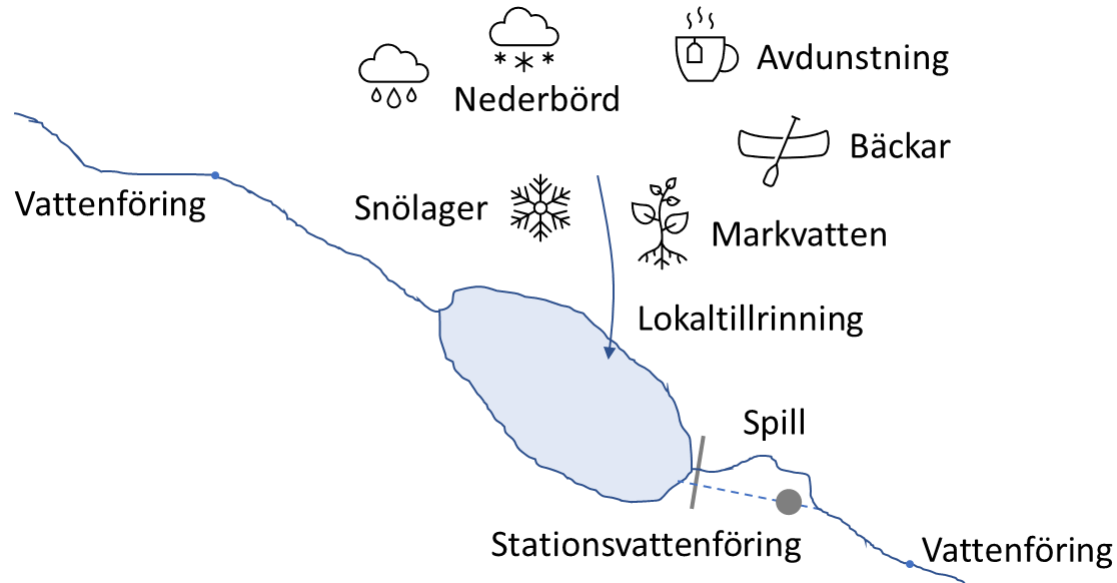
Källa: IPCC,
https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM.pdf.

Klimatförändringarnas inverkan på vattenkraftens produktions- och reglerförmåga

Vattentillgångar



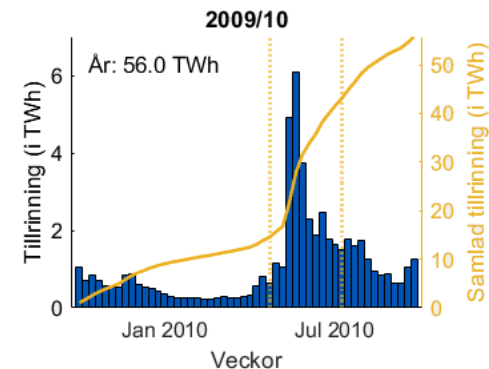
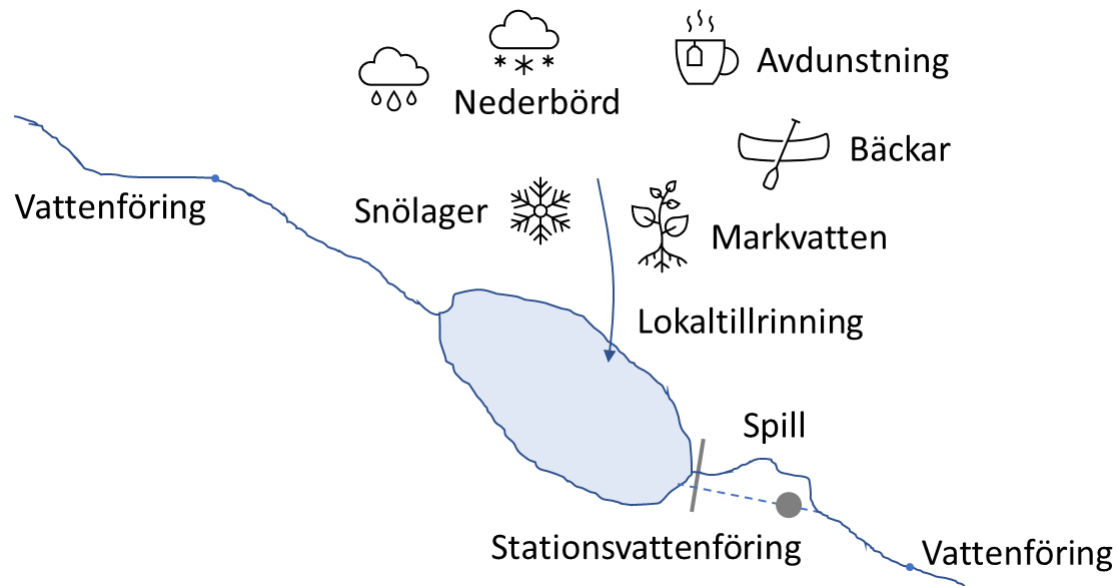
Vattentillgångar



Relevant:

- Mängd
- Tid & ort
- Regn/snö
- Vårflod
- Prognos(-fel)
- Marken
- ...

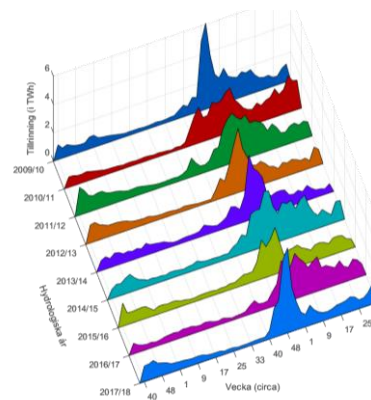
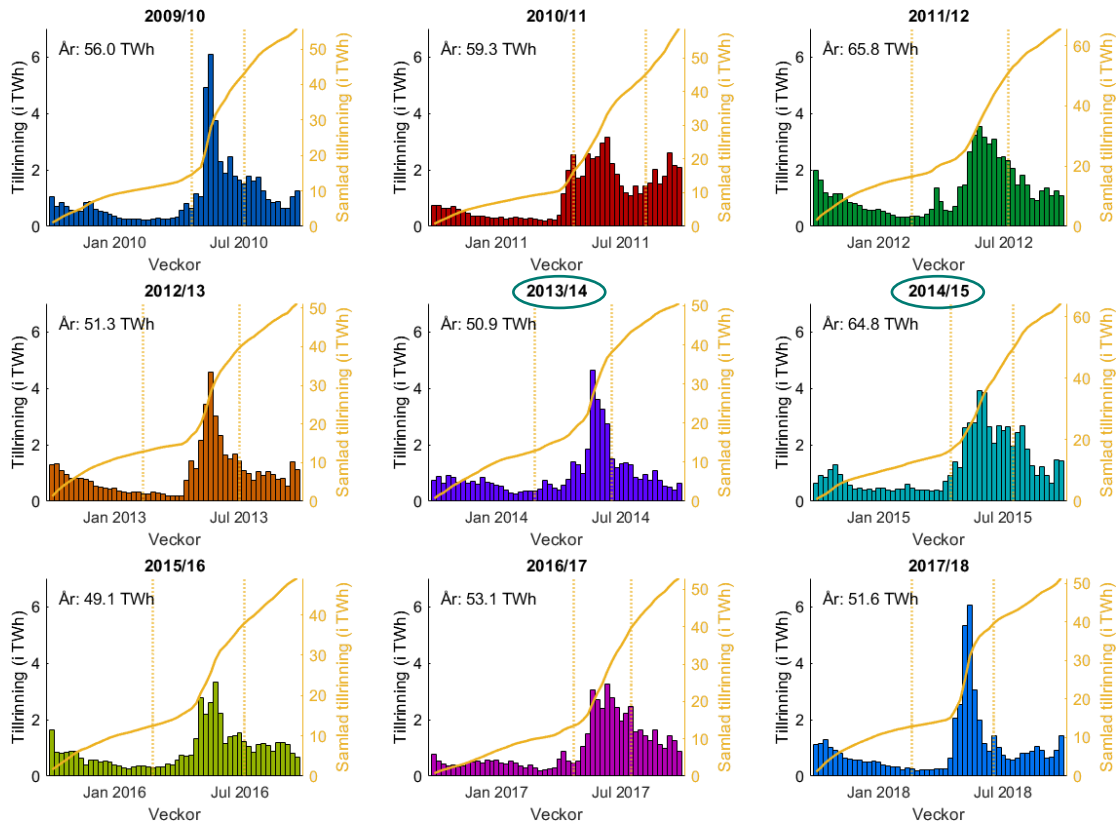
Vattentillgångar



Arstillrinning för de stora utbyggda älvarna i Sverige. Tillrinning från Energiföretagen, omräknad till energi.

25 % percentil & 75 % percentil
→ Hälften av tillrinning sker under tidsperioden mellan de vertikala linjerna.

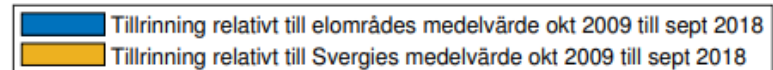
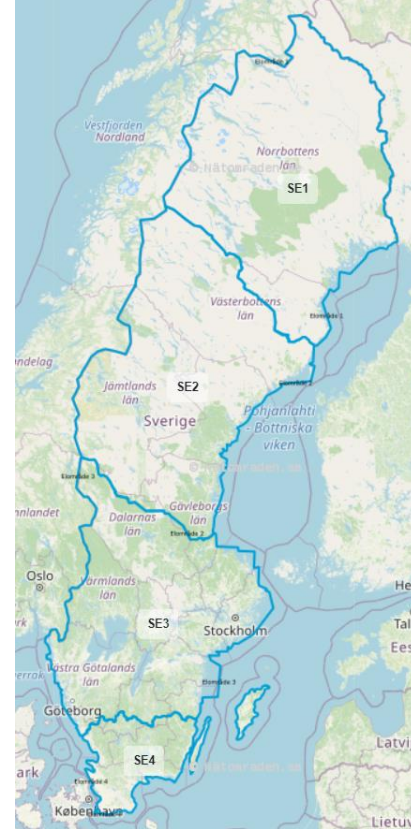
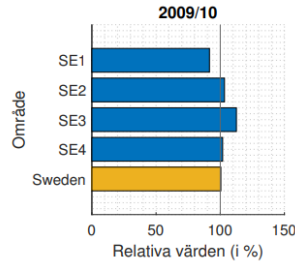
Tillrinning per vecka (historisk)



Arstillrinning för de stora utbyggda älvarna i Sverige. Tillrinning från Energiföretagen, omräknad till energi.

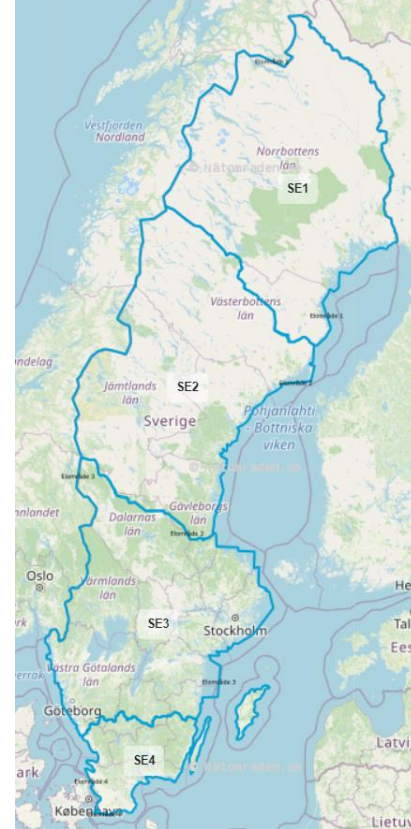
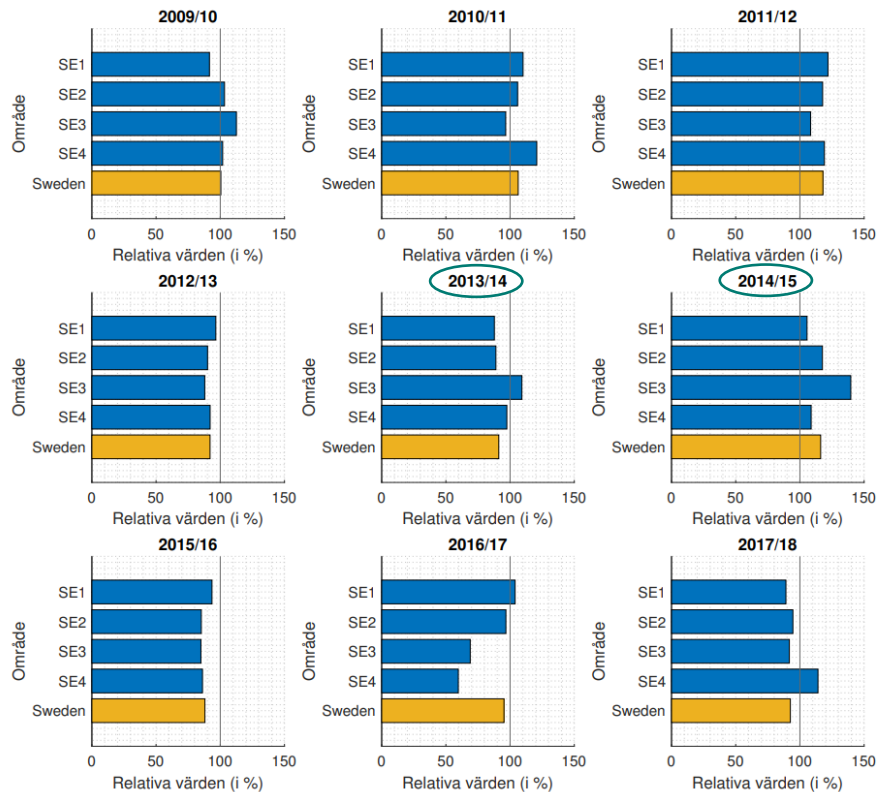
25 % percentil & 75 % percentil
 → Hälften av tillrinning sker under tidsperioden mellan de vertikala linjerna.

Årstillrinningar (historiska)



Årstillrinning för de stora utbyggda älvarna i Sverige.
Tillrinning från Energiföretagen, omräknad till energi.
Karta: Svk/OpenStreetMap.

Årstillrinningar (historiska)



■ Tillrinning relativt till elområdes medelvärde okt 2009 till sept 2018
■ Tillrinning relativt till Sveriges medelvärde okt 2009 till sept 2018

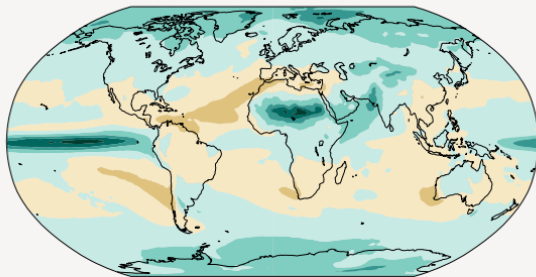
Årstillrinning för de stora utbyggda älvarna i Sverige.
 Tillrinning från Energiföretagen, omräknad till energi.
 Karta: Svk/OpenStreetMap.

Varmare klimat

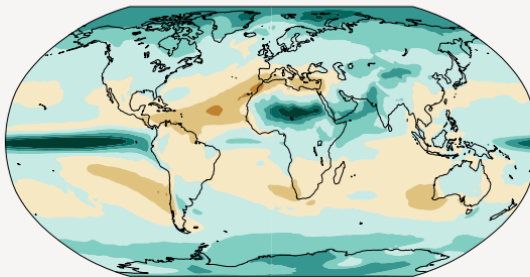
c) Annual mean precipitation change (%) relative to 1850-1900

Precipitation is projected to increase over high latitudes, the equatorial Pacific and parts of the monsoon regions, but decrease over parts of the subtropics and in limited areas of the tropics.

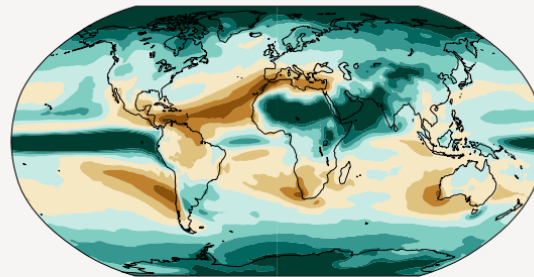
Simulated change at 1.5 °C global warming



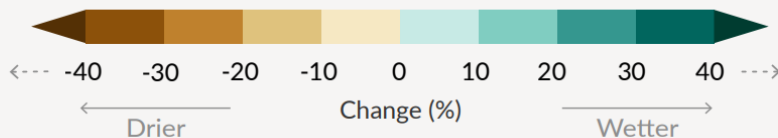
Simulated change at 2 °C global warming



Simulated change at 4 °C global warming



Relatively small absolute changes may appear as large % changes in regions with dry baseline conditions

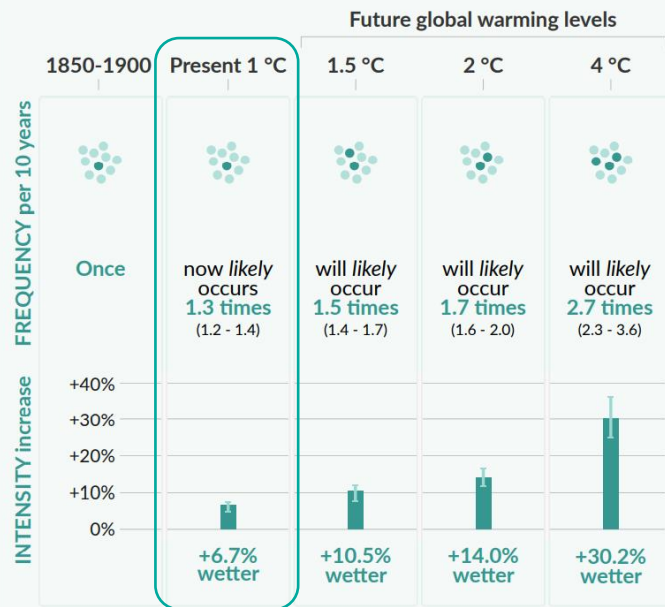


Varmare klimat

Heavy precipitation over land

10-year event

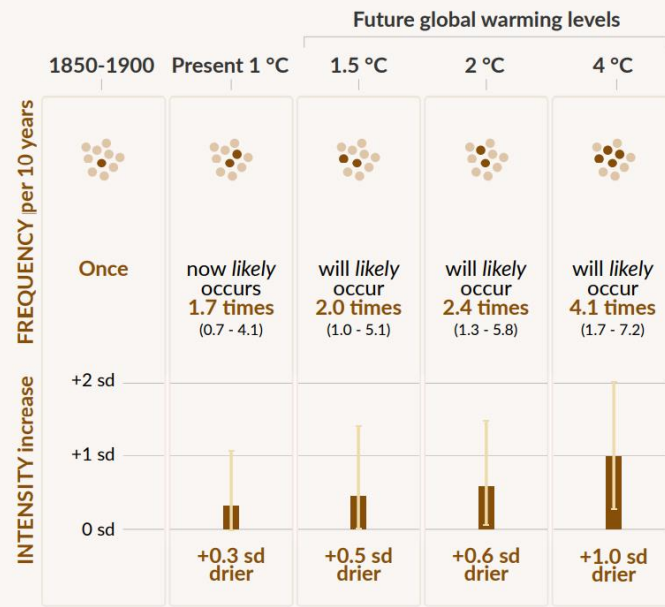
Frequency and increase in intensity of heavy 1-day precipitation event that occurred **once in 10 years** on average in a climate without human influence



Agricultural & ecological droughts in drying regions

10-year event

Frequency and increase in intensity of an agricultural and ecological drought event that occurred **once in 10 years** on average across drying regions in a climate without human influence



Källa: IPCC,
https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM.pdf.

Klimatförändringarnas inverkan på vattenkraftens produktions- och reglerförmåga

En utmaning för vattenkraften?



Vattendomar: **Moderna miljövillkor**

Elpris/vRES: **Flerdyngsvariationer**

Elsystem/elmarknad: **Minskad överkapacitet m.m.**

Klimatförändringar: Tillrinning, dammsäkerhet

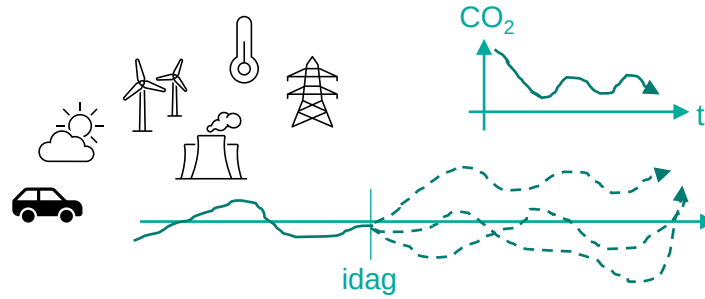
Andra faktorer

Vattenkraften

Klimatförändringarnas inverkan på vattenkraftens produktions- och reglerförmåga

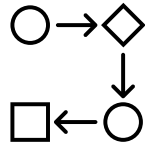
Ansats

Modeller & ansats

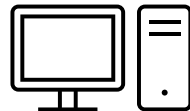


Vattenkraft

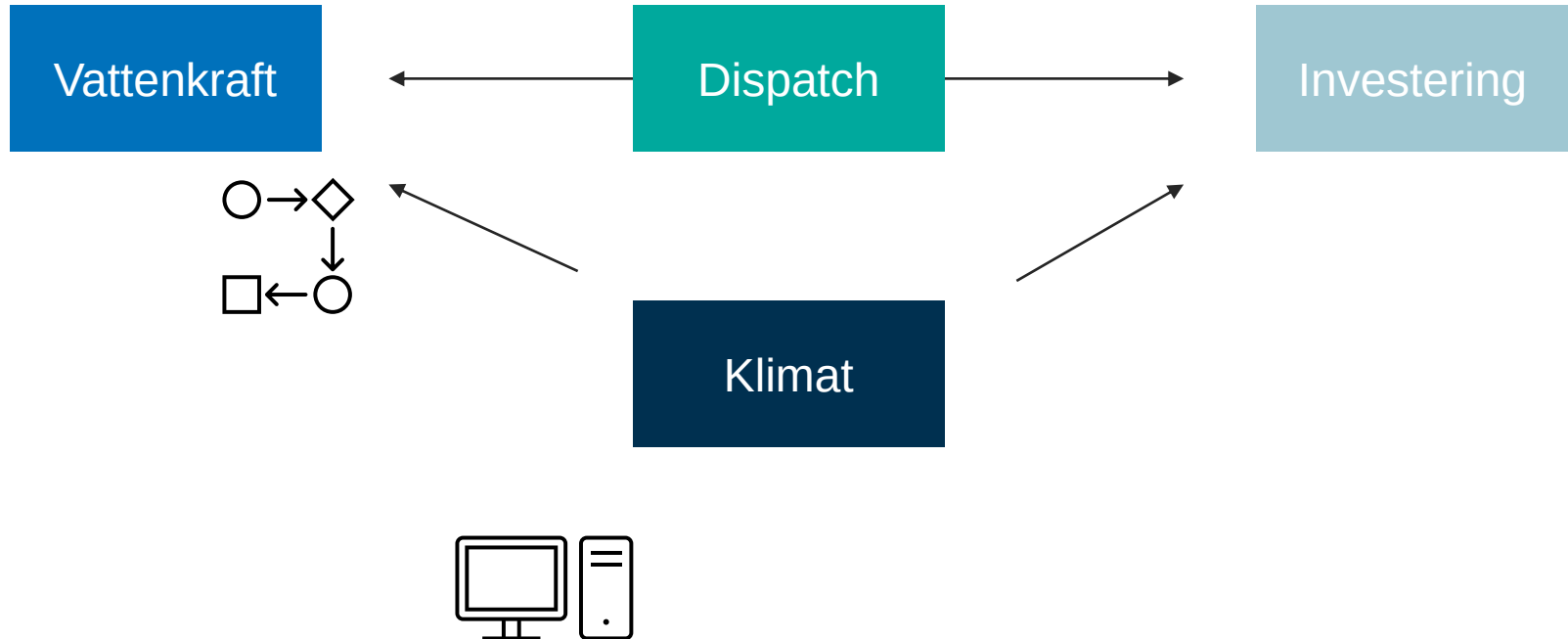
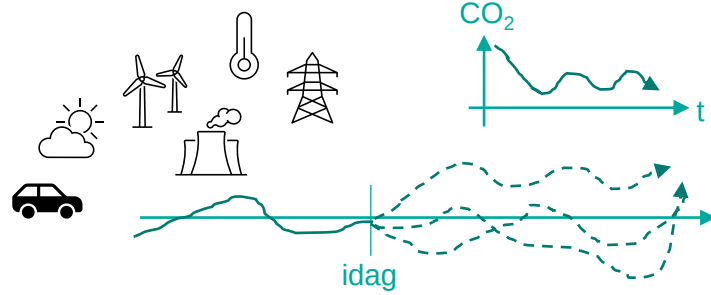
Investerings



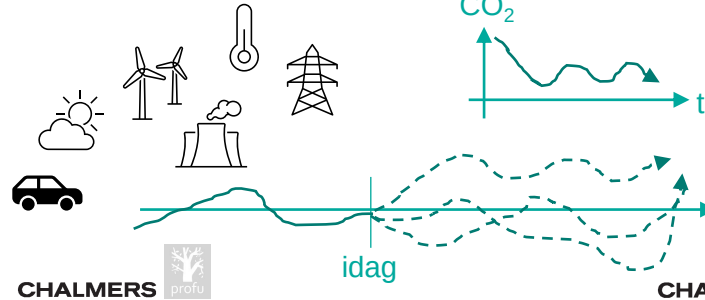
Klimat



Modeller & ansats



Modeller & ansats



Vattenkraft

CHALMERS



Dispatch

CHALMERS



Investering

Referensår $\bigcirc \rightarrow \diamond$

Modellår $\square \leftarrow \bigcirc$

Optimeringshorisont: 1 vecka

Stationsnivå



Open source

SMHI

Klimat



Klimatscenario t.ex.
låg, mellan, hög
uppvärmning

Framtida elsystemet

Optimeringshorisont: 2045

Sammansättning & "Vägen dit"

Med/utan klimatanpassad
vattenkraft

Omvärldsfaktorer

Ekvivalenter

Lästips

- IPCC: Sixth Assessment Report, Summary for Policymakers, Working Group I, https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM.pdf
- Klimatförändringarnas konsekvenser för energisystemet (Klimpen): <https://energiforsk.se/program/klimatforandringarnas-konsekvenser-for-energisystemet/>
- KLIVA hemsida: <https://energiforsk.se/program/klimatforandringarnas-inverkan-pa-vattenkraften/>

→ richard.scharff@chalmers.se

(...) Tja: Wer sich vom Klimaschutz nicht einschränken lassen will, wird eben **vom Klima eingeschränkt.**