



# Norges vassdrags- og energidirektorat



# Hydrologi for små kraftverk

- og noen mulige feilkilder

Thomas Væringstad  
Hydrologisk avdeling

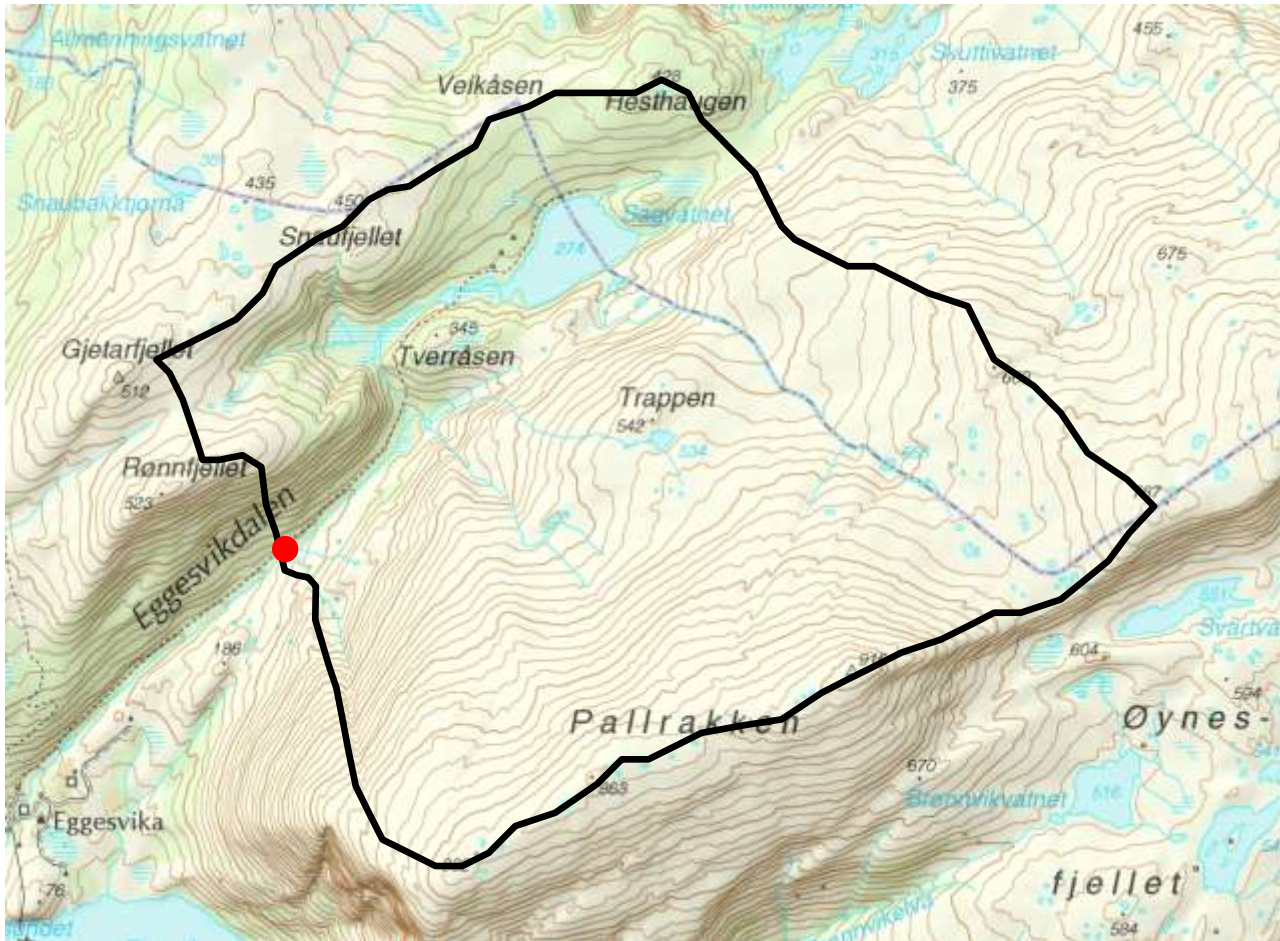
# Nødvendige hydrologiske beregninger

- Nedbørfelt og feltparametere
- Middelvrenning (1961-1990)
- Tilrettelegging av vannføringsserie
- Variasjon i middelvannføring fra år til år
- Vannføringens variasjon over året
- Varighetskurve, slukeevne og "sum lavere"
- Alminnelig lavvannføring og 5-persentiler
- (Restvannføringskurver og vannstandsvariasjoner i magasin)



31.03.2014

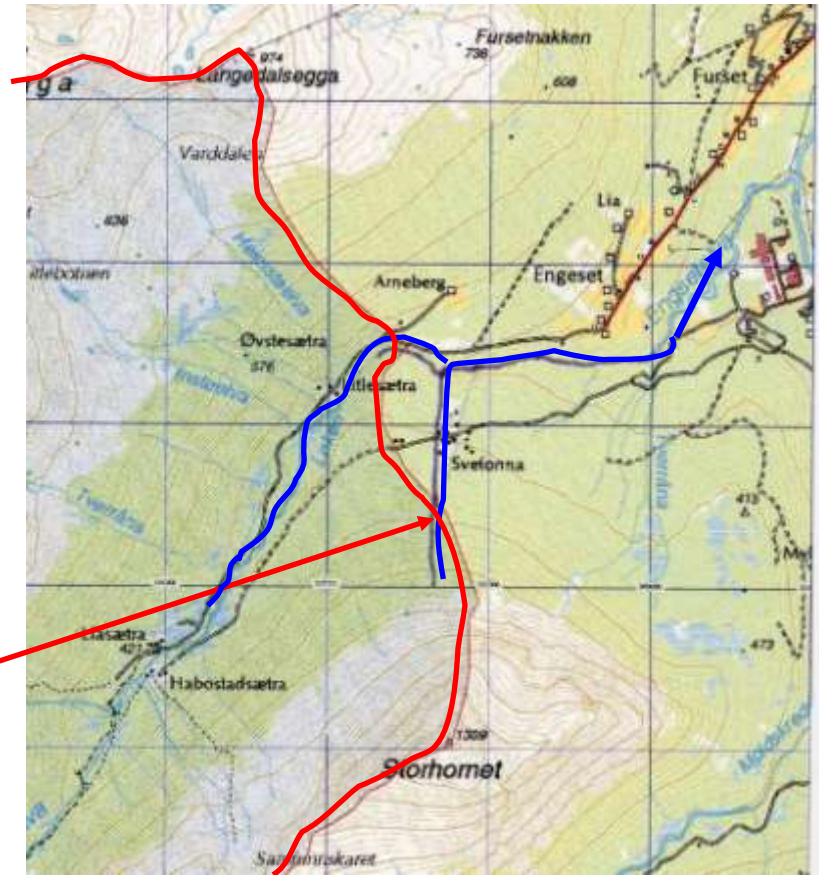
# Nedbørfelt og feltgrenser



31.03.2014

# Feltgrenser, usikkerhet / feil

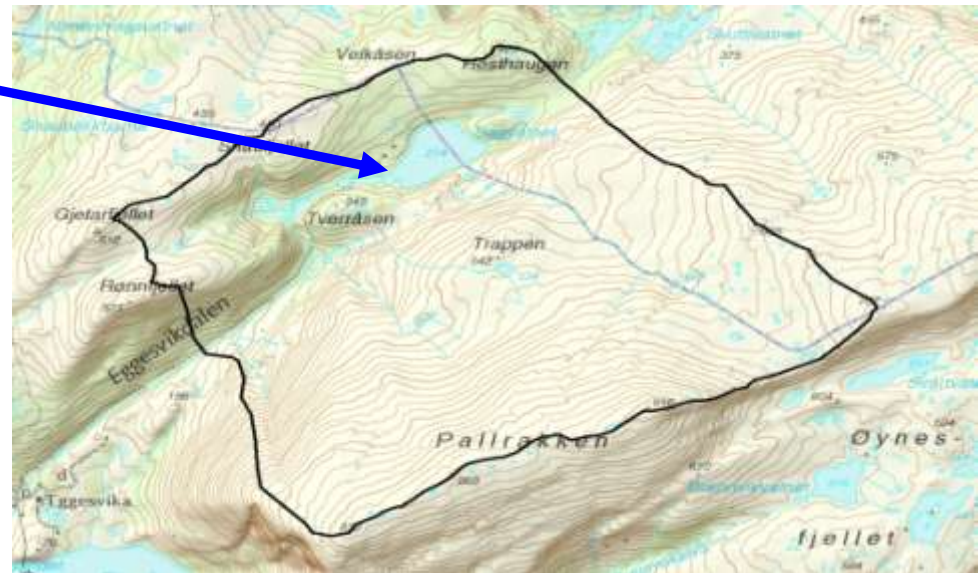
- Noen kilder til usikkerhet:
  - Vann med flere utløp
  - Brefelt
  - Flate myrpartier
  - Elver som deler seg
- Kan utgjøre en betydelig usikkerhet - spesielt i små felt
- Eksempler på feil
  - Krysser bekk
  - Langs en dalside





# Feltparametere for kraftverket og representativ stasjon

- Areal
- Høyeste og laveste kote
- Effektiv sjøprosent
- Breandel
- Snaufjellandel
- Hydrologisk regime
  - Hvilken tid av året inntreffer flommer og lavvannsperioder
- Middellavrenning
  - Avrenningskart (1961-1990)



# Ujevn fordeling av nedbør

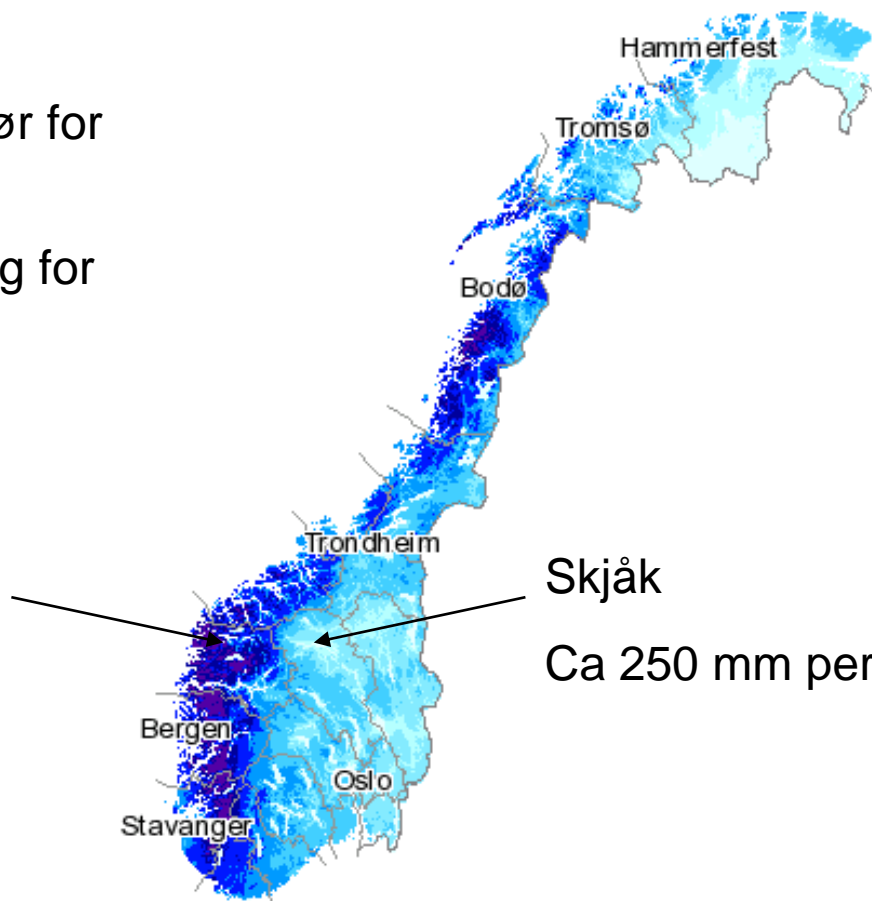
Normal nedbørsum for året (1961-1990)

Gjennomsnittlig årsnedbør for Norge: 1400 mm.

Gjennomsnittlig avrenning for Norge: 1200 mm

Ålfotbreen

5000 mm per år

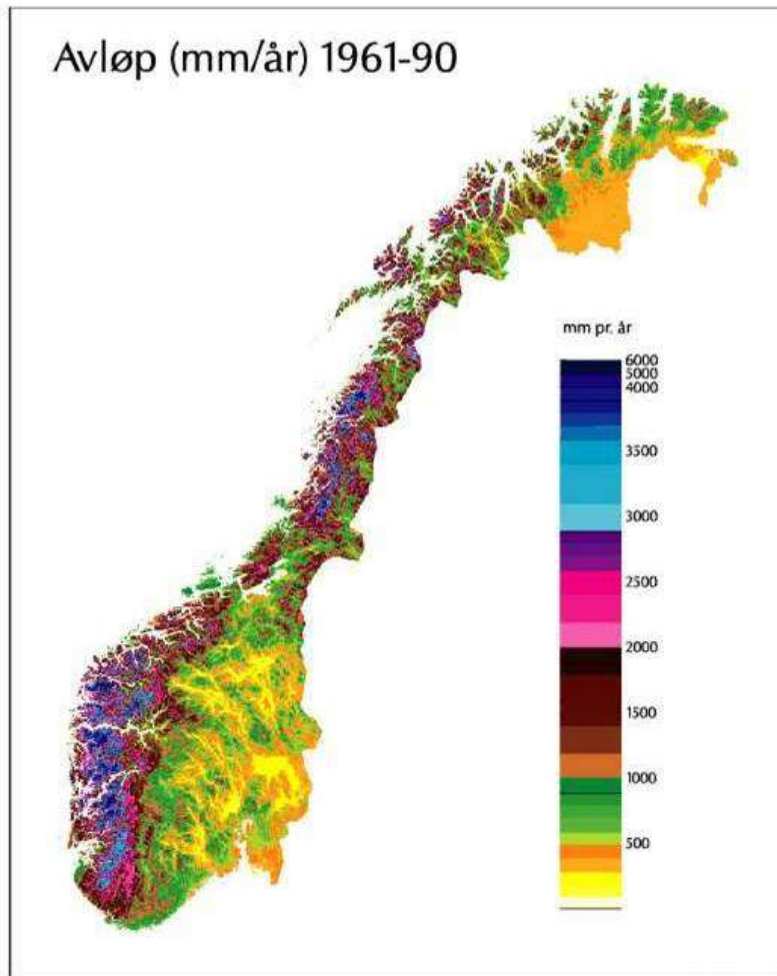


Skjåk

Ca 250 mm per år

# Normalavløp for perioden 1961-1990

## Avrenningskart for Norge



Normalavløpet (1961-90) for 1x1 km grid for hele landet

Usikkerhet:  $\pm 5 - 25 \%$  (kan være betydelig større!)

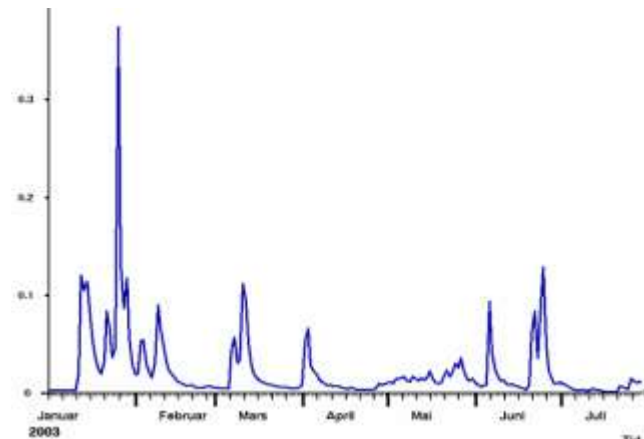
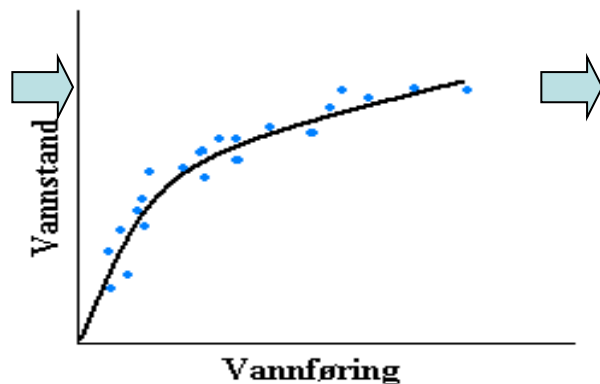
NVE-Atlas/Lavvannskartet

31.03.2014



# Vannføringsdata

- Grunnet for hydrologiske beregninger er tidsserie for vannføring over en årrekke



- Etablering av målestasjon i vassdraget
  - Registrere vannstand (flottør eller trykksensor)
  - Teoretisk vannføringskurve (kunstig måleprofil)
  - Empirisk sammenheng mellom vannstand og vannføring
- Viktig med god datakvalitet (søppel inn = søppel ut!)

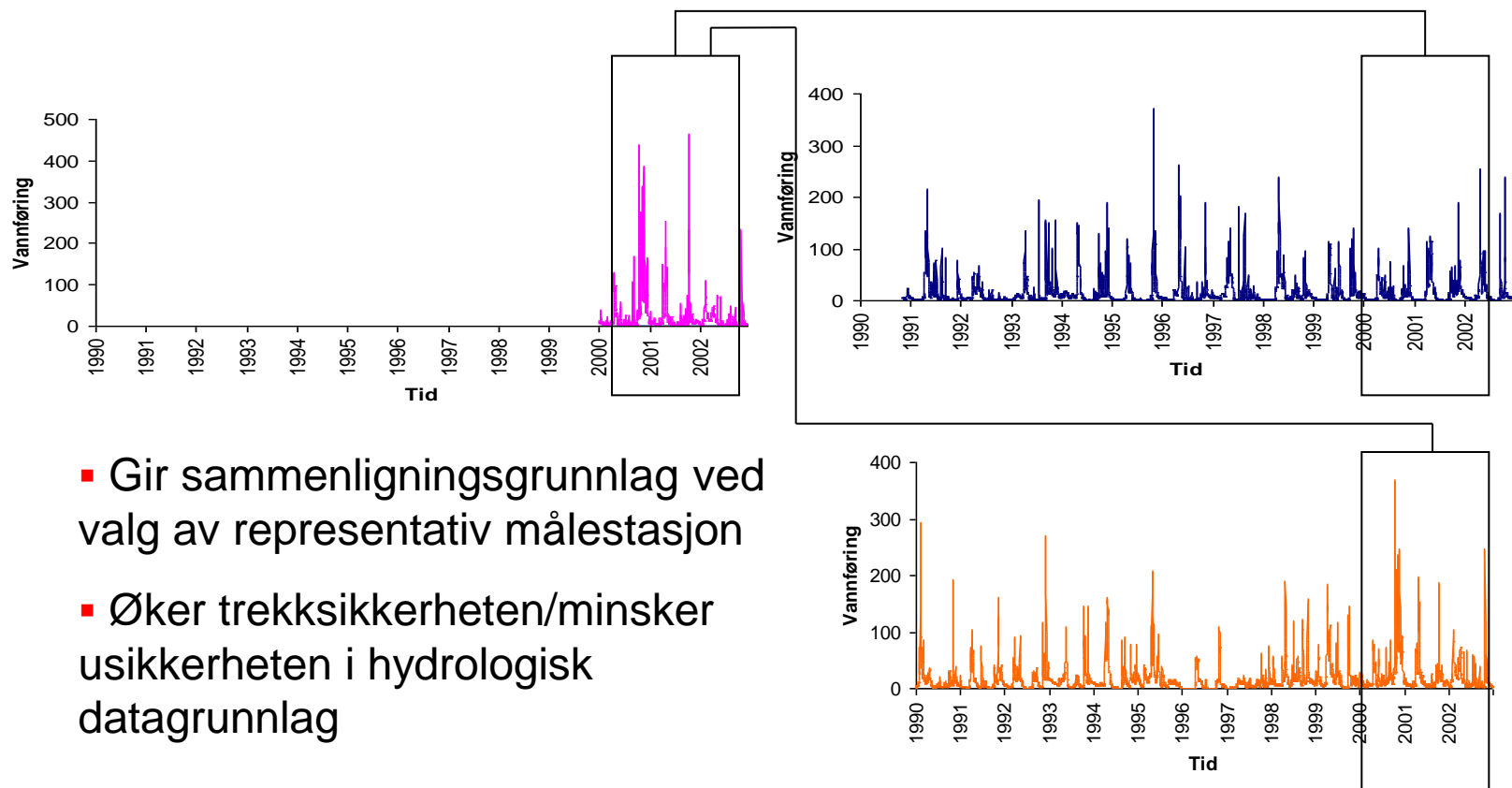
31.03.2014

# Valg av representativ stasjon

- Riktig valg - svært viktig for beregningene
  - Vurdere hvor godt den beskriver vannføringen
  - Sannsynlige feilslutninger?
- God begrunnelse for valg av representativ sammenligningsstasjon
  - Nærmest er ofte ikke best!
- Utfordring
  - Små kraftverk bygges i små vassdrag, der det i de aller fleste tilfeller ikke finnes vannføringsmålinger (få stasjoner i små felt)
  - Store lokale variasjoner
- Eksempler på dårlige valg
  - Valgt høyfjellsfelt for å beskrive kystfelt
  - Brefelt benyttet for å beskrive et felt uten bre
  - Valgt felt med stor dempning for å beskrive bekk med liten dempning

# Måling av vannføring i eget felt

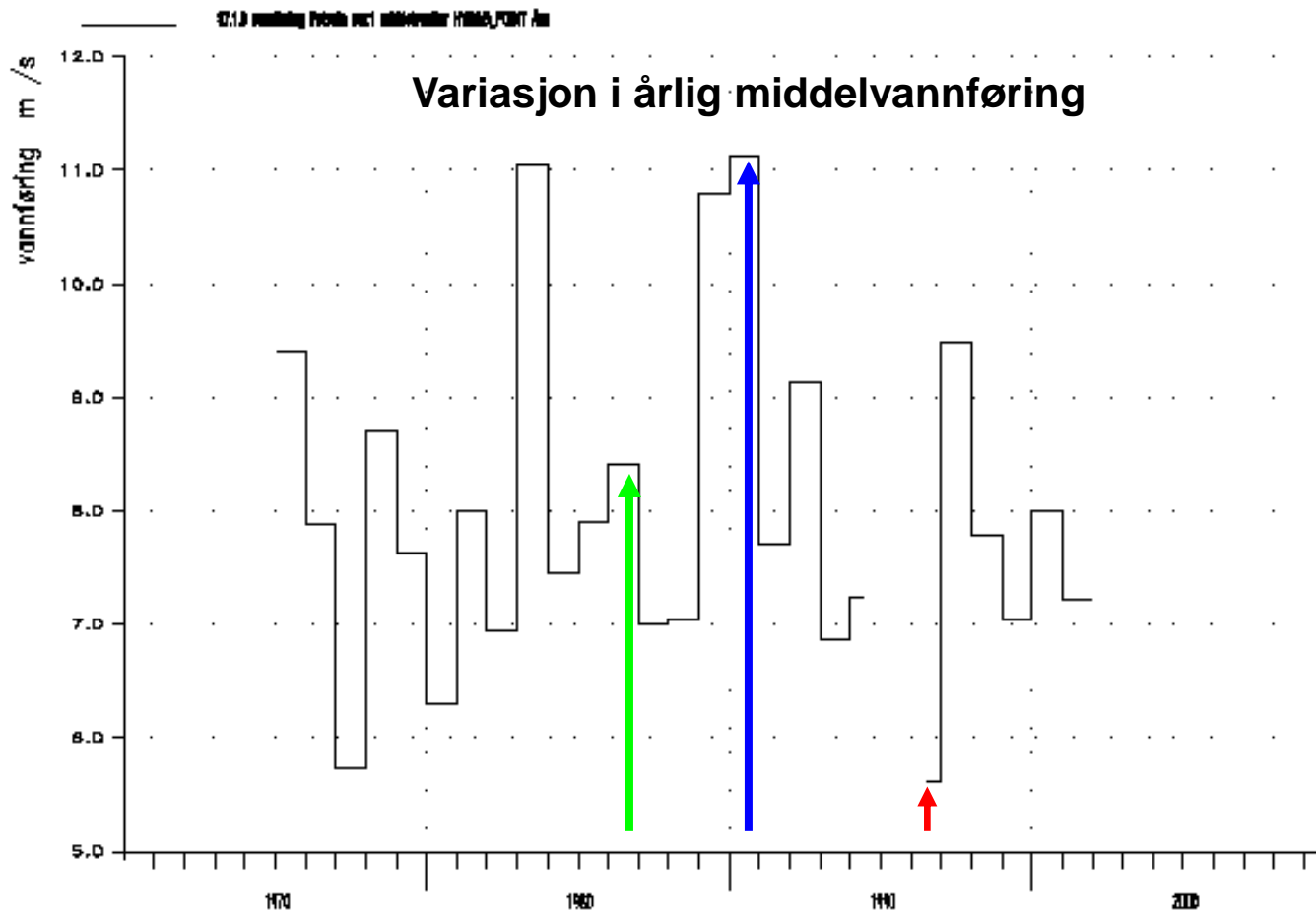
- Tips! Foreta målinger av vannstand/vannføring i elva
  - NB! Søk fagkompetanse – viktig med god datakvalitet



- Gir sammenligningsgrunnlag ved valg av representativ målestasjon
- Øker treksikkerheten/minsker usikkerheten i hydrologisk datagrunnlag

# Tørt – normalt – vått år

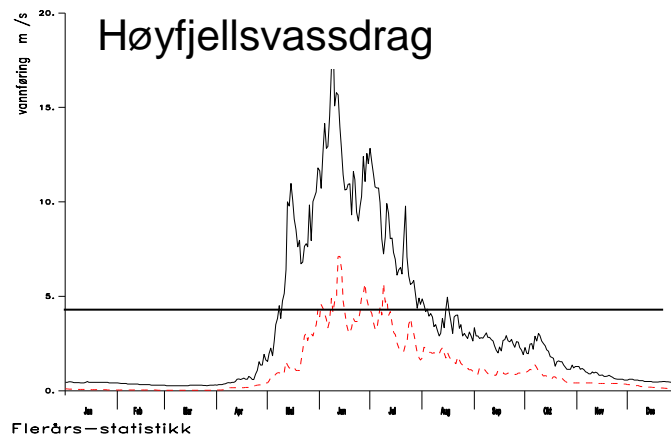
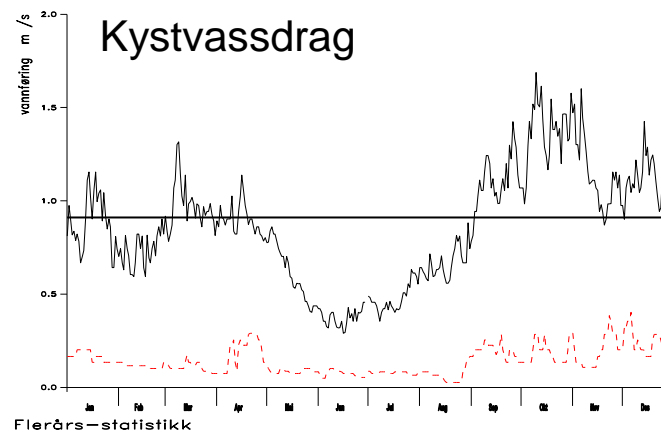
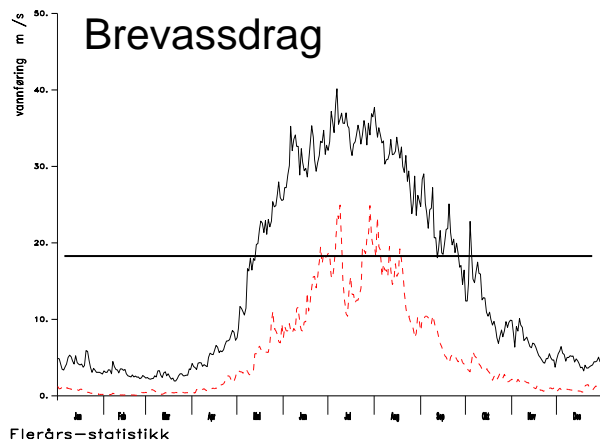
- Beskrivelse i henhold til tilsig ikke kraftproduksjon



Ofte større variasjon i små felt enn i store nedbørfelt

# Avløpets variasjon over året

Vannføringens variasjon gjennom året avviker i stor grad fra normalavløpet



Figurene viser flerårsmedian og flerårsminimum

Middelvannføringen er tegnet inn som en rett linje

31.03.2014



# Produksjonsberegninger

- Effekt/ytelse i kraftverket beregnes med bakgrunn i største slukeevne og fallhøyden:

$$N \text{ (kW)} = g \cdot \eta \cdot Q \text{ (m}^3\text{/s)} \cdot H \text{ (m)}$$

$Q$  = maksimal slukeevne,  $\eta$  = total virkningsgrad,  $H$  = fallhøyde,  $g$  = tyngdens akselerasjon (9,81 m/s<sup>2</sup>)

- Gjennomsnittlig produksjon beregnes fra midlere årsavløp ( $V$ ) gjennom kraftverket:

$$P \text{ (GWh)} = g \cdot \eta \cdot V \text{ (mill. m}^3\text{)} \cdot H \text{ (m)} / 3600$$

- Midlere årlig nyttbar vannmengde i turbinene,  $V$ :

$$V \text{ (mill. m}^3\text{)} = V_N - V_F - V_L - V_M$$

$V_N$  = Normalavløp,  $V_F$  = Flomtap,  $V_L$  = Lavvannstap,  $V_M$  = minstevannføring

- Nyttbar vannmengde beregnes fra varighetskurven



# Varighetskurve, slukeevne og "sum lavere"

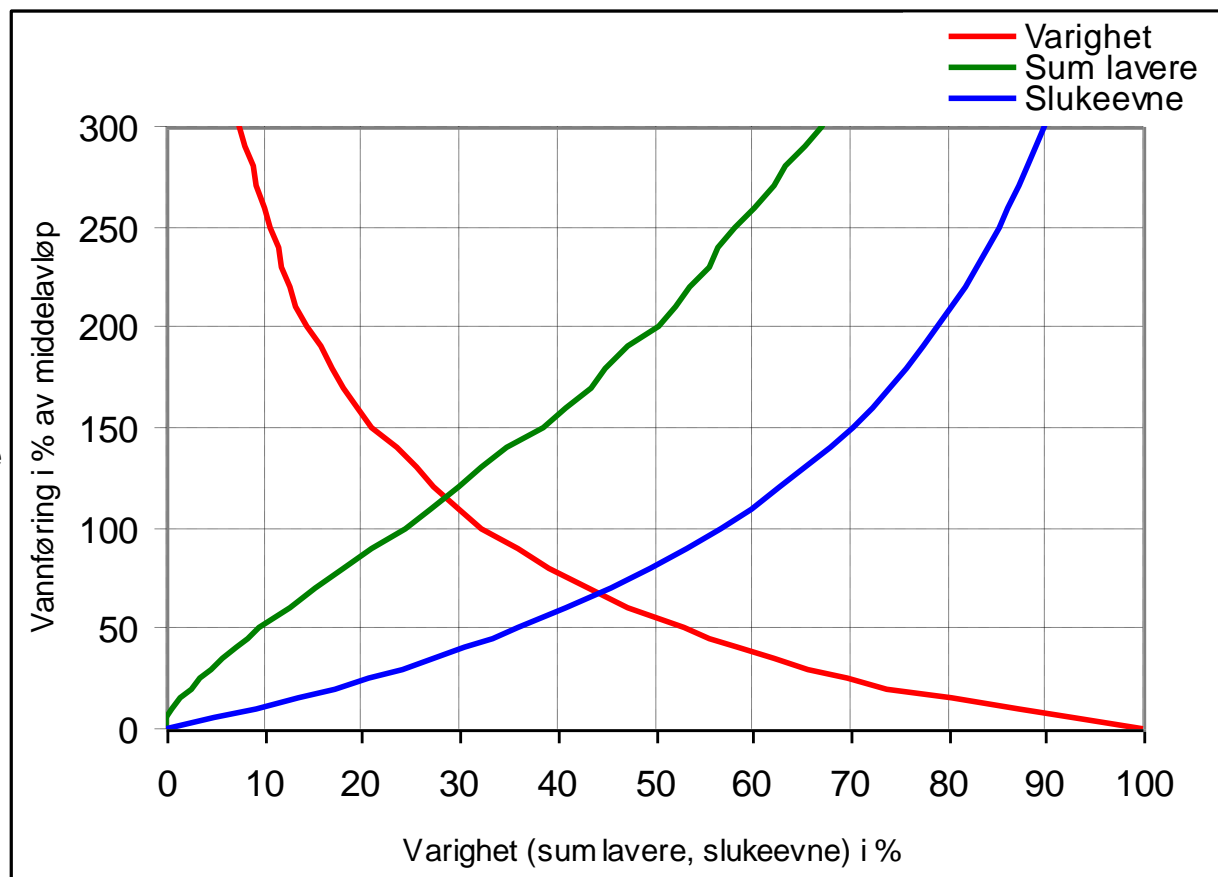
## Dimensjoneringsverktøy uten magasinering

Kurvene er utgangspunkt for beregning av:

- **Driftstid; stans og maksimal drift i kraftverket**
- **Flomtap**
- **Lavvannstap**
- **Utnyttbar vannmengde til produksjon**

Kriterier:

- **Maksimal slukeevne**
- **Minste driftsvannføring**
- **Minstevannføring**



31.03.2014

# Varighetskurve – ventet driftstid

Eksempel:

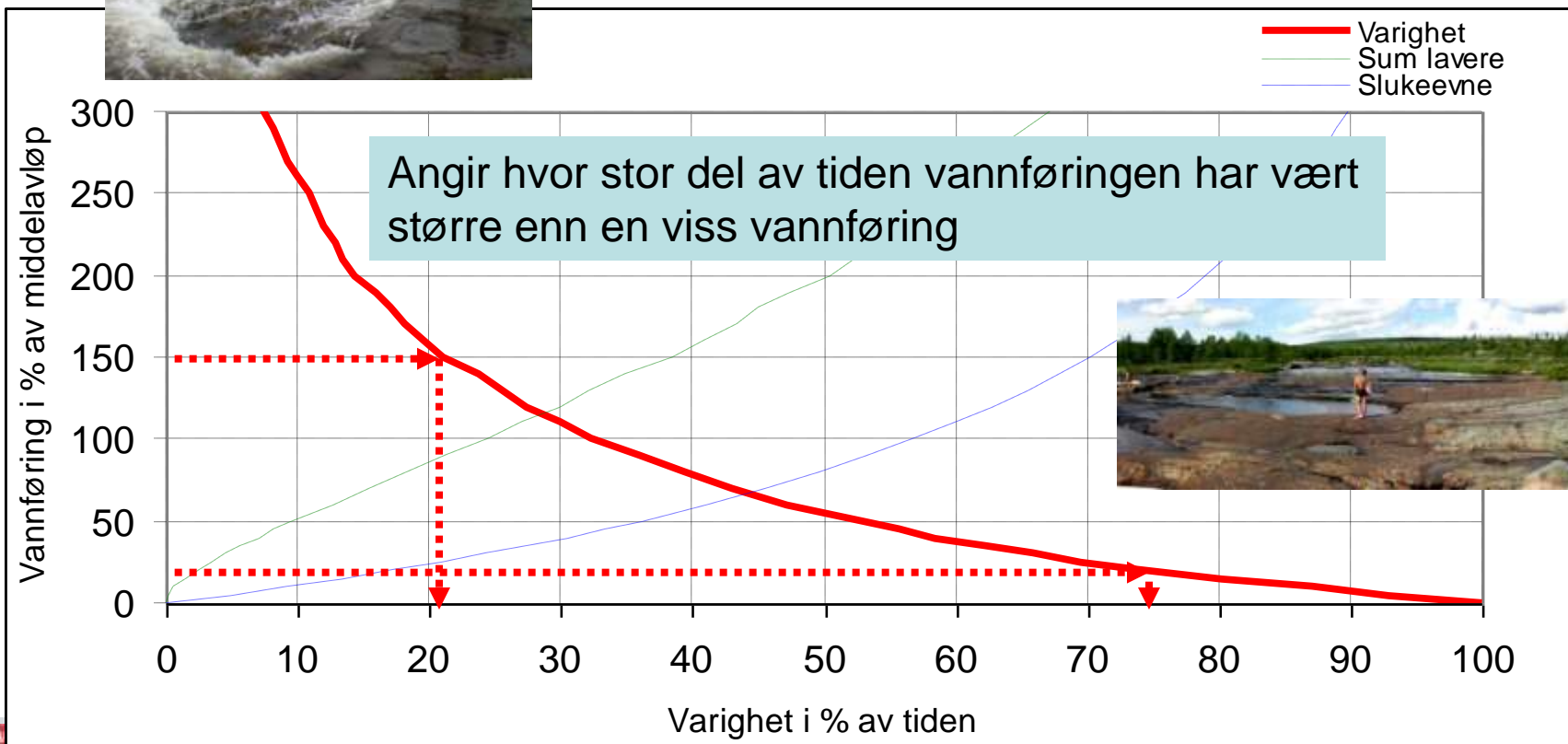
Maksimal driftsvannføring: 150% av middelvannføringen

Minste driftsvannføring: 20 % av middelvannføringen



Driftstid i kraftverket: 74 % av tiden

Maksimal produksjon: 21 % av tiden



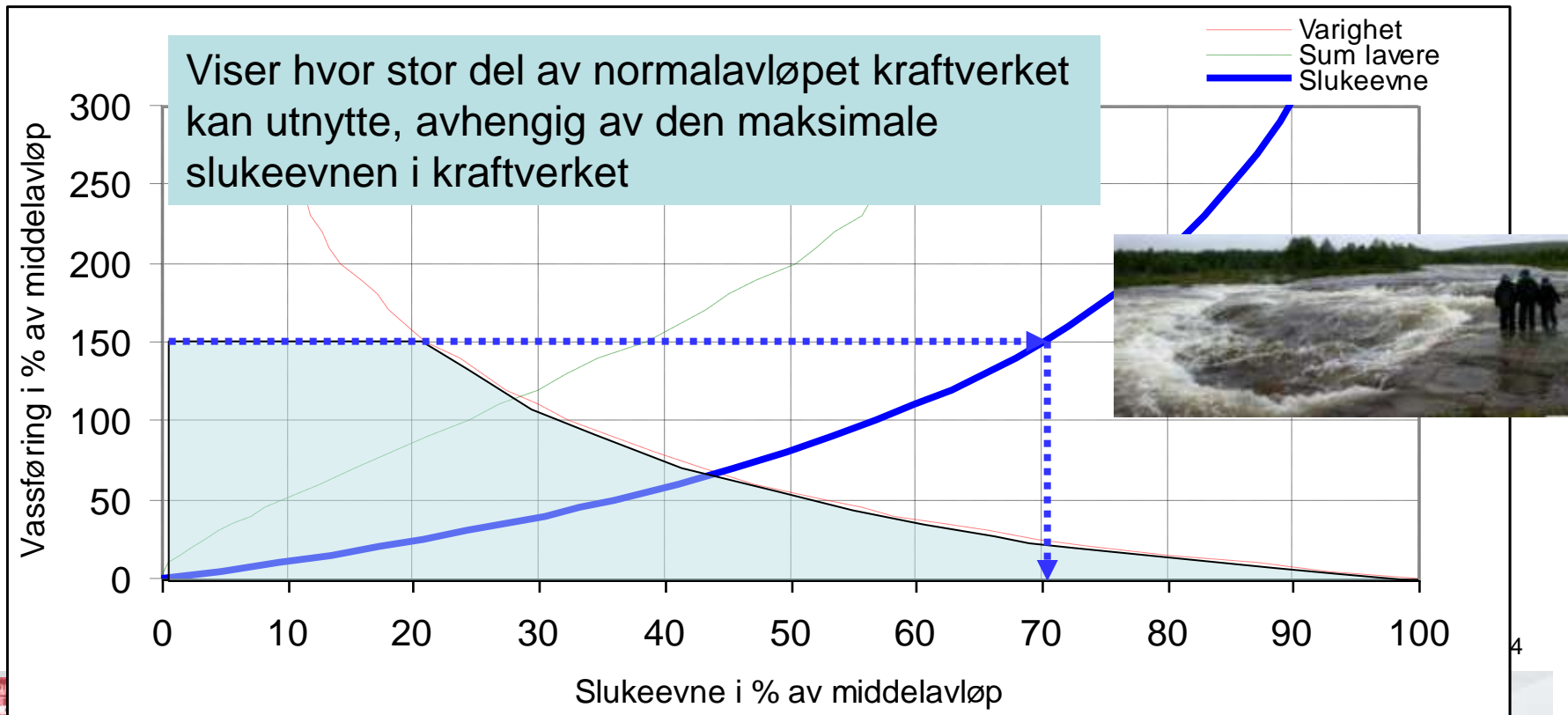
# Slukeevnekurve – utnyttbar vannmengde / ventet flomtap

Eksempel:

**Maksimal driftsvannføring: 150% av middelvannføringen**

**Utnyttbar vannmengde: 70 % av middelavløpet**

**Flomtap: 30 % av middelavløpet**

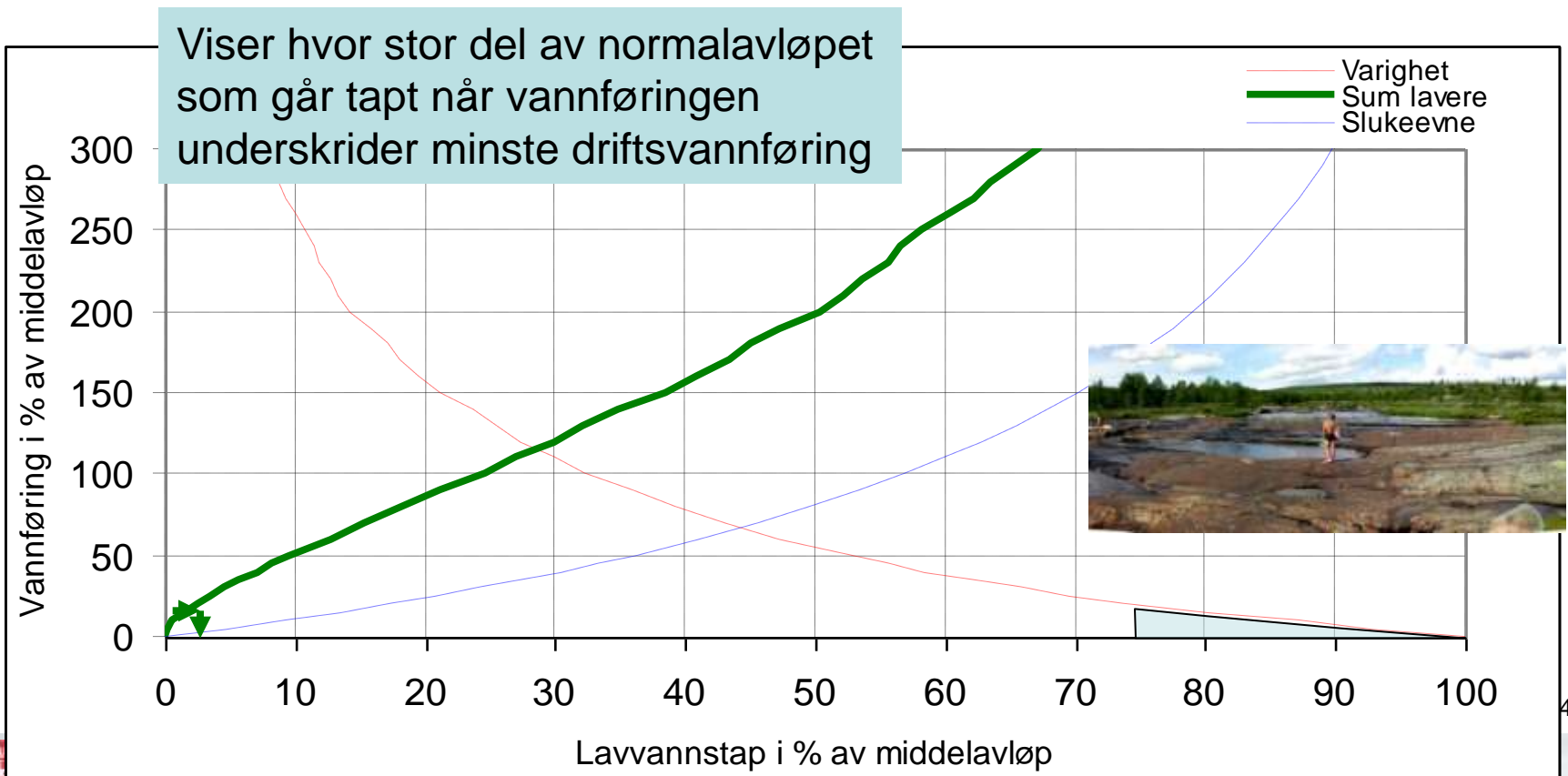


# Sum laverekurve – ventet lavvannstap

Eksempel:

Minste driftsvannføring: 20% av middelvannføringen

Lavvannstap: 3 % av middelavløpet





# Midlere nyttbar vannmengde

## Eksempel: Uten slipp av minstevannføring

- Kriterier:
  - Maksimal driftsvannføring: 150 % av middelvannføringen
  - Minste driftsvannføring: 20 % av middelvannføringen

Normalavløp (100 %)

– Flomtap (30 %)

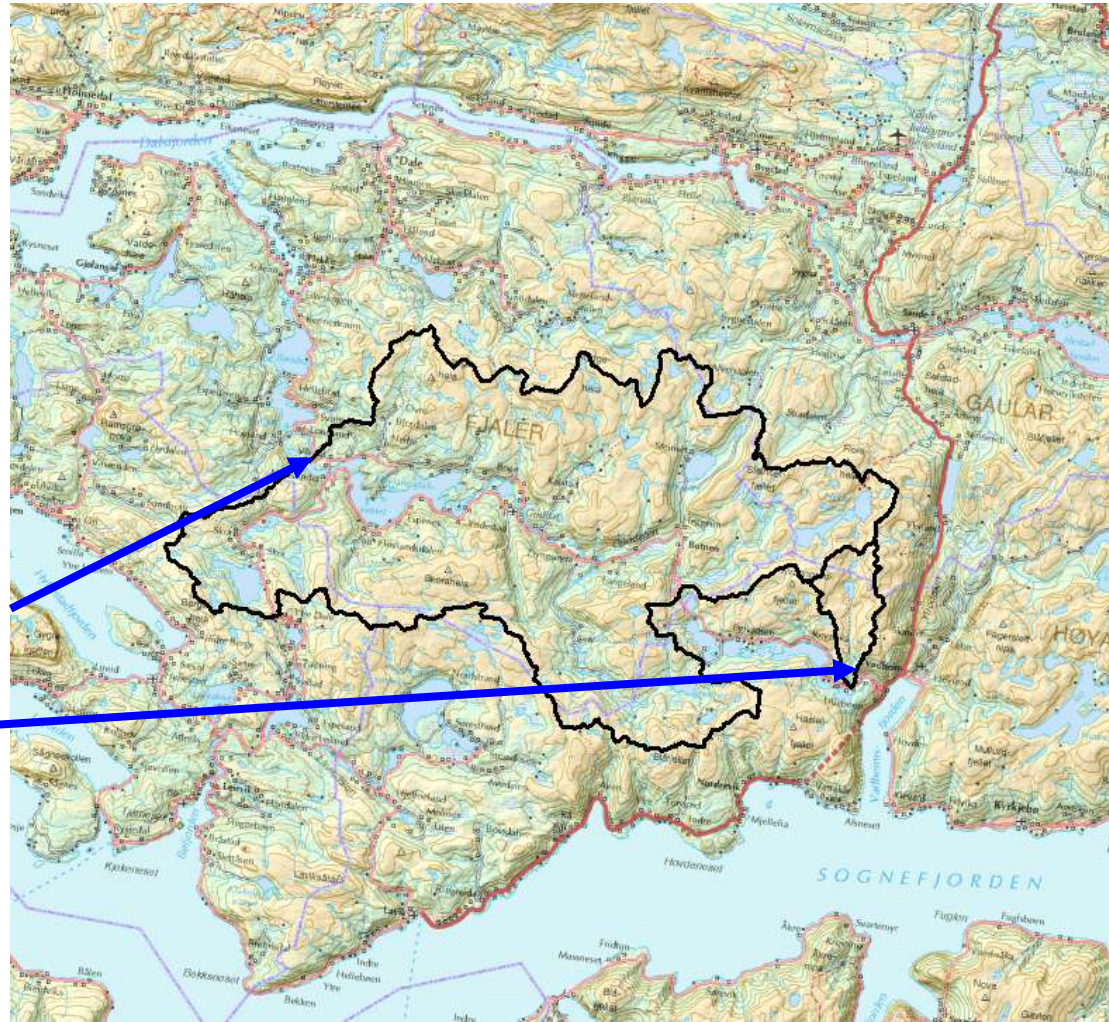
– Lavvannstap (3 %)

= 67 % av feltets normalavløp

(NB! Kurvene og regnestykket må settes opp for hver enkelt elv, dette er ikke generelle kurver!)

# Sammenligning av to elver

- To felt i samme område
- Samme klimasone
- Lignende høyde
- Lik middelavrenning ( $l/s \cdot km^2$ )
- Nautsundvatn (219 km<sup>2</sup>)
- Ullebøelv (8,3 km<sup>2</sup>)



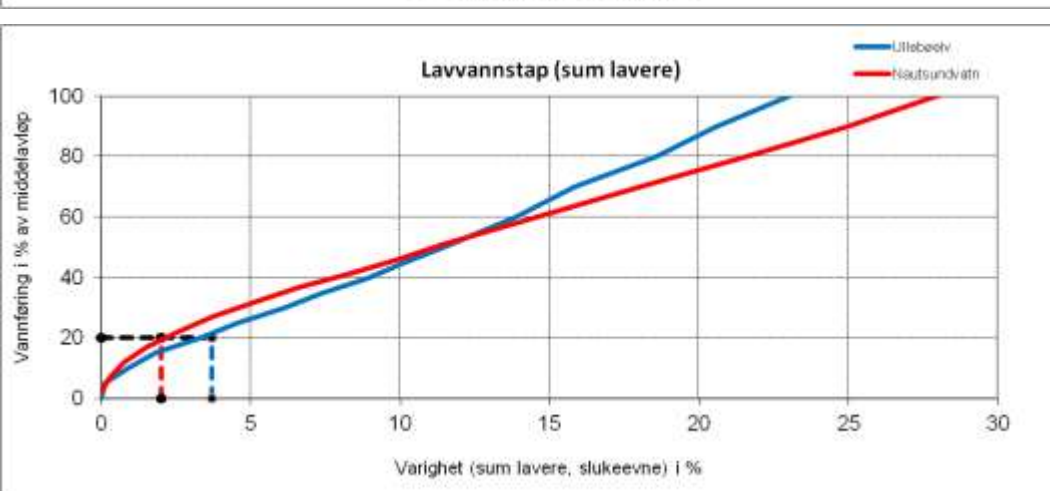
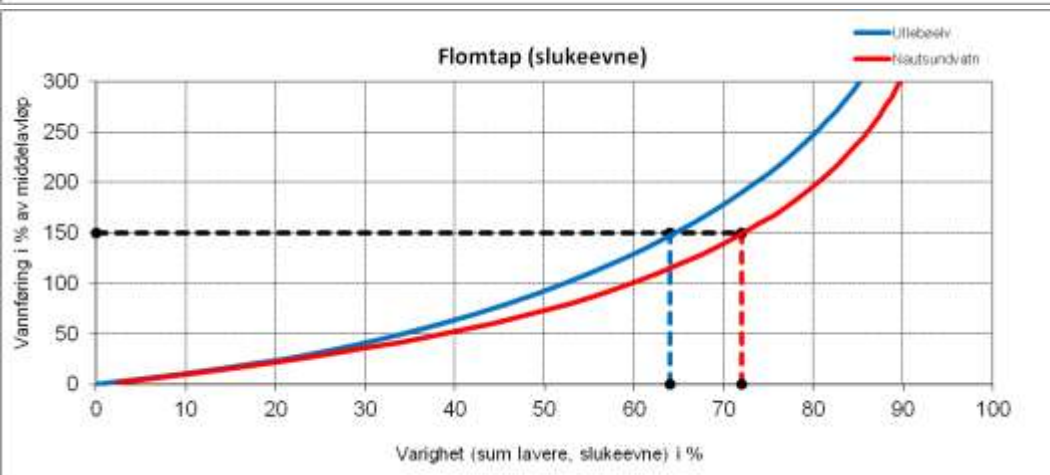
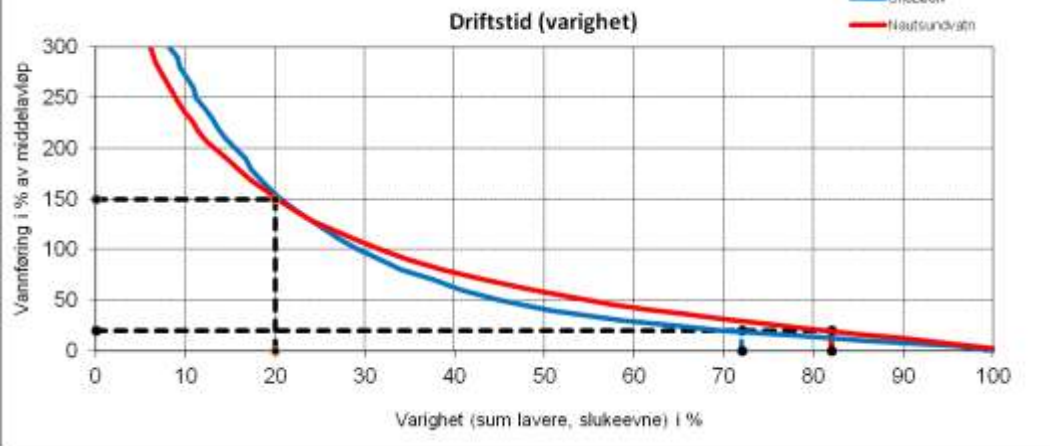
31.03.2014

# Stort vs. lite felt

Driftstid:  
6300 t og 7200 t  
> 1 måned forskjell

Produksjon:  
 $64 - 4 = 60$  prosent  
 $72 - 2 = 70$  prosent

Gir 15 – 20 prosent  
for mye produksjon



# Ikke velg feil målestasjon!

Gullbekken kraftverk:

- 2,5 MW
- 40 MNOK
- Slukevne: 150 % av midlere årsavløp

# Ikke velg feil målestasjon!

- Nautsundvatn:
  - 8,8 GWh/år
  - 4,51 kr/kWh
- Ullebøelv:
  - 7,5 GWh/år
  - 5,35 kr/kWh



Hva hvis avrenningskartet er feil i tillegg?

- Nautsundvatn:
  - 8,8 GWh/år
  - 4,51 kr/kWh
  
- Ullebøelv med 20 % mindre middelavløp enn forventet
  - 6,6 GWh/år
  - 6,09 kr/kWh

# Lavvannføringer

- Alminnelig lavvannføring
  - En vannføring som med stor sikkerhet inntreffer i lavvannsperioden
  - Uregulert vannføring
  - Beregnes over hele året
- 5-persentiler
  - Beregnes ut fra varighetskurven
  - Kan beregnes for sesong
- Hvordan beregne i umålte vassdrag?
  - Representativ vannføringsserie(r)
  - Utgangspunkt i feltparametere
  - Stor usikkerhet



Viktige størrelser for vurdering av konsesjonsplikt og slipp av minstevannføring

**NB!** Annen minstevannføring kan bli pålagt!

31.03.2014

# Lavvannskartet!

<http://atlas.nve.no/GE/Viewer.aspx?site=Lavvann>

Lavvann

Lagliste

- STEDSNAVN
- INNSJØ
- NEDBØRFELT
- HYDROLOGISKE DATA
- KRAFTANLEGG
- KARTDATA
- ANDRE DATA
- BAKGRUNN

Verktøykasse

Lavvannsberegningsverktøy

Velg Punkt | Generer Nedbørfelt | Rediger Nedbørfelt | Generer Feltparametre | Generer Indekser | Eksporter til Shape | Eksporter til Pdf

Prosesseringsinformasjon

Informative: Beregning sluttet klokka: 20120206073222  
Informative: Completed script GenNedborFelt...

Projeksjon: WGS 1984 UTM Zone 33N  
Målestokk 1: 50000  
Flytt til: Sogsvann

0 363 726 1452  
x=0 y=0

Lavvannskart for Norge  
Kartlegg Engeland, Hage Mostad, Ann Kristine Orntveit, Asgeir Pettersen-Duerbeil, Astrid Molde  
5 2008  
OPPRAGSRAPPORT A

31.03.2014

# Usikkerhet i hydrologisk grunnlag – risiko for produksjon og økonomi

- Usikkerhet i vannføring:
  - Avrenningskartet
  - Representativ målestasjon
  - hydrologi i små felt
  - målinger av små vannføringer
  
- Etablering av målestasjon i aktuelt felt **kan i løpet av noen år** redusere usikkerheten i de hydrologiske beregningene
  - Forutsetning; god kvalitet

