

Omkostninger ved vandmiljøforurening i Danmark

Danmarks grønne nationalprodukt

Danmark er i medfør af EU's Vandrammedirektiv forpligtet til at sikre en god vandmiljøkvalitet i vort grundvand og overfladevand. Ved brug af centrale indikatorer for vandkvaliteten opgør vi udviklingen i andelen af danske vandområder i perioden 1990-2020, der ikke opfyldte dette krav. Omkostningerne ved vandmiljøforurening måles som den danske befolknings estimerede villighed til at betale for de vandkvalitetsforbedringer, der ville have været nødvendige for at sikre god kvalitet af alle danske

vandområder i hvert år i perioden. Vi finder tegn på forbedring af den fysiske vandkvalitet, men da der samtidig er sket en stigning i antallet af husstande og deres betalingsvillighed som følge af stigende realindkomster, skønnes de løbende årlige forureningsomkostninger at være steget fra 9,1 mia. kr. i 1990 til 12,5 mia. kr. i 2020, målt i 2023-priser. Værdien af investeringerne i forbedret vandkvalitet har udvist store årlige udsving.

Vandmiljøets tjenester til økonomien

Vandmiljøets økosystemer leverer en række vigtige tjenester, der bidrager til befolkningens velfærd. Det drejer sig f.eks. om forsyningstjenester i form af drikkevand samt fisk til fødevarerforbrug, reguleringstjenester i form af vandmiljøets evne til at absorbere en række affaldsstoffer og store nedbørsmængder, og kulturelle tjenester i form af rekreative muligheder, æstetiske værdier og habitattjenester for dyre- og planteliv.

Forsyningstjenesterne opfanges i det konventionelle nationalregnskab, der inkluderer betaling for drikkevand samt værditilvæksten i fiskerierhvervet og de tilknyttede dele af fødevarerindustrien. Reguleringstjenesterne opfanges ligeledes af nationalregnskabet i det omfang, de bidrager til at øge erhvervenes produktivitet, hvorimod de kulturelle tjenester ikke indgår i nationalregnskabet, da disse tjenester ikke handles på markeder.

» I denne artikel beskriver vi, hvordan vi i opgørelsen af Danmarks grønne nettonationalindkomst har estimeret omkostningerne ved den forringelse af de ikke-markedsomsatte kulturelle økosystemtjenester, som vandmiljøforureningen forårsager

Økonomiske aktiviteter medfører forskellige former for forurening af vandmiljøet, der forringer kvaliteten af dets økosystemtjenester. I denne artikel beskriver vi, hvordan vi i opgørelsen af Danmarks grønne nettonationalindkomst

THOR DONSBY NOE

Ph.d. studerende,
Institut for Økonomi,
Aarhus Universitet,
thor.noe@econ.au.dk

JETTE BREDAHL JACOBSEN

Professor, Institut for Føde-
vare- og Ressourceøkonomi,
Københavns Universitet,
jbj@ifro.ku.dk

PETER BIRCH SØRENSEN

Professor,
Økonomisk Institut,
Københavns Universitet,
pbs@econ.ku.dk

har estimeret omkostningerne ved den forringelse af de ikke-markedsomsatte kulturelle økosystemtjenester, som vandmiljøforureningen forårsager.¹

Forskellige typer af vandmiljø

Vor analyse sonderer mellem overfladevand og grundvand. Analysen af grundvandet fokuserer på forekomsten af kvælstofforurening i grundvandsboringer. I analysen af overfladevandet benytter vi den sondring mellem vandløb, søer og kystvande, der foretages i den danske Vandplan 3 (Miljøministeriet, 2023), som ligger til grund for Danmarks implementering af EU's Vandrammedirektiv (Water Framework Directive, 2000) og de heri indeholdte krav om god økologisk og kemisk tilstand af vandmiljøet. I Vandplan 3 indgår 6.703 vandløb, 986 søer og 108 kystvande. I den geografiske afgrænsning af de husstande, der nyder godt af de kulturelle økosystemtjenester fra de forskellige vandmiljøer, benytter vi vandplanens opdeling af Danmark i 108 vandoplande. Vandoplandene er de landarealer, hvorfra vandet fra jordoverflader, vandløb og søer ledes ud i de enkelte kystvande.

Kilder til vandmiljøforurening

Danmark er et af de lande i EU, som har den største andel af opdyrket areal, hvorfra udledning af overskydende næringsstoffer som kvælstof og fosfor som følge af gødningsforbrug udgør den væsentligste kilde til forurening af overfladevandet. Udledning af næringsstoffer fra punktkilder i industri, byer og spildevandsanlæg bidrager dog også til forureningen. Kvælstof deponeres ligeledes (om end i mindre omfang) fra luften på jordoverflader og i overfladevandet. Den største kilde til denne type forurening er fordampning af ammoniak fra det animalske landbrug.

Forurening af overfladevandet med næringsstoffer fra gødskning i landbruget kan lede til eutrofiering, der medfører vækst i mængden af planktonalger, som kan føre til iltsvind og deraf følgende nedbrud af økosystemer og fiskedød. Grundvandet kan ligeledes blive forurennet ved nedsivning af kvælstof. Nedsivning af kvælstofoverskud ved jordoverfladen til grundvandet tager mellem 5 og 50 år (Hansen o.a., 2017). Både overfladevand og grundvand kan forurennes af pesticider. Der kan være store tidsforsinkelser, før pesticiderne rammer grundvandet (Gevao o.a., 2000).

Indikatorer for vandmiljøkvalitet

Vort studie søger at belyse udviklingen i vandmiljøkvaliteten i Danmark fra 1990 til 2020. Til det formål har vi brug for fysiske indikatorer for vandmiljøkvaliteten, som har været anvendt over hele perioden. For vandløb efterlader dette os med en enkelt indikator i form af Dansk VandløbsFaunaIndeks (DVFI), der ud fra mængden og sammensætningen af faunaen af visse insekter og andre smådyr opgør vandmiljøets faunakvalitet ved målestationen. Fordelen ved at bruge et sådan indeks er, at faunaen reagerer på vandkvaliteten over en vis periode. Dermed giver indekset ikke kun et kortsigtet øjeblik-

billede af vandkvaliteten på det specifikke måletidspunkt. Indekset afspejler tillige den sårbarhed, der er i vandmiljøet, herunder at nogle miljøer er mere følsomme end andre.

For søerne er den gennemsnitlige koncentration af klorofyl-a hen over sommeren den eneste indikator for vandmiljøkvaliteten, som har været målt systematisk gennem hele den betragtede periode. Klorofyl-a forekommer i plan-teplankton, og koncentrationen heraf benyttes som indikator for eutrofiering af søerne. For kystvandene anvendes koncentrationen af klorofyl-a ligeledes som indikator for vandmiljøkvaliteten.

For grundvandet kræver EU's Grundvandsdirektiv (Ground Water Directive 2006: Annex 1), at koncentrationen af nitrat ikke må overstige 50 mg/l. På den baggrund benytter vi koncentrationen af nitrat i iltet grundvand som indikator for grundvandets kvalitet. Som nævnt kan grundvandet også være kemisk forurenet af pesticider, men da der løbende er fremkommet nye typer af pesticider, og sideløbende er udviklet nye metoder til at måle deres forekomst, foreligger der ikke konsistente og dækkende tidsserier for grundvandets pesticidindhold, ligesom der heller ikke findes konsistente målinger af indholdet af f.eks. PFAS-stoffer. Vi har derfor valgt alene at benytte kvælstofindholdet som mål for grundvandets kvalitet, hvorved vi får et underkantskøn for omfanget af grundvandsforurening.

En yderligere udfordring ved opgørelsen af udviklingen i vandmiljøkvaliteten er, at Miljøstyrelsen ikke har målt vandmiljøtilstanden i hvert enkelt vandområde hvert eneste år, men især har fokuseret på at følge tilstanden i de større vandområder og i de områder, hvor miljøtilstanden har været mest kritisk. For de vandområder, hvor der mangler observationer i et givet år, har det derfor været nødvendigt at imputere en estimeret værdi af indikatoren for vandmiljøkvaliteten. Dette er gjort ved såkaldt multivariat imputering (Little og Rubin, 2020), hvor indikatorværdien er estimeret på basis af observerede værdier i det pågældende vandområde i andre år samt observerede indikatorværdier i andre vandområder med lignende karakteristika. På denne måde har vi søgt at konstruere fuldt dækkende og konsistente tidsserier for vandmiljøkvaliteten i alle danske vandområder.

Ved opgørelse af vandmiljøkvaliteten følger vi EU's Vandrammedirektiv, der på basis af tærskelværdier for kvalitetsindikatorerne opererer med følgende fem kvalitetsniveauer for vandmiljøets økologiske tilstand: Dårlig, ringe, moderat, god, høj. På linje med Zandersen o.a. (2022) tildeler vi disse fem kvalitetsniveauer følgende fire talværdier, hvor et højere tal indikerer en højere kvalitet: 0, 1, 2, 3. Ifølge Vandrammedirektivet skal hvert enkelt EU-medlemsland sikre en god økologisk tilstand af alle landets vandområder svarende til kvalitetstrinnet 3, medmindre dette vurderes at være uforholdsmæssigt dyrt. På den baggrund kategoriserer vi et vandområde som værende forurenet, hvis dets tilstand er dårlig, ringe eller moderat, og graden af forurening måles ved afstanden op til god tilstand (f.eks. tildeles et vandområde i høj eller god til-

stand forureningsgraden 3-3=0, mens et vandområde i moderat tilstand har forureningsgraden 3-2=1, osv.). Man kunne argumentere, at forureningsgraden burde måles som afstanden mellem høj vandmiljøkvalitet og det aktuelle kvalitetsniveau, men denne tilgang er fravalgt, da den naturlige (uberørte) tilstand for et vandområde ikke nødvendigvis er ensbetydende med en høj kvalitet, og da Vandrammedirektivet som nævnt betragter en god økologisk kvalitet som værende tilfredsstillende.²

På grundvandsområdet benytter vi resultater fra den landsdækkende grundvandsovervågning (GRUMO). Vi har valgt at fokusere på kvælstofindholdet i iltholdigt grundvand. Her betragter vi et iltet grundvandsindtag som værende forurenet, hvis koncentrationen af nitrat overstiger Grundvandsdirektivets grænseværdi på 50 mg/l. Såfremt denne tærskel er overskredet, betegnes grundvandets tilstand i overensstemmelse med direktivet som ”ringe” frem for ”god”.

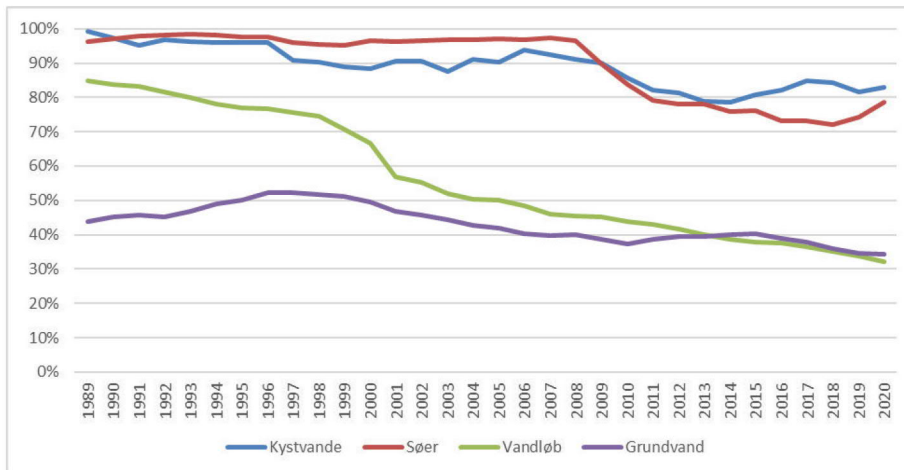
 **Omfanget af forurening af søer og kystvande er ligeledes lavere i 2020 end i 1990, men her synes kvalitetsforbedringen at være gået i stå omkring midten af 2010'erne**

Figur 1 sammenfatter nogle hovedresultater fra de konstruerede tidsserier ved at vise udviklingen i andelen af overfladevandområder henholdsvis iltede grundvandsindtag med mindre end ”god” kvalitet i Vandrammedirektivets henholdsvis Grundvandsdirektivets forstand. Talværdierne for kvaliteten af det enkelte vandområde er fem års glidende gennemsnit centreret omkring det betragtede år, hvorved vi har udglattet tilfældige, midlertidige udsving i vandkvaliteten de enkelte år. Vi ser, at der har været en vis fremgang i vandkvaliteten i grundvandet og i vandløbene. Omfanget af forurening af søer og kystvande er ligeledes lavere i 2020 end i 1990, men her synes kvalitetsforbedringen at være gået i stå omkring midten af 2010'erne. Den stedfundne forbedring af vandkvaliteten tilskrives bl.a. de forskellige vandmiljøplaner, der har været gennemført i perioden med henblik på at begrænse udvaskningen af kvælstof og fosfor, jf. Sørensen (2020: 648-9).

I 2023 synes der imidlertid at være sket en forværring af vandmiljøkvaliteten i danske kystvande, idet der er konstateret stigende forekomster af iltsvind og fiskedød, jf. Hansen og Rytter (2023). Det er vanskeligt at vurdere, om de allerseneste års udvikling er udtryk for en systematisk trend, da omfanget af iltsvind påvirkes væsentligt af de specifikke vejrforhold i det enkelte år. I de seneste år er der tillige konstateret PFAS-stoffer i et stigende antal grundvandsboringer, hvilket dog kan have sammenhæng med et øget fokus på målingen af disse stoffer jf. Jung-Madsen o.a. (2023).

 **I 2023 synes der imidlertid at være sket en forværring af vandmiljøkvaliteten i danske kystvande, idet der er konstateret stigende forekomster af iltsvind og fiskedød**

Figur 1: Andel af vandområder med mindre end god vandkvalitet



Anm.: Tallene er fem-års glidende gennemsnit centreret omkring det betragtede år.

Kilde: Egne beregninger baseret på data fra GEUS og Aarhus Universitet, DCE (Jung-Madsen o.a., 2023).

Fremgangen i vandkvaliteten siden 1990 skal ses i lyset af, at vandmiljøtilstanden var historisk ringe efter landbrugets kvælstofoverskud toppede omkring år 1980 jf. Hansen o.a. (2011). Under alle omstændigheder understreger den seneste udvikling, at det danske vandmiljø er sårbart, og at tendensen til forbedring af vandmiljøkvaliteten i det meste af perioden 1990-2020 næppe vil fortsætte i fravær af nye politiske tiltag på området.

Værdisætning af kvaliteten af overfladevand

Et vandområde betragtes som forurenet, hvis det er i mindre end ”god” økologisk tilstand i Vandrammedirektivets forstand. Ved opgørelsen af omkostningerne ved forureningen af Danmarks overfladevand benytter vi metastudiet af Zandersen o.a. (2022), der på basis af 32 værdisætningsstudier fra Danmark, Norge, Sverige og Finland foretaget i perioden 1994-2020 har estimeret, hvad befolkningerne i de nordiske lande er villige til at betale for en forbedring af vandmiljøkvaliteten fra den aktuelle økologiske tilstand (på tidspunktet for studiet) til en god økologisk tilstand. Vi forsøger altså at opgøre den *marginale* betalingsvillighed, dvs. villigheden til at betale for en *forbedring* af vandmiljøkvaliteten i en situation, hvor den ikke er god, hvorimod vi ikke søger at opgøre den totale absolutte værdi af vandmiljøet.

Alle de anvendte studier i metaanalysen af Zandersen o.a. (2022) bygger metodisk på erklærede præferencer og opfanger således ikke kun brugsværdien af vandmiljøet, men også ikke-brugsværdier (eksistensværdier og testamentariske værdier). En del af de anvendte studier rapporterer betalingsvilligheder for mere end ét vandområde, og derfor inkluderer meta-analysen i alt 124 estimater for betalingsvilligheder. Vor anvendelse af meta-analysen er et eksempel på såkaldt benefit transfer, hvor man overfører viden om den obser-

verede betalingsvillighed i en bestemt kontekst og benytter den til at estimere betalingsvilligheden i en anden beslægtet kontekst, idet man søger at tage højde for forskelle i konteksten som f.eks. forskelle i de berørte befolkningsgrupperes indkomst og andre socioøkonomiske forhold.

Konkret estimerer Zandersen o.a. (2022) på grundlag af de 32 nordiske studier en såkaldt metaanalysefunktion, der giver den bedste økonomiske forklaring af de observerede betalingsvilligheder på tværs af studierne. Ifølge den estimerede metaanalysefunktion synes der alt andet lige at være en lavere betalingsvillighed for vandmiljøkvalitet i Danmark end i de andre nordiske lande, hvilket opfanges ved en dummy-variabel, som vi tager højde for i vor benefit transfer til danske forhold. Boks 1 giver en nærmere forklaring af den anvendte metaanalysefunktion.

Boks 1: Betalingsvillighed for bedre kvalitet af overfladevand

Ifølge Zandersen o.a. (2022: 34) kan betalingsvilligheden WTP per husstand per år i 2018-priser for en forbedring af den aktuelle tilstand til god økologisk tilstand af alle forurenede vandområder i en given kategori (vandløb, sø, eller kystvand) i et givet vandopland i et givet år beskrives ved følgende estimationsligning, hvor \ln angiver den naturlige logaritme, og β_0 er en konstant:

$$\ln WTP = \beta_0 + 0,551 \times \ln \Delta \bar{Q} + 1,453 \times \ln y + 0,496 \times D^a + 0,121 \times \ln PSL - 0,005 \times SL - 0,072 \times \ln PAL - 0,0378 \times D^s - 0,949 \times DK \quad (1)$$

$\Delta \bar{Q}$ = gennemsnitlig forureningsgrad for den betragtede kategori i vandoplandet vægtet med vandområdernes bredstrækning

y = gennemsnitlig husstandsindkomst i vandoplandet (2018-priser)

D^a = dummy = 1 hvis gennemsnitsalderen for personer i vandoplandet overstiger 45 år ellers sættes $D^a = 0$)

PSL = bredstrækning af forurenede vandområder i den betragtede kategori, målt i forhold til den samlede bredstrækning af alle vandområder i vandoplandet

SL = samlet bredstrækning af forurenede vandområder i den betragtede kategori i vandoplandet

PAL = landbrugsareal som andel af samlet areal af vandoplandet

D^s = dummy = 1 hvis vandområdet er en sø (ellers sættes $D^s = 0$)

DK = dummy = 1 for et vandområde i Danmark

Den logaritmiske specifikation af ligning (1) har vist sig at give den bedste forklaring af data og sikrer mod, at betalingsvilligheden kan blive negativ. Ligningen gælder for et givet vandopland, hvor der kan være flere vandområder af en given kategori (bortset fra kystvand). Den forklarende variabel $\Delta\bar{Q}$ opgøres derfor som et vægtet gennemsnit af forureningsgraden af hvert enkelt vandområde af den betragtede kategori.

Ifølge (1) stiger betalingsvilligheden med indkomsten, hvilket man ville forvente. Kombinationen af den positive koefficient til variabelen $\ln PSL$ og den negative koefficient til variabelen SL betyder, at betalingsvilligheden stiger, jo større en andel af den samlede bredstrækning i vandoplandet, der er forurenet, men at stigningsraten i betalingsvilligheden er aftagende. Det kan tolkes sådan, at der er en positiv, men aftagende ”grænsenyttelighed” af forbedringer af vandmiljøkvaliteten. Koefficienterne til dummy-variablene D^a , D^s og DK indikerer, at betalingsvilligheden alt andet lige er større hos ældre medborgere, men mindre hos danskere end hos andre borgere i Norden og mindre, når der er tale om søer end om vandløb og kystvande.

Ligning (1) benyttes til at beregne de løbende omkostninger ved vandmiljøforureningen i de enkelte år, idet der ganges med antallet af husstande i hvert vandopland og aggregeres over vandoplande for at få de samlede omkostninger for hver type af vandområde. Ligningen kan imidlertid også bruges til at beregne den fremtidige velfærdsgevinst ved at investere i et bedre vandmiljø. Dette kan gøres ved at erstatte variabelen $\Delta\bar{Q}$ i (1) med den faktiske vandkvalitetsforbedring, der er sket fra det foregående år $t - 1$ til år t . Dermed får man et estimat for logaritmen til villigheden til at betale for den faktisk stedfundne vandkvalitetsforbedring, som kan omregnes til et naturligt tal. Hvis kvalitetsforbedringen er permanent, kan den således beregnede betalingsvillighed opfattes som et mål for de fremtidige årlige velfærdsgevinster ved investering i et bedre vandmiljø, og nutidsværdien (den kapitaliserede værdi) af disse fremtidige gevinster vil derfor afspejle værdien af investeringen. Denne investeringsværdi (aggregeret over husstande og vandoplande) indgår i de samlede miljøkorrigerede investeringer ved opgørelsen af den grønne nettonationalindkomst. Hvis en opnået vandkvalitetsgevinst senere reverseres, regnes dette som en negativ vandmiljøinvestering i året, hvor reverseringen sker.

Ved opgørelsen af de samlede omkostninger ved vandmiljøforurening på nationalt plan antager vi konservativt på linje med Zandersen o.a. (2020), at det kun er befolkningen i et givet vandopland, der tillægger det værdi, at vandkvaliteten i vandoplandet forbedres. Det medfører sandsynligvis en undervurdering af forureningsomkostningerne, da der kan være husstande uden for vandoplandet, som tillægger kvalitetsforbedringen værdi. Et dansk studie af Jørgensen o.a. (2013) finder dog, at betalingsviljen er stærkt aftagende med stigende afstand mellem bopæl og vandområde og med et stigende antal sub-

stitutionsmuligheder i form af andre vandområder, der forbedres. Vor vurdering af forureningsomkostningerne er derfor næppe alvorlig.

Ved beregningen af de samlede forureningsomkostninger benytter vi et særligt datasæt fra Danmarks Statistik, der for hvert år fordeler samtlige danske husstande geografisk i arealceller på 100m x 100m, idet vi henfører hver celle til det vandopland, der indeholder dens center. Datasættet indeholder tillige de oplysninger om husstandsindkomster og alder, som er nødvendige for at kunne anvende estimationsligningen (1) i Boks 1. Der benyttes klynger af celler for at sikre, at anonymitetskrav er opfyldt. I opgørelsen af årets grønne nettonationalindkomst indgår de løbende årlige omkostninger ved vandmiljøforurening som et fradrag i årets miljøkorrigerede forbrug, mens nutidsværdien af årets forbedringer (forringelser) af vandmiljøkvaliteten indgår positivt (negativt) i årets miljøkorrigerede opsparing.

Værdisætning af kvaliteten af grundvand

Vor opgørelse af omkostningerne ved grundvandsforurening trækker på et dansk studie af Larsen o.a. (2020), der i en stikprøve bestående af 383 husstande omkring Limfjorden har estimeret den gennemsnitlige villighed til at betale for en forbedring af grundvandskvaliteten fra ”ringe” til ”god”. Studiet fandt en gennemsnitlig betalingsvillighed på 4.700 kroner per familie opgjort i 2019-priser. Dette tal skal ikke tolkes som villigheden til at betale for selve det mængdemæssige forbrug af drikkevand, men snarere som villigheden til at betale for at sikre mod sundheds- og miljøskader ved forurenede drikkevand.

For hvert år i perioden 1990-2020 har vi opgjort andelen af iltede grundvandsindtag med mindre end god vandkvalitet i hele Danmark, jf. Figur 1. Ved at gange dette tal med betalingsvilligheden per familie og det samlede antal familier i Danmark får vi et skøn for den årlige omkostning ved grundvandsforurening, jf. Boks 2. Ændringen i andelen af iltede grundvandsindtag af mindre end god kvalitet fra det foregående til det aktuelle år kan ses som en positiv eller negativ investering i grundvandskvalitet i det aktuelle år, og nutidsværdien af den resulterende fremtidige ændring i befolkningens velfærd (målt ved betalingsvilligheden) indregnes derfor i årets miljøkorrigerede opsparing, som nærmere forklaret i Boks 2.

Boks 2: Betalingsvillighed for bedre grundvandskvalitet

Larsen o.a. (2020) har estimeret den gennemsnitlige villighed WTP^g per familie per år til at betale for en forbedring af grundvandskvaliteten fra ”ringe” til ”god” tilstand. Et iltet grundvandsindtag anses for at være i ringe (mindre end god) tilstand, hvis dets koncentration af nitrat overstiger Vandrammedirektivets grænseværdi på 50 mg/l. De samlede løbende omkostninger ved grundvandsforurening for Danmark som helhed OMK^g i et givet år beregnes som

$$OMK^g = WTP^g \times a^r \times N, \quad (3)$$

hvor a^r er andelen (i hele Danmark) af iltede grundvandsindtag i ringe tilstand, og N er det samlede antal familier.

Hvis andelen af iltede grundvandsindtag i ringe tilstand er faldet fra a_{t-1}^r i år $t - 1$ til a_t^r i år t , vil denne kvalitetsforbedring medføre en real velfærdsgevinst i det fremtidige år $t + n$ af størrelsen $(1 + g)^n WTP_t^g \times (a_{t-1}^r - a_t^r) \times N_t$ for den nulevende befolkning N_t , hvor g er den forventede gennemsnitlige årlige vækstrate i den reale betalingsvillighed, der antages at svare til trendvækstraten i den gennemsnitlige familieindkomst. Hvis den konstante reale diskonteringsrate er $r > g$, vil nutidsværdien (betegnet investeringsværdien IV_t) af denne forbedring af grundvandskvaliteten i år være

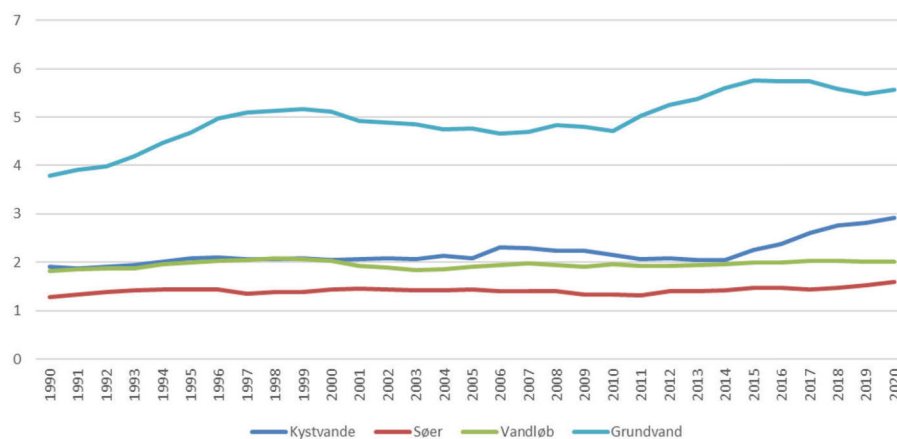
$$IV_t = WTP_t^g \times (a_{t-1}^r - a_t^r) \times N_t \times \sum_{i=1}^{\infty} \left(\frac{1+g}{1+r} \right)^i \quad (4)$$

Investeringsværdien indgår positivt i årets miljøkorrigerede opsparing, mens omkostningerne indgår som et fradrag i årets miljøkorrigerede forbrug ved opgørelsen af årets grønne nettonationalindkomst.

Resultater: Udviklingen i omkostningerne ved vandmiljøforurening

Figur 2 viser vores skøn for de løbende omkostninger ved forurening af Danmarks overfladevand og grundvand, mens Figur 3 viser værdien af investeringerne i forbedret vandkvalitet, baseret på de ovenfor beskrevne data og metoder. For at sikre sammenlignelighed er alle tal omregnet til 2023-prisniveau. I beregningerne har vi antaget, at betalingsvilligheden for vandmiljøkvalitet stiger over tid med en rate svarende til den trendmæssige vækstrate i familieindkomsterne, svarende til en indkomstelasticitet på 1 i efterspørgslen efter miljøgoder. Dette er i overensstemmelse med anbefalingen fra Drupp o.a. (under udgivelse).⁴ Ved opgørelsen af nutidsværdien af de fremtidige gevinster ved investering i bedre vandmiljøkvalitet har vi benyttet den samfundsøkonomiske diskonteringsrentefod, som Finansministeriet har anbefalet for de enkelte år.

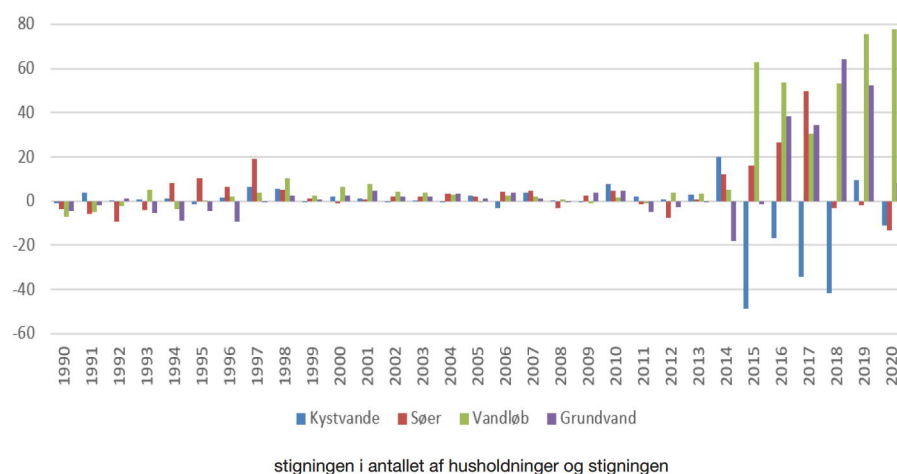
Figur 2: Løbende omkostninger ved forurening af overfladevand og grundvand (mia. kr., 2022 priser)



Anm.: Tallene er fem-års glidende gennemsnit centreret omkring det betragtede år.

Kilde: Egne beregninger.

Figur 3: Værdi af investering i bedre kvalitet af grundvand og overfladevand (mia. kr., 2022 priser)



stigningen i antallet af husholdninger og stigningen

Anm.: Tallene er fem-års glidende gennemsnit centreret omkring det betragtede år.

Kilde: Egne beregninger.

Selvom Figur 1 viste en tendens til forbedring af den fysiske vandkvalitet over den betragtede periode, er de løbende omkostninger ved vandmiljøforurening ikke desto mindre steget fra 9,1 mia. kr. i 1990 til 12,5 mia. kr. i 2020 ifølge Figur 2. Dette skyldes, at tendensen til fysisk kvalitetsforbedring er blevet overskygget af stigninger i antallet af husstande og i villigheden til at betale for et bedre vandmiljø, som væksten i de reale husstandsindkomster antages at have medført.

Værdien af investeringerne i vandmiljøkvalitet har svinget en del fra år til år og har ofte været negativ, jf. Figur 3. Svingningerne skyldes bl.a., at vandmiljøkvaliteten påvirkes af de årlige udsving i vejrforholdene, men også, at nutidsværdien af de fremtidige afkast af vandmiljøinvesteringer ændres, når Finansministeriet ændrer sin anbefalede samfundsøkonomiske diskonteringsrentefod, hvilket er sket tre gange i perioden. De større udsving i investeringsværdierne i de senere år skyldes således i høj grad, at Finansministeriet har sænket diskonteringsrentefoden, hvorved nutidsværdien af en given ændring i den fremtidige betalingsvillighed for en vandkvalitetsændring bliver væsentligt større. Ifølge Figur 3 har der været en uensartet udvikling i investeringsværdierne i den sidste del af perioden, idet der har været positive investeringer i kvaliteten af grundvand og vandløb, men altovervejende negative investeringer i kvaliteten af vore kystvande. Sidstnævnte tendens harmonerer med, at der i starten af 2020'erne har været observeret alvorlige problemer med iltsvind i store dele af Danmarks kystvande, jf. Hansen og Rytter (2023).

Forureningsomkostningerne er et underkantskøn

Vor analyse tyder som nævnt på en vis forbedring af den fysiske vandmiljøkvalitet fra 1990 til 2020, men indikerer samtidigt, at omkostningerne ved vandmiljøforureningen er steget over perioden som følge af en stigende villighed til at betale for et bedre vandmiljø.

Vi har estimeret omkostningen med udgangspunkt i den målte vandkvalitet og har altså ikke direkte værdisat tilførslen af forurenende stoffer til vandmiljøet fra f.eks. landbrug. Fordelen ved det er, at vi ser på det faktiske slutresultat af udledningerne af forurenende stoffer til vandmiljøet. Til gengæld bliver koblingen til politikker til at forbedre vandmiljøet mindre tydelig. F.eks. kan vejrforhold spille ind, ligesom der kan gå tid fra man f.eks. gødsker mindre til det har en effekt på vandmiljøet.

Vore kvantitative resultater må også tages med en række forbehold, herunder forbehold for den usikkerhed, der uundgåeligt knytter sig til opgørelsen af betalingsvilligheden for miljøgoder baseret på erklærede præferencer. Vore estimater af forureningsomkostningerne er et underkantskøn, da det ikke har været muligt at tage højde for kemisk forurening som følge af bl.a. pesticidforbruget. Vi har desuden antaget, at det kun er beboerne i det enkelte vandopland, der er villige til at betale for en forbedring af oplandets vandmiljøkvalitet.

Mere generelt har vi for at opnå konsistente tidsserier været nødt til at måle vandmiljøkvaliteten ved nogle ganske få indikatorer, der ikke giver et fuldt dækkende billede af kvalitetsudviklingen. Biodiversitetsrådet (2022) har f.eks. påpeget, at der er tilbagegang i biodiversiteten i danske vandløb. Måling af et vandløbs økologiske tilstand ud fra det her anvendte smådyrsindeks (som er det eneste, der går tilbage til 1990'erne) fokuserer kun på diversiteten af hvirvelløse dyr, hvorimod nyere indikatorer for diversiteten af henholdsvis planter og fisk viser, at vandløbene er i markant dårligere økologisk tilstand (Jung-Madsen o.a., 2023). Omkostningen ved tab af biodiversitet beregnes

særskilt som led i opgørelsen den grønne nettonationalindkomst og optræder således andetsteds i vores samlede grønne nationalregnskab, jf. artiklen herom af Jette Bredahl Jacobsen og Thomas Lundhede (2024a) i dette temanummer.

Noter

- 1 Disse tjenester inkluderer som nævnt bl.a. de rekreative tjenester fra vandmiljøet. For at undgå "dobbeltregning" omfatter artiklen om friluftsliv (Jacobsen og Lundhede, 2024b) i dette temanummer kun værdien af de rekreative tjenester fra Danmarks skove og åbne naturarealer.
- 2 Endvidere findes der heller ikke værdisætningsstudier, der giver mulighed for at estimere befolkningens villighed til at betale for en forbedring af vandmiljøkvaliteten fra "god" til "høj".
- 3 Ligning (1) i Boks 1 indikerer ganske vist, at indkomstelasticiteten i betalingsvilligheden er 1,453, men dette estimat afspejler primært indkomstelasticiteten på tværs af husstande på et givet tidspunkt. Denne elasticitet kan være påvirket af en række andre forhold, såsom hvor husstande på forskellige indkomstniveauer vælger at bo, hvor de befinder sig i livscyklens, osv., og den angiver derfor ikke, hvordan betalingsvilligheden isoleret set ændres over tid, når indkomsten ændres.

Referencer

- Biodiversitetsrådet (2022), *Fra tab til fremgang – Beskyttet natur i Danmark i et internationalt perspektiv*.
- Drupp, M.A., M.C. Hänsel, E.P. Fenichel, M. Freeman, C. Gollier, B. Groom, G.M. Heal, P.H. Howard, A. Millner, F.C. Moore, F. Nesje, M.F. Quaas, S. Smulders, T. Sterner, C. Traeger, F. Venmans (under udgivelse), "The increasing benefits from scarce ecosystems", *Science, Insights/Policy Forum*.
- Gevaio, B., K.T. Semple og K.C. Jones (2000), "Bound pesticide residues in soils: A review", *Environmental Pollution* 108(1): 3-14.
- Groundwater Directive (2006), "Directive 2006/118/EC of the European Parliament and of the Council of 12 December 2006 on the protection of groundwater against pollution and deterioration", *Official Journal of the European Communities*, 27. december.
- Hansen, Jens Würigler og David Rytter (2023), "Iltsvind i danske farvande 24. august – 21. september 2023", Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, Rådgivningsnotat nr. 2023/44.
- Hansen, B., L. Thorling, T. Dalgaard og M. Erlandsen (2011), "Trend reversal of nitrate in Danish groundwater-A reflection of agricultural practices and nitrogen surpluses since 1950", *Environmental Science & Technology*, 45(1): 228-34.
- Hansen, B., L. Thorling, J. Schullehner, M. Termansen og T. Dalgaard (2017), "Groundwater nitrate response to sustainable nitrogen management", *Scientific Reports, Nature Communications*, 7: 8566.
- Jung-Madsen, S., I.B. Kongsfelt, J. Fredshavn, A.S. Hansen, V.V. Nielsen, L.M. Svendsen, G. Blicher-Mathiesen, H. Thodsen, A. Baattrup-Pedersen, J.W. Hansen, S. Høgslund, L.S. Johansson, R.D. Nielsen, T.H. Holm, C. Kjær, T. Ellermann, L. Thorling og T. Frank-Gopolos (2023), *Vandmiljø og Natur 2021. NOVANA. Tilstand og udvikling - faglig sammenfatning*. Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, nr. 532. Aarhus Universitet.
- Jørgensen, S.L., S.B. Olsen, J. Ladenburg, L. Martinsen, S. R. Svenningsen og B. Hasler (2013), "Spatially induced disparities in users' and non-users' WTP for water quality improvements -Testing the effect of multiple substitutes and distance decay", *Ecological Economics* 92: 58-66.
- Larsen, T.H., T. Lundhede og S.B. Olsen (2020), "Assessing the value of surface water and groundwater quality improvements when time lags and outcome uncertainty exist: Results from a choice experiment survey across four different countries", *IFRO Working Paper no. 2020/12*, University of Copenhagen, Department of Food and Resource Economics.
- Miljøministeriet (2023), *Bekendtgørelse om overvågning af overfladevandets, grundvandets og beskyttede områders tilstand og om naturovervågning af internationale naturbeskyttelsesområder*, BEK nr. 792 af 13/06/2023.
- Sørensen, P.B. (2020), "Environment, energy, and climate policy: From energy supply to climate gases", i P. Munk Christiansen, J. Elklit og P. Nedergaard, red., *The Oxford Handbook of Danish Politics*, Oxford University Press, pp. 644-63.
- Zandersen, M., S.B. Olsen, L. Martinsen, T.E. Panduro, K.H. Zemo og B. Hasler (2022), *Samfundsøkonomiske gevinster ved forbedret vandkvalitet*, Videnskabelig rap-

port fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, nr. 486. Aarhus Universitet.
Water Framework Directive (2000), “Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of

23 October establishing a framework for Community action in the field of water policy”, *Official Journal of the European Communities*, 22. december.