

Slik har NRK jobbet

Hvor mye strøm lages per km elv lagt i rør?	1
Oversikten som ikke finnes	2
Datagrunnlaget: Qvadis.....	3
<i>Slik bearbeidet NRK data fra Qvadis</i>	<i>6</i>
Metode 1: Python-script for vassdragsområdene	6
Metode 2: Manuell kartlegging.....	7
<i>Regnestykket.....</i>	<i>9</i>
Ikke overdrive konsekvensene	10
Minstevannføring og flomtap.....	11
Resultatene fra analysen.....	12
De endelige estimatene.....	13
Vaskemaskinene.....	13

Hvor mye strøm lages per km elv lagt i rør?

I over 20 år har Norge satset på å bygge små kraftverk for å forsyne befolkningen med grønn energi. Tanken var at små kraftverk ville være mer skånsomme for naturen enn de store. Men stemmer det? Vi ville undersøke sumvirkningen av de mange små, og sammenlikne med de store. Hvor mange kilometer elv legger alle de små kraftverkene i rør, sammenliknet med de store? Og hvor mye strøm lager de per kilometer?

Undersøkelsen vår ga følgende estimat:

Store kraftverk leverer minst fem ganger så mye strøm som de små, for hver kilometer elv de legger i rør.



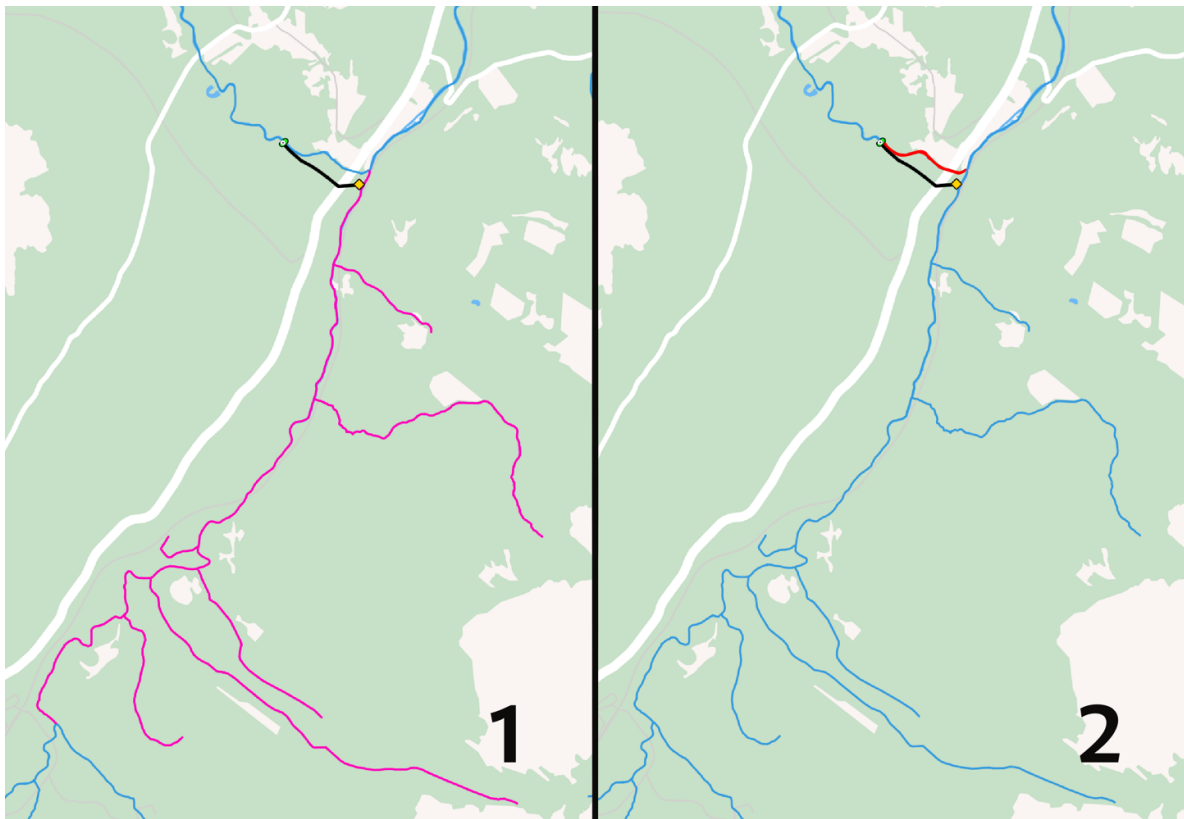
Dette dokumentet viser hvordan vi kom frem til disse estimatene.

Oversikten som ikke finnes

Ingen vet hvor mange kilometer elv henholdsvis små og store kraftverk legger i rør til sammen i Norge. Det finnes ikke en samlet oversikt over hvilke elvestrekninger som er lagt i rør av hvilke kraftverk. Den informasjonen ligger spredt i søknader og konsesjonsdokumenter. Det finnes en kartløsning hos NVE med data om kraftverk og fraførte elver, men her må koblingen gjøres for hvert enkelt kraftverk manuelt.

NVE registrerer i sin vannkraftdatabase hvor hvert kraftverk befinner seg, men denne informasjonen er ikke nyttig i jakten på hvilken bit av elven som har blitt lagt i rør. Kraftverket kan nemlig ligge en annen plass enn den elvestrekningen som er lagt i rør.

Den gule firkanten i bildene nedenfor er et kraftverk. På bilde (1) ser man i rosa det vassdraget NVE har registrert at kraftverket ligger i, mens på bilde (2) ser man at den elvestrekningen som er fraført/lagt i rør, markert i rødt, tilhører et annet vassdrag.



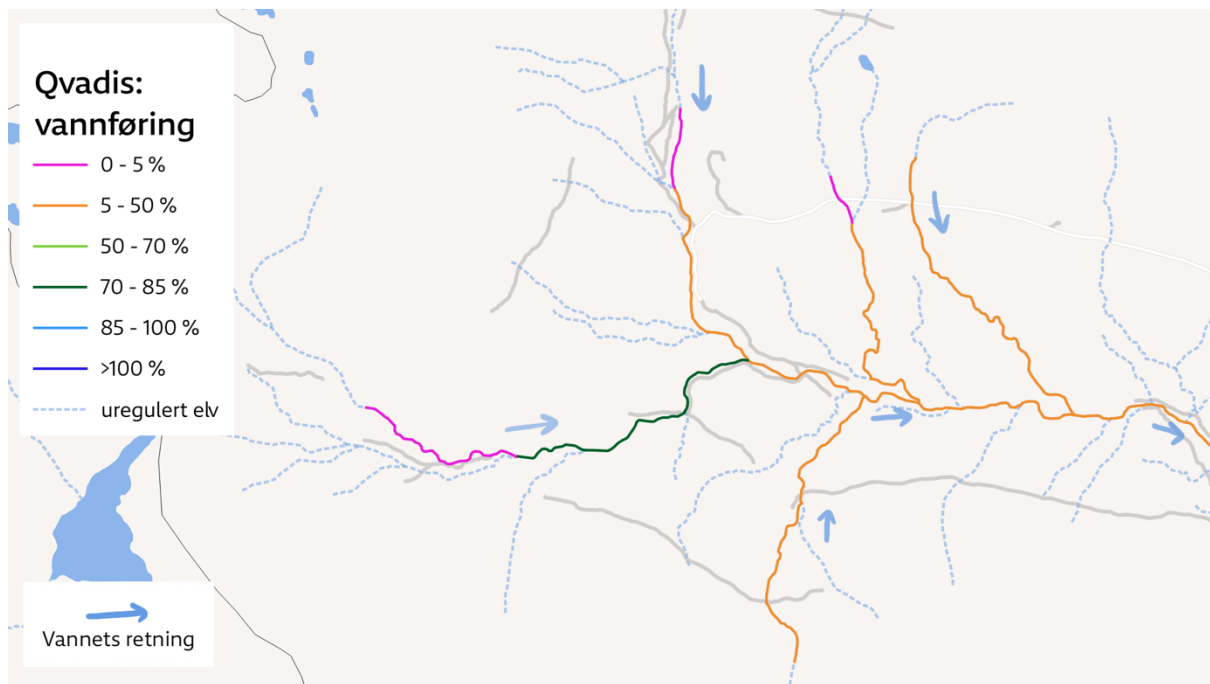
Dette eksempelet illustrerer at det ikke holder å ha data om kraftverkets plassering i et vassdrag. NRK må selv koble kraftverkene til elvestrekningene lagt i rør.

Datagrunnlaget: Qvadis

Det beste datagrunnlaget for «elv lagt i rør» finner vi i NVEs database som heter Qvadis. Den gir et estimat på hvor mye vannføringen¹ er endret på grunn av vannkraftutbygging.

Datasettet er ikke feilfritt, men det er det nærmeste man kommer en oversikt over vannføring i vannkraftregulerte elvestrekninger på landsbasis. Det er her vi finner elvestrekninger lagt i rør. På kartet kan det se slik ut.

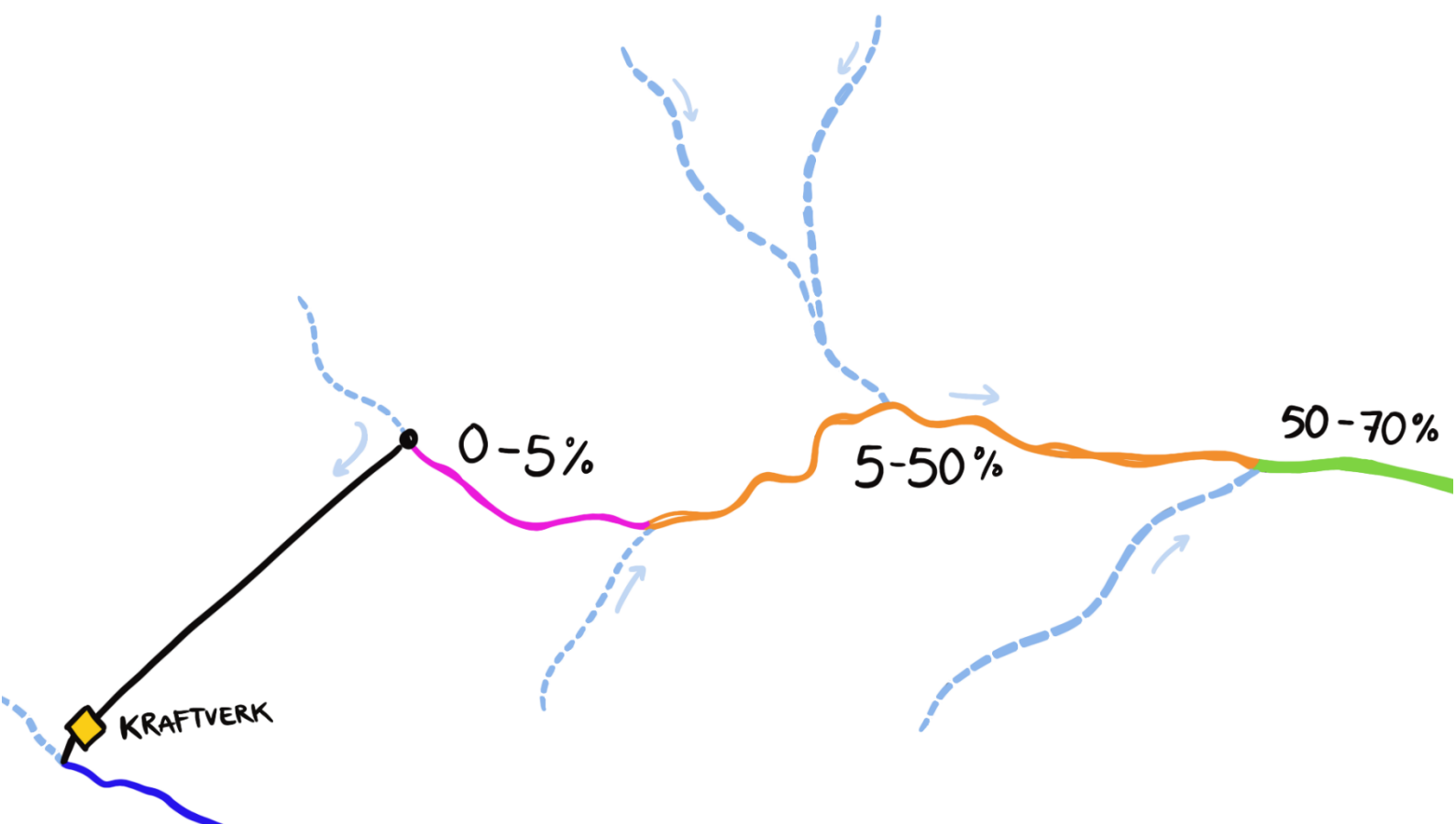
¹ Variabelen heter andelQNorm i Qvadis



De rosa strekningene er estimert til å ha 0-5 % av den naturlige vannføringen² igjen, altså at 95%-100% av vannet er fraført.

En elvestrekning regnes som fraført fra det punktet hvor ellevannet ledes inn i rør eller tunneler, og helt frem til det kommer ut igjen nedstrøms kraftverket (eller frem til det punktet vannføringen er tilbake til normalen). Vannføringen øker gradvis nedover elven med fraført vann på grunn av tilsig fra sidene. Men på hele den fraførte strekningen er vannføringen likevel mindre enn den var før utbyggingen.

² Vannføringen i Qvadis er modellert basert på en sammenligning av historiske data om midlere normal årsavrenning i perioden 1961-90 før og etter utbygging av vannkraftverk (Temabeskrivelse, <https://temakart.nve.no/tema/qvadis>). Avrenning er andelen nedbør som ender opp i elvene.



Tilsiget øker vannføringen. Det blir stadig mer vann i elven nedenfor inntaket, fordi det kommer vann inn fra sidene. Likevel er det mindre vann i elven enn det var *før* kraftutbyggingen. Det er mindre vann hele veien frem til kraftverket der vannet slippes ut igjen.

Det er to utfordringer med disse dataene.

Flomtap og minstevannføring. Qvadis tar ikke høyde for hvor mye vann som slippes forbi av de enkelte kraftverkene. Derfor har mange av enkelttestimatene for vannføring en feilmargin. Hvordan NRK har valgt å ta høyde for dette kan du lese om i avsnittet *Minstevannføring og flomtap*.

Lagt i rør av et lite eller et stort kraftverk? Ingen av elvestrekningene i Qvadis er koblet til kraftverk. Det er ikke mulig å gjøre oppslag på om en elv er lagt i rør av et stort eller et lite kraftverk. For å svare på spørsmålet «Hvor mange km elv legger små og store kraftverk i rør?» har NRK måtte bearbeide Qvadis. Ler mer om hvordan i neste avsnitt.

Slik bearbeidet NRK data fra Qvadis

For å svare på hvor mange km elv små og store kraftverk legger i rør må vi forsøke å lage oversikten som myndighetene selv ikke har. Da må vi koble mange ulike datasett. Ett for kraftverk, ett for der vannet kommer inn, ett for der vannet demmes opp (eller ledes bort), og ett for alt av tunneler, rør og andre vannveier. I tillegg har vi benyttet datasettene for elvestrekninger og vassdrag.

Datagrunnlag (kilde: NVE)				
	Datasett	Metode	Beskrivelse	GIS-data
1	Elvestrekninger (Elv_Elvenett - Qvadis)	1, 2	Datagrunnlag for estimatet om antall km elv lagt i rør.	Linje
2	Kraftverk (Vannkraft_kraftverk)	1,2	Viser hvor selve kraftverket er plassert i vassdraget.	Punkt
3	Vannveier (Vannkraft_vannvei)	1,2	Brukt i manuell gjennomgang for å se hele reguleringen og ta vurderinger.	Linje
4	Inntakspunkt (Vannkraft_inntakspunkt)	1,2	Relevant for å avgrense fraførte elvestrekninger.	Punkt
5	Demninger (Vannkraft_damlinje, Vannkraft_dampunkt)	1,2	Relevant for å avgrense fraførte elvestrekninger.	Linje, Punkt
6	Vassdragsområde (Nedborfelt_Vassdragsomr)	1,2	Brukt for å finne vassdragsrområdene med kun små eller kun store kraftverk. Også brukt for å avgrense det manuelle arbeidet.	Polygon
7	Magasin (Vannkraft_magasin)	2	Brukt i manuell gjennomgang for å se hele reguleringen og ta vurderinger.	Polygon

Metode 1: Python-script for vassdragsområdene

Det finnes 262 vassdragsområder i Norge. Dette er store landområder som inkluderer alle nedbørfeltene til små og store vassdrag (elver). Uten menneskelige inngrep vil all nedbør innenfor et vassdragsområde drenere enten ut til havet eller over riksgrensen uten å være innom andre vassdragsområder.

Denne innsikten bidro til det første gjennombruddet i denne undersøkelsen. Den hjalp oss med å dele Norge opp i mindre biter.

Det er 262 vassdragsområder totalt, men ikke alle har utbygget vannkraft; 186 av dem vannkraftregulerte elvestrekninger i Qvadis, tilsvarende de fargerike elvestrekningene vi viste tidligere.

Nøkkelspørsmål her ble: Er det noen vassdragsområder som kun har små kraftverk? Hva med kun store kraftverk? Vi skrev et Python-script for å få svar på disse spørsmålene. Målet var å lete etter store områder på kartet der vi kunne enkelt summere opp elv lagt i rør av enten stor eller liten vannkraft.



Dette scriptet resulterte i at vi fant 77 vassdragsområder som kun hadde små kraftverk og 2 som hadde kun store kraftverk. Hver av disse 77 vassdragsområdene ble faktasjekket manuelt i kartverktøyet QGIS.

Denne metoden (Metode 1) gir et samlet kilometer-estimat for 370 små kraftverk. I tillegg til et samlet estimat for 3 store kraftverk. Totalt antall kilometer kartlagt elv ble omtrent 1200.

Denne fremgangsmetoden gir samlet kilometerestimat for alle kraftverk innenfor et vassdragsområde, derfor har

ikke NRK en tabelloversikt over antall kilometer lagt i rør for hvert enkelt kraftverk.

Metode 1 - datafangst			
	Antall Kraftverk	Antall kilometer elv	Gjennomsnittlig årlig kraftproduksjon
Små kraftverk 0-10 MW	267	432 km	2727 GWh
Store kraftverk 10 MW <	3	3 km	489 GWh

Metode 2: Manuell kartlegging

For å få et bredere utvalg av små kraftverk og et godt sammenligningsgrunnlag med de store kraftverkene var det nødvendig for oss å kartlegge flere vassdragsområder.

Vi måtte også utvide den geografiske representativiteten. Hvis man ser på kartet i det forrige avsnittet, er det fleste av vassdragsområdene fra metode 1 langs kysten. Derfor valgte vi ut vassdragsområder spredt rundt omkring landet.

For å kartlegge disse områdene brukte vi QGIS til å velge ut elvestrekninger og kategorisere dem. Alle elvestrekninger med en modellert vannføring mellom 0 % og 95 % av naturlig vannføring ble markert som lagt i rør av stor vannkraft, liten vannkraft eller begge.

Det finnes kraftverk i undersøkelsen som frafører tilnærmet ingenting av elven for å produsere strøm. I datasettet gjelder dette noen store elvekraftverk uten vannmagasin, og noen av de minste kraftverkene.

Lagt i rør av både stort og smått samtidig. Fordi de fleste kraftverk er tydelig adskilt, var det som oftest enkelt å se på kartet om elvestrekningene burde kategoriseres som lagt i rør av et stort eller et lite kraftverk. Men det fantes noen unntak, tilfeller hvor store og små kraftverk brukte vann fra samme elv.

Disse elvestrekningene ble kategorisert som lagt i rør av både stort og smått. Disse kilometerne blir altså regnet med to ganger i analysen. De tas med i «kilometer-regnskapet» til både store kraftverk og små kraftverk.



Det var også en håndfull tilfeller der vi måtte ta skjønnsmessige vurderinger. For disse tilfellene ringte vi de aktuelle kraftselskapene og forhørte oss med hydrolog.

Vi endte opp med å kartlegge 29 vassdragsområder manuelt. Dette gav undersøkelsen 306 små kraftverk og 137 store kraftverk. Lagt sammen med antall kraftverk fanget opp i Metode 1, dekker undersøkelsen omtrent 39 % av alle vannkraftverk i Norge.

Som vist på kartet, dekker undersøkelsen 106^3 av 186 vassdragsområder med regulerte elvestrekninger.

³ To av de manuelt kartlagte vassdragsområdene overlapper med de 77 som kun inneholder små.

Metode 2			
	Antall Kraftverk	Antall kilometer elv	Gjennomsnittlig årlig kraftproduksjon
Små kraftverk 0-10 MW	306	438 km + 124 km ⁴	2692 GWh
Store kraftverk 10 MW <	137	2180 km + 124 km	55 057 GWh

Metode 1 + Metode 2			
	Antall Kraftverk	Antall kilometer elv	Gjennomsnittlig årlig kraftproduksjon
Små kraftverk 0-10 MW	573	870 km + 124 km	4609 GWh
Store kraftverk 10 MW <	140	2183 km + 124 km	55 546 GWh

gj.snitt årlig strømproduksjon
kilometer elv lagt i rør

Regnestykket

I løpet av hele undersøkelsen hentet vi tilbakemeldinger fra NVE, fagkyndige og kraftbransjen på metode. I særlig grad ønsket vi innspill og tilbakemeldinger på to punkter som spiller en stor rolle for det endelige regnestykket.

Det første punktet, «Ikke overdrive konsekvensene», handler om hvor mye av den naturlige vannføringen som må være borte, før det er grunn til å tro at det påvirker naturen negativt. Skal vi telle med elvekilometer der vannføringen nesten er tilbake til det normale? Hvor mye vann må være borte for at elvestrekningen skal tas med i analysen?

Det andre punktet, «Minstevannføring og flomtap», handler om hvordan analysen skal ta høyde for det som ikke er tatt med i beregningen i Qvadis.

⁴ I undersøkelsen fant NRK 124 km som var fraført av både stort og smått.

Ikke overdrive konsekvensene

I dokumentasjonen til Qvadis står det at «Når andel av normal årsavrenning er 100, er det ingen endring i midlere normal årsavrenning [..]». Alle elvestrekninger med mindre enn 100 % vannføring regnes som fraført – lagt i rør.

Noen strekninger i datagrunnlaget vårt mangler så lite som 5 % vann, mens andre er helt tørrlagte. Hvilke konsekvenser har det for naturen å ta bort 5 % av vannet?

NRK fikk tilbakemelding fra fagkyndig om at det ville vært dramatisk å gjøre beregninger basert på strekninger der bare litt av vannet var borte da disse er å anse som naturlige. Derfor fikk vi tips om å ta i bruk klassegrensene for vannføring⁵ fra «HyMo 1.0 - Hydromorfologisk klassifisering av vannforekomster i elver og innsjøer», en rapport publisert av SINTEF på oppdrag fra Miljødirektoratet.

Påvirkning	Tema	Indikator for endring	Klassegrenser				
			Naturlig	Litt endret	Moderat endret	Mye endret	Svært mye endret
Vannføring	Total vannføring	Endring i total vannføring	<15%	15-30%	30-50%	50-95%	>95%
	Lavvannføring sommer	Minste ukemiddel vannføring jun-sep	<10%	10-20%	60-40%	40-60%	>60%
	Lavvannføring vinter	Minste ukemiddel vannføring nov-mar	<5%	5-10%	10-30%	30-50%	>50%
	Flomstørrelse årsflom	Endring av årsflommens gjentakintervall	Ingen endring		5-10 år	Sjeldnere enn 10 år	
	Flomstørrelse 10-års flom	Endring i frekvens på ti-års flom uregulert	Ikke sjeldnere enn 15 år		15-30 år	Sjeldnere enn 30 år	
	Korttids vannføringsendring	Forholdstall mellom høy og lav vannføring	<1,5	1,5-3	3-5	5-10	>10
	Hastighet på korttids endring i vannstand	Senkningshastighet målt i cm/time	<5	5-13	13-20	20-30	>30
	Tørrlagt areal ved korttids endring i vannstand	Endring i vanndecket areal	<5%	5-10%	10-20%	20-30%	>30%

Ut ifra denne tabellen ser man at elver som mangler 50 % av vannet er å anse som «Mye endret». Videre om 95 % av vannet er borte, så er elven å anse som «Svært mye endret».

Denne klassifiseringen brukte NRK i analysen. Vi talte bare de fraførte elvekilometerne der den modellerte vannføringen var redusert med 50 prosent eller mer. Dette valget var viktig for ikke å overdrive konsekvensene. Det vil si at dersom halvparten eller mer av vannet i en elvestrekning er modellert fraført, regnes den strekningen som lagt i rør i analysen til NRK.

⁵ Tabell 16, side 26 av «HyMo 1.0 - Hydromorfologisk klassifisering av vannforekomster i elver og innsjøer»

Minstevannføring og flomtap

Med dette viktige forbeholdet på plass kan man tenke at analysen er så godt som ferdig, men det gjenstår en utfordring. Det er nemlig slik at Qvadis ikke tar høyde for minstevannføring eller flomtap.

Sagt med andre ord, Qvadis modellerer at når et vannkraftverk tar vann fra en elvestrekning, enten nedenfor en demning eller ved et inntakspunkt, så blir alt vannet borte og elven tørrlagt. Slik er det ikke alltid. Mange små kraftverk slipper minstevannføring, og kraftverk uten magasin er ikke dimensjonert slik at de har kapasitet til å produsere kraft fra alt vannet i perioder med flom.

Dette må NRK kompensere for i sine beregninger.

Minstevannføring (MVF) er det vannet et kraftverk er pålagt å slippe forbi inntaket og rett ut i elven. Forskning fra NTNU viser at 7 av 10 små kraftverk har krav om minstevannføring⁶ på fraført strekning, altså den delen av elven der vannet er tatt bort. Hvor mye de er pålagt å slippe vet vi ikke. Dette står i konsesjonsvilkår knyttet til hvert enkelt kraftverk. Disse dokumentene er systematisert i doktorgradsarbeid ved NTNU.

I tilbakemeldingsrunder har NRK fått innspill fra flere hold på at 10 % av gjennomsnittlig normal vannføring⁷ er et rimelig estimat på vanlig minstevannføring for små kraftverk.

Når det gjelder store kraftverk vet vi mindre om krav til minstevannføring på fraført strekning. Ekspertene NRK har snakket med sier dog det er sjeldent at et stort kraftverk har krav om minstevannføring på strekningen som er lagt i rør.

Denne kunnskapen om MVF må vi bruke til å justere analysen, men det er ikke bare minstevannføring som medfører at vann slippes forbi og ut i elven.

Flomtap er også et fenomen som vi må ta høyde for. Dette er vann som overskrider kapasiteten til kraftverket og derfor ikke kan benyttes til kraftproduksjon. Dette vannet er, i motsetning til minstevannføring, ikke konstant. Det kan for eksempel komme i perioder med mye regn og snøsmelting.

Det er grunn til å tro at flomtapet kan være større for små kraftverk sammenlignet med de store. Det er fordi de fleste små kraftverk ikke har vannmagasiner som

⁶ Halleraker et al. (in review): Development of hydropower, water management and eflow policies in Norway – A review of river protection, ecological mitigation and evidence based management.

⁷ andelQNorm i Qvadis

kan lagre vann særlig lenge. I perioder med mye regn og snøsmelting vil vannet derfor oftere renne over inntaksdammen og ut i elven.

Etter innspill fra Småkraftforeninga valgte vi å justere analysen med tanke på flømtap og minstevannføring tilsvarende 30 % av gjennomsnittlig normal vannføring.

I praksis betyr dette at analysen anser for små kraftverk at 50 % av vannet er igjen når Qvadis modellerer at vannføring er på 20 %.

Flømtapet for store kraftverk har ikke NRK noe estimat for. Derfor tar vi ikke høyde for det i analysen. Dette lar vi være tvil og usikkerhet som kommer små kraftverk til gode når vi sammenligner dem.

Resultatene fra analysen

Når vi da gjennomfører analysen og regner ut GWh produsert per kilometer elv fraført får vi en slik tabell. De oransje cellene markerer estimatene som har vært brukt når hensyn fra tidligere avsnitt er tatt med i beregning.

	Små kraftverk		Store kraftverk		Begge
vannføring mindre enn	GWh/km	Total km	GWh/km	Total km	Total km
5	11,62	370 km	97,56	543 km	26 km
10	8,52	493 km	61,58	854 km	48 km
15	7,22	579 km	50,97	1 030 km	60 km
20	6,66	626 km	46,63	1 126 km	65 km
25	6,35	655 km	43,34	1 210 km	71 km
30	6,10	678 km	39,72	1 321 km	78 km
35	5,87	705 km	38,19	1 374 km	80 km
40	5,76	719 km	35,99	1 461 km	82 km
45	5,60	738 km	34,81	1 510 km	86 km
50	5,48	751 km	33,72	1 557 km	90 km
55	5,40	757 km	32,03	1 637 km	97 km
60	5,29	771 km	31,47	1 665 km	101 km
65	5,22	778 km	30,65	1 707 km	105 km
70	5,11	795 km	29,98	1 746 km	107 km
75	5,07	800 km	29,22	1 793 km	108 km
80	4,98	817 km	28,36	1 849 km	109 km
85	4,95	823 km	27,67	1 898 km	109 km
90	4,86	836 km	26,81	1 959 km	113 km
95	4,64	870 km	24,08	2 183 km	124 km

De endelige estimatene

Generelt i analysen lar vi tvil og usikkerhet rundt MVF og flomtap kommet de små kraftverkene til gode. Da blir estimatene til NRK som følger.

	Antall kraftverk	GWh	Km i rør	GWh per km	*Hensyn
Små kraftverk 0-10 MW	573	4609	691 km	6.7*	MVF og flomtap ≈ 30% modellert vannføring
Store kraftverk 10 MW <	140	55 546	1647 km	33.7	Ingen

$$33.7 \text{ GWh per km} / 6.7 \text{ GWh per km} = 5.06$$

Store kraftverk leverer minst fem ganger så mye strøm som de små, for hver kilometer elv de legger i rør.



Vaskemaskinene

Gitt at en klesvask på 60 grader krever 1 kWh med strøm kan man beregne at:

$$1 \text{ GWh} = 1\,000\,000 \text{ kWh} \approx 1 \text{ million klesvask på 60 grader}$$

Dermed blir estimatene for store og små kraftverk slik: «*Små kraftverk produserer nok strøm til 6.6 millioner klesvask per km, mens store kraftverk produserer 33.7 millioner klesvask per km.*» Dersom vi deler disse resultatene på antall husstander i Norge så får vi resultatet slik som den er illustrert i saken.

Antall husholdninger per 2024 er i overkant av 2.6 millioner⁸.

$$\begin{aligned} 6\,600\,000 \text{ GWh per km} / 2\,600\,000 \text{ husholdninger} &\approx 2.5 \text{ GWh per km elv per husholdning} \\ 33\,700\,000 \text{ GWh per km} / 2\,600\,000 \text{ husholdninger} &\approx 12.9 \text{ GWh per km elv per husholdning} \end{aligned}$$

⁸ <https://www.ssb.no/befolkning/barn-familier-og-husholdninger/statistikk/familier-og-husholdninger>