

Saldur-bækken ligger i Matscher-dalen, i den italienske alpeprovins Bolzano, i Sydtyrol. Foto: Dean Jacobsen.

VANDKRAFT VERSUS VANDMILJØ

Et opløftende eksempel fra
De italienske Alper

Om forfatterne



Alberto Scotti er ph.d. og tidligere forsker ved 'Institute for Alpine Environment – Eurac Research' i Bolzano, Italien. Nu konsulent ved APEM Ltd. England. A.Scotti@apemltd.co.uk



Roberta Bottarin er ph.d. og vice-institutleder ved Institute for Alpine Environment – Eurac Research i Bolzano, Italien. Roberta.bottarin@eurac.edu



Dean Jacobsen er lektor og sektionsleder ved Ferskvandsbiologisk Sektion, Biologisk Institut, Københavns Universitet. djacobsen@bio.ku.dk

Behovet for CO₂-neutral energi har skabt en voldsom vækst i antallet af vandkraftværker på verdensplan. Det har rejst bekymring for konsekvenserne for biodiversiteten og økologien i de vandløb, hvor værkerne anlægges.

Vi har fulgt en gletsjærfødt alpebæk før og efter etableringen af et lille vandkraftværk og beretter om ingen målbare effekter på vandløbets økologi.

Der er i disse år et sandt boom i anlæggelse af vandkraftværker, og det gælder nærmest overalt på kloden. Forklaringen er naturligvis et stigende behov for bæredygtig, klimaneutral energi. Vandkraftværker er ofte placeret i bjergegne, fordi man der har større faldhøjde og dermed mere energi til rådighed, og Alperne er et område med rigtig, rigtig mange af slagsen.

Der findes to grundlæggende forskellige typer af vandkraftværker. *Magasinkraftværker* ligger altid i forbindelse med en dæmning og et bagvedliggende vandreservoir. Turbinerne er placeret ved dæmningen, og vandet ledes ikke væk fra floden. *Magasinkraftværker* lagrer

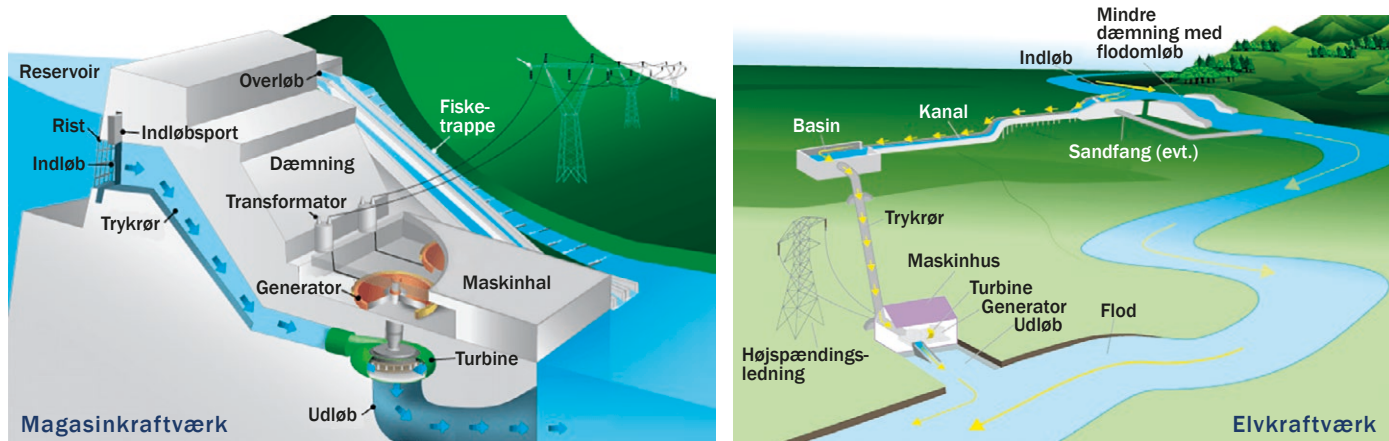
vand i overskudsperioder, som kan bruges til produktion af strøm i perioder med lidt vand. Denne type vandkraftværk udgør typisk et markant landskabeligt indgreb, med store effekter på den opstemmede flods økologi.

Elvkraftværker leder vand væk fra floden gennem rør til turbinerne, som kan ligge langt fra vandindtaget og uden for vandløbet selv. Vandføringen i floden varierer med nedbør og afsmeltning, hvilket betyder at energiproduktionen bliver større i perioder med meget nedbør og snesmeltning, mens det mindskes i perioder med tørke. Det væsentlige er, at floden med denne type anlæg ikke er totalt opstemmet bag en dæmning. Det er også

afgørende, at der flyder vand uden om vandindtaget, således at vandløbsstrækningen mellem vandindtaget og udløbet fra turbinen længere nede ikke er helt tørlagt. Der er flere undervarianter af elvkraftværk-typen, men de anses ofte for at være generelt mindre ødelæggende for både landskab og flod-system. På trods af dette er der alligevel en del undersøgelser, som faktisk har påvist negative effekter på floders biodiversitet og økologi.

Undersøgelser i Saldur-bækken

Et eksempel på et elvkraftværk finder vi i Saldur-bækken, som ligger i Matscher-dalen (se foto) i den italienske alpeprovins Bolzano, i Sydtyrol. Saldur-bækken afvander et område på 101 km², er cirka 21,5 km



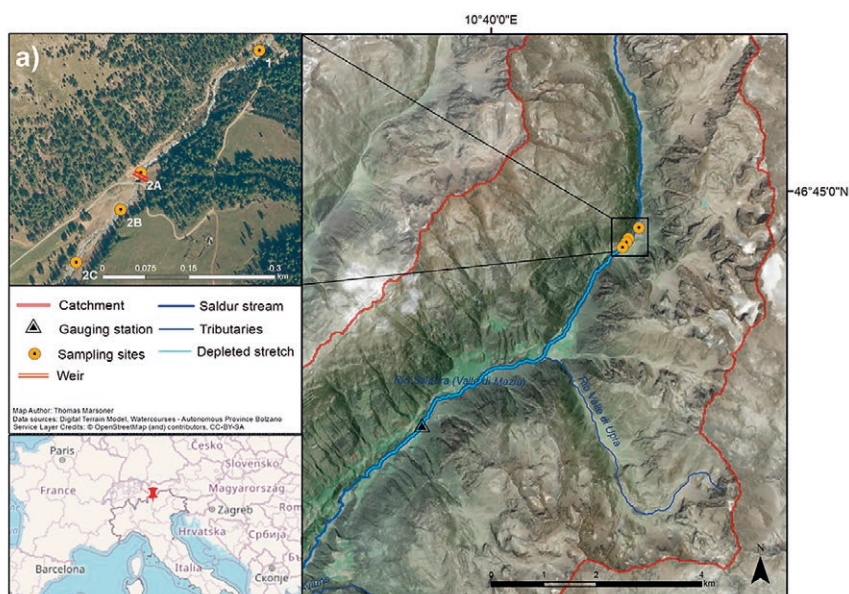
Figur 1. Schematisk fremstilling af de to primære typer af vandkraftværker – magasinkraftværk og elvkraftværk (som det i Saldur-bækken). Credit: U.S. Department of Energy.

Figur 2. A) Placeringen af prøvetagningslokaliteterne langs med Saldur-bækken i Matschertal.

Lokalitet 1 fungerede som upåvirket kontrolsted, mens lokalitet 2A var umiddelbart opstrøms for opstemningen, lokalitet 2B umiddelbart nedstrøms for opstemningen og lokalitet 2C cirka 150 m nedstrøms for opstemningen og udløbsrøret fra afvandningstankene. Derudover var der to prøvetagningslokaliteter (2D og 3, som ikke er vist på kortet) henholdsvis cirka 3 og 6 km nedstrøms for opstemningen.

På hver lokalitet blev bundlevende smådyr indsamlet som 12 kvantitative prøver indenfor en 20-50 m strækning af vandløbet

B) Forstørret overblik over vandindtagets placering i 2000 meters højde og de omkringliggende prøvetagningslokaliteter.



lang, og udspringer fra Matscher-gletsjerens smeltvand. Mange sektorer er afhængige af Saldur-bækkens vand, husholdninger, turisme, akvakultur, men frem for alt landbrug og vandkraftproduktion.

Elvkraftværket blev etableret i 2014-2015, og selve vandindtaget ligger i 2000 meters højde og består af en rist med hældning placeret henover bækken (en såkaldt Tyrolean-dæmning, se foto næste side). Derpå ledes vandet via en brønd under risten og gennem et rør til turbinen, som ligger 456 højdemeter længere nede, hvor vandet ledes tilbage til bækken.



Saldur-bækken og dens opland har været en del af det prestigefyldte økologiske monitoringsnetværkILTER siden 2014. Et af kravene til at blive optaget i dette netværk er tilgængeligheden af langtidssdata. Siden 2010

har Institute for Alpine Environment of Eurac Research regelmæssigt (dvs. nogle gange om året) taget prøver af bundlevende smådyr langs Saldur-bækken. Disse smådyr er rigtig gode som biologiske indikatorer for miljøtilstand. Der findes ikke fisk i den øvre del af bækken. Formålet med disse undersøgelser var at



Foto: Dean Jacobsen

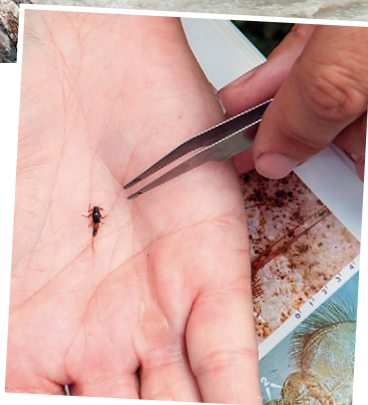
Figur 3. Vandindtaget, en såkaldt tyroler-dæmning, til vandkraftværket på Saldur-bækken. Bækkens hydrologiske dynamik er præget af snesmeltning i juni og juli og af gletschersmeltning primært i august. En målestation i 1.632 meters højde – cirka 11 km fra gletsjerudspringet – viser en typisk vandføring på omkring $0,6 \text{ m}^3/\text{s}$ om vinteren, men denne stiger til $5-10 \text{ m}^3/\text{s}$ om sommeren med toppe på op til $15 \text{ m}^3/\text{s}$ i tilfælde af kraftige regnsky. Der ledes i gennemsnit $0,36 \text{ m}^3/\text{s}$ og maksimalt $0,90 \text{ m}^3/\text{s}$ til turbinen, og det genererer i gennemsnit ca 2MW og maksimalt 3,4 MW. Det giver en årlig energiproduktion på 12 GWh, hvilket svarer nogenlunde til et par gennemsnit-landbaserede danske vindmøller.



Figur 4. Øverst: Indsamling af prøver af den bundlevende smådyrsfauna i Saldur-bækken.

Eksempel på et af medlemmerne af smådyrsfaunaen – her en nymfe af døgnfluen *Baetis sp.*

Fotos: Eurac Research/Ivo Corrà.



etablere et datasæt, der i et langsigtet perspektiv kan give indsigt i økologien i gletsjerfødte vandløb, samt at overvåge, hvordan dette følsomme økosystem vil reagere på virkningerne af klimaforandringer. Men undersøgelserne giver samtidig en god basis for at undersøge eventuelle effekter af vandkraftværket på vandløbets fauna.

Derfor iværksatte vi i 2015 en undersøgelse med det specifikke formål. I perioden fra 2015 (året før vandkraftværket blev taget i drift) og til 2019 indsamlede vi hvert år i april-maj og september-oktober bundlevende smådyr på seks forskellige prøvetagningssteder langs vandløbet. I disse måneder er mængden af smeltevand lav, og procentdelen af indvundet vand forholdsvis højere, og dermed også potentialet for at opdage en skadelig miljøpåvirkning. I alt indsamlede og identificerede vi i denne undersøgelse 34.836 organismer.

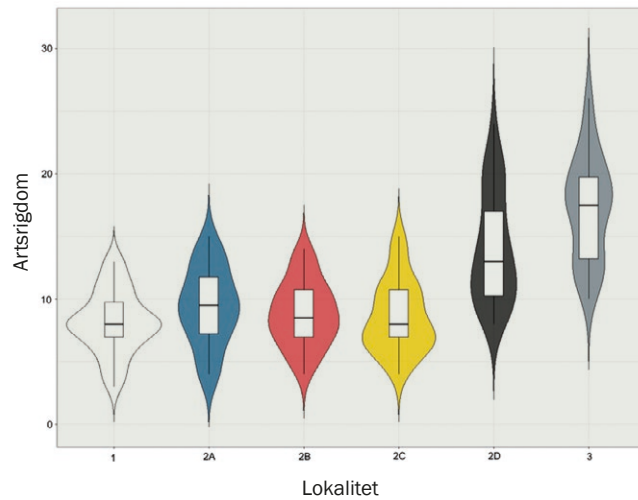
Ingen effekt på vandløbets fauna

Vi vurderede potentielle ændringer i faunaens tæthed, artsdiversitet, sammensætning og funktionalitet ved hjælp af en række statistiske teknikker. For eksempel blev hele samfundet analyseret ved hjælp af en "før-efter-kontrol-påvirkning" (BACI)

Figur 6. Violinplot af artsrigdom på de seks undersøgelseslokaliteter langs Saldur-bækken. Diagrammet opsummerer resultaterne af alle prøvetagningerne gennem det 5-årige studie.

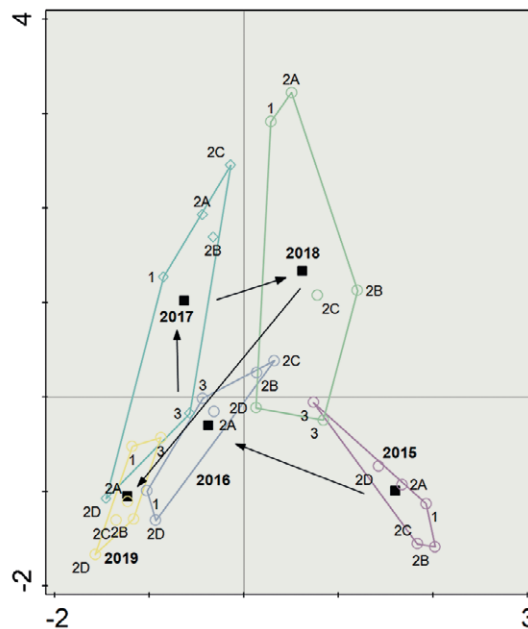
Der er naturligvis spredning/variation i data, og bredden af "violin" repræsenterer fordelingen af resultaterne for de mange prøver taget både før og efter etableringen af vandkraftværket. Den midterste vandrette streg i boxen angiver medianværdien, og de lodrette 50 % percentiler over og under medianværdien.

Det er tydeligt, at hverken den gennemsnitlige artsrigdom eller variation på lokaliteterne tæt på vandindtaget (2A, 2B, 2C) adskiller sig signifikant fra den upåvirkede kontrollokalitet 1. Længere nedstrøms, på lokalitet 2D og 3, stiger artsdiversiteten, hvilket er typisk for gletsjer-fødte vandløb.



Figur 7. Resultatet af en NMDS ordination ("Non-metric Multidimensional Scaling") på sammensætningen af smådyrsfaunaen på de 6 prøvetagningslokaliteter i løbet af de 5 år. Hver cirkel repræsenterer gennemsnittet for den lokalitet det pågældende år. Cirkler, som ligger tæt på hinanden, har en fauna, som i høj grad udgøres af de samme arter, mens cirkler, som ligger langt fra hinanden, indikerer stor forskel i sammensætning. De sorte firkanter angiver midtpunktet for hele vandløbet det pågældende år, og pilene hvordan faunaen generelt varierer fra år til år.

Det er tydeligt, at den upåvirkede kontrollokalitet 1 varierer lige så meget i tid som de andre lokaliteter, og at den tidlige variation langt overstiger variationen mellem lokaliteter indenfor et givent år. Lokaliteter tæt på vandindtaget (2A, 2B, 2C) flytter generelt rundt sammen med lokalitet 1.



model på antallet af arter samt flere forskellige diversitetsindeks. Ingen af dem viste nogen effekt af vandkraftværket. Vi fandt en vis variation fra år til år, men variationen var lige stor på en formodet upåvirket kontrollokalitet længere oppe ad vandløbet og på de lokaliteter, der potentielt kunne være mest påvirket lige omkring vandindtaget. Det tyder på, at variationen skyldtes naturlige årsager, der ikke var relateret til vandkraftværkets tilstedeværelse og drift (figur 6). Heller ikke artssammensætningen af samfundene ændrede sig systematisk som følge af vandkraftværket, men udviste også stor tidlig variation (figur 7).

Vi undersøgte også, om vandkraftværket kunne have påvirket faunaens funktionalitet (dvs. med fokus på, hvad arterne gør i økosystemet). Den analysemetode, vi benyttede, går ud på at beregne det vægtede gennemsnit for samfundet af et sæt funktionelle indekser. Ingen af de udvalgte funktionelle eller biologiske træk, der potentielt kunne have ændret sig efter opstarten af vandkraftværket (som arternes præference for underlagstype eller strømforhold, fourageringsmåde, mobilitet, livsstadie i vand, generationslængde) viste en forskel på tværs af tid (dvs. før og efter implementering

af vandkraftværket) eller rum (dvs. kontrollokaliteter sammenlignet med påvirkede lokaliteter). At der ikke var nogen ændringer i det funktionelle aspekt af smådyrsfaunaen tyder på, at ingen af de vigtige økosystemfunktioner, som faunaen deltager i (såsom nedbrydning af organisk stof) eller er afhængige af (såsom produktion af bundlevende alger) blev påvirket af vandkraftværket.

Kan Saldur-undersøgelsens resultater generaliseres?

Ikke ubetinget. De fundne resultater er specifikke for Saldur-bækken og kan ikke uden videre overfø-

Videre læsning

Couto, T. B., & Olden, J. D. (2018). Global proliferation of small hydropower plants—science and policy. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 16(2), 91-100.

Kelly-Richards, S., Silber-Coats, N., Crotoft, A., Tecklin, D., & Bauer, C. (2017). Governing the transition to renewable energy: A review of impacts and policy issues in the small hydropower boom. *Energy Policy*, 101, 251-264.

Kuriqi, A., Pinheiro, A. N., Sordo-Ward, A., Bejarano, M. D., Garrote, L. (2021). Ecological impacts of run-of-river hydropower plants—Current status and future prospects on the brink of energy transition. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 142. doi.org/10.1016/j.rser.2021.11083

Lange, K., Meier, P., Trautwein, C., Schmid, M., Robinson, C. T., Weber, C., & Brodersen, J. (2018). Basin-scale effects of small hydropower on biodiversity dynamics. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 16(7), 397-404.

Scotti, A., Jacobsen, D., Stefan, V., Tappeiner, U., & Bottarin, R. (2022a). Small hydropower—small ecological footprint? A multi-annual environmental impact analysis using aquatic macroinvertebrates as bioindicators. Part 1: Effects on community structure. *Frontiers in Environmental Science*, 1022.

Scotti, A., Jacobsen, D., & Bottarin, R. (2022b). Small hydropower—small ecological footprint? A multi-annual environmental impact analysis using aquatic macroinvertebrates as bioindicators. Part 2: Effects on functional diversity. *Frontiers in Environmental Science*, 1022.

res til vandløb af andre typer. At Saldur-bækken er gletsjer-født med den særlige hydrologi, som det medfører, er formentlig temmelig afgørende, idet samfundsmønstrene primært er drevet af den dynamiske påvirkning fra afsmeltningen. Hvis vandløbet havde haft en bestand af vandrende fisk, for eksempel ørreder, kan vi heller ikke udelukke, at denne var blevet negativt påvirket af spærringen. Imidlertid har gletsjerfødte vandløb typisk ikke fisk i de øvre strækninger, og denne vandløbstype er jo temmelig almindelig højt oppe i Alperne, så forholdene i Saldur-bækken er ikke usædvanlige.

Den specifikke konstruktion og drift af vandkraftværket er også væsentlig for de fundne resultater. Vandløbets dynamik og kontinuitet blev ikke væsentligt påvirket af vandkraftværket, selv på den strækning med mindre vand, altså mellem vandindtaget og udløbet fra turbinen. Her er det afgørende, at selskabet, som driver vandkraftværket, til enhver tid respekterer de begrænsnin-

ger for den andel af vandløbets egen vandføring, som må ledes til turbinerne.

For at minimere påvirkninger af vandløbets økologi er det nemlig vigtigt, at vandløbet altid får lov at beholde den del af sin vandføring, som er fastsat af miljømæssige årsager (det såkaldte "environmental flow") – i Saldur-bækken skal der til enhver tid løbe minimum 96 L/s, plus 20% af maksimal vandføring i sommerens afsmeltningssperiode. Det gælder særligt i perioder, hvor vandløbets egen vandføring er lav (dvs. uden for smeltesæsonen), men hvor det er særlig fristende for vandkraftværket at "stjæle" alt vandet for at opretholde en vis el-produktion. Ligeledes er designet og højden af dæmningen væsentlig for at undgå en for kraftig stuvning af vandet bag dæmningen. Derudover er det sandsynligt, at områdets og vandløbets store hældning også bidrog til at minimere den potentielle påvirkning fra vandkraftværket ved at fremme den kontinuerlige strømning af turbulent vand.

Fordele og ulemper ved vandkraftværker

Denne undersøgelse viser, at under de rigtige betingelser kan små vandkraftværker bidrage med klima-neutral og vedvarende energi med små eller ingen målbare miljømæssige negative effekter i vandløbet. Dertil kommer, at når først anlægsarbejdet er overstået, så kan små elvraftværker, som det ved Saldur-bækken, konstrueres, så man dårligt lægger mærke til dem i landskabet og dermed har en minimal skæmmende effekt. Ulempen er naturligvis, at de små vandkraftværker ikke leverer så meget energi, og der derfor skal bygges mange af dem, før det batter.

I modsætning hertil står de store vandkraftværker med vandreservoarer bag ofte enorme betondæmninger. Dem er der langt færre af, men de leverer langt størstedelen af energien. Til gengæld har de flere negative effekter, det være sig ændringer i hydrologisk regime, vandtemperatur, spærring i vandløbets kontinuitet, men også med hensyn til kulstofneutralitet. ■

Ny bachelor på SDU

Kunstig intelligens

Er du nysgerrig på optimering, logik, maskinlæring, programmering, etik, algoritmer og matematik?

Med en bachelor i Kunstig intelligens fra Syddansk Universitet får du kompetencer, som allerede nu er efterspurgt i virksomheder og organisationer i Danmark og udlandet.

Du behøver ikke at kunne programmere, når du starter på uddannelsen. Du skal bare have interesse i at lære det, ligesom du skal have flair for at tænke logisk og matematisk.

Læs mere om uddannelsen på sdu.dk/kunstig-intelligens