



Energi og Teknologi

Hva står til rådighet - Fordeler og ulemper

VANNKRAFT

Professor Ånund Killingtveit
CEDREN/NTNU

Energiseminar 24 Mai 2016: Mot fornybar energi og «det grønne skiftet»
Norges energipolitiske muligheter – Refleksjoner omkring regjeringens energimelding

CEDREN

Centre for Environmental Design of Renewable Energy

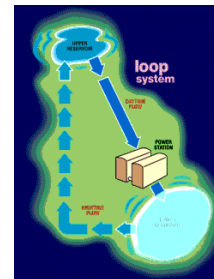




Centre for environmental design of renewable energy – CEDREN



Vannkraftteknologi for framtida



Miljødesign av vannkraft



Miljøvirkninger av vindkraft og overføringslinjer



Hvordan forene miljø- og energipolitiske hensyn?



Miljødesign i praksis - Vannkraft



Økologi



Hydrologi



Teknologi

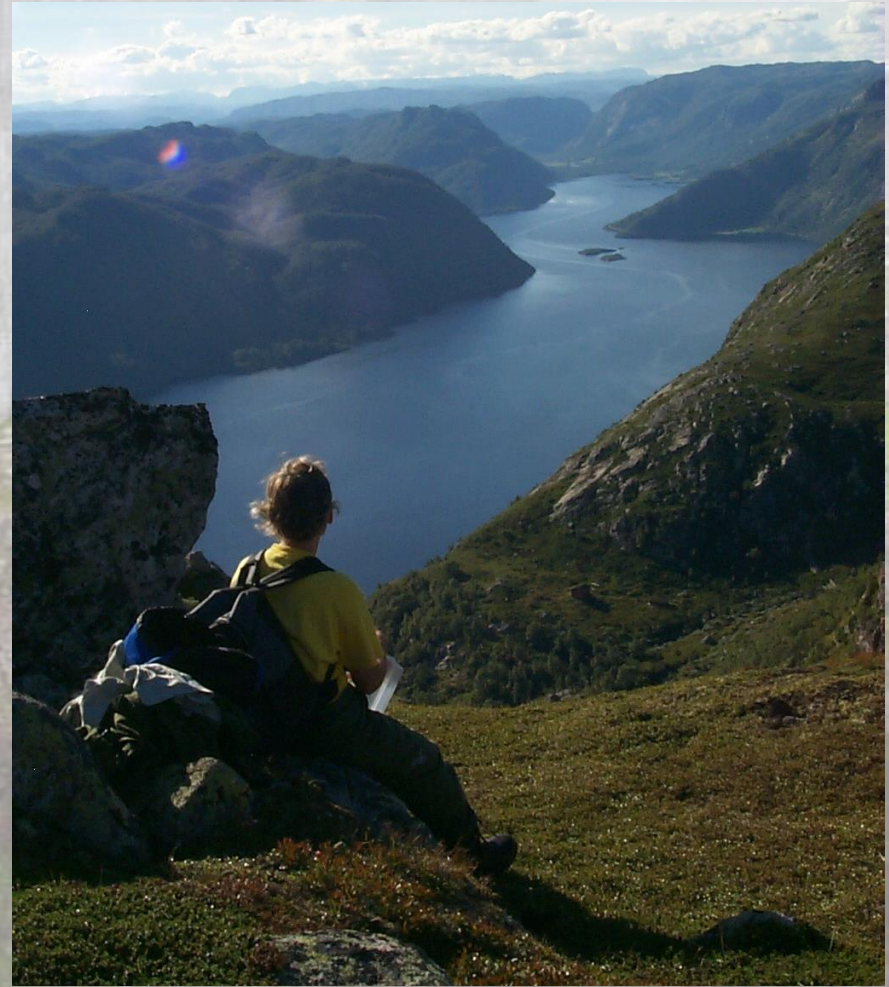
Vannkraft i Norge – Ressursgrunnlag

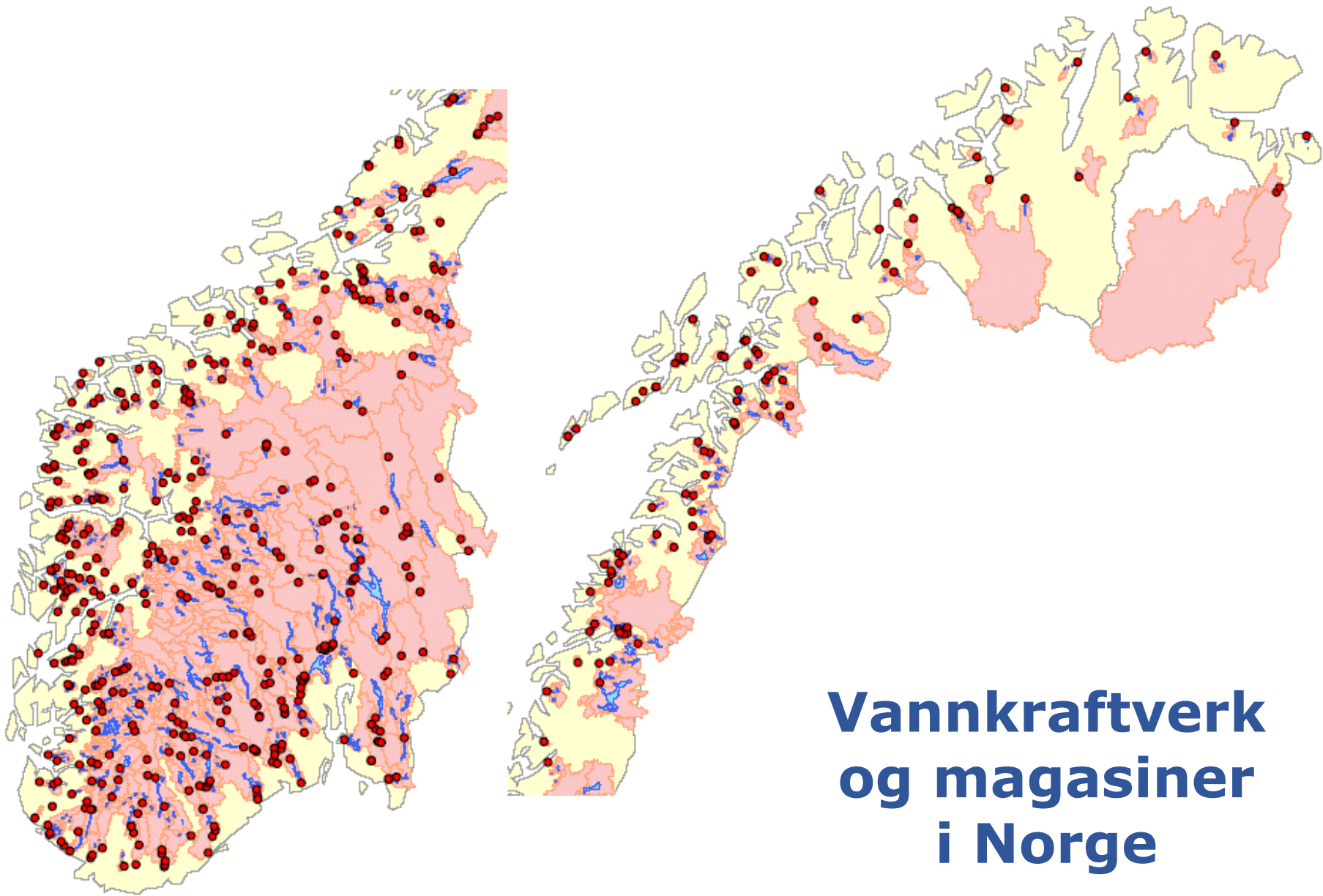
Mye vann

Store høydeforskjeller

Store og billige magasin

Naturlige og kunstige





Vannkraftverk og magasiner i Norge

Vannkraft i Norge – Kort oversikt

Ca 1550 vannkraftstasjoner, 330 > 10 MW
Samlet kapasitet: **32 000 MW**
Midlere produksjon **132 TWh** i normalåret
Lagringskapasitet **84 TWh** (50% of Europas total)

96% av elektrisk energi i Norge kommer fra vannkraft
Utveksling med Sverige, Danmark, Russland, Nederland

Største vannkraftprodusent i Europa
No 7 i verden bak China, Brasil, USA, Canada, Russland, India

5000 MW er bygd ut siden 1990 eller under bygging nå
Fordelt på ca 900 anlegg
Mange små og uregulerte anlegg de siste årene

Største fordel: Store magasin og høy leveringssikkerhet

Blåsjø alene kan lagre 7.8 TWh

(1000 times storage in Goldisthal PSP in Germany)



OK – så er det bygd ut masse vannkraft i Norge

Men er det noe igjen å bygge ut?

Må vi over på andre fornybare teknologier?

Svaret på 1) er enkelt: JA

Svaret på 2) er ikke like enkelt - Spørsmålet er for upresist

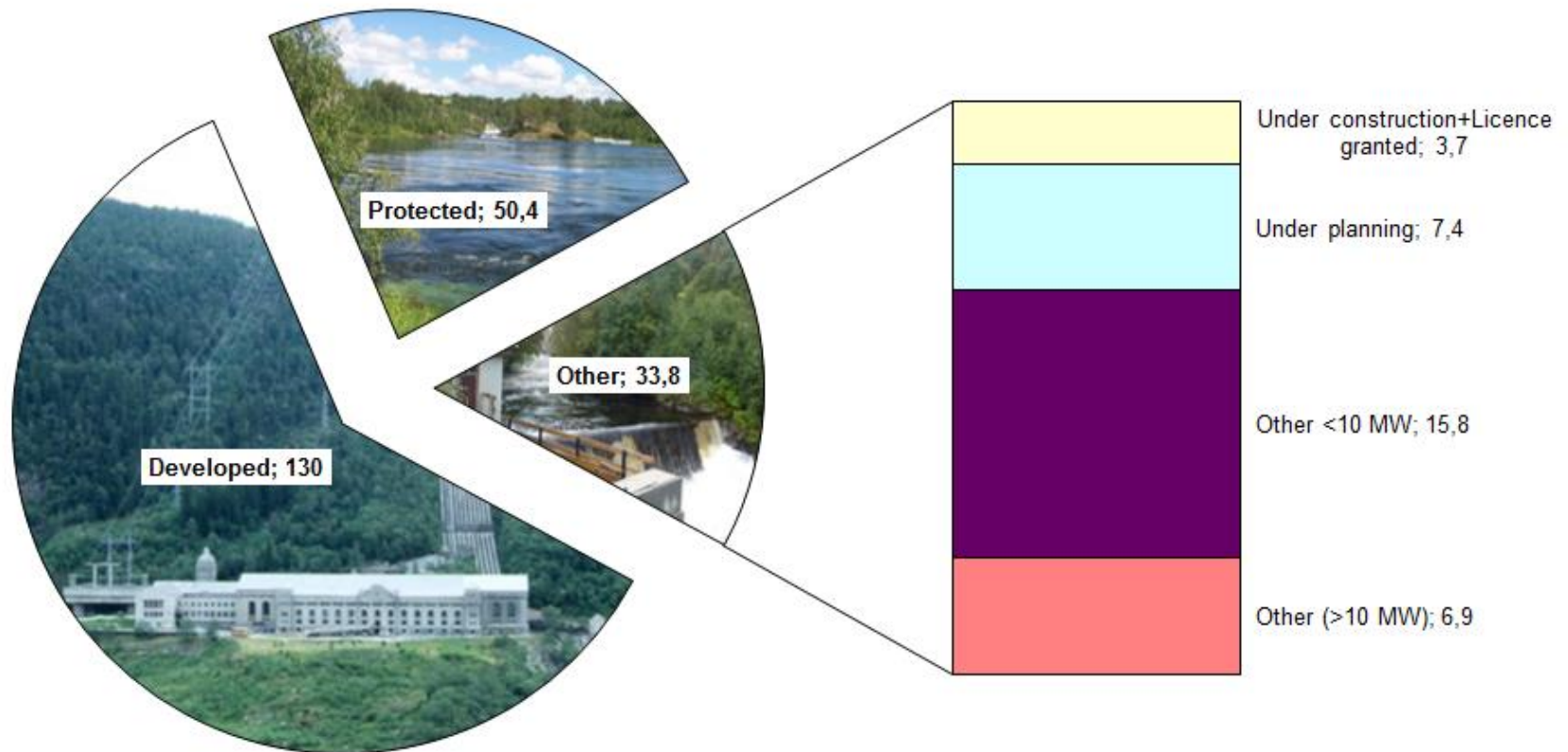
Det vil avhenge av hva som er formålet med videre utbygging

- Dekke kraftbehovet i Norge?
- Tjene penger på energisalg (når oljen tar slutt)?
- Redde verden med fornybar energi?
- Politisk prestisje («Det grønne skiftet...»)

La oss se på noen fakta om ressurser og muligheter

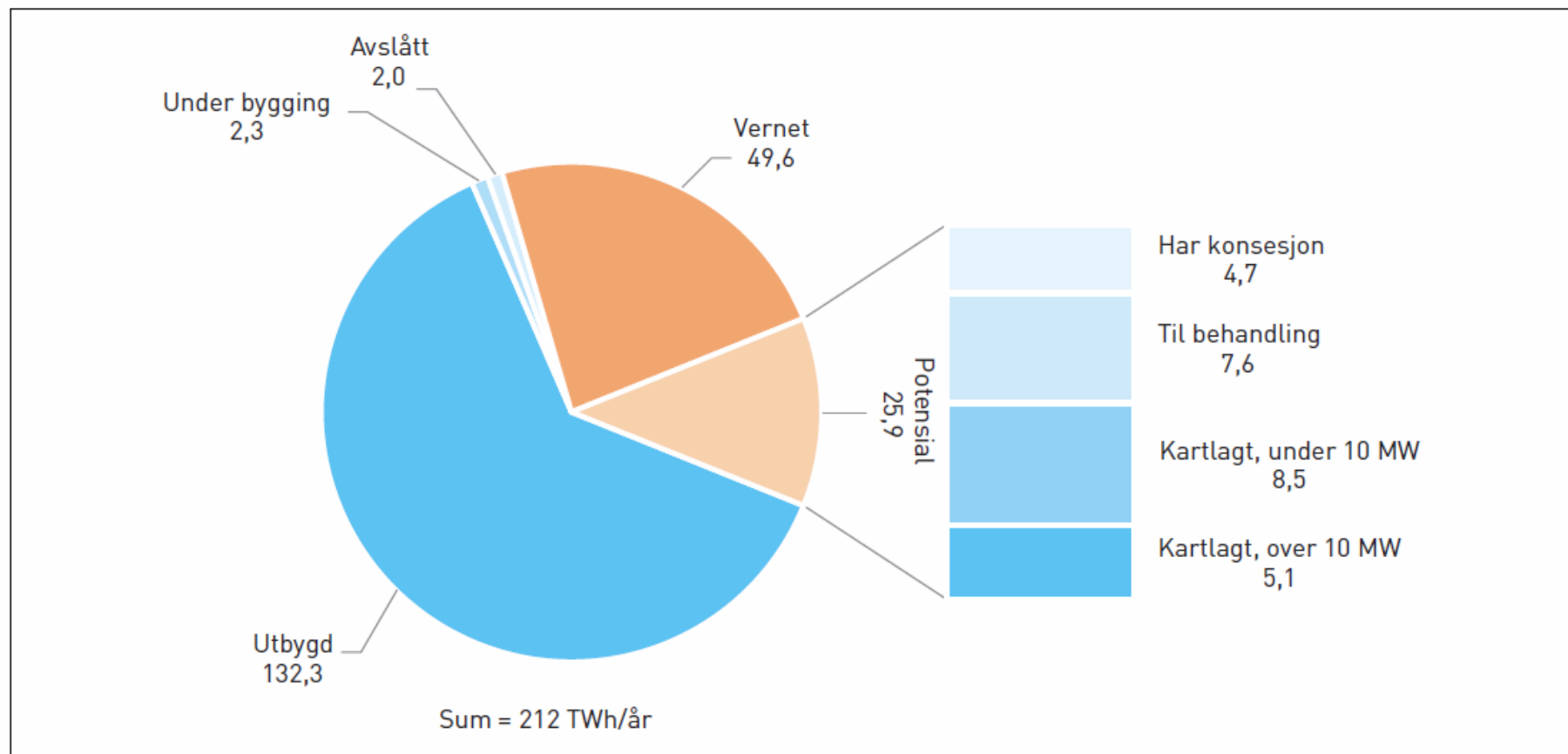
Vannkraft i Norge – Ressursgrunnlag beregnet i 2012

Hydropower Potential in Norway in 2012 (TWh)



Economic potential including projects costing < 3-5 kr/kWh (NVE)

Vannkraft i Norge – Ressursgrunnlag beregnet i 2015

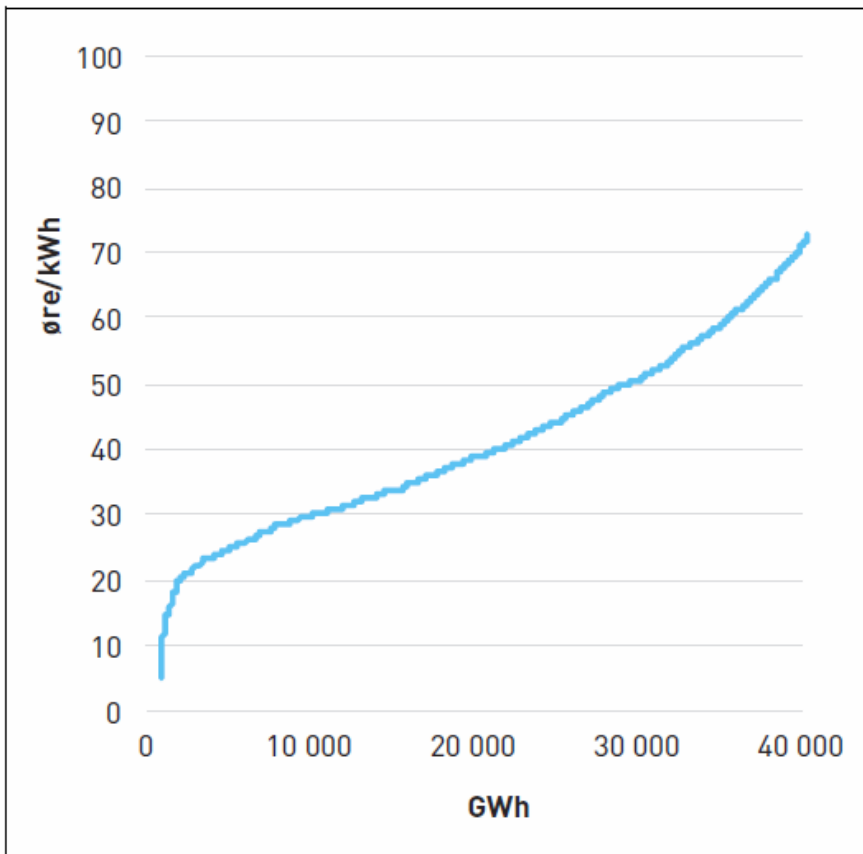


Figur 12.4 Norges vannkraftressurser.

Kilde: OED/NVE

Vannkraftressurs er ikke entydig bestemt

Avhenger sterkt av økonomiske kriterier



Figur 12.5 Kostnadskurve for vannkraft i Norge. Energikostnad i øre/KWh.

Kilde: NVE

Typisk Kostnad i hht energimeldingen:

Vannkraft 25.5 ø/KWh

Landbasert vind 44 ø/KWh

Havvind (bunnfast) 85-145 ø/KWh

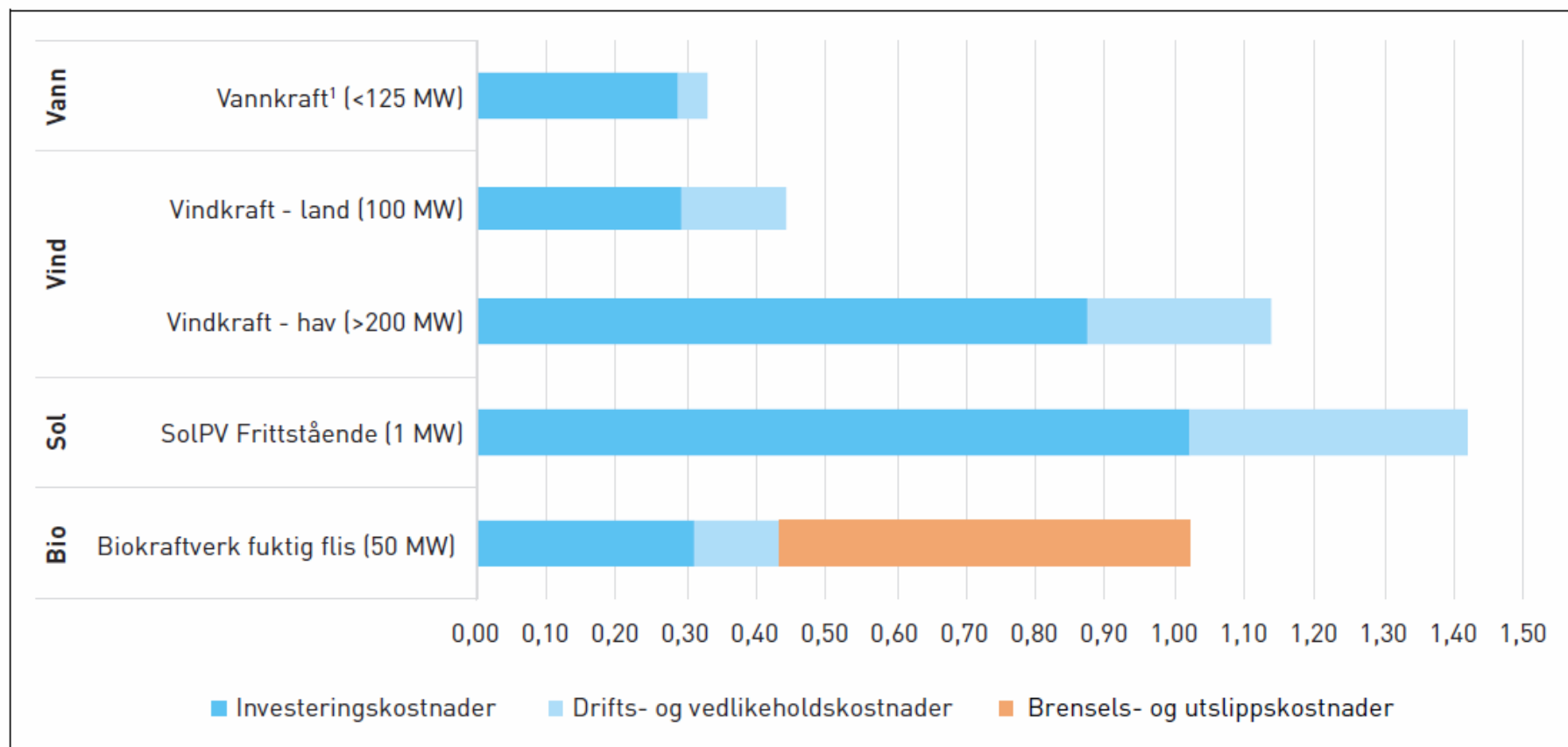
Sol-kraft (PV) 140 ø/KWh

Bio-kraft 100 ø/KWh

Vannkraftressursen avhenger av kostnad

- Ved 30 ø/KWh – Ca 13 TWh
- Ved 45 ø/KWh – Ca 25 TWh
- Ved 75 ø/KWh – Ca 40 TWh
- Ved 100 ø/KWh ??
- Ved 150 ø/KWh ??

Fornybar energi i Norge – Typiske kostnader



Figur 12.2 Kostnader ved kraftproduksjon fra ulike teknologier i Norge, kroner/kWh.

Biokraftverk er representert med den mest kostnadseffektive varianten.

Kilde: NVE

Er potensialet for oppgradering/utvidelse undervurdert?

Energimeldingen angir et O/U potensiale på noen få TWh/år

Potensialet er dårlig kartlagt og det er komplisert å beregne

Store gevinster oppnås først ved økning av fall og mer vann (utvidelse)

En studie ved NTNU (2015) viser resultater oppnådd i virkelige prosjekt:

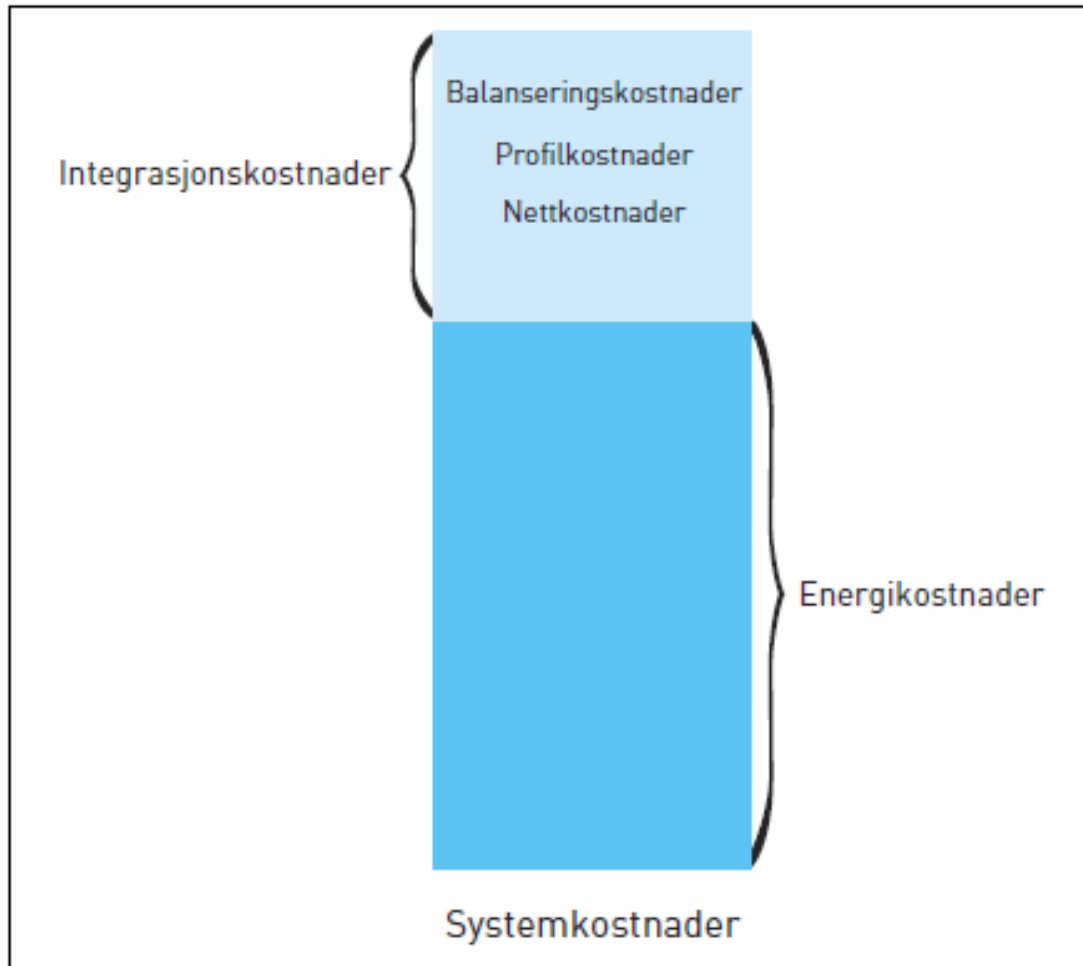
- 20 O/U prosjekt utført siste 15 år (stort sett etter 2000)
- Samlet økning i faktisk produksjon fra 13 → 17 TWh
- Økning på 6-60%, i snitt 31%, i forhold til tidligere produksjon

Studier av en rekke andre store anlegg viser lignende tall

Det er trolig mye mer å hente enn det som framgår av NVE's tall...

Project / Extension	Power generation		Increased generation	
<i>Table 1: Recorded potential from recent upgrading projects</i>	Before	After		
	[GWh]	[GWh]	[GWh]	[%]
Fløyrlí	192	252	60	31 %
Leirfossene	150	193	43	29 %
Nedre Vinstra	972	1 197	225	23 %
Follafoss	140	180	40	28 %
Funna	60	73	13	22 %
Blåfalli Vik	585	710	125	21 %
Skjerka, new power plant	492	622	130	26 %
Skjerka, new higher dam	622	665	43	7 %
Skjerka, new catchments	665	820	155	23 %
Meråker and Tevla	150	512	362	241 %
Tyin and Holsbru	1 180	1 662	482	41 %
Sauda	1 146	1 850	704	61 %
Brokke Nord and Sør	1 565	1 740	175	11 %
Nedre Røssåga (lower)	1 853	2 053	200	11 %
Øvre Røssåga (upper)	890	940	50	6 %
Embretsfoss	215	335	120	56 %
Lysebotn	1 320	1 500	180	14 %
Gausbu, Åmdal and Skree	153	238	85	56 %
Framruste and Øyberget	-	650	650	-
Breidalsoverføringen	650	775	125	19 %
Total	13 000	-	3 967	31 %

Systemkostnad/Integrasjonskostnad er ofte undervurdert



Figur 12.9 Illustrasjon på forskjellen mellom produksjonskostnad og systemkostnad.

Vannkraft med magasin er optimal teknologi for god integrasjon

Andre fornybare er stort sett uregulerbare, særlig
Vind
Sol
Småkraft

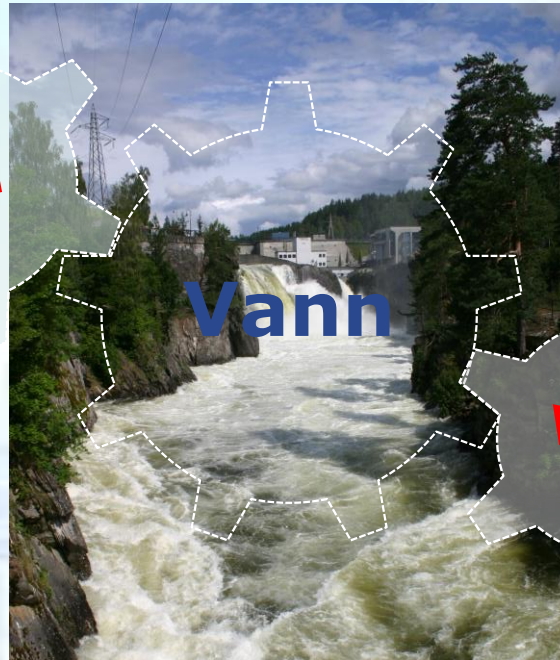
Biokraft er på nivå med annen termisk kraft og vannkraft med magasin

Integrasjonskostnader for vind og sol kan bli svært store ved høy andel

Vannkraft – viktig rolle i samspill med andre fornybare



Sol



Vann



Vind



CEDREN

Centre for Environmental Design of Renewable Energy

FmE
CENTRE FOR
ENVIRONMENT-
FRIENDLY ENERGY
RESEARCH

Oppsummering – Vannkraftressurser i Norge

- Vannkraft er fortsatt klart den billigste fornybare energiteknologi i Norge
- Det er fortsatt store ubrukte vannkraftressurser - uten å røre vernede vassdrag
- Offisielle tall (Energimelding/NVE) angir 25-30 TWh
- I tillegg finnes trolig et stort potensial ved O/U prosjekter – NVE's tall for lave?
- Klimaendringer ventes å gi mer vann og mer vannkraft, trolig 5-10%?
- Totalt kan det være realistisk å få på nett 50-75 TWh mer vannkraft fram mot 2050
 - 25 TWh fra kartlagte prosjekt (NVE)
 - 10-15 TWh fra et våtere klima
 - 15-35 TWh fra O/U prosjekter

Alt dette forutsatt et kostnadsregime omtrent som i dag

Dersom kostnaden aksepteres på nivå med andre fornybare øker ressursen

Vi kan levere all fornybar energi fra vannkraft i lang tid framover – om ønskelig

Miljødesign i praksis - Vannkraft



Økologi



Hydrologi



Teknologi

Renewable energy
respecting
nature!

<http://www.cedren.no/>

CEDREN

Centre for Environmental Design of Renewable Energy

f m
E
CENTRE FOR
ENVIRONMENT-
FRIENDLY ENERGY
RESEARCH