



VIRKEMIDLER TIL FORBEDRING AF DE FYSISKE FORHOLD I VANDLØB

Version 2

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 341

2019



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

[Tom side]

VIRKEMIDLER TIL FORBEDRING AF DE FYSISKE FORHOLD I VANDLØB

Version 2

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 341

2019

Morten Lauge Fejerskov¹

Anette Baisner Alnø²

Esben Astrup Kristensen³

Niels Jepsen⁴

¹NIRAS

²Aarhus Universitet, Institut for Bioscience

³EnviDan

⁴DTU-Aqua



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Datablad

- Serietitel og nummer: Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 341
- Titel: Virkemidler til forbedring af de fysiske forhold i vandløb
Undertitel: Version 2
- Forfattere: Morten Lauge Fejerskov¹, Anette Baisner Alnøe², Esben Astrup Kristensen³ & Niels Jepsen⁴
- Institutioner: ¹NIRAS, ²Aarhus Universitet, Institut for Bioscience, ³EnviDan & ⁴DTU-Aqua
- Udgiver: Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi ©
URL: <http://dce.au.dk>
- Udgivelsesår: Oktober 2019
Redaktion afsluttet: Oktober 2019
- Faglig kommentering: Torben L. Lauridsen
Kvalitetssikring, DCE: Signe Jung-Madsen
- Finansiel støtte: Miljøstyrelsen
- Bedes citeret: Fejerskov, M.L., Alnøe, A.B., Kristensen, E.A. & Jepsen, N. 2019. Virkemidler til forbedring af de fysiske forhold i vandløb. Version 2. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 70 s. - Videnskabelig rapport nr. 341
<http://dce2.au.dk/pub/SR341.pdf>
- Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse
- Sammenfatning: Den foreliggende rapport er en opdatering af virkemiddelkataloget for vandløb fra 2014. De enkelte virkemidler er gennemgået og opdateret, hvis der er fundet ny viden omkring effekterne af virkemidlerne på de tre hidtil benyttede biologiske kvalitetselementer; smådyr, fisk og vandplanter, samt på det fjerde kvalitetselement; de bentiske alger. Derudover beskrives effekter af virkemidlerne på klimatilpasning, forholdene i vandløb med blødbund, og vandplanter i Type 1 vandløb (små vandløb).
- Emneord: Virkemiddelkatalog, vandløb, biologiske kvalitetselementer, fysiske forbedringer, hydrauliske ændringer, grødeskæring, restaurering, genslyngning, klimatilpasning, multiple stressorer
- Layout: Grafisk Værksted, AU Silkeborg
Foto forside: Kirsten Bang
- ISBN: 978-87-7156-438-9
ISSN (elektronisk): 2244-9981
- Sideantal: 70
- Internetversion: Rapporten er tilgængelig i elektronisk format (pdf) som
<http://dce2.au.dk/pub/SR341.pdf>

Indhold

Sammenfatning	5
Summary	6
1 Indledning	7
2 Vurdering af virkemidler til forbedring af de fysiske forhold i vandløb	8
2.1 Baggrund	8
2.2 Bentiske alger (Fytobenthos)	11
2.3 Ændret grødeskæringspraksis	12
2.4 Ændret oprensningspraksis	15
2.5 Genslyngning	16
2.6 Genslyngning i kombination med afværgeforanstaltninger (diger og pumpelag).	18
2.7 Udlægning af groft materiale (smårestaureringer)	19
2.8 Udskiftning af bundmateriale	21
2.9 Hævning af vandløbsbunden uden genslyngning	22
2.10 Åbning af rørlagte strækninger med efterfølgende hævning af bunden og/eller genslyngning	23
2.11 Åbning af rørlagte strækninger uden efterfølgende hævning eller genslyngning men med smårestaureringer	25
2.12 Åbning af rørlagte strækninger med efterfølgende etablering af miniådale med genslyngning.	27
2.13 Fjernelse af fysiske spærringer	27
2.14 Etablering af miniådale med genslyngning	30
2.15 Etablering af dobbeltprofil	31
2.16 Etablering af træer langs vandløb	33
2.17 Strømrendetilpasning	36
2.18 Uddybning af vandløb samt profiltbearbejdning med efterfølgende restaureringsindsats	38
2.19 Sandfang	40
2.20 Restaurering af hele ådale	41
2.21 Udplantning af vandplanter	43
2.22 Reducere den hydrauliske belastning	45
3 Virkemidler og klimatilpasning	47
3.1 Ændret grødeskæringspraksis	47
3.2 Ændret oprensningspraksis	48
3.3 Genslyngning	48
3.4 Genslyngning i kombination med afværgeforanstaltninger (diger og pumpelag)	48
3.5 Udlægning af groft materiale (smårestaureringer)	49
3.6 Udskiftning af bundmateriale	49
3.7 Hævning af vandløbsbunden uden genslyngning	49
3.8 Åbning af rørlagte strækninger med efterfølgende hævning af bunden og/eller genslyngning.	49

3.9	Åbning af rørlagte strækninger uden efterfølgende hævning eller genslyngning men med smårestaureringer	50
3.10	Åbning af rørlagte strækninger med efterfølgende etablering af miniådale med genslyngning	50
3.11	Fjernelse af fysiske spærringer	50
3.12	Etablering af miniådale med genslyngning	50
3.13	Etablering af dobbeltprofil	50
3.14	Etablering af træer langs vandløb	50
3.15	Strømrendetilpasning	51
3.16	Uddybning af vandløb samt profilbearbejdning med efterfølgende restaureringsindsats	51
3.17	Sandfang	51
3.18	Restaurering af hele ådale	51
3.19	Udplantning af vandplanter	51
3.20	Reducere den hydrauliske belastning	51
4	Multiple stressorer	52
4.1	Baggrund	52
4.2	Hydrologisk påvirkning	53
4.3	Organisk stof og fysiske forhold	54
4.4	Miljøfremmede stoffer	57
4.5	Næringsstoffer, hydrologi og fysiske forhold – det tidlige aspekt	57
4.6	Anbefalinger	58
5	Vandplanter i Type 1 vandløb	59
6	Blødbundsvandløb	60
7	Invasive arter	61
8	Referencer	62

Sammenfatning

Nærværende rapport er bestilt af Miljøstyrelsen og er en opdatering af det faglige grundlag for det virkemiddelkatalog, der blev udarbejdet i 2014. Det opdaterede virkemiddelkatalog skal anvendes ved implementeringen af tredje generation af vandområdeplaner 2021-2027. Der er taget udgangspunkt i vurderingerne fra 2014 rapporten, som eksperter fra Aarhus Universitet, DTU-AQUA, EnviDan og NIRAS har gennemgået. Den videnskabelige litteratur er gennemgået for ny viden, ligesom der er foretaget en rundspørge til kommunerne med henblik på at opdatere viden omkring effekterne af de enkelte virkemidler. Rundspørgen gav ikke anledning til opdatering af det faglige grundlag, da kommunerne ikke systematisk gennemfører effektvurderinger på gennemførte projekter.

Ved en gennemgang af ny litteratur publiceret siden 2014 er der fundet ny viden omkring effekten af de enkelte virkemidler, men det har kun i begrænset omfang givet anledning til en ændring af vurderingen af effekterne.

I denne rapport er de bentiske alger (fyto-benthos) inkluderet som kvalitets-element. Af denne årsag er den eksisterende litteratur gennemgået med særlig fokus på effekterne på de bentiske alger. Viden omkring de bentiske alger er begrænset, når det kommer til effekterne af fysiske forbedringer og det er generelt sparsomt med information omkring effekten af de enkelte virkemidler.

Som supplement til analyserne i den første rapport er der ligeledes foretaget individuelle vurderinger af effekterne i blødbundsvandløb. Der findes stort set ingen systematisk indsamlet viden i Danmark, så effekterne er primært vurderet ud fra den internationale litteratur. Der er yderligere inkluderet vurderinger af effekterne på vandplanter i Type 1 vandløb samt effekterne af de forskellige virkemidler på klimatilpasninger. Rapporten afsluttes med en række kapitler der omhandler samtidigt virkende stressorer (multiple stressorer) og mulighederne for at isolere effekten fra de enkelte påvirkninger i et komplekst miljø.

Summary

This report has been commissioned by the Danish Environmental Protection Agency and is an update on the technical basis of the catalogue of mitigation measures, which was prepared in 2014. The updated catalogue of mitigation measures is to be used for the implementation of the third generation of river basin management plans 2021-2027. The report is based on the assessments from the 2014 report, which was reviewed by experts from Aarhus University, DTU-AQUA, EnviDan and NIRAS. The scientific literature has been reviewed for new knowledge, and a survey has been conducted with the municipalities to update the knowledge about the effects of each mitigation measure. The survey did not give rise to an update of the technical basis, as the municipalities do not systematically carry out impact assessments on completed projects.

A review of new literature published since 2014 has revealed new knowledge on the effect of each mitigation measure, but has only to a limited extent led to a change in the assessment of the effects.

In this report, the benthic algae (phytobenthos) are included as a quality element. For this reason, the existing literature has been reviewed with a particular focus on the effects on benthic algae. Knowledge on benthic algae is limited when it comes to the effects of physical improvement, and information is generally sparse about the effect of the individual mitigation measures.

In addition to the analyses in the first report, individual assessments of the effects in soft bottom streams have also been carried out. Systematically collected knowledge in Denmark is virtually non-existent, so the effects are primarily assessed from international literature. Further, assessments of the effects on aquatic plants in Type 1 streams as well as the effects of the different mitigation measures on climate adaptation have been included. The report concludes with a series of chapters dealing with simultaneous stressors (multiple stressors) and the possibilities of isolating the effects of individual effects in a complex environment

1 Indledning

Til forberedelse af anden generations vandområdeplaner 2015-2021, blev virkemidler til forbedring af de fysiske forhold i vandløb foreslået af Naturstyrelsens Vandløbsforum. Af de i alt 19 foreslåede virkemidler, blev 16 vurderet til at have en positiv effekt på de 3 biologiske kvalitetselementer; planter, smådyr og fisk.

Til forberedelserne af 3. generation af vandområdeplaner, 2021-2027, blev der af Miljøstyrelsen igangsat et arbejde med at opdatere det eksisterende katalog over virkemidler til forbedring af de fysiske forhold i vandløb samt deres effekter på de biologiske kvalitetselementer. Dette skal ses som en fortsættelse af forberedelsen til 2. generations vandområdeplaner, som blev igangsat med det formål at undersøge hvilke virkemidler, der kan anvendes til at forbedre de fysiske forhold i vandløb. Arbejdet blev organiseret under Naturstyrelsens Vandløbsforum og det specifikke formål var at vurdere, om der var alternative omkostningseffektive virkemidler, til de virkemidler, der blev anvendt i 1. generations vandplaner, samt at nuancere de eksisterende virkemidler.

Den foreliggende rapport bygger videre på rapporten fra 2014, der omhandlede den første vidensindsamling omkring virkemidlerne (Kristensen et al., 2014a). Store dele af teksten fra den oprindelige rapport er bevaret for så vidt at den skrevne tekst er dækkende for beskrivelsen af effekterne. Der er suppleret med tekst, hvor det er nødvendigt. Denne opdaterede udgave kan således læses uden at have den oprindelige rapport. Beslutningerne og processen omkring udvælgelsen af virkemidler er nærmere beskrevet i den første rapport (Kristensen et al., 2014a). Ønsker man en redegørelse for denne proces, henvises hertil.

Denne rapport er opdelt i to dele. Første del består af en opdatering af viden omkring effekterne af virkemidlerne på de tre hidtil benyttede biologiske kvalitetselementer; smådyr, fisk og vandplanter, samt på det fjerde kvalitetselement; de bentiske alger. Viden omkring effekterne er opdateret vha. en søgning på publiceret international videnskabelig litteratur samt en rundspørge til en række kommuner om deres erfaringer vedr. effekterne af de gennemførte fysiske forbedringer.

Anden del af rapporten består af 4 afsnit, der beskæftiger sig med specifikke emner, hvor der er identificeret behov for supplerende viden. Det drejer sig om: Effekter af virkemidlerne på klimatilpasning, forholdene i vandløb med blødbund, og vandplanter i Type 1 vandløb (små vandløb), samt en analyse af sammenhængen mellem vandløbenes vandkvalitet (indhold af organisk stof) og de fysiske forhold.

Rapporten er bestilt af Miljøstyrelsen og lavet i samarbejde mellem Aarhus Universitet, NIRAS og EnviDan og DTU-Aqua, der alle var involverede i udarbejdelsen af virkemiddelkataloget fra 2014. Miljøstyrelsen har haft mulighed for at kommentere i udkast til rapporten.

2 Vurdering af virkemidler til forbedring af de fysiske forhold i vandløb

2.1 Baggrund

Vandrammedirektivet sætter nye standarder for beskyttelse og forbedringer af vandmiljøet, og sigter i målsatte vandløb mod at opnå mindst god økologisk kvalitet, målt på grundlag af de forskellige biologiske kvalitetselementer; fisk, planter, smådyr og bentiske alger (fytobenthos). I Danmark benyttes der i 2. generations vandplaner tre kvalitetselementer: planter, fisk og smådyr, mens bentiske alger forventes implementeret i vandplan-arbejdet fra igangsættelsen af 3. generations vandplanerne. For at sikre, at der i det fremtidige vandplanarbejde arbejdes med et opdateret fagligt vurderingsgrundlag, er der iværksat en opdatering af effekterne af at forbedre de fysiske forhold i vandløb. Ydermere er der identificeret en række faglige udfordringer med vandløb med blød bund og anvendelsen af vandplanter som kvalitetselement i små vandløb. Desuden mangler der viden omkring effekterne af fysiske forbedringer på det fjerde kvalitetselement, de bentiske alger, der bringes i spil i næste generation af vandplanerne. Slutteligt er det stadig uklart hvordan interaktionen mellem de vandkemiske forhold, de fysiske forhold og de biologiske kvalitetselementer manifesterer sig og påvirker de biologiske samfund. Når flere påvirkninger virker samtidigt på de biologiske samfund bliver det vanskeligere præcist at udtale sig om hvor de enkelte påvirkninger hver især reducerer muligheden for målopfyldelse. Dette skyldes at summen af påvirkningerne ikke altid er lig med den samlede påvirkning, grundet interaktioner mellem påvirkningerne og det faktum at en påvirkning kan sløre effekten af andre påvirkninger (Birk & Hering, 2018).

Siden udgivelsen af den første rapport omkring effekterne af virkemidlerne i 2014 er der udviklet indeks til vurdering af effekterne på vandløbets fisk (Kristensen et al., 2014b), og der er indløbet data for brugen af vandplanteindekset (Thodsen et al., 2019). Disse indeks er ved at vinde indpas i vandløbsforvaltningen, og der indsamles løbende overvågningsdata, der kan danne det faglige grundlag for en landsdækkende beskrivelse af variationen i de to indeks. Det er allerede nu muligt at fortage en vurdering af, hvorvidt der er målopfyldelse målt vha. fiske- og planteindekset. Resultaterne fra de første overvågningsstationer viser en klar tendens til lavere målopfyldelse for fisk og planter end for smådyr (Thodsen et al., 2019).

Mange danske vandløb opfylder pt. ikke kravet om god økologisk tilstand, primært pga. dårlige fysiske forhold og forstyrrelser (bl.a. reguleringer, vandløbsvedligeholdelse) samt opstemninger med opstuvningszoner og spærrevirkning for vandrende fisk m.m. Desuden spiller påvirkning fra spildevand (primært udledninger fra spredt bebyggelse men også overløb fra rensningsanlæg og regn-betingede udledninger) også en rolle primært i de mindre vandløb. Vandindvinding kan også påvirke vandløbets flora og fauna især i perioder med reduceret nedbør. Dette er et lokalt fænomen og ses især i mindre vandløb, hvor det kan have stor betydning for målopfyldelsen (Dunbar et al., 2010). Interaktionen mellem fysisk, hydrologisk og kemisk stress er vigtig at få beskrevet, og her mangler vi viden for at kunne give endelige svar og udrede den præcise effekt af de enkelte påvirkninger i et multistressormiljø.

Der er i Danmark gjort enkelte erfaringer med at beskrive de komplekse interaktioner (Dunbar et al., 2010; Friberg et al., 2010), mens der internationalt ligger en del litteratur (Se bl.a. Ormerod et al., 2010 for en oversigt).

De dårlige fysiske forhold gælder både forholdene i selve vandløbets profil (f.eks. ensartede og særligt finkornede organiske og uorganiske substrater, mangelfuld variation i dybde og strøm, spærringer) og forholdene på overgangen mellem vandløbet og dets omgivende miljø. Sidstnævnte henviser til, at dybt nedgravede vandløb med stejle brinker har et meget dårligt eller helt fraværende miljø i overgangszonen mellem land og vand, en zone der er vigtig for især mange plantearter (Pedersen et al., 2006) men også for smådyr og fisk og dermed for målopfyldelsen i vandløbet. Vedligeholdelsen af vandløb udføres af hensyn til afvandingsinteresserne langs vandløbene, og i mange vandløb er behovet for grødeskæring og anden form for vedligeholdelse blevet forstærket som følge af hyppige grødeskæringer, fordi skæringen favoriserer hurtigt voksende arter. Desuden øger sætninger af jorden på de vandløbsnære arealer også behovet for vedligeholdelse, såfremt den samme afvanding skal opretholdes.

Den nødvendige indsats for et bedre miljø i vandløbene er således flersidet. Den optimale løsning for miljøet er at hæve vandløbene op i terræn og dermed skabe bedre forbindelse mellem vand og land, at skabe fysiske forbedringer i vandløbet, at stoppe eller mindske forstyrrelserne (bl.a. vandløbsvedligeholdelse), at fjerne opstemninger/opstuvningszoner og at reducere påvirkninger fra spildevand. Man kan overveje at udplante vandplanter i de vandløb, hvor de er forsvundet fra. Dette bør selvfølgelig gøres under hensyntagen til kun at udplante allerede hjemhørende arter. Desuden påvirker vandindvinding fra vandløbene også vandløbene negativt, da det reducerer vandføringen i vandløbene og ved opstemninger kan betyde, at vandrende fisk og smådyr vandrer forkert. Ydermere er erkendelsen af hydrologiens betydning blevet styrket i løbet af de sidste 10 år. En vigtig del af et velfungerende vandløbsmiljø er også et naturligt hydrologisk regime, med både høje og lave vandføringer. Det forventes, at hydrologien bliver en nøgleparameter i fremtidens vandløb i takt med at klimaforandringer ændrer på nedbørsmønstret, og medfører markante ændringer i afstrømningsmønstret. Her spiller bebyggede arealer en mere betydende rolle, idet flere og flere byer bliver separat kloakeret. Delingen af vandet betyder, at der kommer mere vand direkte til vandløbet i forbindelse med ekstreme hændelser, mens der vil ske reduktion i vandføringen som følge af øget vandindvinding til drikkevand og vanding i tørre perioder. En optimal løsning af udfordringen forudsætter at arealanvendelsen tillader en vidtrækkende restaurering, ikke blot af vandløbet men også af ådalen. I områder hvor de samfundsmæssige interesser er store, og omkostningerne ved en fuldstændig restaurering er for høje, kan alternativer anvendes. Det er dog stadig væsentligt, at de anvendte virkemidler forbedrer de fysiske forhold i vandløbet.

En yderligere betydningsfuld faktor for målopfyldelse hos fisk er det øgede prædationspres i vandløbene. Her har nylige undersøgelser vist, at der siden 2011 har været en stærkt forøget forekomst af skarv, der fouragerer i vandløbene, og skarvens påvirkning af fiskebestandene har været meget betydelig (Jepsen et al., 2014). Selv ret få skarver i en kort periode kan være af afgørende betydning for antal og biomasse af fisk i både store og små vandløb, og i kombination med en stor odder/mink forekomst kan konsekvensen være næsten fisketomme vandløb (Jepsen et al., 2014). Intet tyder på, at den høje prædation

kan mindskes tilstrækkeligt gennem fysisk forbedring af vandløbet, og prædationen menes at være en væsentlig del af årsagen til, at nogle vandløb efter store og normalt velfungerende restaurerings-indsatser stadig er langt fra målopfyldelse for fisk. Så længe fiskebestandene er så små, at de ikke kan opretholde selvreproducerende bestande på et vist niveau, kan det derfor være nødvendigt at holde uønskede rovdyr som f.eks. skarv væk fra vandløbene. Ellers får man ikke den ønskede virkning af virkemidlerne med opnåelse af god fiskeøkologisk tilstand.

I det følgende gives der en opdateret faglig vurdering af de i Vandløbsforum foreslåede virkemidler til forbedring af de fysiske forhold i forhold til de fire biologiske kvalitetselementer; smådyr, fisk, planter og bentiske alger. En forbedring i den økologiske tilstand defineres som en stigning i de indices der anvendes til at vurdere den økologiske tilstand for smådyr (DVFI; Miljøstyrelsen, 1998), fisk (DFFV; Kristensen et al., 2014), planter (DVPI; Baattrup-Pedersen & Larsen, 2013; Andersen et al., 2018) og bentiske alger (SID_TID; Andersen et al., 2018).

Vurderingerne af de enkelte virkemidler i dette opdaterede notat er foretaget som i det første notat. Det vil sige ved at overveje, om de vil kunne bidrage til målopfyldelse for de forskellige kvalitetselementer, når det er de fysiske forhold, der er årsag til en manglende målopfyldelse. En positiv vurdering er dog ikke ensbetydende med, at et virkemiddel vil have samme positive effekt alle steder, eller at det nødvendigvis kan stå alene. Det er således vigtigt, at pointere, at det på nogle vandløbsstrækninger kan blive nødvendigt, at bruge en kombination af flere indsatser for at opnå god økologisk tilstand. I alle tilfælde er det nødvendigt med en lokal vurdering af, hvilke påvirkninger der er årsag til den manglende målopfyldelse og derefter implementere virkemidlerne på intelligent vis.

I vurderingen er der lagt vægt på, at der foreligger dokumentation for virkemidlernes ønskede miljømæssige effekter, men i nogle tilfælde har det været nødvendigt også at anvende ekspertvurderinger. Om der ligger en ekspertvurdering til grund eller en dokumenteret effekt fremgår af teksten under de enkelte virkemidler – specifikt er der lagt en dokumenteret effekt til grund, hvis der er henvist til litteratur. Hvert virkemiddel er tildelt +’er eller -’er i forhold til, hvor stor effekten vurderes at være. Et + i parentes (+) betyder at der forventeligt vil være en effekt, men at der mangler endegyldig dokumentation.

Ved den foreliggende opdatering af virkemidlernes effekt er der inddraget den nyeste videnskabelige viden. Ved at gennemføre en systematisk litteratursøgning på publicerede studier i perioden 2013-2018, er samtlige videnskabelige artikler, der berører emner, der omhandler fysiske forbedringer i vandløb og de biologiske effekter, fremsøgt. Den samlede mængde publicerede artikler for pågældende periode udgør 2287. Af disse er 588 af direkte relevans for opdateringen. Det er dog kun en brøkdel af disse 588, som har kunnet bidrage positivt til at beskrive effekterne og dermed blive inddraget i denne rapport. I alt er der inkluderet 48 nye referencer.

Som opfølgning og supplement er også foretaget en rundspørge til en række kommuner, jævnt fordelt over landet. Der var ikke tid til en udtømmende spørgeskemaundersøgelse som ved udarbejdelse af den første rapport. Resultatet af undersøgelsen viser, at der foretages mange fysiske forbedringer i vandløbene. Det er dog i de færreste tilfælde muligt at gennemføre en opfølg-

ning på projekterne. Typisk forventes effekterne at blive dokumenteret igennem den obligatoriske overvågning og ikke som en integreret del af projektet. Dette betyder også, at der i de fleste tilfælde foreligger meget lidt kvantitativ viden om effekten af det enkelte projekt, og de erfaringer der ligger hos kommunerne, er allerede indarbejdet i den første udgave af notatet fra 2014.

De bentiske alger er kommet med som selvstændig biologisk indikator, og derfor er der et afsnit, der omhandler disse som biologisk indikator. Der er desuden tilføjet et afsnit omkring klimaeffekterne ved implementering af de enkelte fysiske forbedringstiltag.

De specielle forhold der gør sig gældende i vandløb med blødbund, er ligeledes selvstændigt behandlet i et separat afsnit, ligesom de komplekse sammenhænge der opstår når flere påvirkninger virker samtidigt på de biologiske samfund også er beskrevet i et selvstændigt afsnit.

2.2 Bentiske alger (Fytobenthos)

Bentiske alger bliver inddraget som et af de biologiske kvalitetslementer i 3. generations vandplaner. I en del Europæiske lande har bentiske alger været brugt igennem flere år som indikator. De bentiske alger er primærproducenter, og vil derfor være i konkurrence med vandplanterne om lyset og pladsen i vandløbet. Deres biomasse afhænger positivt af næringsindholdet, temperaturen og lysindfaldet.

De bentiske alger er knyttet til de stabile substrater i vandløbet og findes på lysåbne strækninger, hvor de vokser på sten og planter. I skoven dominerer de på stenene, inden de skygges væk når der kommer blade på træerne. Enkelte alger er knyttet til vandplanterne, hvor de vokser på blade og stængler som epifytter. Der er således variation i artsammensætning, alt efter hvilken type af vandløb der er tale om (Allan & Castillo, 2007).

Hurtig strøm, sedimenttransport og ustabil bundsediment bevirker, at algerne enten slides af, eller har svært ved at få fodfæste på et stabilt substrat. Så derfor er effekten af fysiske restaureringer direkte knyttet til at stabilisere substratet og reducere det fysiske slid på algerne. Samtidig øges artsdiversitet og biomasse også af øget lysindfald (Allan & Castillo, 2007).

I Danmark er der udviklet et indeks for bentiske alger i vandløb. Indekset viser at den primære strukturerende parameter på de bentiske algers artsammensætningen i vandløb er vandkemien, nærmere bestemt koncentrationen af opløst fosfor. Samtidig viser indekset også, at vandløbets fysiske forhold og alkaliniteten har betydning (Andersen et al., 2018). I tabel 1 ses de vigtigste strukturerende parametre for artsammensætningen. Artsammensætningen er udtrykt ved DCA værdierne (DCA værdierne angiver hvor sammenlignelig artssamfundene er, hvor to tætliggende punkter har mere tilfælles end to langt fra hinanden liggende punkter) og korrelationen mellem artsammensætningen og en miljøvariabel er udtrykt vha. Rho-værdien, hvor en høj Rho-værdi angiver en god korrelation med sammensætningen af algearter og den givne variabel der testes. Med det nuværende indeks er det altså ikke muligt direkte at måle effekten af ændrede fysiske eller hydrologiske forhold, fordi disse ikke korrelerer med DCA-akseværdierne.

Tabel 1. Signifikante korrelationer mellem de to første DCA-akser og fysisk-, kemiske parametre vedr. biologisk indeks for bentiske alger (fyto-benthos) i danske vandløb (se yderligere i Andersen et al., 2018).

Parameter	DCA1	DCA2
	Rho (p-værdi)	Rho (p-værdi)
Vandløbsbredde	0,13 (0,004)	0,20 (<0,0001)
Oplandsareal	-	-0,30 (<0,0001)
Slyngningsgrad	0,10 (0,02)	-
Tværsnitsprofil	0,12 (0,008)	0,11 (0,02)
Alkalinitet	-0,62 (<0,0001)	-0,19 (<0,0001)
BI5, 5 års gennemsnit	-0,33 (<0,0001)	-
ln(NO3-N), 5 års gennemsnit	-	0,19 (<0,0001)
ln(PO4-P), 5 års gennemsnit	-0,58 (<0,0001)	-
Landbrug i den ripariske zone (%)	-	-0,29 (<0,0001)

Under hvert virkemiddel er det angivet, hvorvidt det bentiske algesamfund, i form af indekset for de bentiske alger, vil blive påvirket af implementeringen. Det er i denne sammenhæng vigtigt at huske, at næringsrige vandløb har en helt anden artssammensætning end naturlige vandløb, så derfor påvirkes algerne biomasse og artsammensætning også af andre faktorer end de fysiske forhold.

2.3 Ændret grødeskæringspraksis

Ændret grødeskæringspraksis dækker over en række forskellige tiltag. Det kan være fuldstændigt ophør af grødeskæring, en reduktion af skæringens omfang, en ændring af tidspunktet(-erne) for grødeskæring, en flytning af skæring fra vandløbets bund til brinkerne, en ændring af antallet af grødeskæringer (både færre eller flere), målrettet skæring af bestemte arter, skæring i flere strømrander og flere andre muligheder, ofte i forskellige kombinationer. Det har ikke været muligt at foretage en faglig vurdering af alle disse muligheder, og vurderingen er derfor kun foretaget for selektiv grødeskæring, nedsættelse af skæringsfrekvensen og/eller skæringsbredden samt ophør af grødeskæring. Dette skyldes, at disse tre muligheder vurderes at være og fortsat bliver de mest anvendte, og samtidig er det de former for grødeskæringsændringer, hvor der findes dokumentation for effekterne. Der er for nuværende ikke foretaget en sammenstilling af resultater fra en systematisk undersøgelse af effekten af at ændre grødeskæringen på et stort antal stationer. En sådan statistisk robust undersøgelse af effekterne over flere år er først lige nu igangsat i Assens Kommune med Aarhus Universitet, HedeDanmark og Orbicon som partnere.

For at få den maksimale effekt af andre virkemidler er det en forudsætning at grødeskæringspraksis ændres fra intensiv til skånsom eller helt ophører. Den fulde effekt af de andre virkemidler vil ikke slå igennem, med mindre grødeskæringen reduceres væsentligt eller helt ophører. En ny undersøgelse har vist at intensiv grødeskæring, alt andet lige, sænker muligheden for at opnå god økologisk tilstand (Henriksen et al., 2019).

2.3.1 Planter

Tidligere undersøgelser har vist, at grødeskæring potentielt har stor negativ betydning for vandløbsvegetationens artsdiversitet, og at en skæringsfrekvens hyppigere end én gang om året kan medføre markant nedgang i antallet af plantearter i vandløbet (Baatrup-Pedersen et al., 2004). Det vurderes derfor, at en ekstensivering af grødeskæring (enten som et ophør, reduktion eller en nedsættelse af frekvensen) kan være positivt for målpopfyldelse i forhold til planter.

I stedet for ophør eller ændring af frekvensen af grødeskæringen kan selektiv grødeskæring anvendes, således at den efterladte grøde fremmer den fysiske variation og dermed den biologiske tilstand. Den selektive skæring kan udføres, så de fysiske forhold i nogle tilfælde fremmes (Moeslund, 2008), og man kan også opnå forbedringer af plantesamfundene (Baatrup-Pedersen & Riis, 2004).

Der mangler dog dokumentation for, hvor hurtigt og i hvilket omfang planteindekset (DVPI) responderer positivt på en evt. ekstensivering af grødeskæringen, samt hvilke faktorer der bestemmer, om der forekommer forbedringer. Det må f.eks. formodes, at de fysiske forhold og plantesamfundenes sammensætning ved iværksættelse af virkemidlet har betydning for effekterne, men dette er p.t. ikke undersøgt. Dog viser en undersøgelse fra Lerkenfeld Å, at de fysiske forhold i udgangspunktet influerer på effekten af grødeskæring (Pedersen et al., 2011). Det er for nuværende ikke muligt, at vurdere hvor hurtigt eventuelle positive effekter på den økologiske tilstand vil indfinde sig.

2.3.2 Smådyr

En høj diversitet af smådyrssamfundene og dermed højere sandsynlighed for målpopfyldelse er bl.a. betinget af stor variation i udbuddet af levesteder. Vandplanter har stor biologisk og fysisk betydning i vandløbene og er med til at skabe gode levesteder for andre vandløbsorganismer. Vandplanter skaber variation i vandhastigheder og substratsammensætning og bidrager dermed til et højere udbud af habitater for smådyr. Vandplanter øger også vandstanden i vandløbene og skaber dermed et større område, hvor smådyrene kan leve. Derudover stabiliserer de vandløbsbunden og mindsker sedimenttransport, hvilket øger habitatkvaliteten for de smådyr, der er tilknyttet bunden. Endelig er biofilm på vandplanter et vigtigt fødegrundlag for mange smådyr. Et nyligt forsøg har ydermere vist, at sammensætningen af plantearter og bladarealet også har betydning for smådyrene, med flere individer jo større bladarealet og artskompleksiteten er (Friberg et al., ikke publ. arbejde). Det vurderes derfor, at ændret grødeskæringspraksis kan være positivt for målpopfyldelsen i forhold til smådyr. Tidligere undersøgelser har vist, at der er flere smådyr i komplekse grødeøer og at reduceret vandløbsvedligeholdelse (i form af ekstensiv grødeskæring og opgravning) påvirker især tætheden af EPT taxa (Pedersen et al., 2004).

Der mangler dog dokumentation for, hvor hurtigt og i hvilket omfang DVFI responderer positivt på en evt. ekstensivering af grødeskæringen, samt hvilke faktorer, der bestemmer om der forekommer forbedringer. Det må f.eks. formodes, at de fysiske forhold og smådyrssamfundenes sammensætning ved iværksættelse af virkemidlet har betydning for effekterne, men dette er p.t. ikke undersøgt. Det er således ikke muligt, at vurdere hvor hurtigt eventuelle positive effekter på den økologiske tilstand vil indfinde sig.

2.3.3 Fisk

Generelt vil en øgning af den fysiske variation (strømrender, dybdevariation, vandplanter og bundforhold) øge habitatkvaliteten for fisk. En undersøgelse fra de daværende Århus - og Fyns Amter viste en betydelig fremgang i antallet af ørreder, efter der blev indført skånsom grødeskæring af vandløbene (Wiberg-Larsen et al., 1994; Kaarup, 1998). Ændret grødeskæringspraksis kan dog ikke i alle tilfælde stå alene i forhold til at opnå forbedringer for fisk, og kan f.eks. ikke ændre et vandløb til en god gydehabitat for ørred, lampretter og andre arter. Det skyldes, at disse fiskearter er afhængige af, at der er gydegrus i vandløbet, dvs. småsten på størrelse med valnødder (Nielsen & Sivebæk, 2013, 2017). I vandløb, hvor det naturlige gydegrus er gravet væk eller er forsvundet ved en regulering, vil fiskene således være afhængige af, at der udvaskes gydegrus fra vandløbets bund eller udlægges nyt gydegrus ved en egentlig restaurering.

Hvis der er rimelige gydeforhold, kan en ændret grødeskæring medføre langt bedre overlevelse og dermed større tæthed af fisk. Ændringerne bør foretages med henblik på at skabe mest mulig naturlig heterogenitet i vandløbet og dermed mange forskellige habitattyper. Herunder er det uhyre væsentligt at sikre gode overlevelsesmuligheder for den spæde fiskeyngel, der samler sig nær vandløbets bredder på vanddybder op til 30 cm i perioden april-juni (Nielsen, 1994b, 1995a; Bangsgaard, 1995; Nielsen, 1997 & 1998; Søholm & Jensen, 2003; Nielsen & Sivebæk, 2013, 2017). I de større vandløb bør det lavvandede, brednære areal udgøre mindst 20 % af det samlede areal (Søholm & Jensen, 2003).

2.3.4 Bentiske alger

De eventuelle positive påvirkninger i form af øget fast substrat, som bentiske alger kan kolonisere, kan ikke umiddelbart måles i det danske indeks. Den primære effekt på samfundet vil være i forbindelse med ændringer i næringsbelastningen. Dog kan forandringer i det fysiske miljø godt slå igennem på algesamfundet, men disse effekter vil være sekundære i forhold til ændringer i vandkemien (Andersen et al., 2018).

2.3.5 Samlet vurdering

Der kan opnås positive effekter af ændret grødeskæringspraksis for alle fire kvalitetslementer under forudsætning af, at virkemidlet er anvendt korrekt. Derudover er det en forudsætning, at der findes grøde i vandløbet før implementering, dvs. før grødeskæringspraksis ændres. Da der bliver skåret grøde i mange vandløb, og da virkemidlet kan få stor positiv betydning på alle indices, er ændret grødeskæringspraksis et virkemiddel, der kan få stor positiv betydning i mange vandløb.

	Planter	Smådyr	Fisk	Bentiske alger
Effekt	+++	++	++	+

Forudsætninger og undtagelser

Vandløbstyper hvor virkemidlet kan anvendes	Påvirkninger som virkemidlet er målrettet	Vandløb hvor virkemidlet er uegnet	Behov for samtidig anvendelse af andre virkemidler
Type 1, 2 og 3	Forstyrrelser i form af hyppig eller hårdhændet grødeskæring. Dårlige fysiske forhold.	I vandløb med lille vand-spejlsfald (blødbundsvandløb) kan effekterne på de anvendte indices være begrænsede.	Bør ikke stå alene i kanaliserede vandløb der er dybt nedskåret i terrænen men her kombineres med andre fysiske forbedringer. En evt. unaturlig høj sedimenttransport bør samtidig begrænses, hvis denne begrænser målopfyldelsen. En evt. kraftig belastning med spildevand bør også reduceres/stoppes, hvis denne begrænser målopfyldelsen. Fysiske spærringer i vandløbet bør samtidigt fjernes, hvis disse begrænser målopfyldelsen. En mangel på varieret substrat kan gøre at effekten af grødeskæring ikke slår fuldt igennem og derfor kan overvejes at kombinere med udlægning af substrat. En evt. unaturlig høj koncentration af næringsstoffer bør samtidig begrænses, hvis denne begrænser målopfyldelsen (særligt ift. bentiske alger).

2.4 Ændret oprensingspraksis

Dette virkemiddel indebærer en ændring i den praksis, hvormed vandløbene oprenses (fjernelse af sediment og/eller brinker). Virkemidlet kan som udgangspunkt indeholde mange variationer af ændringer i oprensning, men i denne vurdering er der taget udgangspunkt i, at oprensningen enten helt stoppes eller reduceres i frekvens.

Ofte vil et stop for oprensning være en forudsætning for at andre virkemidler tages i brug. Fjernes bundmateriale helt eller delvist med jævne mellemrum, bør det overvejes om der skal indføres indgreb i forhold til kilderne til det fine sediment som alternativ til kontinuert oprensning.

2.4.1 Planter, smådyr, fisk og bentiske alger

Ved oprensning fjernes ikke kun planternes habitater men også selve planterne. Der er derfor åbenlyse negative konsekvenser for plantesamfundene ved oprensning, og dermed kan der være positive effekter forbundet med at

stoppe eller reducere denne praksis. Denne vurdering gælder ligeledes de bentiske alger, smådyr og fisk, men der findes intet videnskabeligt grundlag, der kan anvendes til at fastlægge, hvor meget oprensningen skal reduceres, før der kan opnås en positiv effekt. Som udgangspunkt vurderes det dog, at de største positive effekter opnås ved stop for oprensning.

2.4.2 Samlet vurdering

Der kan opnås positive effekter for alle fire kvalitetselementer under forudsætning af, at virkemidlet anvendes korrekt.

	Planter	Smådyr	Fisk	Bentiske alger
Effekt	+++	+++	+++	+

Forudsætninger og undtagelser

Vandløbstyper hvor virkemidlet kan anvendes	Påvirkninger som virkemidlet er målrettet	Vandløbstyper hvor virkemidlet er uegnet	Behov for samtidig anvendelse af andre virkemidler
Type 1, 2 og 3	- Forstyrrelser og fjernelse af fysiske vandløbshabitater.		Bør ikke stå alene i kanaliserede vandløb der er dybt nedskåret i terræn men her kombineres med andre fysiske forbedringer, herunder substratforbedringer En evt. kraftig belastning med spildevand bør også reduceres/stoppes, hvis denne begrænser målopfyldelsen. En evt. intensiv grødeskæring bør ikke opretholdes eller indføres efter implementering hvis denne begrænser målopfyldelsen. Fysiske spærringer i vandløbet bør samtidigt fjernes, hvis disse begrænser målopfyldelsen. En evt. unaturlig høj koncentration af næringsstoffer bør samtidig begrænses, hvis denne begrænser målopfyldelsen (særligt ift. bentiske alger).

2.5 Genslyngning

Ved genslyngning forstås en tilbagelægning af et kanaliseret vandløb til dets forløb og profil før udretningen eller et tilsvarende naturligt forløb, samt at skabe muligheder for at vandløbenes naturlige morfologiske processer kan udfoldes og dermed igangsætte en naturlig udvikling. Ændring af profil betyder, at vandløbets bredde og bundens topografi ændres til at modsvare en mere naturlig tilstand, da kanalisering ofte medfører, at vandløbene er gjort overbrede for at øge vandføringsevnen. Derudover bør vandløbet i mange tilfælde hæves op i terræn, så der opnås en mere naturlig sammenhæng mellem vandløbet og dets omgivelser. Genslyngning bør om nødvendigt kombineres

med udlæg af materiale, da det nygravede og slyngede forløb ikke altid vil indeholde en naturlig substratsammensætning. Det skal bemærkes, at substratudlægning bør gøres med udgangspunkt i den naturlige substratsammensætning for det pågældende vandløb (Kristensen et al., 2011, Nielsen & Sivebæk, 2017).

2.5.1 Planter, smådyr og fisk

Det vurderes, at det er muligt at forbedre den økologiske tilstand ved genslyngning af kanaliserede vandløb. Dette skyldes, at vandløbene først og fremmest får et bedre fysisk miljø med flere levesteder for de biologiske kvalitetselementer. Derudover kan der også opnås en hurtigere omsætning af organisk stof (og evt. miljøfremmede stoffer) til gavn for vandkvaliteten. Genslyngning er en hyppigt anvendt metode til forbedring af de fysiske forhold i danske og udenlandske vandløb (Madsen & Debois, 2006; Miller et al., 2010). Der findes således en række eksempler, hvor forbedringer i miljøtilstanden er veldokumenterede (Miller et al., 2010; Mortensen, 2010), men der er også eksempler, hvor den ønskede forbedring ikke er opnået (Palmer, 2009), hvorfor korrekt implementering er vigtig.

Når genslyngningen kombineres med udlægning af substrat, er det vigtigt at holde sig for øje, hvad den naturlige substratsammensætning er. Et studie fra en række danske vandløbsstrækninger der var blevet genslynget, og hvor der var lagt substrat ud, viste at disse havde en højere tæthed og et større antal arter af EPT taxa, der typisk er tilknyttet groft substrat, end de tilsvarende naturlige strækninger (Pedersen et al., 2014). Ved udlægning af sten skal man være varsom med at fiksere vandløbets forløb, ved tæt placering af store sten langs vandløbskanten, og dermed udvikle en unaturlig morfologi.

Det vurderes, at dette virkemiddel kan forbedre miljøtilstanden i alle typer af vandløb. Der er dog forskel mellem vandløbstyperne og de biologiske kvalitetselementer på, hvor hurtigt man kan forvente forbedringer. Genslyngninger er en kraftig forstyrrelse af vandløbenes fysiske forhold og organismerne. Perioden efter endt restaurering og indtil en evt. forbedring af tilstanden indtræffer er forskellig alt efter vandløbsstørrelsen, og der vil forekomme naturlige profiljusteringer, når vandløbets form tilpasser sig det hydrologiske regime. For mellemstore og store vandløb kan det ske relativt hurtigt (f.eks. Gelså og Skjernå (Friberg et al., 1994; Pedersen et al., 2007)), mens det i små vandløb kan tage relativt lang tid (typisk år) for f.eks. vandplanterne at etablere sig (Baattrup-Pedersen et al., 2000). Dette skyldes, at restaurerede vandløbsstrækninger i små vandløb, kun har begrænsede områder opstrøms for strækningen, hvorfra organismer kan genindvandre (Kronvang et al., 2008).

2.5.2 Benthiske alger

De eventuelle positive påvirkninger i form af øget fast substrat som de benthiske alger kan kolonisere, kan ikke umiddelbart måles i det danske indeks. Den primære effekt på samfundet vil være i forbindelse med ændringer i næringsbelastningen. Dog kan forandringer i det fysiske miljø godt slå igennem på algesamfundet, men disse effekter vil være sekundære i forhold til ændringer i vandkemien (Andersen et al., 2018).

2.5.3 Samlet vurdering

Der kan opnås positive effekter for alle fire kvalitetselementer under forudsætning af, at virkemidlet er anvendt korrekt.

	Planter	Smådyr	Fisk	Bentiske alger
Effekt	+++	+++	+++	+

Forudsætninger og undtagelser

Vandløbstyper hvor virkemidlet kan anvendes	Påvirkninger som virkemidlet er målrettet	Vandløb hvor virkemidlet er uegnet	Behov for samtidig anvendelse af andre virkemidler
Type 1, 2 og 3	Dårlige fysiske forhold i kanaliserede vandløb (sedimentforhold, bredde- og dybdeforhold, vandhastighed, unaturlig vandløbsmorfologi).		En evt. kraftig belastning med spildevand bør også reduceres/stoppes, hvis denne begrænser målopfyldelsen. En evt. intensiv vandløbsvedligeholdelse bør ikke opretholdes eller indføres efter implementering, hvis denne begrænser målopfyldelsen. Fysiske spærringer i vandløbet bør samtidigt fjernes, hvis disse begrænser målopfyldelsen. En evt. unaturlig høj koncentration af næringsstoffer bør samtidig begrænses, hvis denne begrænser målopfyldelsen (særligt ift. bentiske alger).

2.6 Genslyngning i kombination med afværgeforanstaltninger (diger og pumpelag)

Dette virkemiddel er tiltænkt anvendelse i meget flade områder eller brede ådale, hvor arealanvendelsen ikke levner plads for en egentlig genslyngning. Virkemidlet omfatter etablering af diger i en afstand af 10-30 meter fra vandløbets kant med henblik på at skabe en korridor, hvor genslyngningen finder sted. Uden for korridoren etableres et pumpelag, der pumper vand fra de dyrkede arealer til vandløbet. Inden for korridoren udføres genslyngningen som beskrevet ovenfor.

2.6.1 Planter, smådyr, fisk og bentiske alger

Der findes ingen videnskabelige undersøgelser af dette virkemiddel, men det vurderes langt hen af vejen, at kunne have de samme positive effekter som ved en egentlig genslyngning. Denne vurdering er begrundet med, at en genslyngning i flade områder skaber mere plads, en større dybdemæssig variation og dermed et større habitatudbud for planter, smådyr, fisk og bentiske alger. Dog er vurderingen for planter og smådyr en anelse lavere end for en egentlig genslyngning, da digerne vil bryde/begrænse kontinuiteten på tværs af ådalen, og dette muligvis vil sætte nogle begrænsninger for artsdiversiteten. Derudover er vurderingen for fisk også en anelse lavere end ved en egentlig genslyngning, da det lave fald formodes at begrænse effekterne.

Vurderingen forudsætter, at udløbet fra pumpestationen ikke ændrer vandløbets hydrologiske regime gennem periodevis udpumpning af relativt store mængder vand, og at udløbet ikke fungerer som en punktkilde for næringsstoffer og sediment.

2.6.2 Samlet vurdering

Der kan opnås positive effekter for alle fire kvalitetselementer under forudsætning af, at virkemidlet er anvendt korrekt.

	Planter	Smådyr	Fisk	Bentiske alger
Effekt	++	++	++	+

Forudsætninger og undtagelser

Vandløbstyper hvor virkemidlet kan anvendes	Påvirkninger som virkemidlet er målrettet	Vandløb hvor virkemidlet er uegnet	Behov for samtidig anvendelse af andre virkemidler
Type 1, 2 og 3 vandløb i ådale i ådale med lille hældning hvor den naturlige vandløbsform er et slynget forløb	Dårlige fysiske forhold i kanaliserede vandløb (sedimentforhold, bredde- og dybdeforhold, vandhastighed, unaturlig vandløbsmorfologi).	Uegnet i vandløb med større hældning.	En evt. kraftig belastning med spildevand bør også reduceres/stoppes, hvis denne begrænser målopfyldelsen. En evt. unaturlig høj sedimenttransport bør samtidig begrænses, hvis denne begrænser målopfyldelsen. En evt. intensiv vandløbsvedligeholdelse bør ikke opretholdes eller indføres efter implementering, hvis denne begrænser målopfyldelsen. Fysiske spærringer i vandløbet bør samtidigt fjernes, hvis disse begrænser målopfyldelsen. En evt. unaturlig høj koncentration af næringsstoffer bør samtidig begrænses, hvis denne begrænser målopfyldelsen (særligt ift. bentiske alger).

2.7 Udlægning af groft materiale (smårestaureringer)

Herved forstås udlægning af groft materiale (primært sten, grus eller træ) alene uden andre fysiske indgreb i enten kanaliserede eller naturligt slyngede vandløb. Det udlagte materiale er/kan være erstatning for materiale, der er blevet fjernet gennem tidligere tiders opgravning og vedligeholdelse. Det skal bemærkes, at substratudlægning bør gøres med udgangspunkt i den naturlige substratsammensætning for det pågældende vandløb (Kristensen et al., 2011; Nielsen & Sivebæk, 2017).

2.7.1 Planter, smådyr og fisk

Ved at tilføre groft materiale forbedrer man vandløbenes habitatheterogenitet, hvilket i mange tilfælde kan resultere i bedre leveforhold for især smådyr (Miller et al., 2010; Pedersen et al., 2014) og fisk. (Nielsen & Sivebæk, 2017). Der er dog også eksempler på, at udlægninger af groft substrat ikke forbedrer de fysiske forhold på længere sigt, da udlægninger kan transporteres nedstrøms eller overlejres med sand (Pedersen et al., 2009). Hvis udlægning af groft materiale medfører en større variation i dybder og vandhastigheder og dermed en større variation i substrattyper, kan der ligeledes forventes positive effekter på plantesamfundene, da der åbnes flere habitater, som planterne kan kolonisere.

Udlægninger af sten og grus er foretaget i utallige vandløb, ofte med gode resultater, særligt for laksefisk, men formentlig også for andre fiskearter som fx lampretter, der gyder på stryg. Hvis et vandløb har en ørred- eller laksebestand, god vandkvalitet og god hældning, men mangler gydesubstrat, kan dette virkemiddel medføre en kraftig forøgelse af tætheden af laksefisk (Nielsen, 1995a, 1995b; Mortensen, 2010; Nielsen & Sivebæk, 2017). For mange fiskearter skal dette dog ses som et indgreb med relativ lokal effekt, da der bør være gydemuligheder mange steder i et vandløb for at sikre fuld besætning af fisk (f.eks. Berlaup et al., 2008).

Når man undersøger fisk og smådyr i vandløb, observerer man ofte, at dødt ved (træ) i vandløb kan øge tætheden af fisk og smådyr betydeligt. Derfor har det i en del år været anbefalet, at man ikke fjerner naturlig forekomst af træ i vandløb i forbindelse med vandløbsvedligeholdelsen, med mindre det giver problemer for afstrømningen. Der er dog stort set ikke foretaget systematiske registreringer af betydningen af træ i vandløb i Danmark. I udlandet er der dog gennemført en række studier af effekterne af udlægning af træ i vandløb. Der findes veldokumenterede studier fra Nordamerika og England. De fleste studier viser generelt positive effekter for smådyr (f.eks. Hilderbrand et al., 1997; Coe et al., 2009), men også at effekten i mange tilfælde er lokal omkring selve udlægningen eller på selve træet (Coe et al., 2009). Det er ligeledes dokumentet positive effekter på ørredtæthed og produktion (Shetter et al., 1949; Roni & Quinn, 2001; Roni et al., 2008; Pess et al., 2012). Som beskrevet ovenfor ses effekten af udlægningen af træ ofte som en lokal effekt (Roni et al., 2015). I Danmark kan udlægning af større træer eller rødder, give bedre skjul for fiskene og måske delvist beskytte mod prædation fra fugle og pattedyr. Træer og rødder kan udlægges på lokaliteter, hvor dette må forekomme naturligt ligesom det udlægges på naturlig måde.

2.7.2 Bentiske alger

De eventuelle positive påvirkninger, i form af øget fast substrat som de bentiske alger kan kolonisere, kan ikke umiddelbart måles via det danske indeks. Den primære effekt på samfundene og dermed indeksværdien vil være i forbindelse med ændringer i næringsbelastningen. Dog kan forandringer i det fysiske miljø godt slå igennem på algesamfundet, men disse effekter vil være sekundære i forhold til ændringer i vandkemien (Andersen et al., 2018).

2.7.3 Samlet vurdering

Der kan opnås positive effekter for alle fire kvalitetselementer under forudsætning af, at virkemidlet anvendes korrekt. Det kan særligt anbefales, at man ikke fjerner naturlig forekomst af træ i vandløb i forbindelse med vandløbsvedligeholdelsen, med mindre det giver problemer for afstrømningen.

	Planter	Smådyr	Fisk	Bentiske alger
Effekt	+	+++	+++	+

Forudsætninger og undtagelser

Vandløbstyper hvor virkemidlet kan anvendes	Påvirkninger som virkemidlet er målrettet	Vandløb hvor virkemidlet er uegnet	Behov for samtidig anvendelse af andre virkemidler
Type 1, 2 og 3	Dårlige fysiske forhold, herunder substratforhold, bredde- og dybdevariation og mangel på fysiske habitater.	Ved lille vandspejlsfald kan effekten af udlægning af gydegrus være begrænsede, mens udlæg af f.eks. træ vil have effekter i alle typer vandløb.	Bør ikke stå alene i kanaliserede vandløb der er dybt nedskåret i terræn men her kombineres med andre fysiske forbedringer. En evt. unaturlig høj sedimenttransport bør samtidig begrænses, hvis denne begrænser målopfyldelsen. En evt. kraftig belastning med spildevand bør også reduceres/stoppes, hvis denne begrænser målopfyldelsen. En evt. intensiv vandløbsvedligeholdelse bør ikke opretholdes eller indføres efter implementering hvis denne begrænser målopfyldelsen. Fysiske spærringer i vandløbet bør samtidigt fjernes, hvis disse begrænser målopfyldelsen. En evt. unaturlig høj koncentration af næringsstoffer bør samtidig begrænses, hvis denne begrænser målopfyldelsen (særligt ift. bentiske alger).

2.8 Udskiftning af bundmateriale

Virkemidlet indebærer, at vandløbet uddybes under hensyntagen til at opnå det mest naturlige profil. Herefter udlægges nyt bundmateriale, typisk bestående af groft materiale. Uddybningen sker for at sikre, at vandstanden ikke stiger i forbindelse med restaureringstiltag. Virkemidlet skal ses som et alternativ til "2.7 Udlægning af groft materiale", hvor det grove materiale ikke lægges oven på den eksisterende vandløbsbund. Derimod bliver bunden først gravet væk og det grove materiale erstatter det bortgravede.

Som udgangspunkt antages det, at uddybningen modsvarer det materiale, der efterfølgende udlægges, således at der ikke sker ændringer i vandspejlets fald ved implementering af virkemidlet.

2.8.1 Planter, smådyr og fisk

Dette virkemiddel ses som en variant af "2.7 Udlægning af groft materiale" der kan anvendes for at minimere evt. afvandingsmæssige konsekvenser eller overholde regulativmæssige bestemmelser (for forudsætning og undtagelser se under 2.6). Vurderingen af effekter på planter, smådyr og fisk er derfor den samme som under "2.7 Udlægning af groft materiale (se ovenfor). Dog vurderes det, at udlægning af træstykker vil være vanskeligt med denne metode, da træstykker ikke fuldstændigt vil fylde det bortgravede område ud, og dette område vil derfor hurtigt blive fyldt ud med fint materiale, der transporteres med vandløbet.

Det skal bemærkes, at substratudlægning bør gøres med udgangspunkt i den naturlige substratsammensætning for det pågældende vandløb (Kristensen et al., 2011).

2.8.2 Benthiske alger

De eventuelle positive påvirkninger, i form af øget fast substrat som de benthiske alger kan kolonisere, kan ikke umiddelbart måles via det danske indeks. Den primære effekt på samfundene og dermed indeksværdien vil være i forbindelse med ændringer i næringsbelastningen. Dog kan forandringer i det fysiske miljø godt slå igennem på algesamfundet, men disse effekter vil være sekundære i forhold til ændringer i vandkemien (Andersen et al., 2018).

2.9 Hævning af vandløbsbunden uden genslyngning

Ved hævning af vandløbsbunden forstås udlægning af materiale i kanaliserede vandløb, således at vandløbet kommer til at ligge tættere på terrænet, men vandløbets kanaliserede forløb bevares. Der skal ved hævning tages hensyn til forhold mellem det naturlige vandløbs bredde og dybde (bl.a. bestemt af det geologiske udgangsmateriale), således at hævningsen ikke resulterer i overbrede vandløb med lav vanddybde. Det forudsættes, at der ved hævning anvendes groft materiale (sten og grus) og at der ved implementeringen tages udgangspunkt i den naturlige substratsammensætning for det pågældende vandløb (Kristensen et al., 2011; Nielsen & Sivebæk, 2017). Metoden har hidtil haft meget begrænset anvendelse, da den kræver en meget stor fysisk indsats kombineret med en lang vandløbsstrækning.

2.9.1 Planter, smådyr, fisk og benthiske alger

Ved dette virkemiddel skabes der bedre forbindelse mellem vandløbet og dets omgivelser, hvilket vurderes positivt i forhold til målopfyldelse for alle fire kvalitetselementer. Denne vurdering begrundes med, at der i et dybt nedskåret vandløb ofte er ringe habitatforhold i overgangszonen mellem land og vand samt ofte dårlige lysforhold for planterne. Gennem en hævning forbedres forholdene – særligt for de benthiske alger og planterne – og med afledte effekter på smådyr og fisk. Desuden forbedres mulighederne for at vandløbet går over sine bredder, hvilket medfører at refugiehabitater på de vandløbsnære arealer gøres tilgængelige for fisk og smådyr. Derudover vurderes det, at hævning af bunden med groft substrat kan have positive effekter på habitatheterogeniteten i vandløbet og gydeforholdene for fisk og dermed positive effekter for dette kvalitetselement. Det har ikke været muligt at finde dokumenterede danske eller udenlandske studier af effekten af virkemidlet, formentlig på grund af den meget krævende metode.

2.9.2 Samlet vurdering

Der kan opnås positive effekter for alle fire kvalitetselementer under forudsætning af, at virkemidlet anvendes korrekt. Det bør dog anvendes i kombination med smårestaureringer. Der kan ikke forventes samme effekt som når udlægning af materiale kombineres med genslyngning. Genslyngningen åbner en række habitater op ved at tværsnitsprofilen ændres når der udlægges høller og stryg. Denne variation opnås ikke hvis vandløbsbunden blot hæves. Effekterne af dette virkemiddel vil derfor ikke være så markante som ved genslyngning.

	Planter	Smådyr	Fisk	Bentiske alger
Effekt	++	++	++	+

Forudsætninger og undtagelser

Vandløbstyper hvor virkemidlet kan anvendes	Påvirkninger som virkemidlet er målrettet	Vandløb hvor virkemidlet er uegnet	Behov for samtidig anvendelse af andre virkemidler
Type 1, 2 og 3	Dårlige fysiske forhold og ringe forbindelse mellem vandløbet og dets omgivelser.		En evt. kraftig belastning med spildevand bør også reduceres/stoppes, hvis denne begrænser målopfyldelsen. En evt. unaturlig høj sedimenttransport bør samtidig begrænses, hvis denne begrænser målopfyldelsen. En evt. intensiv vandløbsvedligeholdelse bør ikke opretholdes eller indføres efter implementering, hvis denne begrænser målopfyldelsen. Fysiske spærringer i vandløbet bør samtidigt fjernes, hvis disse begrænser målopfyldelsen. En evt. unaturlig høj koncentration af næringsstoffer bør samtidig begrænses, hvis denne begrænser målopfyldelsen (særligt ift. bentiske alger).

2.10 Åbning af rørlagte strækninger med efterfølgende hævnning af bunden og/eller genslyngning

Dette virkemiddel indebærer en åbning af rørlagte vandløbsstrækninger og efterfølgende genslyngning eller hævnning af vandløbet (inkl. smårestaureringer). Genslyngning anvendes de steder, hvor det efter åbning vurderes muligt eller nødvendigt for at afvikle faldet optimalt i forhold til habitatkvaliteten. På strækninger med arealanvendelsesmæssige restriktioner (manglende plads til genslyngning) kan der i stedet efter åbning udføres hævnning af vandløbet sammen med smårestaureringer (evt. udlægning af groft materiale).

2.10.1 Planter og smådyr

Planter og smådyr vil respondere positivt på åbning af rørlagte strækninger alene, da et godt rørmiljø erstattes af et lysåbent vandløbsmiljø. Det vurderes

derudover, at åbning med efterfølgende genslyngning eller hævning i kombination med smårestaurationer kan have de samme positive effekter som beskrevet under "2.5 Genslyngning" og "2.9 Hævning af vandløbsbund". Det bør tilstræbes, at det nye vandløb har samme faldforhold og fysisk forløb som det oprindelige naturlige vandløb.

2.10.2 Fisk

Mange fisk kan ikke passere opstrøms gennem rørlagte strækninger, hvis vandhastigheden er over ca. $\frac{1}{2}$ m/s (Faunapassageudvalget, 2004). En for stor vandhastighed, for lav vandstand og rørstyrt ved udløbet af, eller i selve røret, kan ligeledes betyde, at fisk ikke kan passere opstrøms. Desuden vil nogle arter, som f.eks. snæbel og helt, slet ikke svømme igennem rørlagte, mørke strækninger. Åbning af rørlagte strækninger vil derfor generelt have positive effekter på fiskene (Erkinaro et al., 2017). Når rørlagte vandløb genåbnes, kan muligheden for gode fiskebestande på og opstrøms strækningen genskabes. Her er det væsentligt, at vandløbets oprindelige form søges genskabt i så høj grad som muligt.

Hvis der nedstrøms en rørlagt strækning eksisterer en naturlig ørredbestand, vil der ofte relativt hurtigt etableres en god bestand på en genåbnet strækning, hvis der findes eller etableres varierede substratforhold og et naturligt fald. Det skete f.eks. i den lille Ibæk ved Vejle Fjord, hvor en impassabel rørlagt strækning blev ændret i 1992, og hvor der lige siden har været en stor naturlig produktion af ørredyngel fra gydning i bækken opstrøms rørlægningen (Nielsen, 1994a og upubl.). Der er gennemført mange åbninger af rørlagte vandløbsstrækninger, men der er desværre ikke publiceret ret mange undersøgelser til dokumentation af effekten.

2.10.3 Bentiske alger

De eventuelle positive påvirkninger i form af frilægning af strækningen med øget mængde fast substrat som de bentiske alger kan kolonisere, kan ikke umiddelbart måles i det danske indeks. Den primære effekt på samfundet vil være i forbindelse med ændringer i næringsbelastningen. Dog kan forandringer i det fysiske miljø godt slå igennem på algesamfundet, men disse effekter vil være sekundære i forhold til ændringer i vandkemien (Andersen et al., 2018).

2.10.4 Samlet vurdering

Der kan opnås positive effekter for alle fire kvalitetselementer under forudsætning af, at virkemidlet anvendes korrekt. Dette indebærer bl.a., at vandløbets naturlige fysiske variation efter åbning genskabes i så høj grad som muligt.

	Planter	Smådyr	Fisk	Bentiske alger
Effekt	+++	+++	+++	+

Forudsætninger og undtagelser

Vandløbstyper hvor virkemidlet kan anvendes	Påvirkninger som virkemidlet er målrettet	Vandløbstyper hvor virkemidlet er uegnet	Behov for samtidig anvendelse af andre virkemidler
Type 1 og 2	Rørlagte vandløb med dårlige fysiske forhold. Spærringseffekter af rørlagte strækninger.	Vil have .begrænset anvendelse i type 3 – da der findes ganske få eller ingen store rørlagte vandløb,	Bør kombineres med små-restaureringer efter endt åbning. En evt. kraftig belastning med spildevand bør også reduceres/stoppes, hvis denne begrænser målopfyldelsen. En evt. unaturlig høj sedimenttransport bør samtidig begrænses, hvis denne begrænser målopfyldelsen. En evt. intensiv vandløbsvedligeholdelse bør ikke indføres efter implementering hvis denne begrænser målopfyldelsen. Fysiske spærringer i vandløbet bør samtidigt fjernes, hvis disse begrænser målopfyldelsen. En evt. unaturlig høj koncentration af næringsstoffer bør samtidig begrænses, hvis denne begrænser målopfyldelsen (særligt ift. bentiske alger).

2.11 Åbning af rørlagte strækninger uden efterfølgende hævning eller genslyngning men med smårestaureringer

Dette virkemiddel indebærer en åbning af rørlagte vandløbsstrækninger og efterfølgende smårestaureringer (udlægning af groft materiale) i det åbne vandløb, men uden hævning af vandløbet. Det oprindelige bundniveau i det rørlagte vandløb bevares dermed.

2.11.1 Planter

Planter vil respondere positivt på åbning af rørlagte strækninger alene, da et godt rørmiljø erstattes af et mere lysåbent vandløbsmiljø. Dog vurderes det, at en bevarelse af det oprindelige niveau for vandløbsbunden ikke nødvendigvis vil skabe optimale levevilkår for vandløbets planter. Dette er særligt i vandløb, hvor vandløbet efter åbning kommer til at ligge dybt nedskåret i terræn, og lysforholdene for vandplanterne og habitatforholdene for amfibiske plantearter i overgangszonen mellem land og vand derved ikke forbedres. Derudover vil en evt. kraftig brinkvegetation kunne reducere lystilgængeligheden for vandplanter i vandløbet, hvis et dybt nedgravet forløb med relativt stejle brinker etableres efter åbning.

2.11.2 Smådyr

Åbning med efterfølgende smårestaureringer vil kunne øge habitatheterogeniteten og dermed forbedre forholdene for vandløbets smådyr (se yderligere under "2.7 Udlægning af groft materiale"). Det vurderes dog, at der uden efterfølgende hævnning eller genslyngning ikke opnås helt samme positive effekter på smådyrene. Dette begrundes i, at forholdene for vandløbets planter ikke nødvendigvis forbedres markant udelukkende ved åbning. Derved opnås ikke de positive effekter på smådyrene som planterne har.

2.11.3 Fisk

Åbning af rørlagte strækninger vil generelt have positive effekter på fiskene (se ovenfor), dog forventes de mest positive effekter hvis vandløbets naturlige form og faldforhold genskabes. Ved en simpel åbning af rørlagte strækninger er dette ikke en selvfølge, og de positive effekter vurderes derfor lavere end ved åbning i kombination med hævnning eller genslyngning. Der kan dog forventes positive effekter på fiskene opstrøms den genåbnede strækning, forudsat at fiskene kan passere strækningen.

2.11.4 Bentiske alger

De eventuelle positive påvirkninger i form af frilægning af strækningen og dermed øget fast substrat som bentiske alger kan kolonisere, kan ikke umiddelbart måles det danske indeks. Den primære effekt på samfundet vil være i forbindelse med ændringer i næringsbelastningen. Dog kan forandringer i det fysiske miljø godt slå igennem på algesamfundet, men disse effekter vil være sekundære i forhold til ændringer i vandkemien (Andersen et al., 2018).

2.11.5 Samlet vurdering

Der kan opnås positive effekter for alle fire kvalitetselementer under forudsætning af, at virkemidlet anvendes korrekt. De positive effekter på planter, fisk og bentiske alger vurderes dog som værende begrænsede.

	Planter	Smådyr	Fisk	Bentiske alger
Effekt	(+)	++	++	+

Forudsætninger og undtagelser

Vandløbstyper hvor virkemidlet kan anvendes	Påvirkninger som virkemidlet er målrettet	Vandløb hvor virkemidlet er uegnet	Behov for samtidig anvendelse af andre virkemidler
Type 1 og 2	Rørlagte vandløb med dårlige fysiske forhold. Spærringseffekter af rørlagte strækninger.	Vil have begrænset anvendelse i type 3 – da der findes ganske få eller ingen store rørlagte vandløb,	En evt. kraftig belastning med spildevand bør også reduceres/stoppes, hvis denne begrænser målopfyldelsen. En evt. unaturlig høj sedimenttransport bør samtidig begrænses, hvis denne begrænser målopfyldelsen. En evt. intensiv vandløbsvedligeholdelse bør ikke indføres efter implementering, hvis denne begrænser målopfyldelsen. Fysiske spærringer, såvel opstrøms som nedstrøms, i vandløbet bør samtidigt fjernes, hvis disse begrænser målopfyldelsen. En evt. unaturlig høj koncentration af næringsstoffer bør samtidig begrænses, hvis denne begrænser målopfyldelsen (særligt ift. bentiske alger).

2.12 Åbning af rørlagte strækninger med efterfølgende etablering af miniådale med genslyngning.

Dette virkemiddel indebærer en åbning af rørlagte vandløbsstrækninger og efterfølgende etablering af miniådal med genslyngning. Virkemidlet er helt sidestillet med ”2.14 Etablering af miniådale med genslyngning”, og der henvises til denne vurdering (se nedenfor).

2.13 Fjernelse af fysiske spærringer

Ved fjernelse af fysiske spærringer forstås enten en fuldstændig fjernelse af en spærring eller opstemning, hvorved vandløbets naturlige faldforhold genskabes, og der samtidig sikres mulighed for fri og uhindret passage i både op- og nedstrøms retning for især fisk og smådyr.

2.13.1 Planter og smådyr

Det vurderes, at fjernelse af spærringer kan have positive effekter på smådyr, da nogle af disse (f.eks. ferskvandstangloppen) ikke kan flyve og derfor er afhængige af fri passage.

Der kan især opnås positive effekter, hvis fjernelsen af spærringen/opstemningen også involverer en fuldstændig fjernelse af opstuvningszonen eller

f.eks. en sø opstrøms spærringen. Derved genskabes det naturlige fald og de naturlige vandløbshabitater til gavn for smådyr, og evt. fisk (Birnie-Gauvin et al., 2017a) og negative konsekvenser af forhøjet temperatur eller belastning med organisk stof nedstrøms søen kan elimineres (Lessard & Hayes, 2003). Disse forhold vurderes også at være gældende for planter, dog kun i mindre grad, da planterne ikke er afhængige af fri passage, men kan være negativt påvirket af de ændrede temperaturforhold nedstrøms en opstemning. Omvendt kan de også påvirkes positivt, hvis de naturlige vandløbshabitater opstrøms spærringen genskabes. Ydermere kan der være positive effekter af at genoprette det naturlige hydrologiske regime, når spærringen fjernes. På denne måde åbnes der nye habitater for både planter og smådyr.

DTU AQUA deltager i et EU finansieret projekt (AMBER - <https://amber.international/>), som blandt andet arbejder med at indsamle systematiske effektvurderinger, når spærringer fjernes i danske vandløb. Projektet samler data fra forskellige europæiske case studies. Dermed opnås et solidt fundament for vurderingerne af effekterne på fiskesamfundene ved fjernelse af forskellige typer af spærringer i vandløb. Der foreligger ikke resultater fra projektet endnu, men se Birnie-Gauvin (2019) for mere information om betydningen af spærringer for ferskvandsfisk. Når projektet er afsluttet, skulle det gerne resultere i udviklingen af værktøjer og modeller, der kan hjælpe vandløbsmyndighederne med at identificere de økologisk vigtigste spærringer i vandløbene. Således vil projektets resultater hjælpe myndigheden med at træffe de miljømæssigt mest optimale beslutninger omkring prioriteringer i forhold til fjernelse af spærringer for at maksimere den økologiske effekt.

2.13.2 Fisk

Spærringer er ofte årsag til, at fiskene ikke kan vandre frit i vandløbssystemerne. Tidligere mente man, at man kunne skabe fiskepassage ved at bygge fisketrapper ved bevarede opstemninger, senere også omløbsstryg. Men der var stadig mange miljøproblemer forbundet med opstemningerne. Dette gælder også, hvis man bevarer opstuvningen, og tager vand ind til dambrug m.m. på "glat strøm", hvor der er bygget stejle stenstryg i stedet for en opstemning. Dette skyldes bl.a. bortledning af vand fra vandløbet, og at mange af fiskenes bedste gyde- og opvækstområder på strygene er forsvundet i den del af vandløbet, der er påvirket af den hævede vandstand. Etablering af omløb ved en bevaret opstemning eller opstuvning vil således ikke genskabe de oprindelige stryg, og der vil ofte være et betydeligt tab af habitatkvalitet for vandrefisk.

En række undersøgelser (Faunapassageudvalget, 2004; Nielsen et al., 2010) viser, at mange opstrøms vandrende fisk ikke kan finde forbi opstemninger, samt at der i gennemsnit forsvinder ca. 30 % af smoltene ved hver mølleopstemning. Samtidig er tabet af smolt i gennemsnit 82 % ved vandkraftværker og tabet af smolt ved traditionelle dambrug med stort vandindtag og dårlig afgitring i gennemsnit 42 %. I modsætning er der eksempler på, at ørred-smolt passerer frit forbi et ombygget dambrug uden vandindtag fra åen, hvor åen er genskabt med fuld vandføring og uden opstemning.

I forhold til fisk er det et centralt og afgørende virkemiddel at fjerne spærringerne, specielt de steder, hvor en stor del af vandsystemets vandløb ligger opstrøms spærringen. Eksempler på værdien af at skabe fri passage er fra Grejs å ved Vejle og Vr. Nebel Å ved Kolding (Frandsen, 1998; Olsen, 2009). Her blev bestandene af ørredyngel fra gydning hurtigt 5-10-doblet på en række undersøgte lokaliteter i vandløbene opstrøms de tidligere spærringer,

da spærringerne blev fjernet og bortledning af vand til vandkraft opgivet. Hvis spærringerne fjernes, resulterer det ofte i, at der kommer flere arter og større tætheder af fisk opstrøms (Birnie-Gauvin et al., 2018). Det gælder bl.a. forskellige arter af laksefisk, finnestribet ferskvandsulk, grundling, elritse og vores tre arter af lampretter, der gyder på strygene lige som laksefiskene. Det anbefales derfor, at man så vidt muligt genskaber det oprindelige/naturlige fald og de mest naturlige forhold i vandløbet, når en spærring fjernes (Nielsen et al., 2010; Nielsen & Sivebæk, 2013, 2017).

Hvis faldet og den strækning, der før var påvirket af stuvning, genskabes i sin oprindelige/naturlige form, opnås også nye gode fiskehabitater her. Et godt eksempel er fra Gudenåen omkring Vilholt, hvor Naturstyrelsen fjernede en opstemning i 2008 og genskabte fri passage for de sø-ørreder, der trak op fra Mossø. Hidtil har der i alle 10 år efter fjernelsen af opstemningen været en meget stor tæthed af naturligt produceret ørredyngel fra gydning i den tidligere opstuvningszone ved Voervadsbro. Ved årlige undersøgelser er der fundet 4-15 ørreder pr. m vandløb, dvs. høj økologisk tilstand i forhold til ørredindekset DFFVø i et område, hvor der stort set ikke tidligere var ørreder (Nielsen, 2012; Birnie-Gauvin et al., 2017b; Ravn et al., 2018). Desuden er tætheden af ørredyngel flerdoblet nedstrøms den tidligere opstemning, hvor der de sidste otte år også altid har været høj økologisk tilstand i forhold til ørredindekset (Ravn et al., 2018).

2.13.3 Bentske alger

De eventuelle positive påvirkninger i form af fjernelse af spærringen har ikke umiddelbart nogen effekt i forhold til de bentske alger. Erstatte spærringen af et stryg med groft substrat vil der være en mulig positiv effekt, da mængde af stabilt substrat øges. Den primære effekt på samfundet vil være i forbindelse med ændringer i næringsbelastningen. Dog kan forandringer i det fysiske miljø godt slå igennem på algesamfundet, men disse effekter vil være sekundære i forhold til ændringer i vandkemi (Andersen et al., 2018).

2.13.4 Samlet vurdering

Der kan opnås positive effekter for alle fire kvalitetselementer under forudsætning af, at virkemidlet anvendes korrekt. Det anbefales, at spærringerne og opstuvningszonerne i videst mulige omfang fjernes helt, da dette giver de fleste og største positive effekter.

	Planter	Smådyr	Fisk	Bentske alger
Effekt	++	++	+++	(+)

Forudsætninger og undtagelser

Vandløbstyper hvor virkemidlet kan anvendes	Påvirkninger som virkemidlet er målrettet	Vandløb hvor virkemidlet er uegnet	Behov for samtidig anvendelse af andre virkemidler
Type 1, 2 og 3	Manglende eller dårlig faunapassage og hydrologisk kontinuitet.		En evt. unaturlig høj koncentration af næringsstoffer bør samtidig begrænses, hvis denne begrænser målopfyldelsen (særligt ift. bentske alger).

2.14 Etablering af miniådale med genslyngning

Etablering af miniådale indebærer, at de eksisterende stejle vandløbsbrinker afgraves, så der dannes flade brinker, der minder om en naturlig ådal. Vandløbet bevarer således sit eksisterende leje i bunden af miniådalen. I bunden af profilet løber vandløbet, som er i forbindelse med jordoverfladen i profilen. Virkemidlet udføres i kombination med en genslyngning af vandløbet i miniådalen samt evt. udlægning af groft materiale.

2.14.1 Planter

Der findes ingen videnskabelige undersøgelser af dette virkemiddel, men det vurderes, at der generelt kan forventes positive effekter på plantesamfundene gennem en øget lystilgængelighed ved bortgravning af høje brinker. Dette er dog betinget af, at der ikke sker en opvækst af høje urter eller stauder nær ved det ny-slyngede vandløb, som derved skygger for vandløbsvegetationen. Derudover vil der kunne forventes positive effekter på vandløbsplanterne ved at sikre bedre sammenhæng mellem land og vand, da arter tilknyttet denne overgangszone får bedre levevilkår (Pedersen et al., 2006).

2.14.2 Smådyr

En efterfølgende genslyngning af vandløbet i miniådalen vil medføre øget habitatheterogenitet og dermed bedre levevilkår for smådyr (se yderligere under "2.5 Genslyngning").

2.14.3 Fisk

Jo mere naturligt, vandløbet etableres i miniådalen, desto bedre naturlige fiskebestande vil man kunne forvente. Det vurderes derfor, at etablering af miniådale med efterfølgende genslyngning vil øget habitatheterogenitet og dermed bedre levevilkår for fisk (se yderligere under "2.5 Genslyngning").

2.14.4 Benthiske alger

De eventuelle positive påvirkninger i form af øget fast substrat som de benthiske alger kan kolonisere, kan ikke umiddelbart måles af det danske indeks. Den primære effekt på samfundet vil være i forbindelse med ændringer i næringsbelastningen. Dog kan forandringer i det fysiske miljø godt slå igennem på algesamfundet, men disse effekter vil være sekundære i forhold til ændringer i vandkemien (Andersen et al., 2018).

2.14.5 Samlet vurdering

Der kan opnås positive effekter for alle fire kvalitetselementer under forudsætning af, at virkemidlet anvendes korrekt. De positive effekter vurderes en anelse lavere end en egentlig genslyngning, da det er usikkert i hvor høj grad den vandløbsnære vegetation vil udvikle sig naturligt nede i profilet. Derudover vurderes det, at der kan blive behov for at vedligeholde profilet for at opretholde de vandføringsmæssige egenskaber – særligt hvis der sker kraftig opvækst af urter. Det skal bemærkes, at dette virkemiddel tidligere har været vurderet (Kristensen et al., 2011), og at yderligere oplysninger fremskaffet under arbejdet i Vandløbsforum har ændret vurderingen. Der er ikke sket yderligere ændringer i vurderingen siden 2014.

	Planter	Smådyr	Fisk	Bentiske alger
Effekt	++(+)	++	++	+

Forudsætninger og undtagelser

Vandløbstyper hvor virkemidlet kan anvendes	Påvirkninger som virkemidlet er målrettet	Vandløb hvor virkemidlet er uegnet	Behov for samtidig anvendelse af andre virkemidler
Type 1 og 2	Dårlige fysiske forhold i kanaliserede vandløb (sedimentforhold, bredde- og dybdeforhold, vandhastighed, unaturlig vandløbsmorfologi).	Store vandløb (type 3).	<p>En evt. kraftig belastning med spildevand bør også reduceres/stoppes, hvis denne begrænser målopfyldelsen.</p> <p>En evt. unaturlig høj sedimenttransport bør samtidig begrænses, hvis denne begrænser målopfyldelsen.</p> <p>En evt. intensiv vandløbsvedligeholdelse bør ikke opretholdes eller indføres efter implementering hvis denne begrænser målopfyldelsen.</p> <p>Fysiske spærringer i vandløbet bør samtidigt fjernes, hvis disse begrænser målopfyldelsen.</p> <p>En evt. unaturlig høj koncentration af næringsstoffer bør samtidig begrænses, hvis denne begrænser målopfyldelsen (særligt ift. bentiske alger).</p>

2.15 Etablering af dobbeltprofil

Etablering af et dobbeltprofil indebærer, at de eksisterende stejle vandløbsbrinker ved kanaliserede vandløb afgraves, så der dannes flade brinker. Vandløbet bevarer således sit eksisterende leje i bunden af det nye profil og det kanaliserede forløb bevares. I princippet udgøres et dobbeltprofil af et bredt øvre profil samt et smallere nedre profil. Vandføringen ved minimums- og middelsituationer foregår således i det nedre profil, mens det øvre profil har til formål at føre vandet ved store afstrømninger. Ved etablering af dobbeltprofil i eksisterende vandløb, vil det nedre trapez bestå af den nederste del af vandløbets nuværende vandløbsprofil der bevares uden uddybning, mens det øverste trapez etableres ved afgravning til en given kote langs vandløbets sider. Afgravningen kan gennemføres ensidigt eller dobbeltsidigt afhængigt af terræn- og pladsforhold.

Etablering af dobbeltprofiler kan gennemføres ud fra mange variationer. Et eksempel er, hvor der etableres et dobbeltsidigt dobbeltprofil med vandrette banketter. Normalt etableres banketterne dog med et vist fald mod det nedre profil, således at vandet mere naturligt kan trække sig tilbage fra banketterne ved faldende vandføring.

Der er i vurderingen lagt til grund, at evt. drænrør udmunder i det nedre profil, samt at der ikke foretages smårestaureringer i vandløbet (f.eks. udlæg af materiale).

Dobbeltprofiler anlægges ofte, hvor der er behov for en differentieret vandafledning. Det har vist sig, at en del dobbeltprofiler med tiden forsvinder grundet opvækst af planter og sammenskrivning af brinker. Dette gør, at man nogle steder oprenser en del af profilet, hvilket kompromitterer de biologiske effekter.

2.15.1 Planter

Det vurderes, at der generelt kan forventes positive effekter på plantesamfundene i vandløbet gennem en øget lystilgængelighed ved bortgravning af høje brinker. Dette er dog betinget af, at der ikke sker en opvækst af høje urter eller stauder nær ved det nedre profil, som derved skygger for vandløbsvegetationen. Derudover vil der kunne forventes positive effekter på vandløbsfloraen ved at sikre bedre sammenhæng mellem land og vand, da arter tilknyttet denne overgangszone får bedre levevilkår (Pedersen et al., 2006). Som udgangspunkt medfører dette virkemiddel ikke nogen umiddelbar ændring i de fysiske forhold i selve vandløbet, men over tid kan bl.a. vandløbsplanterne medvirke til, at der udvikles et mere varieret forløb med et større habitatudbud. Hvor hurtigt denne proces sker, afhænger bl.a. af vandløbet energi (bestemt af vandføring og fald) samt vedligeholdelsen af brinkerne.

2.15.2 Smådyr

Gennem bortgravning af stejle brinker ved kanaliserede vandløb forbedres forholdene særligt for planterne, men det vurderes, at der kan være afledte positive effekter på smådyr. En højere lystilgængelighed og dermed potentielt bedre levevilkår for de ægte vandplanter vil kunne medføre flere levesteder for smådyrene, samt over tid også et større udbud af habitater. Da der som udgangspunkt ikke tilføres groft materiale til vandløbet ved dette virkemiddel, vil evt. ændringer i substratsammensætningen, og derved øget habitatheterogenitet, kun ske langsomt. De positive effekter vurderes dog begrænsede, hvis dette virkemiddel står alene.

2.15.3 Fisk

Det vurderes, at de forbedrede lysforhold for vandplanterne ved etablering af dobbeltprofiler langs kanaliserede vandløb, kan have afledte positive effekter på fiskebestandene. Dette begrundes med at en øget mængde vandplanter kan give flere skjul, flere gydemuligheder (dog ikke for lithofile arter) og evt. et større fødeudbud (flere smådyr) for fiskene. De positive effekter vurderes dog begrænsede, hvis dette virkemiddel står alene, da eksempelvis gydeforholdene for laksefisk ikke umiddelbart forbedres.

2.15.4 Benthiske alger

De eventuelle positive påvirkninger i form af en marginalt øget tilgængelighed af lys kan ikke umiddelbart måles det danske indeks. Den primære effekt på samfundet vil være i forbindelse med ændringer i næringsbelastningen. Dog kan forandringer i det fysiske miljø godt slå igennem på algesamfundet, men disse effekter vil være sekundære i forhold til ændringer i vandkemi (Andersen et al., 2018).

2.15.5 Samlet vurdering

Der kan opnås positive effekter for alle fire kvalitetselementer under forudsætning af, at virkemidlet anvendes korrekt. De positive effekter vurderes lavere end det foregående virkemiddel (2.14 "Etablering af miniådale"), da der ikke sker nogle umiddelbare ændringer i de fysiske forhold i selve vandløbet. Virkemidlet kan derfor med fordel kombineres med smårestaureringer (evt. udlæg af materiale). Derudover er det usikkert, i hvor høj grad den vandløbsnære vegetation vil udvikle sig naturligt nede i dobbeltprofilet. Endelig vurderes det, at der kan blive behov for at vedligeholde dobbeltprofilet for at opretholde de vandføringsmæssige egenskaber – særligt hvis der sker kraftig opvækst af urter.

	Planter	Smådyr	Fisk	Bentiske alger
Effekt	+	(+)	(+)	(+)

Forudsætninger og undtagelser

Vandløbstyper hvor virkemidlet kan anvendes	Påvirkninger som virkemidlet er målrettet	Vandløb hvor virkemidlet er uegnet	Behov for samtidig anvendelse af andre virkemidler
Type 1 og 2	Dårlige lysforhold for vandplanter i kanaliserede vandløb.	Store vandløb (type 3).	Bør kombineres med smårestaureringer efter endt etablering. En evt. kraftig belastning med spildevand bør også reduceres/stoppes, hvis denne begrænser målopfyldelsen. En evt. unaturlig høj sedimenttransport bør samtidig begrænses, hvis denne begrænser målopfyldelsen. En evt. intensiv vandløbsvedligeholdelse bør ikke opretholdes eller indføres efter implementering hvis denne begrænser målopfyldelsen. Fysiske spærringer i vandløbet bør samtidigt fjernes, hvis disse begrænser målopfyldelsen. En evt. unaturlig høj koncentration af næringsstoffer bør samtidig begrænses, hvis denne begrænser målopfyldelsen (særligt ift. bentiske alger).

2.16 Etablering af træer langs vandløb

Virkemidlet indebærer beplantning med hjemmehørende træarter i umiddelbar nærhed af vandløbet. Beplantningen kan enten foretages på den ene eller på begge sider af vandløbet, og der kan med fordel efterlades områder uden tæt beplantning til gavn for lysmængden og dermed vandplanterne i vandløbet. Trævækst langs vandløb kan også ske uden aktiv beplantning gennem naturlig etablering og opvækst af træer. Der foreligger en del ældre litteratur omkring etablering af træer langs vandløb. Madsen (2013) giver en udmærket

oversigt over den eksisterende viden på området. Det meste nationale og internationale arbejde ligger over 40 år tilbage, hvor der foreligger ganske få anbefalinger omkring etablering af træer langs vandløb. Dog er den vigtigste, at der maksimalt tilplantes 70% af en strækning, således at der kan komme lys til vandløbet og dermed opretholdes en vis plantevækst.

2.16.1 Planter og bentiske alger

Etablering af træer langs vandløb vil på længere sigt reducere tilgængeligheden af lys for vandplanterne og bentiske alger, og dermed nedsætte væksten, og således være negativt for plante- og algesamfundene. Hvis etableringen af træer udføres, så der ikke opnås en fuldstændig skygning af vandløbet, kan der dog forventes nogle positive effekter, der kan modvirke den nedsatte lystilgængelighed. Etablering af træer langs vandløb medfører, at de fysiske forhold i vandløbet kan forbedres (se nedenfor), og dette giver mulighed for et mere varieret plantesamfund (Baattrup-Pedersen, 2000) og muligvis også algesamfund. Derudover vurderes det, at den ændrede lystilgængelighed i vandløb, hvor der sikres indskudte åbne partier, vil medføre et anderledes plantesamfund (bl.a. med øget forekomst af mosser), og dermed et mindre behov for grødeskæring, hvilket kan have positive effekter på alle fire kvalitetselementer. Uden en næringsreduktion vil det dog formentlig være vanskeligt at se en ændring i algesamfundet.

2.16.2 Smådyr

I vandløb der ikke er dybt nedgravede, vurderes det, at træplantning kan medføre positive effekter på smådyrssamfundene gennem forbedringer af de fysiske forhold. Dette kan ske gennem forskellige mekanismer. Det er bl.a. vist, at træplantning alene kan skabe et mere naturligt vandløbsprofil, da træerne, deres rødder, nedfaldne grene og med tiden også stammer forøger dynamikken i vandets strømning og dermed forbedre de fysiske forhold (bl.a. substratforholdene; McBride et al., 2010). Denne øgede dynamik vil skabe flere levesteder for især smådyrene, samt øge vandløbets evne til at omsætte organisk stof, næringsstoffer og miljøfremmede stoffer (Sweeney et al., 2004). Desuden har træbeplantning en stor effekt på regulering af udsvingene i temperatur som følge af den skyggegivende effekt, hvilket er en nøgleegenskab set i lyset af klimaforandringerne, hvor mange hjemmehørende arter af smådyr i vandløb kan blive udsat for kritisk høje temperaturer i sommerhalvåret (Kristensen et al., 2013). Endelig vil træer langs vandløbet betyde tilførsel af blade og grene, som er fødegrundlag for mange smådyr.

Det skal derudover bemærkes, at træer er vigtige habitater for de voksne stadier af flere smådyrsarter, og at disse typisk lever i en bræmme på 20-30 meter langs vandløbene (Wiberg-Larsen & Nørum, 2009).

2.16.3 Fisk

Det er naturligt, at der vokser træer langs vandløbene, f.eks. elletræer og ask. Træerne giver skygge, hvilket er med til at begrænse grødevækst og holde vandtemperaturen nede. Elletræer har et godt rodnet, hindrer erosion og kan tåle at stå "med fødderne i vand". Rødderne holder på brinkerne og giver fiskeskjul, og bladene er en vigtig fødekilde for mange smådyr i vandløbet og dermed øges fødegrundlaget for fiskene (Nielsen & Sivebæk, 2017, se f.eks. også Moutka & Syrjanen, 2007). Siden første udgave af virkemiddelkataloget blev udgivet er der fremkommet ny viden om effekterne på fiskesamfundet,

hvilket har medført en opjustering af den forventede effekt. Nedfaldne grene, trærodde etc. skaber variation i vandløbet bund- og hastighedsforhold og giver gode levesteder for mange fisk, og kan måske også beskytte de større fisk mod prædation. Variationen i strømhastigheden blotlægger grusede partier i vandløbet, hvilket øger habitatheterogeniteten, der påvirker invertebratsamfundet positivt med højere diversitet og tæthed som resultatet. Dette giver øget fødegrundlag. Det kan især være en fordel at plante elletræer omkring gydestrygene eller skåne naturlig opvækst af elletræer ved strygene, så træerne sikrer brinkerne, skaber fiskeskjul og med deres skygge sikrer, at gydestrygene ikke gror til i vandplanter, som gør det svært for fiskene at gyde.

2.16.4 Samlet vurdering

Der kan særligt opnås positive effekter for smådyr og fisk, men hvis udført korrekt også for planterne og de bentiske alger. Det anbefales, at tillade naturlig opvækst af træer frem for aktiv beplantning da artssammensætningen, forskelle i størrelse på træerne og dermed lysforholdene, vil blive mest naturlig på denne måde.

	Planter	Smådyr	Fisk	Bentiske alger
Effekt	(+)	+++	+++	(+)

Forudsætninger og undtagelser

Vandløbstyper hvor virkemidlet kan anvendes	Påvirkninger som virkemidlet er målrettet	Vandløb hvor virkemidlet er uegnet	Behov for samtidig anvendelse af andre virkemidler
Type 1, 2 og 3	Dårlige fysiske forhold, herunder ensartede substratforhold, lille variation i bredde, dybde og vandhastigheder.	Skovvandløb. Vandløb hvor man ikke kan plante træerne korrekt i forhold til vandspejl og naturlig vandløbsbredde (typisk dybt nedskårne vandløb).	Bør ikke stå alene i kanaliserede vandløb der er dybt nedskåret i terræn men her kombineres med andre fysiske forbedringer. En evt. kraftig belastning med spildevand bør også reduceres/stoppes, hvis denne begrænser målopfyldelsen. En evt. unaturlig høj sedimenttransport bør samtidig begrænses, hvis denne begrænser målopfyldelsen. En evt. intensiv vandløbsvedligeholdelse bør ikke opretholdes eller indføres efter implementering hvis denne begrænser målopfyldelsen. Fysiske spærringer i vandløbet bør samtidigt fjernes, hvis disse begrænser målopfyldelsen. En evt. unaturlig høj koncentration af næringsstoffer bør samtidig begrænses, hvis denne begrænser målopfyldelsen (særligt ift. bentiske alger).

Der behøver ikke at være træer på begge sider eller langs hele vandløbsstrækningen, igen er variation med vekslende lys og skygge vigtigt. Således kan man overveje kun at beplante den sydlige brink da det dette vil sikre den største skyggedækning. Det anbefales, at træerne etableres i umiddelbar nærhed af vandløbet, og at der anvendes naturligt hjemmehørende arter. Virkemidlets positive effekter forudsætter, at planteved og blade ikke fjernes fra vandløbet.

2.17 Strømrendetilpasning

Virkemidlet indebærer, at vandløbets dimensioner udvides (vandløbet gøres bredere), så der både bliver plads til en grødefri strømrende, der er dimensioneret efter den forventede fremtidige afstrømning, samt miljøtiltag (evt. smårestaureringer eller ændret grødeskæring) uden for den grødefri strømrende. Derved opnås forbedret afvanding samtidigt med miljøtiltag i vandløbet.

2.17.1 Planter

Mange danske vandløb er gennem tiderne gravet dybere og bredere for at sikre afvanding. Dette har haft generelle negative konsekvenser for flora og fauna. Virkemiddelet harmonerer derfor ikke med den generelle vurdering, at forbedring i vandløbenes økologiske tilstand bedst opnås ved at genskabe dets naturlige profil og dimension (op i terræn og et naturligt vandløbsprofil med flade brinker). Det er en mulighed, at der indføres ændret grødeskæring efter strømrendetilpasning, men dette vurderes ikke at have nævneværdige positive effekter på plantesamfundene. Dette kan skyldes, at når profilet graves bredere, vil vandhastigheden og dybden nedsættes, og plantesamfundene må forventes at tilpasse sig disse nye forhold. Ydermere vil der højst sandsynligt ske en forøget sedimentation inden i plantebedene pga. den nedsatte strømhastighed. Dette vil medføre et behov for regelmæssig oprensning, hvis vandføringsevnen skal opretholdes, hvilket ikke er positivt for planterne.

Der findes ingen dokumenterede effekter af dette virkemiddel i forhold til planter, men det vurderes, at dette virkemiddel ikke vil forbedre forholdene for planter i overgangszonen mellem vand og land, og dermed ikke vil være til gavn for plantesamfundene generelt.

2.17.2 Smådyr

En forøgelse af tværsnitsarealet af det område vandet kan løbe i medfører, at man nedsætter den gennemsnitlige strømhastighed og vanddybde. Netop variation i strømhastigheder og vanddybder er med til at skabe fysisk variation i vandløbet, og bl.a. de høje strømhastigheder er med til at friholde bunden for fint sediment. De høje strømhastigheder vil blive reduceret i "over brede" vandløb. Dette kan betyde, at der kan ske ophobning af sediment, og dermed skal der gennemføres opgravninger med jævne mellemrum (altså ikke blot grødeskæring), hvilket ikke er til gavn for smådyrene. Der findes ingen dokumenterede effekter af dette virkemiddel i forhold til smådyr, men det vurderes, at dette virkemiddel ikke vil forbedre forholdene for smådyrene.

2.17.3 Fisk

En udgravning, der resulterer i større vandløbsbredde, vil medføre en generel nedsættelse af vanddybden og strømhastigheden, hvilket vil have en negativt effekt for store individer af fisk. Det kan dog være positivt for mindre individer, hvis en udgravning til større bredde kombineres med udlægning af gydegrus m.m., så der genskabes naturlige stryg med passende variation i de fysiske forhold, en naturlig strømhastighed, lave vanddybder etc. Hvis et dybt vandløb gøres bredere, bør der således samtidig sikres et større brednært areal med lavt vand (< 20 cm), som kan have positiv effekt på overlevelsen af fiskeyngel (Nielsen & Sivebæk, 2017).

2.17.4 Bentiske alger

Effekterne af strømrendetilpasning forventes ikke at have nogen effekt på de bentiske algesamfund. Dog kan forandringer i det fysiske miljø godt slå igennem på algesamfundet, men disse effekter vil være sekundære i forhold til ændringer i vandkemien (Andersen et al., 2018).

2.17.5 Samlet vurdering

Dette virkemiddel vurderes generelt ikke at have positive effekter på planter, fythobenthos og smådyr, men mulige positive effekter på fiskehabitaterne.

	Planter	Smådyr	Fisk	Bentiske alger
Effekt	-	-	+	-

Forudsætninger og undtagelser

Vandløbstyper hvor virkemidlet kan anvendes	Påvirkninger som virkemidlet er målrettet	Vandløb hvor virkemidlet er uegnet	Behov for samtidig anvendelse af andre virkemidler
Type 1 og 2	Skabe plads til planter og dyr i vandløb med vigtige afvandrings-interesser.	Store vandløb (Type 3) da indgrebet vurderes for omfangsrigt i disse vandløb.	En evt. kraftig belastning med spildevand bør også reduceres/stoppes, hvis denne begrænser målopfyldelsen. En evt. unaturlig høj sedimenttransport bør samtidig begrænses, hvis denne begrænser målopfyldelsen. En evt. intensiv vandløbsvedligeholdelse bør ikke opretholdes eller indføres efter implementering hvis denne begrænser målopfyldelsen. Fysiske spærringer i vandløbet bør samtidigt fjernes, hvis disse begrænser målopfyldelsen. En evt. unaturlig høj koncentration af næringsstoffer bør samtidig begrænses, hvis denne begrænser målopfyldelsen (særligt ift. bentiske alger).

2.18 Uddybning af vandløb samt profilbearbejdning med efterfølgende restaureringsindsats

Her forstås, at vandløbet uddybes, samt at vandløbets profil gøres mere naturligt (mindre stejle brinker), før der foretages restaureringstiltag og/eller ændret grødeskæring. Dette sker mhp. at sænke vandstanden, så den ikke overstiger en bestemt vandspejlshøjde, der er fastsat i forhold til afvandingsinteresser. Derved kan der opnås forbedret afvanding og i begrænset omfang forbedret miljøtiltag i vandløbet.

2.18.1 Planter

Mange danske vandløb er gennem tiderne gravet dybere og bredere for at sikre afvanding, men med generelle negative konsekvenser for flora og fauna. Dette virkemiddel harmonerer derfor ikke med den generelle vurdering om, at forbedring i vandløbenes økologiske tilstand bedst opnås ved at genskabe dets naturlige profil og dimension (op i terræn og et naturligt vandløbsprofil med flade brinker). Der kan dog for plantesamfundene muligvis opnås nogle positive effekter af dette virkemiddel, hvis profilbearbejdningen medfører, at overgangszonen mellem land og vand samt lystilgængeligheden øges. Ved dybt nedskårne vandløb kræver dette dog megen plads for at gøre brinkens hældning tilstrækkelig lille, og indgrebet får derved karakter af en miniadal.

Derudover er det vigtigt at overveje, hvor i det nye profil evt. drænrør udmunder. Hvis de i det nye profil udmunder over vandoverfladen på de ændrede brinker, kan det medføre kraftig vækst af næringselskende urter og stauder, hvilket på længere sigt ikke er positivt for plantesamfundene i vandløbet. Endelig er der nogle usikkerheder omkring faldforholdene i det nye vandløb samt effekterne af selve indgrebet (se nedenfor under "Smådyr"), der kan have negative påvirkninger for planterne.

2.18.2 Smådyr

Et varieret smådyrssamfund i vandløb, og dermed højere sandsynlighed for målpopfyldelse), er bl.a. betinget af varierede fysiske forhold. De varierede fysiske forhold (forskellige dybder, strømhastigheder, substratyper, planter o.a.) er i særlig grad skabt af vandløbets fald. Det foreslåede virkemiddel vil med stor sandsynlighed påvirke faldforholdene i vandløbene, da det må formodes at skulle implementeres på relativt korte strækninger. Det vurderes derfor, at der vil ske en lokal nedsættelse af faldet og en evt. opstuvning af vandet. Dette skyldes bl.a., at vandløbet skal tilbage op til det oprindelige leje i terræn, når strækningen med det foreslåede indgreb slutter – alternativt skal strækningen afsluttet ved et faldbrud i vandløbet eller fortsættes helt til udløbet. Et nedsat vandspejlsfald og dermed nedsat strømhastighed vil ikke være positivt for smådyrssamfundene.

Det foreslåede virkemiddel kræver en bortgravning af hele vandløbsbunden i hele vandløbets bredde og dermed en nulstilling af de biologiske samfund. Genindvandringen af organismer skal derefter primært ske fra opstrømsliggende vandløbsstrækninger. Det formodes, at dette virkemiddel primært kan komme i brug i små vandløb, og de begrænsede muligheder for genindvandring af organismer skal derfor overvejes (ligesom det er tilfældet for andre virkemidler, f.eks. "2.5 Genslyngning"). Der findes ingen dokumenterede effekter af dette virkemiddel på smådyrene, men metoden vurderes ikke at øge sandsynligheden for målpopfyldelse.

2.18.3 Fisk

Der findes ingen dokumenterede effekter af dette virkemiddel på fiskene, men hvis der sker en reduktion i faldet (som beskrevet ovenfor), og dermed af strømhastigheden, vurderes det ikke positivt for fiskene. Hvis der er meget vigtige afvandingsinteresser, kan man måske opnå et rimeligt resultat for fiskene ved at udgrave et bredt profil med flade brinker, hvor vandløbet kan mæandre indenfor og derved opnå en vis heterogenitet, men dermed får indgrebet karakter af en kunstig ådal.

2.18.4 Benthiske alger

Den øgede tilgængelighed af lys kan virke positivt på de benthiske alger, mens der mangler dokumentation for at de fysiske forandringer, vil slå igennem på indekseværdien. Forandringer i det fysiske miljø kan godt slå igennem på algesamfundet, men disse effekter vil være sekundære i forhold til ændringer i vandkemien (Andersen et al., 2018).

2.18.5 Samlet vurdering

Vurderes generelt ikke at have positive effekter på smådyr og fisk, men mulige positive effekter på planter og benthiske alger grundet den øgede lystilgængelighed. Dog er de evt. positive effekter for planter betinget af at indgrebet udføres som en kunstig ådal.

	Planter	Smådyr	Fisk	Benthiske alger
Effekt	(+)	--	-	(+)

Forudsætninger og undtagelser

Vandløbstyper hvor virkemidlet kan anvendes	Påvirkninger som virkemidlet er målrettet	Vandløb hvor virkemidlet er uegnet	Behov for samtidig anvendelse af andre virkemidler
Type 1 og 2	Skabe plads til planter og dyr i vandløb med vigtige afvandingsinteresser.	Store vandløb (Type 3).	En evt. kraftig belastning med spildevand bør også reduceres/stoppes, hvis denne begrænser målopfyldelsen. En evt. unaturlig høj sedimenttransport bør samtidig begrænses, hvis denne begrænser målopfyldelsen. En evt. intensiv vandløbsvedligeholdelse bør ikke opretholdes eller indføres efter implementering hvis denne begrænser målopfyldelsen. Fysiske spærringer i vandløbet bør samtidigt fjernes, hvis disse begrænser målopfyldelsen. En evt. unaturlig høj koncentration af næringsstoffer bør samtidig begrænses, hvis denne begrænser målopfyldelsen (særligt ift. benthiske alger).

2.19 Sandfang

Virkemidlet indebærer, at sandtransporten eller sandtilførslen reduceres, f.eks. ved etablering af sandfang i vandløb eller sandfang ved udløb af dræn. Etableringen af sandfang skal ses som en sidste udvej for at mindske sedimenttransporten og skåne nedstrøms strækninger for unaturlig høj sedimenttilførsel.

2.19.1 Planter

Unaturlig høj tilførsel af fint sediment (silt og sand mv.) til vandløb kan være negativt for plantesamfundene. I nogle tilfælde kan mængden af lys blive reduceret, planternes blade og stængler kan tage skade som følge af øget slid og i ekstreme tilfælde kan planter blive tilsandet (Wood & Armitage, 1997). En reduktion af sandtilførsel og -transport vurderes derfor positivt for plantesamfundene.

2.19.2 Smådyr

Der er velkendt, at unaturlig høj tilførsel af sand til vandløb generelt er negativt for habitatheterogeniteten og dermed for den økologiske tilstand i forhold til smådyr (Wood & Armitage, 1997). Dette skyldes, at det tilførte sand kan lægge sig som en dyne over andre substrattyper og dermed forringe levevilkårene for de smådyr, der er tilknyttet groft substrat. Derudover kan en unaturlig høj tilførsel af sand medføre høj sandtransport i vandløbet. Vandløbsbunden, og dermed vigtige levesteder for smådyrene, er således konstant under forandring, hvilket påvirker smådyrene negativt. En reduktion i tilførsel til vandløbene og transport af sand i vandløbene er derfor vurderet som værende positivt for smådyrene.

2.19.3 Fisk

Sandfang er et velkendt og gennemprøvet virkemiddel, der kan gavne fiskebestandene i vandløb meget ved at mindske sandvandrings og dermed øge habitatheterogeniteten og forbedre gydevilkårene for laksefisk. Dette skyldes, at sand og andet fint materiale tilstopper/dækker gydebanker for laksefisk, og æggene kvæles, så der ikke kan opretholdes naturlige bestande (f.eks. Acornly & Sear, 1999). Sandfang i kombination med udlægning af groft materiale og stop for dræn kan være endog meget gavnligt for fiskebestanden (Henriksen & Nielsen, 2004; Just, 2007). Dog løser det ikke det grundlæggende problem, nemlig at der stadig tilføres sand. Hvis man kan etablere sandfang, der tilbageholder sandet tæt ved kilden, langt oppe i de mindre vandløb, kan effekten være ganske god. Hvis der samtidig udlægges groft substrat (gydegrus), kan man opnå en forbedring af bestanden af fisk.

Det skal nævnes, at der er bedst erfaringer med store sandfang, hvor strømhastigheden nedsættes væsentligt og hvor frekvensen af tømninger er reduceret væsentligt. Små sandfang virker ofte kun kortvarigt og slet ikke ved høje vandføringer. Dimensioneringen af sandfanget skal således tilpasses variationerne i vandføring og størrelsen på sedimenttransporten.

2.19.4 Bentske alger

De eventuelle positive påvirkninger i form af øget fast substrat som de bentske alger kan kolonisere, kan ikke umiddelbart måles i det danske indeks. Den primære effekt på samfundet vil være i forbindelse med ændringer i næringsbelastningen. Dog kan forandringer i det fysiske miljø godt slå igennem på

algesamfundet. Om disse effekter er sekundære i forhold til ændringer i vandkemien er usikkert. Ved dette virkemiddel kan etablering af sandfang bevirke at sliddet på de bentiske alger nedsættes, og dermed kan der opnås positive resultater (Andersen et al., 2018).

2.19.5 Samlet vurdering

Der kan opnås positive effekter for alle fire kvalitetselementer under forudsætning af, at virkemidlet anvendes korrekt. Som udgangspunkt bør unaturlig høj sedimenttransport begrænses så tæt ved kilden som overhovedet muligt.

	Planter	Smådyr	Fisk	Bentiske alger
Effekt	+	+++	+++	+

Forudsætninger og undtagelser

Vandløbstyper hvor virkemidlet kan anvendes	Påvirkninger som virkemidlet er målrettet	Vandløb hvor virkemidlet er uegnet	Behov for samtidig anvendelse af andre virkemidler
Type 1 og 2	Unaturlig høj sedimenttransport.	Store vandløb (Type 3).	Bør ikke stå alene i kanaliserede vandløb der er dybt nedskåret i terræn men her kombineres med andre fysiske forbedringer. En evt. kraftig belastning med spildevand bør også reduceres/stoppes, hvis denne begrænser målopfyldelsen. En evt. intensiv vandløbsvedligeholdelse bør ikke opretholdes eller indføres efter implementering hvis denne begrænser målopfyldelsen. Fysiske spærringer i vandløbet bør samtidigt fjernes, hvis disse begrænser målopfyldelsen. En evt. unaturlig høj koncentration af næringsstoffer bør samtidig begrænses, hvis denne begrænser målopfyldelsen (særligt ift. bentiske alger).

2.20 Restaurering af hele ådale

Dette virkemiddel indebærer en genskabelse af sammenhængen mellem vandløb og de vandløbsnære arealer gennem en restaurering af vandløbet og dets ådal. Dette virkemiddel indeholder mange delelementer og mange forskellige kombinationer, men som udgangspunkt foretages der en genslyngning af vandløbet samt en ekstensivering af landbrugsdriften og dræning i ådalen. Virkemidlet skal ses som uafhængig af jordbundstype, da virkemidlet alene vedrører genskabelse af den naturlige hydrologi i hele ådale og ikke kun i vandløbet.

2.20.1 Planter, smådyr, fisk og bentiske alger

De positive effekter af genslyngning (beskrevet i afsnit 2.5) er også gældende ved dette virkemiddel. Derudover er der yderligere positive effekter ved en ekstensivering af landbrugsdriften i ådalene. Hvis arealerne ned til vandløbet ikke dyrkes, vil der ikke være behov for grødeskæring eller oprensning, og vandløbet vil kunne komme op i terræn, mæandere naturligt, og sandvandringen kan formindskes betydeligt. Desuden kan problemerne med okkerbelastning mindskes, hvis vandstanden hæves eller drænele ikke munder direkte ud i vandløbene. Et eksempel på positive effekter ved en genskabelse af sammenhængen og dynamikken mellem land og vand er set ved et vådområdeprojekt i Omme Å (Vejle Kommune, 2011), hvor syv opstemninger er fjernet, og en række gydestryg nu har genskabt naturlige oversvømmelser i vandløbet og ådalen. Laksefiskene gyder på strygene, og det har medført en kraftig forbedring af fiskebestanden og smådyrslivet (Iversen, 2009; Jepsen, 2012).

Ved genskabelse af den naturlige hydrologi i ådale skal implementeringen dog nøje overvejes, så der ikke sker utilsigtede effekter nedstrøms i vandløbssystemerne. Der er tidligere set nedsat iltkoncentrationer nedstrøms oversvømmede enge (Frier et al., 2008) og det vurderes, at der kan ske en øget lækage af fosfor fra oversvømmet tidligere landbrugsjord.

De positive effekter kan være forbundet med, at vandløbet naturligt kan gå over sine bredder. Dette betyder, at hastigheden ved meget høje vandføringer nedsættes, når vandløbet oversvømmer ådalen. På denne måde reduceres den hydrauliske påvirkning af vandløbets habitater, og dermed skånes vandløbets organismer. Samtidig åbnes for en række habitater i overgangszonen mellem land og vand, som kan virke som refugier for smådyr.

2.20.2 Samlet vurdering

Der kan opnås positive effekter for alle fire kvalitetselementer under forudsætning af, at virkemidlet anvendes korrekt.

	Planter	Smådyr	Fisk	Bentiske alger
Effekt	+++	+++	+++	+

Forudsætninger og undtagelser

Vandløbstyper hvor virkemidlet kan anvendes	Påvirkninger som virkemidlet er målrettet	Vandløb hvor virkemidlet er uegnet	Behov for samtidig anvendelse af andre virkemidler
Type 1, 2 og 3	Dårlige fysiske forhold.		En evt. kraftig belastning med spildevand bør også reduceres/stoppes, hvis denne begrænser målopfyldelsen. En evt. intensiv vandløbsvedligeholdelse bør ikke opretholdes eller indføres efter implementering hvis denne begrænser målopfyldelsen. Fysiske spærringer i vandløbet bør samtidigt fjernes, hvis disse begrænser målopfyldelsen. En evt. unaturlig høj koncentration af næringsstoffer bør samtidig begrænses, hvis denne begrænser målopfyldelsen (særligt ift. bentiske alger).

2.21 Udplantning af vandplanter

Ved dette virkemiddel forstås udplantning af planter i vandløb på strækninger med mangelfuld plantedækning. Derved forbedres ikke kun plantesamfundene men også de fysiske forhold.

2.21.1 Planter

Undersøgelser har vist, at det er muligt at udplante vandplanter i vandløb, og at disse efterfølgende kan etablere sig (f.eks. Schultz & Riis, 2006). Et nyligt afsluttet projekt viser dog, at man skal være særdeles påpasselig med at vælge de rette habitater og de rette forhold at plante ud under (Johansen, 2019). Der mangler generelt viden om, hvad der karakteriserer naturlige plantesamfund, og hvilke faktorer der afgør, hvilke samfund der etablerer sig på en pågældende vandløbsstrækning – særligt den tidslige dynamik. Dette betyder, at vi ikke på det nuværende vidensgrundlag kan eftergøre naturlige plantesamfund ved at udplante arter. Derudover er der ved udplantning af enkelte arter risiko for, at arternes naturlige metadynamik forstyrres, og der skabes plantesamfund med en unaturlig sammensætning. Endelig kan udplantning af enkelte arter have konsekvenser for nedstrømsliggende strækninger gennem et kunstigt øget koloniseringspotentiale for disse arter. Det kan derfor ikke anbefales som et virkemiddel til at forbedre den økologiske tilstand i forhold til planter før der er gennemført yderligere undersøgelser. Sidstnævnte form for undersøgelser foregår i mindre omfang i øjeblikket.

2.21.2 Smådyr

Sammensætningen og dækningsgraden af planter i vandløbene har stor betydning for smådyrssamfundene (se under "Ændret grødeskæringspraksis"). Udplantning af enkelte arter vil kunne øge den fysiske kompleksitet og øge mængden af levesteder for smådyr og dermed potentielt forbedre tilstanden for smådyrene.

2.21.3 Fisk

Der kendes ingen systematiske, grundige undersøgelser af, hvilke planter, der er "bedst". Men erfaringsmæssigt ynder små ørreder f.eks. at opholde sig i og omkring bevoksninger af vandranunkel og smalbladet mærke, mens store ørreder ynder at opholde sig mellem og i læ/skjul af store bevoksninger af en lang række arter. Variation i vandplanternes artssammensætning vil medføre en større habitatvariation, hvilket vil gavne fiskefaunaen og individtætheden, hvis der er tale om et plantesamfund, der er naturligt for lokaliteten

2.21.4 Benthiske alger

De eventuelle positive påvirkninger i form af øget substrat som de benthiske alger kan kolonisere, kan ikke umiddelbart måles i det danske indeks. Den primære effekt på samfundet vil være i forbindelse med ændringer i næringsbelastningen. Dog kan forandringer i det fysiske miljø godt slå igennem på algesamfundet, men disse effekter vil være sekundære i forhold til ændringer i vandkemien (Andersen et al., 2018).

2.21.5 Samlet vurdering

Udplantning af vandplanter anbefales ikke umiddelbart som virkemiddel til forbedring af den økologiske tilstand i forhold til planter, da erfaringer med

udplantninger er få. Der kan dog opnås positive effekter for smådyr og fisk under forudsætning af, at virkemidlet anvendes korrekt. Det betyder bl.a., at der kun udplantes arter, der er naturligt hjemmehørende i vandsystemet. Hvis dette virkemiddel anvendes, skal det overvejes hvordan og hvornår, planterne anvendes til bedømmelse af den økologiske tilstand.

Resultaterne af de første systematiske udplantningsforsøg viser væsentlige vanskeligheder med en succesfuld rodfæstning af planterne. Metoden bør efterprøves på flere lokaliteter og der bør gøres flere erfaringer med udplantning. Den økologiske effekt på fisk, smådyr og bentiske alger er positiv, men slår ikke fuldt igennem grundet den manglende permanente etablering af planterne. Dette er afspejlet i vurderingen af effekterne hvor den både for fisk og smådyr er sat til (+) mod (++) i den første virkemiddelrapport fra 2014. Der vil når der er opnået flere erfaringer med udplantningsmetode kunne forventes en mere markant positiv effekt på fisk, smådyr og bentiske alger.

	Planter	Smådyr	Fisk	Bentiske alger
Effekt	-	+	+	+

Forudsætninger og undtagelser

Vandløbstyper hvor virkemidlet kan anvendes	Påvirkninger som virkemidlet er målrettet	Vandløb hvor virkemidlet er uegnet	Behov for samtidig anvendelse af andre virkemidler
Type 1, 2 og 3	Mangel på planter og den fysiske variation de skaber.	Vandløb med dårlige lysforhold.	Bør ikke stå alene i kanaliserede vandløb der er dybt nedskåret i terræn men her kombineres med andre fysiske forbedringer. En evt. kraftig belastning med spildevand bør også reduceres/stoppes, hvis denne begrænser målopfyldelsen. En evt. unaturlig høj sedimenttransport bør samtidig begrænses, hvis denne begrænser målopfyldelsen. En evt. unaturlig høj koncentration af næringsstoffer bør samtidig begrænses, hvis denne begrænser målopfyldelsen (særligt ift. bentiske alger). En evt. intensiv vandløbsvedligeholdelse bør ikke opretholdes eller indføres efter implementering hvis denne begrænser målopfyldelsen. Fysiske spærringer i vandløbet bør samtidigt fjernes, hvis disse begrænser målopfyldelsen.

2.22 Reducere den hydrauliske belastning

Ved dette virkemiddel forstås en reducere i den hydrauliske belastning (afløb af overfladevand) fra f.eks. bebyggede områder eller dræn. Derved reduceres de unaturlige udsving i vandføring, som denne belastning kan medføre.

2.22.1 Planter, smådyr og fisk

Unaturlige udsving i vandføring kan have både direkte og indirekte effekter på den økologiske tilstand i vandløb (Allan, 2004). Direkte effekter kan f.eks. være løsrivelse og nedstrøms transport af organismer og dermed øget dødelighed. De indirekte effekter inkluderer bl.a. øget sedimenttransport, øget oplømning af fine partikler og gentagen omlejring af vandløbsbunden. Dette giver ustabile habitatforhold og risiko for længerevarende ændringer i udbuddet af habitater. Der findes for nuværende en række metoder til vurdering af, om der sker en hydraulisk overbelastning i Danmark. Disse metoder baserer sig på en beregning af bundstabilitet (målt som stream power eller lign.). Koblingen til de biologiske forhold er dog ikke stærk i de benyttede metoder.

Det er vanskeligt, på det nuværende vidensgrundlag, at vurdere om de udsving i vandføring der forekommer, har direkte negative betydninger for den økologiske tilstand i vandløb. Udsving forekommer naturligt, og f.eks. er fiskene godt tilpasset sådanne forhold, hvis der er variation og skjul i vandløbene, hvor de kan stå i strømlæ. Omvendt kan en evt. øget transport af fint sediment, som følge af den hydrauliske belastning (enten gennem tilførsel eller erosion af bund og brinker), have negative effekter for både fisk, planter og smådyr.

Det bør bemærkes, at udrettede og nedgravede vandløb er mere følsomme over for ændringer i vandføringen. Dette skyldes, at de refugier som fisk og smådyr benytter sig af i disse situationer befinder sig i afsnørede mæanderbuer på de oversvømmede vandløbsnære arealer og i de beskyttede kanthabitater.

Schultz (1980) angiver, at de vigtigste kilder til sediment i danske vandløb er befæstede arealer, overfladisk afstrømning fra marker og jordveje, grøfter og vandløb efter uddybning af disse, erosion i selve vandløbet og vindtransport. En stor del af problemet med sandvandring opstår altså ved kraftige regnskyl på befæstede arealer og marker, der grænser op til vandløbet. Hvis dette vand opsamles i bassiner eller forsinkes i vandløbenes oplande, kan sandet sedimentere, inden vandet lukkes ud i vandløbet, og dermed er belastningen med sand mindsket.

Det vurderes derfor samlet, at en reduktion i den hydrauliske belastning kan have positive effekter på den økologiske tilstand, særligt hvis afledningen af overfladevand justeres så den afstrømningsmæssigt passer til vandløbet, og mængden af tilført fint materiale samtidigt reduceres. Dette kan typisk gøres ved brug af våde regnvandsbassiner, der både forsinker regnafstrømningen og tilbageholder sediment.

2.22.2 Benthiske alger

De eventuelle positive påvirkninger i form af mindre ustabil hydraulisk regime kan ikke umiddelbart måles i det danske indeks. Den primære effekt på samfundet vil være i forbindelse med ændringer i næringsbelastningen. Dog kan forandringer i det fysiske miljø godt slå igennem på algesamfundet, men disse effekter vil være sekundære i forhold til ændringer i vandkemien (Andersen et al., 2018).

2.22.3 Samlet vurdering

Der kan opnås positive effekter for alle fire kvalitetselementer under forudsætning af, at virkemidlet anvendes korrekt.

	Planter	Smådyr	Fisk	Bentiske alger
Effekt	+++	+++	++	+

Forudsætninger og undtagelser

Vandløbstyper hvor virkemidlet kan anvendes	Påvirkninger som virkemidlet er målrettet	Vandløb hvor virkemidlet er uegnet	Behov for samtidig anvendelse af andre virkemidler
Type 1, 2 og 3	Unaturlige udsving i vandføring som bl.a. medfører øget sedimenttransport og ustabil vandløbsbund.		<p>En evt. kraftig belastning med spildevand bør også reduceres/stoppes, hvis denne begrænser målopfyldelsen.</p> <p>En evt. intensiv vandløbsvedligeholdelse bør ikke opretholdes eller indføres efter implementering hvis denne begrænser målopfyldelsen.</p> <p>Fysiske spærringer i vandløbet bør samtidigt fjernes, hvis disse begrænser målopfyldelsen.</p> <p>En evt. unaturlig høj koncentration af næringsstoffer bør samtidig begrænses, hvis denne begrænser målopfyldelsen (særligt ift. bentiske alger).</p>

3 Virkemidler og klimatilpasning

Vandløbene indgår som en integreret del af afvandingssystemet, der leder vand fra åbent land og bebyggede områder til de marine recipienter. Dermed spiller vandløbene en nøglerolle i forhold til klimatilpasning både for byområder og landbrugsjord. I dette afsnit er der givet en vurdering af, hvorvidt det enkelte virkemiddel kan indgå som en del af en klimatilpasningsindsats. Dette betyder i praksis, at virkemidlet vurderes i forhold til ekstreme regnhændelser, samt udtørring i nedbørsfattige perioder og eventuelle temperaturpåvirkninger. I det omfang det er muligt vurderes det ligeledes hvilken effekt virkemidlet vil have på en eventuel tilbageholdelse eller frigivelse af klimagasser (drivhusgasser).

3.1 Ændret grødeskæringspraksis

En ændret grødeskæringspraksis, typiske forstået som en reduktion i intensitet og frekvens, vil påvirke vandstanden i vandløbet. Hvis grødeskæringspraksis ændres, vil det være om sommeren, at en eventuel effekt vil forekomme i forhold til klimatilpasning.

Grøden påvirker afstrømningen i vandløb ved at nedsætte Manningtallet i løbet af vækstsæsonen. Manningtallet angiver hvor ru en overflade er, og dermed hvor stor friktionen med det givne substrat er, hvor et lavt Manningtal angiver en høj modstand og omvendt. Det betyder, at der ved en given afstrømning vil være større modstand mod vandets strømning i et vandløb med grøde i forhold til ét uden grøde. Dette vil resultere i en stigning i vandstanden. Denne stigning er afhængig af biomassen og artssammensætningen af vandløbsplanterne.

Den forhøjede vandstand bevirker endvidere, at dræningen på de tilgrænsende arealer kan være reduceret. En ændring i grødeskæringspraksis vil således både påvirke vandstanden i vandløbet og afdræningen. Dette kan i særligt tørre somre være positivt, idet det kan betyde, at vandløbet ikke tørrer helt så hurtigt ud som et tilsvarende grødeskåret vandløb, og samtidig holdes der vand i dræningerne, som vil være tilgængeligt for markens planter.

I forbindelse med nedbørshændelser vil den forhøjede vandstand i et vandløb med ingen eller reduceret vedligeholdelse betyde, at der er risiko for at vandløbet går over sine bredder, og i en kortere periode oversvømmer de tilgrænsende marker, og reducerer dræningen af markerne. Dette bevirker dog, at nedstrøms strækninger ikke i første omgang modtager så stor en vandmængde, som hændelsen normalt ville medføre, og afstrømningsforløbet vil blive dæmpet (alt efter oversvømmelsens størrelse og omfang).

Risikoen for oversvømmelse vil være afhængig af, hvilke planter der er tilstede på strækningen. Alt efter planternes bøjelighed og vækstform vil påvirkningen af vandstanden påvirkes forskelligt. For en nærmere redegørelse for påvirkningen af vandstanden se Bach et al. (2016).

Den forøgede vandstand vil bidrage til at der kan tilbageholdes kvælstof når vandløbet oversvømmer de tilgrænsende arealer, hvilket resulterer i en reduktion i lattergasemissionen. Samtidig produceres der også drivhusgasser

ved denitrifikationsprocessen i de oversvømmede engarealer. Det er ikke muligt at komme med et præcist numerisk bud hvad effekten vil være på drivhusgasserne (Eriksen et al., 2014).

3.2 Ændret oprensingspraksis

Den præcise effekt af en reduktion i oprensningen vil afhænge af sedimentationsforholdene på strækningen. En mulig effekt er at bunden på vandløbet hæves i takt med at sediment aflejres. På sigt vil en vandløbsbund, der ligger højere kunne medføre øget oversvømmelsesfrekvens ved store nedbørshændelser. Effekten på klimagasemissionen regnes for at være ubetydelig.

3.3 Genslyngning

Ved en genslyngning genskabes vandløbets oprindelige mæandrerende forløb. Dette betyder, at faldet afvikles over en længere strækning, hvilket alt andet lige medfører en reduktion i vandløbets fald og en langsommere afvikling af afstrømningen. Dermed øges muligheden for at vandstanden stiger og vandløbet går over dets bredder. Da genslyngningen ofte også inkluderer en hævnning af bunden og udlægning af groft materiale, øges muligheden for at vandløbet yderligere går over sine bredder. Dette vil især være tilfældet ved store nedbørshændelser og kan bevidst udnyttes til at etablere vådområder i ådale, hvor man ønsker genskabelse af vandløb og periodevis oversvømmelser i ådalen.

Et genslynget vandløb vil kunne agere som buffer i forbindelse med høje afstrømninger, da vandet typisk vil strømme ud af profilet og oversvømme de omkringliggende arealer. Dette kan skåne nedstrømsliggende områder fra oversvømmelser, men vil selvfølgelig lokalt kunne medføre periodevis oversvømmelse og reduceret dræning på de tilgrænsende arealer.

I et genslynget vandløb vil muligheden for en permanent højere vandstand være tilstede grundet det reducerede fald, og dermed vil der være større mulighed for oversvømmelse også i vinterhalvåret. Den højere vandstand i vandløbet kan påvirke dræningen af de omkringliggende arealer, ikke kun i sommerhalvåret, men også i de mere nedbørsrige vintermåneder, hvor den lave fordampning bevirker en generelt højere afstrømning.

Et genslynget vandløb med en højere habitatheterogenitet vil også have en mere naturlig respons i forhold til temperaturændringer og iltforhold i vandløbet sammenlignet med det tilsvarende kanaliserede vandløb.

3.4 Genslyngning i kombination med afværgeforanstaltninger (diger og pumpelag)

Denne svarer til 3.3. Genslyngning, med den undtagelse at skulle vandløbet gå over sine bredder, vil oversvømmelsens udbredelse og dermed den mængde vand, der kan opmagasineres i ådalen, være afhængig af hvordan diger mv er konstrueret i ådalen. Der findes ganske lidt erfaring i forhold til dette virkemiddel. Effekten på klimagasemissionen regnes for at være ubetydelig.

3.5 Udlægning af groft materiale (smårestauretinger)

Udlægning af groft materiale kan medføre en forøgelse af ruheden i vandløbet, og dermed nedsættes strømhastigheden, hvilket i visse tilfælde kan føre til en stigning i vandstanden i vandløbet. Effekten af udlægningen på vandstanden er afhængig af mængden og typen af materialet der udlægges samt vandløbets hydrauliske forhold og faldforholdene på strækningen. I et vandløb med stort fald vil effekten være ganske beskeden. DTU Aquas vejledning i etablering af gydestryg i vandløb beskriver relativt simple metoder til at undgå uønskede stigninger i vandstanden ved udlægning af groft materiale (Nielsen & Sivebæk, 2017). Effekten på klimagasemissionen regnes for at være ubetydelig.

3.6 Udskiftning af bundmateriale

Virkemidlet vil ikke som udgangspunkt have en effekt i forhold til klimatilpasning. Ved udskiftning af bundmaterialet kan ruheden på bunden øges ved ilægning af groft materiale. Dette kan hæve vandstanden, men effekten må forventes at være marginal, så længe bundens niveau ikke ændres. Den præcise effekt afhænger af mængden og typen af det materiale der udlægges samt vandløbets hydrauliske forhold og faldforholdene på strækningen. I et vandløb med stort fald vil effekten være ganske beskeden. Effekten på klimagasemissionen regnes for at være ubetydelig.

3.7 Hævning af vandløbsbunden uden genslyngning

Ved hævnings af vandløbsbunden løftes profilet på hele strækningen. Dette vil ofte bevirke at vandstanden stiger, med mindre vandløbets bund tidligere er gravet langt under det naturlige niveau. Den præcise effekt afhænger af tværsnitsprofilens udseende og type af bundmateriale, der udlægges. Denne forhøjede vandstand bevirker endvidere, at dræningen på de tilgrænsende arealer kan være reduceret som følge af forhøjet vandstand. En hævnings af vandløbsbunden vil således både påvirke vandstanden i vandløb og afdræningen.

I forbindelse med store nedbørshændelser vil den forhøjede vandstand i vandløbet betyde, at der er risiko for at vandløbet går over sine bredder og i en kortere periode oversvømmer de tilgrænsende marker og reducerer dræningen af markerne. Dette bevirker dog, at nedstrøms strækninger ikke i første omgang modtager så stor en vandmængde som hændelsen normalt ville medføre, og afstrømningsforløbet vil blive dæmpet (alt efter oversvømmelsens størrelse og omfang).

Den forøgede vandstand til bidrage til at der kan tilbageholdelse små mængder af kvælstof når vandløbet oversvømmer de tilgrænsende arealer, hvilket resulterer i en reduktion i lattergasemissionen. Denne må dog regnes for at være ubetydelig (Eriksen et al., 2014).

3.8 Åbning af rørlagte strækninger med efterfølgende hævnings af bunden og/eller genslyngning.

Ved åbningen af et rørlagt vandløb fritlægges vandløbet, og dermed kommer det i kontakt med omgivelserne.

Effekterne af dette virkemiddel svarer til beskrevet under afsnit 3.3. og 3.7.

3.9 Åbning af rørlagte strækninger uden efterfølgende hævning eller genslyngning men med smårestauretinger

Ved åbningen af et rørlagt vandløb fritlægges vandløbet, og dermed kommer det i kontakt med omgivelserne.

Effekterne af dette virkemiddel svarer til dem beskrevet under afsnit 3.3. og 3.5.

3.10 Åbning af rørlagte strækninger med efterfølgende etablering af miniådale med genslyngning

Ved åbningen af et rørlagt vandløb fritlægges vandløbet, og dermed kommer det i kontakt med omgivelserne. Når vandløbet bringes i kontakt med ådalen bringes en række funktioner i spil, som gør vandløbet velegnet i klimatilpasningsammenhæng.

Vandløbet bliver i stand til at oversvømme ådalen, og som dermed kan virke som reservoir i forbindelser med nedbørshændelser og store vinterafstrømninger.

3.11 Fjernelse af fysiske spærringer

Fjernelse af en spærring bevirker at der re-etableres en forbindelse mellem strækningerne i et vandløbssystem (øget sammenhæng). Klimatilpasningseffekten ved at fjerne en spærring vil typisk være, at der kommer et mere naturligt hydrologisk regime i systemet, og dermed kan der naturligt ske oversvømmelser langs vandløbet. For at få det fulde udbytte af fjernelsen, bør det analyseres, om der er arealer, der i fremtiden kan komme til at blive oversvømmet, samt identificere den potentielle strækning. Desuden skal der identificeres strækninger, hvor der kan forekomme oversvømmelser med og uden problemer. Det er under alle omstændigheder vigtigt med en grundig hydrologisk analyse, når en dæmning/opstemning fjernes.

3.12 Etablering af miniådale med genslyngning

Se afsnit 3.10.

3.13 Etablering af dobbeltprofil

Dobbeltprofilet kan bruges i klimatilpasningsammenhæng, hvor det kan håndtere de lave afstrømninger om sommeren og de høje afstrømninger om vinteren. Dobbeltprofilet fungerer i andre sammenhænge som en klimatilpasning af et eksisterende vandløb. Effekten på klimagasemissionen regnes for at være ubetydelig.

3.14 Etablering af træer langs vandløb

Virkemidlet påvirker både plantevæksten på brinken og i selve vandløbet og det har den umiddelbare effekt at planterne i vandløbet og på brinken får dårligere vækstbetingelser. Dette gør at ruheden sænkes og vandløbet derfor kan transportere vandet mere effektivt også ved store afstrømninger. Desuden bevirker trævæksten at indstrålingen til vandløbet sænkes. Dette reducerer maksimumtemperaturen i vandløbet og sommeren og påvirker dermed vandløbets fauna positivt. Effekten på klimagasemissionen regnes for at være ubetydelig.

3.15 Strømrøndetilpasning

Virkemidlet har ingen umiddelbar klimatilpasningseffekt.

3.16 Uddybning af vandløb samt profilbearbejdning med efterfølgende restaureringsindsats

Virkemidlet har ingen umiddelbar klimatilpasningseffekt.

3.17 Sandfang

Ved dette virkemiddel skånes nedstrøms strækninger for en stor sedimenttilførsel. Ud over dette er der ingen umiddelbare klimatilpasningseffekter.

3.18 Restaurering af hele ådale

Ved restaurering af hele ådalen opnås den fulde effekt i forhold til klimaforandringerne, idet vandløb får mulighed for at have en naturlig interaktion med hele ådalen. Dette betyder, at vandløbet kan oversvømme de vandløbsnære arealer ved ekstremhændelser og vandet kan opmagasineres på arealet. Dette vil reducere risikoen for oversvømmelser af nedstrømsliggende arealer (byer, landbrugsområder mv). I tørre perioder vil de vandløbsnære arealer kunne fungere som bufferzone og langsomt afgive vand til vandløbet. Dette bevirker en mere naturlig reduktion i vandføringen og dermed et mere robust vandløb i forhold til udtørring.

3.19 Udplantning af vandplanter

Udplantningen af planter kan øge ruheden i vandløbet og dermed øges risikoen for oversvømmelser ved ekstremhændelser i planternes vækstsæson, men samtidig forsinkes afstrømningen også til nedstrømsliggende arealer. Effekten på klimagasemissionen regnes for at være ubetydelig.

3.20 Reducere den hydrauliske belastning

En reduktion af den hydrauliske belastning er i sig selv en afværgeforanstaltning i forhold til direkte udledning af overfladevand. Når der etableres regnvandsbassiner eller forsinkelsesbassiner med henblik på at etablere et mere naturligt hydraulisk regime, så er dette også et klimatilpasningstiltag.

Når den hydrauliske belastning reduceres, forudsætter det ofte konstruktion af tørre eller våde bassiner, der kan opmagasinere vand ved ekstreme regnhændelser. Brugen af dette virkemiddel er især knyttet til vandløb i nærheden af bymæssig bebyggelse, hvor det kommer i spil i takt med at større arealer separatkloakeres. Virkemidlet bruges allerede som en integreret del af en klimatilpasning af et byrum, og er således i sig selv målrettet klimatilpasning. Effekten på klimagasemissionen regnes for at være ubetydelig.

4 Multiple stressorer

4.1 Baggrund

Dette afsnit omhandler hvorledes forskellige påvirkninger/stressorer spiller sammen og påvirker vandløbets tilstand. Ved implementering af specifikke virkemidler kan forskellige faktorer påvirke virkemidlets økologiske effekt. Dette afsnit omhandler det komplekse samspil mellem økologisk tilstand og disse faktorer, der påvirker tilstanden. Desuden anvises, hvordan disse samspil kan analyseres, så der opnås overblik over, hvordan fysisk forandring kan bidrage til en øget mulighed for målopfyldelse. Afsnittet kvalificerer de kommentarer, der er indsat i tabellerne under hvert virkemiddel, og bygger videre på de analyser, der er inkluderet i Kristensen et al. (2014b).

Området har haft særlig bevågenhed de sidste 20 år, hvor det er blevet åbenbart, at der er et komplekst samspil mellem de forskellige påvirkninger, der virker samtidigt i vandløb. I takt med at den organiske forurening er reduceret, er andre stressorer kommet i fokus. De forskellige påvirkninger vil påvirke de forskellige biologiske indikatorer forskelligt, og i takt med at én påvirkning reduceres vil effekten af de resterende påvirkninger blive tydeligere. Det er endog meget tydeligt, at effekten af de forskellige påvirkninger ikke blot er additiv, men at der også optræder nogle komplekse samspil, hvor to eller flere stressorer kan gå i interferens.

Det er således ingenlunde en triviell opgave at isolere effekten af en enkelt stressor fra resten af påvirkningerne. I dette afsnit vil der være fokus på, hvordan en fysisk forbedring vil interagere med de andre påvirkninger og give anledning til, at de biologiske effekter af de andre påvirkninger modificeres som følge af en ændret fysisk tilstand.

Ormerod et al. (2010) har sammenstillet en række væsentlige faktorer og opsummerer de vigtigste sammenhænge. En pointe er blandt andet, at den enkelte stressors betydning afhænger af de andre stressorer, der påvirkes samtidig. Sabater et al. (2018) har sammenstillet den nyeste viden omkring metoder til at isolere effekten af enkelte påvirkninger i et multistressor miljø. Heri findes en række metoder og værktøjer til formålet. Dog findes der ikke en universal og let måde at isolere påvirkningen på. Det afhænger af sammenhængen, hvori den enkelte stressor indgår (Birk & Hering, 2018). Von Schiller et al. (2017) viser blandt andet, at den skala man analyserer påvirkningerne på, har stor betydning for resultatet. Når man ønsker et svar på strækningsniveau som typisk bruges i overvågningen, er det altså vigtigt, at der vælges indikatorer, der giver et signal på denne skala.

I et nyligt afsluttet EU finansieret projekt, MARS (Managing Aquatic ecosystems and water Resources under multiple Stress) er der fokuseret på at udvikle metoder og indikatorer til at håndtere multiple stressorer (Birk & Hering, 2018). Den store udfordring er, at der generelt er gennemført få studier med en tilpas lang tidshorisont og med færre samtidige påvirkninger i vandløb i forhold til andre akvatiske systemer (Nøges et al., 2016).

De nuværende indikatorer (DVFI, DVPI og DVVF) er baseret på strukturelle egenskaber i de forskellige biologiske samfund. Battrup-Pedersen et al. (2016) viste, at for at adskille effekten af næringsberigelse fra hydromorfologisk stress var det nødvendigt at benytte sig af indikatorer baseret på planternes egenskaber (eng: traits). Det er sandsynligvis nødvendigt at supplere de allerede eksisterende indeks for at kunne separere effekten af de forskellige påvirkninger (Birk & Hering, 2018). Der er også en sammenhæng mellem makrofyttens vækstkompleksitet og evnen til at optage næringsstoffer. Dette betyder, at makrofytter med kompleks vækstform påvirker næringsoptaget i vandløbet positivt, og dermed påvirker væsentlige processer på stræknings- og oplandsniveau (Levi et al., 2015). Tilstedeværelsen af makrofytter med kompleks vækstform vil delvist kompensere for en øget næringstilførsel.

At adskille forskellige typer af stressorer er ingen triviell øvelse. Dette skyldes interaktioner mellem de forskellige stressorer. Schinegger et al. (2016) fandt i en undersøgelse med fisk som indikator, at effekterne både var additive, det vil sige uden interaktioner og stressorpåvirkningen blot kunne lægges sammen, men samtidig var der interaktioner i omkring 60% af tilfældene der betød at summen af påvirkning enten var større eller mindre end forventet. Interaktionerne gør det svært at forudsige præcist, hvad der sker med en bestemt sammensætning af påvirkninger på en bestemt strækning. Ydermere viser det sig, at effekten af den enkelte påvirkning ikke er konstant langs påvirkningsgradienten, dvs. effekten ændres som funktion af påvirkningsstyrken og i takt med at andre påvirkninger aftager og øges (Birk & Hering, 2018). Det er dermed nødvendigt med en grundig analyse af påvirkningerne på en given strækning. Resultaterne af analyserne af store datasæt på tværs af mange vandløb kan derfor kun bruges som sandsynlige retningsgivere og ikke som endegyldige resultater.

4.2 Hydrologisk påvirkning

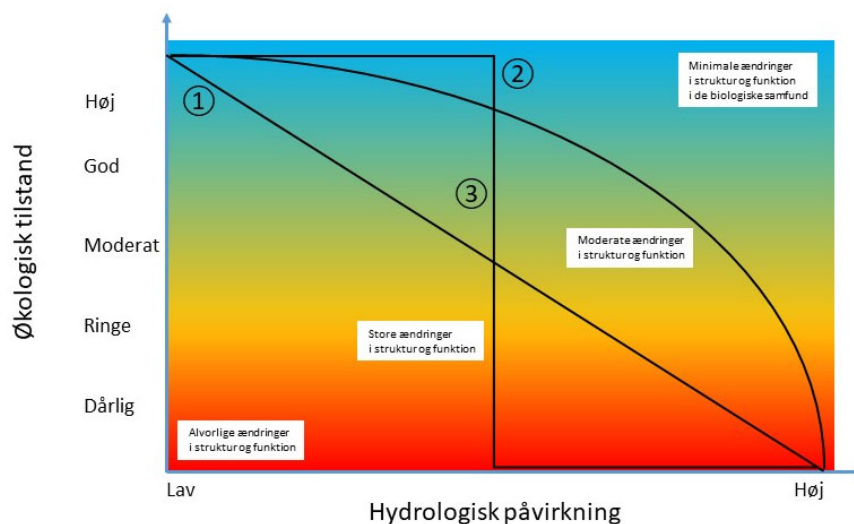
Effekten af hydrologisk stress på vandløbenes organismer er velkendt, og der har været regler for, hvor meget vand der må indvindes fra vandløbene for ikke at påvirke vandføringen (og dermed biota), se Vejledning om Vandindvinding, Miljøstyrelsen, 1979.

Den præcise effekt af at fjerne en vandmængde på vandløbenes organismer er dog ikke særligt godt forstået. Dette skyldes dels at andre faktorer, som de fysiske forhold, kan modificere effekten af vandindvindingen. Samtidig kan andre stressorer også påvirke organismene.

Ydermere er den direkte responskurve for hver organismetyper eller hver art ikke særligt godt kendt. Derfor er grænser og tolerancer svære at fastlægge. I figur 1 er vist tre forskellige typer af teoretiske respons på hydrologisk påvirkning.

Dunbar et al. (2010) viste, at smådyrenes respons på hydrologisk påvirkning ikke bare afhæng af hvordan de hydrologiske forhold havde været i perioden op til prøvetagning, men også af den fysiske tilstand i vandløb. Dewson et al. (2007) har samlet den tilgængelige litteratur og giver en fin oversigt i forhold til smådyrene, og Graeber et al. (2017) nåede til nogenlunde samme konklusion i en senere undersøgelse.

Figur 1. Påvirkningskurver ved indvinding af vand. Tallene indikerer tre forskellige typer af respons på den hydrologiske påvirkninger.

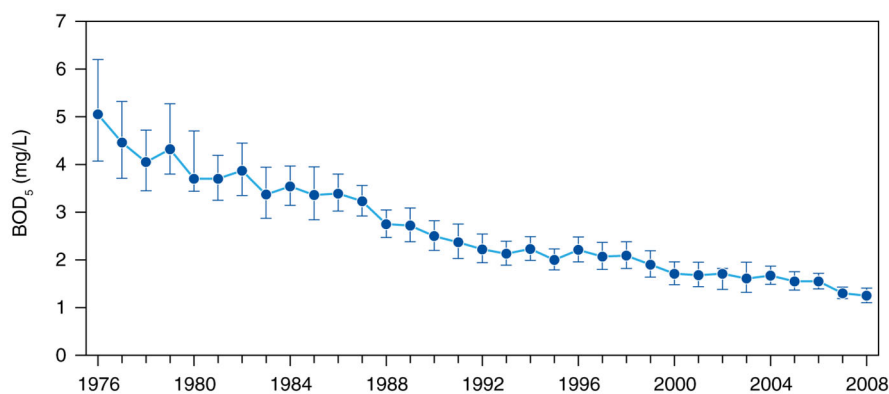


4.3 Organisk stof og fysiske forhold

Som en del af arbejdet med virkemidler til forbedring af de fysiske forhold, skal der foretages en vurdering af sammenhængen mellem indholdet af organisk stof og fysisk tilstand med særlig vægt på at vurdere, hvorvidt der skal ske en indsats overfor såvel påvirkning fra spildevand samtidigt med fysiske forbedringer for at opnå målopfyldelse. Dette gøres ved at analysere den relative betydning af vandets indhold af organisk stof (målt som BI₅) og de fysiske forhold i vandløbet (målt vha. det Fysiske Indeks (DFI)s). Derigennem er det muligt at vurdere, hvor langt indsatsen over for spildevand alene rækker.

Der er en lang række forskellige kilder til forurening med organisk stof i vandløb. Tidligere var udledninger af mekanisk rensede spildevand fra mejerier, slagterier og bebyggede områder en meget stor kilde, men effektiv rensning af spildevandet har reduceret denne belastning væsentligt (Skriver, 1998 og Figur 2). Der er dog stadigvæk lokalt en belastning med organisk stof af vandløbene, primært de små vandløb, gennem spildevand fra spredt bebyggelse, men også overløbsbygværker (fælleskloakerede byområder) bidrager med organisk stof. En indsats over for denne belastning er derfor en del af virkemidlerne i vandplanerne.

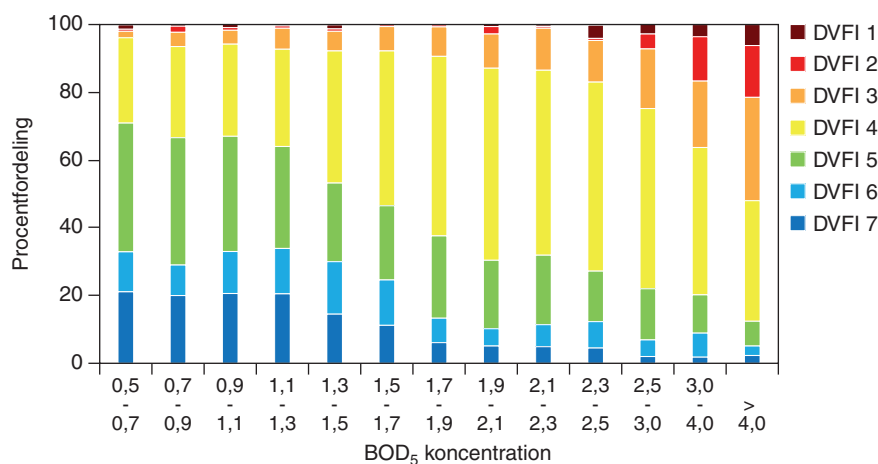
Figur 2. Det gennemsnitlige indhold af organisk stof (BI₅) i danske vandløb fra 1976-2008. (Fra Kristensen et al., 2014).



Til analysen af BI₅ blev der anvendt data fra Det Nationale Overvågningsprogram for Vandmiljøet (NOVA) samt NOVANA. I alt indgik der data fra 566 stationer indsamlet over 17 år. Fra de 566 stationer blev der indsamlet prøver til bestemmelse af DVFI og BI₅ samt registeret DFI. Vurderingen foretages således kun i forhold til et biologisk kvalitetselement – smådyrene.

Med udgangspunkt i de 566 faunalister med tilhørende målinger af BI₅ koncentrationer, blev den procentvise fordeling af de 7 DVFI-værdier beregnet for 13 BI₅-intervaller (se Figur 3).

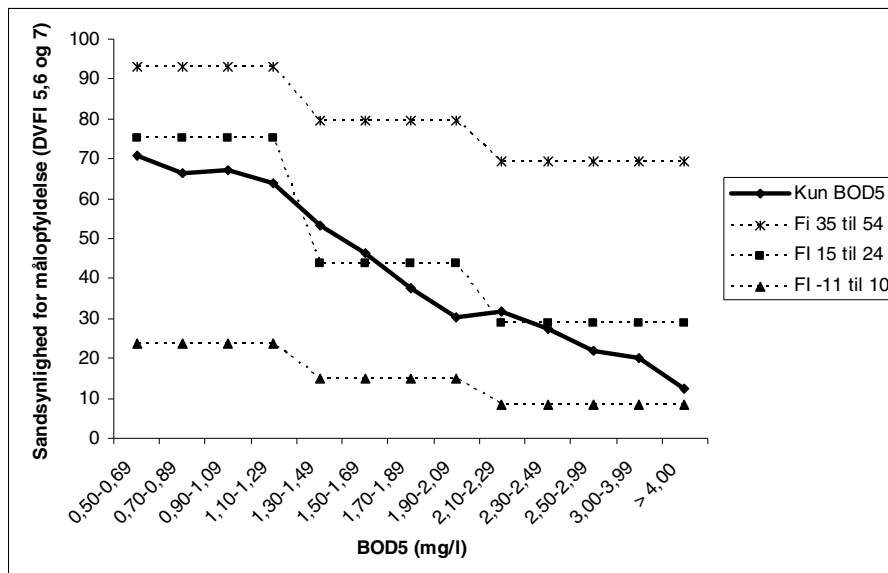
Figur 3. Procentvis fordeling af 7 DVFI klasser ved 13 intervaller af BI₅ (BOD₅). (Fra Kristensen et al., 2014).



De procentvise fordelinger blev derefter anvendt som en model for, med hvilken sandsynlighed de enkelte DVFI-værdier optræder ved givne BI₅-koncentrationer og ved forskellig fysisk påvirkning (udtrykt vha. Fysisk Indeks). Figur 3 viser, at når kun vandets indhold af organisk stof tages i betragtning, så er sandsynligheden for målopfyldelse (DVFI 5, 6 eller 7) nærmest konstant (65-70 %), så længe BI₅ er under 1,3 mg O₂/l. Når vandets indhold af organisk stof stiger, og BI₅ er over 1,3 mg O₂/l, sker der et markant fald i sandsynligheden for målopfyldelse (fra 65 % til 53 %), og sandsynligheden fortsætter med at falde med stigende BI₅ (Figur 3).

Inddrages de fysiske forhold i vandløbet (målt vha. Fysisk indeks) ses et andet billede. Ved dårlige fysiske forhold (FI: -11 – 10) er sandsynligheden for målopfyldelse meget lav, uanset indholdet af organisk stof i vandet, og er således ikke højere end ca. 25 % (Figur 4). Dette tyder på, at en indsats, der udelukkende fokuserer på at reducere den organiske belastning, sjældent vil resultere i målopfyldelse i forhold til DVFI, da de fysiske forhold spiller en stor rolle. God vandkvalitet (lavt indhold af organisk stof) kan altså kun i ringe grad kompensere for dårlige fysiske forhold. Omvendt ses det, at der ved gode fysiske forhold (FI: 35 – 54) er relativ stor sandsynlighed for målopfyldelse, selv ved høje belastninger med organisk stof (Figur 3). De fysiske forhold kan altså i nogen grad kompensere for et relativt højt indhold af organisk stof, og der kan i vandløb med gode fysiske forhold opnås målopfyldelse selv med et relativt højt indhold af organisk stof.

Figur 4. Sandsynligheden for målopfyldelse (DVFI 5, 6 eller 7) som funktion af vandets indhold af organisk stof (BOD_5) opdelt i 13 intervaller. Samme sandsynlighed er vist ved gode, moderate og dårlige fysiske forhold. (Fra Kristensen et al., 2014).

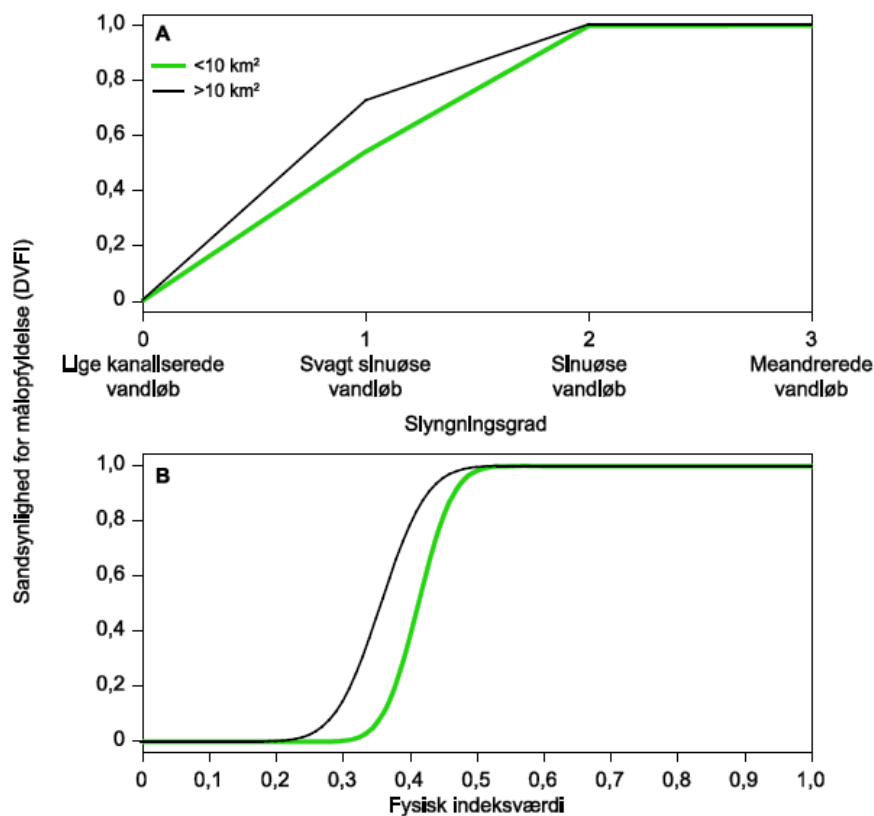


Analysen har vist, at både de fysiske forhold og vandets kvalitet er vigtig for målopfyldelse målt vha. DVFI. Analysen har ydermere vist, at vandløb med gode fysiske forhold har en selvrensende effekt og en høj iltning af vandet, og derved kan kompensere for et relativt højt indhold af organisk stof. Modsat er sandsynligheden for målopfyldelse i vandløb med dårlige fysiske forhold nærmest uafhængig af vandets indhold af organisk stof, og sandsynligheden er altid lav. Hvis der iværksættes en spildevandsindsats i vandløb med dårlige fysiske forhold uden at forbedre de fysiske forhold, er sandsynligheden for målopfyldelse derfor ringe.

Sandsynligheden for målopfyldelse, i henhold til DVFI, er tidligere vist at være koblet med vandløbets Fysisk Indeks værdi og slyngningsgraden (Figur 5). Sandsynligheden for målopfyldelse er minimal i stærkt kanaliserede vandløb (slyngningsgrad = 0), mens der er betydelig sandsynlighed (50 %) for målopfyldelse i svagt slyngede (slyngningsgrad = 1), små vandløb og en endnu større sandsynlighed i store vandløb (70%). Sandsynligheden for målopfyldelse er næsten 100 % i stærkt sinuøse og mæandrerende vandløb, for både små og store. Slyngningsgraden spiller en væsentlig rolle for, om der kan nås målopfyldelse.

På Figur 5 kan det ses at en DFI på 0,24 er kritisk for, om der overhovedet kan opnås målopfyldelse. Sandsynligheden for målopfyldelse stiger ganske markant omkring denne værdi, og ved en DFI på 0,48 er der meget høj sandsynlighed (>95 %) for at opnå målopfyldelse med DVFI. Sandsynlighedskurverne for små og mellemstore/store vandløb er stort set identiske blot med parallelforskydning af kurven for mellemstore/store vandløb mod venstre. Dette viser at der generelt opnås bedre økologisk tilstand ved lavere DFI-værdier i mellemstore/store sammenlignet med små vandløb (Rasmussen et al., 2017; Batstrup-Pedersen et al., 2018).

Figur 5. Sandsynlighed for målopfyldelse målt vha. DVFI som funktion af (A) vandløbets slyngningsgrad og (B) Fysisk Indeks værdien for hhv. små vandløb (oplandsareal < 10 km²) og mellemstore/store vandløb (oplandsareal > 10 km²). Slyngningsgraden indgår i beregningen af Fysisk Indeks som en kategorisk variabel med en værdi på mellem 0 og 4. (Fra Rasmussen et al., 2017).



Analyserne og modelberegningerne har ikke medtaget effekten af vandløbets størrelse. De anvendte faunalister stammer fra alle typer af danske vandløb, og de beregnede værdier er derfor gennemsnitsværdier for danske vandløb. Det er velkendt, at sandsynligheden for en høj faunaklasse stiger med stigende vandløbsstørrelse, da der i et relativt stort vandløb er en større arts-pulje. Derfor vil der i større vandløb næsten altid forekomme rentvandsindikator organismer, også selvom vandløbet er påvirket. Modsat vil meget små vandløb være mere påvirkelige over for et forhøjet indhold af organisk stof. Dette forbehold for resultaterne bør tages med i betragtning.

4.4 Miljøfremmede stoffer

Effekterne af miljøfremmede stoffer på vandløbets organismer er påvist i laboratorie såvel som i feltstudier (bl.a. Wiberg-Larsen & Nørnum, 2009). Resultaterne viser også, at der er interaktioner med andre faktorer, så fødegrundlag, kemisk påvirkning og de fysiske forhold influerer på hvorledes effekten af f.eks. pesticider slår igennem på smådyrene.

4.5 Næringsstoffer, hydrologi og fysiske forhold – det tidlige aspekt

Når flere samtidige påvirkninger influerer på de økologiske forhold i vandløbet, kan det være svært at kvantificere betydningen af en enkelte påvirkning. Dette skyldes blandt andet, at betydningen af de enkelte stressorer varierer henover året, så når vandføringen er lav og temperaturen høj, kan vandkemi få større betydning. Dette fænomen er blandt andet beskrevet af Kalogianni et al. (2017).

Friberg et al. (2010) analyserede et stort overvågningsdatasæt og fandt at en række smådyr var indikatorer for høje næringsværdier og forhøjede niveauer af organisk stof. Samtidig viste resultaterne også, at de forhøjede næringsniveauer i vandløbene påvirkede samfundene, men effekten var svær at kvantificere. Kjølholt et al. (2001) har behandlet emnet i forhold til regnbetingede udløb og fandt en sammenhæng mellem udløbet og den biologiske tilstand.

4.6 anbefalinger

Det er for nuværende svært at adskille og kvantificere effekten af de enkelte påvirkninger på vandløbsorganismerne og dermed på de biologiske indeks der ligger til grund for vurderingen af den økologiske kvalitet. Dette skyldes et komplekst samspil mellem de mange påvirkninger og ikke mindst samspillet med det fysiske miljø og vandføringsregimet i vandløbet.

Det er nødvendigt at indsamle data for de enkelte oplande og følge disse tæt, da samspillet mellem påvirkningerne afhænger af mange faktorer på forskellig tidslig og rumlig skala. Så en forståelse og en kvantificering af hvordan multiple stressorer virker i mange oplande, kan medvirke til at give datagrundlaget for en egentlig opdeling af de enkelte stressorerers betydning. Ydermere skal påvirkningen langs hele gradienten analyseres, da effekten af en given stressor vil ændres når de andre stressorer ændres. Nogle gange vil de enkelte stressor forstærke hinanden, og andre gange vil de dæmpe hinanden (antagonistisk effekt).

Et entydigt svar på hvorledes man adskiller de enkelte stressorer, opnås kun gennem en systematisk analyse af de tilgængelige data. Ydermere kan det anbefales at igangsætte et konkret udredningsarbejde, der går til bunds i denne problemstilling, både ved studier af eksisterende litteratur, men også gennem konkrete re-analyser på eksisterende data, i det omfang de eksisterer. Det er vigtigt at der tages udgangspunkt i den enkelte lokalitet, når der foretages en analyse af det samlede påvirkningsbillede, da effekten på enkelte lokalitet kan være anderledes, end det billede der viser sig ved analyser af store datasæt.

5 Vandplanter i Type 1 vandløb

Institut for Bioscience har færdiggjort en udredningsopgave, der skal belyse hvorledes vandplanterne kan indgå som kvalitetselement i Type 1 vandløb (små vandløb). Konklusionen på arbejdet er, at fordelingen af økologiske tilstandsklasser udtrykt som DVPI i type 1 og type 2/3 vandløb er sammenlignelig (Henriksen et al., 2019a).

Analyserne viser, at DVPI-EQR ændrer sig som funktion af en række kemiske og fysiske påvirkninger, herunder andelen af landbrug i en 50 meter vandløbsnær zone langs vandløbet, koncentrationen af ortho-P i vandløbsvandet, vandløbenes fysiske form og grødeskæring. Dette er i overensstemmelse med tidligere rapporterede resultater.

Der blev ikke fundet signifikante forskelle i sammenhænge mellem de enkelte påvirkningsfaktorer og DVPI-EQR i henholdsvis type 1 vandløb og type 2 og 3 vandløb. På baggrund af de foreliggende analyser anbefaler Henriksen et al. (2019a) at anvende de samme grænser mellem de økologiske tilstandsklasser i type 1 vandløb som i type 2 og 3 vandløb.

6 Blødbundsvandløb

Blødbundsvandløbene udgør en speciel vandløbstype, hvor effekten af fysiske indgreb typisk vil være begrænset af faldet og de specielle bundforhold, der ofte er præget af både organiske og uorganiske bløde sedimenter. Disse vandløb har fra naturens hånd en flora og fauna, der gør det vanskeligt for dem at opnå god økologisk tilstand målt på samme skala som almindelige vandløb.

Der er et udredningsarbejde i gang i regi af Aarhus Universitet, Institut for Bioscience. Der foreligger resultater af dette arbejde ultimo 2019. Resultaterne af dette arbejde bør indarbejdes i virkemiddelkataloget, når de foreligger.

7 Invasive arter

Invasive arter som eksempelvis vandremuslingen, signalkrebs og rød hestehov kan yde en markant påvirkning på vandløbets fysiske miljø. Den præcise effekt af forskellige invasive arter er ikke behandlet indgående her. Disse arter skal dog tages i betragtning, når effekterne af fysiske tiltag vurderes.

Vandremuslingen har givet anledning til opvækst og ændringer i plantesamfundene i Gudenåen, hvor vandremuslingen er massivt til stede. Rød hestehov ændrer markant på sammensætningen af vegetationen på vandløbets kant og brinkzoner.

Signalkrebsen (*Pacifastacus leniusculus*) stammer oprindeligt fra Nordamerika, og er uønsket fordi den udkonkurrerer lokale krebsearter. Signalkrebsen er mere aggressiv end de hjemmehørende arter og udgør således en markant trussel mod blandt andet den rødlistede flodkreb. Herudover, kan signalkrebs også være bærer af krebsepest, som er letal for den europæiske flodkreb men uskadelig for signalkrebsen. Signalkrebsen æder store mængder planter, og kan derfor have en markant effekt på planterne i vandløbene og langs brinkerne.

8 Referencer

Acornley, R. M., Sear, D. A. (1999): Sediment transport and siltation of brown trout (*Salmo trutta* L.) spawning gravels in chalk streams. *Hydrological Processes* 13: 447-458.

Allan, J. D. (2004): Landscapes and riverscapes: the influence of land use on stream ecosystems. *Annual Reviews of Ecology, Evolution and Systematics* 35: 257-284.

Allan, J. D., Castillo, M. M (2007): *Stream Ecology - Structure and function of running waters*. Springer, 436 s.

Andersen, D. K., Larsen, S. E., Johansson, L. S., Alnøe, A.B., Baattrup-Pedersen, A. (2018): Udvikling af biologisk indeks for bentiske alger (fyto-benthos) i danske vandløb. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 42 s. – Videnskabelig rapport nr. 296.
<http://dce2.au.dk/pub/SR296.pdf>.

Baattrup-Pedersen, A. (2000): Planter i vandløb – fortid, nutid og fremtid. *Danmarks Miljøundersøgelser* 2000.

Baattrup-Pedersen, A., Riis, T., Hansen, H. O., Friberg, N. (2000): Restoration of a Danish headwater stream: short-term changes in plant species abundance and composition. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 10: 13-23.

Baattrup-Pedersen, A., Friberg, N., Pedersen, M. L., Skriver, J., Kronvang, B., Larsen, S. E. (2004): Anvendelse af Vandrammedirektivet i danske vandløb. *Danmarks Miljøundersøgelser*. 145 s. – Faglig rapport fra DMU nr. 499.
<http://faglige-rapporter.dmu.dk>

Baattrup-Pedersen, A., Riis, T. (2004): Impacts of different weed cutting practices on macrophyte species diversity and composition in a Danish stream. *River Research and Applications* 20: 103-114.

Baattrup-Pedersen, A., Larsen, S.E. (2013): Udvikling af planteindeks i danske vandløb Vurdering af økologisk tilstand (Fase I). - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 60. 32 s.
<http://www.dmu.dk/Pub/SR60.pdf>

Baattrup-Pedersen, A., Göthe, E., Riis, T., O'Hare, M. T. (2016): Functional trait composition of aquatic plants can serve to disentangle interacting stressors in lowland streams. *Science of the Total Environment* 543: 230-238.

Baattrup-Pedersen, A., Larsen, S. E., Andersen, D. K., Jepsen, N., Nielsen, J., Rasmussen, J. J. (2018): Headwater streams in the EU Water Framework Directive: Evidence-based decision support to select streams for river basin management plans. *Science of the Total Environment* 613-614: 1048-1054.

Bach, H., Baattrup-Pedersen, A., Holm, P. E., Jensen, P. N., Larsen, T., Ovesen, N. B., Pedersen, M. L., Sand-Jensen, K., Styczen, M. (2016): Faglig udredning om grødeskæring i vandløb. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 106 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 188. <http://dce2.au.dk/pub/SR188.pdf>.

Bangsgaard, L. G. (1995): Habitatvalg hos ørredyngel (*Salmo trutta* L.) på kunstige og naturlige gydebanker. Specialrapport, Biologisk Institut, Odense Universitet, 99 sider.

Barlaup, B. T., Gabrielsen, S. E., Skoglund, H., Wiers, T. (2008): Addition of spawning gravel - A means to restore spawning habitat of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.), and anadromous and resident brown trout (*Salmo trutta* L.) in regulated rivers. *River Research and Applications* 24(5): 543-550.

Birk, S., Hering, D. (eds) (2018). MARS project – Managing aquatic ecosystems and water resources under multiple stress. Final Report. (www.mars-project.eu).

Birnie-Gauvin, K., Aarestrup, K., Riis, T. M. O., Jepsen, N., Koed, A. (2017a): Shining a light on the loss of rheophilic fish habitat in lowland rivers as a forgotten consequence of barriers and its implications for management. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 27: 1345-1349.

Birnie-Gauvin, K., Larsen, M. H., Nielsen, J., Aarestrup, K. (2017b): 30 years of data reveal a dramatic increase in abundance of brown trout following the removal of a small hydrodam. *Journal of Environmental Management* 204: 467-471.

Birnie-Gauvin, K., Tummers, J. S., Lucas, M. C., Aarestrup, K. (2017c): Adaptive management in the context of barriers in European freshwater ecosystems. *Journal of Environmental Management* 204: 436-431.

Birnie-Gauvin, K., Candee, M. M., Baktoft, H., Larsen, M. H., Koed, A., Aarestrup, K. (2018): River connectivity reestablished: effects and implications of six weir removals on brown trout smolt migration. *River Research and Applications* 34: 548-554.

Birnie-Gauvin, K., Franklin, P., Wilkes, M., Aarestrup, K. (in press). Moving beyond fitting fish into equations: Progressing the fish passage debate in the Anthropocene. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*.

Birnie-Gauvin, K. (2019): The unspoken truth about impacted rivers: Consequences and implications of barriers for freshwater fish. PhD thesis. Technical University of Denmark, Silkeborg, Denmark.

Coe, H. J., Kiffney, P. J., Pess, G. R., Kloehn, K. K., McHenry, M. L. (2009): Periphyton and invertebrate response to wood placement in large Pacific coastal rivers. *River Research and Applications* 25: 1025-1035.

Dewson, Z., James, A. B. W., Death, R. G. (2007): A review of the consequences of decreased flow for instream habitat and macroinvertebrate. *Journal of the North American Benthological Society* 26 (3): 401-415.

Dunbar, M. J., Pedersen, M. L., Cadman, D., Extence, C., Waddingham, J., Chadd, R., Larsen, S.E. (2010): River discharge and local scale habitat influence LIFE score. *Freshwater Biology* 55: 226-242.

Eriksen, J., Jensen, P.N., Jacobsen, B.H. (eds.) (2014): Virkemidler til realisering af 2. Generations vandplaner og målrettet arealregulering. DCA rapport nr. 52. DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, AU, Tjele, 327s.

Erkinaro, J. , Erkinaro, H., Niemelä, E. (2017): Road culvert restoration expands the habitat connectivity and production area of juvenile Atlantic salmon in a large subarctic river system. *Fisheries Management and Ecology* 24: 73-81.

Faunapassageudvalget (2004): Samlerapport. Sammenfatning af delrapport 1 til 4. Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri, de jyske amter, Danmarks Fiskeriundersøgelser, Dansk Dambrugerforening og Danmarks Sportsfiskerforbund. Udarbejdet af Allan R. Jensen, Ove Kann, Jan Nielsen, Peter Kaarup, Thorsten Møller Olesen, Morten Østergaard, Bodil Beck, Lisbeth Jess Petersen, Thorsten Ostenfeld, Paul Landsfeldt og Per Søby Jensen. 57 sider. (www.fiskepleje.dk/upload/dfu/fiskepleje.dk/vandloeb/restaurering/faunapassageudvalget_%20samlerapport.pdf)

Frandsen, S. B. (1998): Flere ørreder i Grejs Å. *Vand og Jord* 5 (4): 140-143.

Friberg, N., Kronvang, B., Svendsen, L. M., Hansen, H. O. (1994): Restoration of a channelized reach of the River Gelså Denmark: effects on the macroinvertebrate community. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 4: 289-296.

Friberg, N., Pedersen, M. L., Larsen, S.E., Skriver, J. (2002): Tilvejebringelse af fagligt grundlag for fastsættelse af den optimale faunaklasse og målsætningsklasse i vandløb. 66 s. - Arbejdsrapport fra DMU nr.157.

Friberg, N., Skriver, J., Larsen, S. E., Pedersen, M. L., Buffagni, A. (2010): Stream macroinvertebrate response to gradients in organic pollution and eutrophication. *Freshwater Biology* 55: 1405-1419.

Frier, J-O., Iversen, N., Rasmussen, M. (2008): Våde enge kan give iltmangel i vandløb. *Vand og Jord* 15: 76-79.

Graeber, D., Jensen, T. M., Jes J. Rasmussen, J. J., Riis, T., Wiberg-Larsen, P., Baattrup-Pedersen, A. (2017): Multiple stress response of lowland stream benthic macroinvertebrates depends on habitat type. *Science of the Total Environment* 599-600: 1517-1523.

Heckrath, G., Kjærgaard, C., Hinger, J., Andersen, H. E., Kronvang, B. (2010): Randzoner som fosforfiltre. *Vand og Jord* 17 (2): 55-57.

Henriksen, L. D., Larsen, S. E. Baattrup-Pedersen, A. (2019a): Anvendelse af Dansk Vandløbsplante Indeks (DVPI) i små type 1 vandløb Notat fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi. 20 s.

Henriksen, L. D., Kallestrup, H., Andersen, D. K., Rasmussen, J. J. Fejerskov, M. L., Baattrup-Pedersen, A. (2019b): Effects of different weed cutting methods on macrophyte and macroinvertebrate communities in Danish lowland streams. (Submitted).

Henriksen, P. W., Nielsen, B. (2004): Sedimentindlejring og overlevelse af ørredens æg/ungel i gydebanks i Gudenå, Holtum Å, Vejle Å og Bygholm Å. Projekt udført for Vejle Amt af Limno Consult.

Hilderbrand, R. H., Lemly, A. D., Dolloff, C. A., Harpster, K. L. (1997): Effects of large woody debris placement on stream channels and benthic macroinvertebrates. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 54(4): 931–939.

Iversen, K. (2009): Fiskeundersøgelser i Omme Å - Effekterne af vandløbsrestaurering i Omme Å, Vejle Kommune.

Jepsen, N. (2012): Status for stallingen 2012. www.fiskepleje.dk

Jepsen, N., Ravn, H. D., Pedersen, S. (2018): Change of foraging behavior of cormorants and the effect on river fish. *Hydrobiologia* 820: 189-199.

Jepsen, N., Flavio, H., Koed, A. (2019): The impact of Cormorant predation on Atlantic salmon and Sea trout smolt survival. *Fisheries Management and Ecology* 26 (2): 183-186.

Jepsen, N., Skov, C., Pedersen, S., Bregnballe, T. (2014): Betydningen af prædation på danske ferskvandsfiskebestande - en oversigt med fokus på skarv. DTU Aqua-rapport nr. 283-2014.

Johansen, T. J. (2019): Vandaks i danske vandløb: - Kan sjældne vandaksarter overleve på genoprettede vandløbsstrækninger? Specialrapport. Institut for Bioscience Aarhus Universitet.

Just, K. V. (2007): Fysiske og biologiske effekter af sandfang i mindre danske vandløb. Specialrapport. Biologisk Institut, Marin Økologi, Aarhus Universitet.

Kaarup, P. (1998): Effekter af miljøvenlig vandløbsvedligeholdelse. Højbjerg, Århus Amt, Natur og Miljø.

Kalogianni, E., Vourka, A., Karaouzas, I., Vardakas, L., Laschou, S., Skoulikidis, N. T. (2017): Combined effects of water stress and pollution on macroinvertebrate and fish assemblages in a Mediterranean intermittent river. *Science of the Total Environment* 603–604: 639–650.

Kjølholt, J., Stuer-Lauridsen, F., Baun, A., Nielsen, K. A. (2001): Biologiske effekter af toksiske stoffer i regnbetingede udløb. Miljøprojekt Nr. 610. Miljøstyrelsen

Kristensen, E. A., Jepsen, N., Nielsen, J., Pedersen, S., Koed, A. (2014b): Dansk Fiskeindeks for Vandløb (DFFV). Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 95. 58 s. (<http://dce2.au.dk/pub/SR95.pdf>).

Kristensen, P. B., Kristensen, E. A., Riis, T., Baisner, A. J., Larsen, S. E., Verdonchot, P. F. M., Baattrup-Pedersen, A. (2013): Riparian forest as a management tool for moderating future thermal conditions of lowland temperate streams. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions* 10: 6081-6106.

Kristensen, E. A., Nordemann J. P., Baattrup-Pedersen, A., Friberg, N. (2011): Vurdering af alternative virkemidler til ændret vandløbsvedligeholdelse med henblik på forbedring af de fysiske forhold: beskrivelse og prissætning. Fagligt notat fra Danmarks Miljøundersøgelser, AU.

Kristensen, E. A., Jepsen, N., Nielsen, J., Koed, A. (2014a): Virkemiddel til forbedring af de fysiske forhold i vandløb. Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 86. 62 s. (<https://dce2.au.dk/pub/SR86.pdf>).

Kristensen, E. A., Baattrup-Pedersen, A., Thodsen, H. (2011): An evaluation of restoration practises in lowland streams: Has the physical integrity been recreated? *Ecological Engineering* 37: 1654-1660.

Kronvang, B., Thodsen, H., Kristensen, E. A., Skriver, J., Wiberg-Larsen, P., Baattrup-Pedersen, A., Pedersen, M. L., Friberg, N. (2008): Ecological effects of re-meandering lowland streams and use of restoration in river basin management plans: experiences from Danish case studies. In: B. Gumiero, M. Rinaldi and B. Fokkens (Editors), *River Restoration 2008*, Venice.

Kronvang, B., Hoffmann, C. C., Thodsen, H., Windolf, J., Audet, J., Larsen, S. E., Jensen, H. S. (2010): Fosfor i åer og dale: Kilde eller filter? *Vand og Jord* 17(2): 50-54.

Lessard, J. L., Hayes, D. B. (2003): Effects of elevated water temperature on fish and macroinvertebrate communities below small dams. *River Research and Applications* 19: 721-732.

Levi, P. S., Riis, T., Alnøe, A. B., Peipoch, M., Maetzke, K., Bruus, C., Baattrup-Pedersen, A. (2015): Macrophyte complexity controls nutrient uptake in lowland streams. *Ecosystems* 18: 914-931.

Madsen, B. L. (2013): Elletræet: Mangelfuld viden– eller uvidenhed. *Vand og Jord* 20: 163-167.

Madsen, S., Debois, P. (2006): Vandløbsrestaurering i Danmark - 24 eksempler, Strostrøms amt.

McBride, M., Hession, W.C., Rizzo, D. M. (2010): Riparian reforestation and channel change: How long does it take? *Geomorphology* 116: 330-340.

Miljøstyrelsen (1998): Biologisk bedømmelse af vandløbskvaliteten. Vejledning nr. 5 fra Miljøstyrelsen.

Miljøstyrelsen (1979): Vandforsyningsplanlægning 2. del. Planlægning af indvinding fra overfladevand (Vejledning fra Miljøstyrelsen). Miljøstyrelsen.

Miller, S. W., Budy, P., Schmidt, J.C. (2010): Quantifying macroinvertebrate responses to in-stream habitat restoration: Applications of meta-analysis to river restoration. *Restoration Ecology* 18(1): 8-19.

- Moeslund, B. (2007): Grødeskæring i vandløb. Erfaringsopsamling af metoder, praksis og effekter. Skov- og Naturstyrelsen.
- Mortensen, A. K. (2010): Restaurering i danske vandløb – effekt af udlagt gydegrus på bestanden af ørreder (*Salmo trutta*). Specialrapport. Biologisk Institut. Syddansk Universitet.
- Muotka, T., Syrjanen, J. (2007): Changes in habitat structure, benthic invertebrate diversity, trout populations and ecosystem processes in restored forest streams: a boreal perspective. *Freshwater Biology* 52(4): 724-737.
- Nielsen, J. (1994a): Vandløbsfiskenes Verden – med biologen på arbejde. Gads Forlag, 202 sider.
- Nielsen, J. (1994b): Laksefiskene og kanosejladsen i Gudenåen opstrøms Mossø. Rapport fra Vejle Amt, 42 sider.
- Nielsen, J. (1995a): Fiskenes krav til vandløbenes fysiske forhold: et udvalg af eksisterende viden (Miljøprojekt, nr.293). København, Miljø- og Energiministeriet, Miljøstyrelsen.
- Nielsen, J. (1995b): Laksefiskene og kanosejladsen i Gudenåen opstrøms Mossø. Rapport fra Vejle Amt, 37 sider.
- Nielsen, J. (1997): Ørreden som miljøindikator. Miljønyt nr. 24 fra Miljø- og Energiministeriet, Miljøstyrelsen, 52 sider.
- Nielsen, J. (1998): Gudenåens hovedløb som gyde- og yngeløpvækstområde for laks og havørred. Gudenåkomiteen, rapport nr. 19, 42 sider.
- Nielsen, J., Aarestrup, K., Koed, A. (2010): Faunapassageløsninger – en opfølgning på Faunapassageudvalgets arbejde. Notat til Miljøstyrelsen/Akva-kulturudvalget fra DTU Aqua, 39 sider.
- Nielsen, J. (2012): Effekten af at fjerne en opstemning i et stort vandløb. Side 44-49 i Miljø og Vandpleje 37.
- Nielsen, J., Sivebæk, F. (2013): ABC i vandløbsrestaurering. Miljø og Vandpleje 37.
- Nielsen, J., Sivebæk, F. (2017): Sådan laver man gydebanks for laksefisk - genskab de naturlige stryg med et varieret dyre- og planteliv. Vejledning fra DTU Aqua, 34 sider.
- Nöges, P., Argillier, C., Borja, A., Garmendia, J. M., Hanganu, J., Kodeš, V., Pletterbauer, F., Sagouis, A., Birk, S. (2016): Quantified biotic and abiotic responses to multiple stress in freshwater, marine and ground waters. *Science of the Total Environment* 540: 43-54.
- Olsen, H.-M. (2009): Vester Nebel Å genopstår. *Miljø & Vandpleje* 34: 22-27.
- Ormerod, S. J., Dobson, M., Hildrew, A. G., Townsend, C. R. (2010): Multiple stressors in freshwater ecosystems. *Freshwater Biology* 55 (Suppl): 1-4.

- Palmer, M. A. (2009): Reforming Watershed Restoration: Science in Need of Application and Applications in Need of Science. *Estuaries and Coasts* 32: 1-17.
- Pedersen, T. C. M., Baattrup-Pedersen, A., Madsen, T. V. (2006): Effects of stream restoration and management on plant communities in lowland streams. *Freshwater Biology* 51: 161-179.
- Pedersen, M. L., Baattrup-Pedersen, A., Rørth, F. R., Madsen, T. V., Larsen, S. E. (2011): Short-term impacts of weed cutting on the physical habitats in lowland rivers – the importance of the initial environmental conditions. *Polish Journal of Environmental Studies* 20: 1271-1280.
- Pedersen, M. L., Baattrup-Pedersen, A., Friberg, N. (2004): Grødeskæring rammer vandløbs organismer. - *Vand & Jord* 11(2): 75-78.
- Pedersen, M. L., Kristensen, K. K., Friberg, N. (2014): Re-meandering of lowland streams: will disobeying the laws of physics have ecological consequences? *PLOS ONE* 9: e108558.
- Pedersen, M. L., Friberg, N., Skriver, J., Baattrup-Pedersen, A. (2007): Restoration of Skjern River and its valley – short-term effects on river habitats, macrophytes and macroinvertebrates. *Ecological Engineering*, 30: 145-156.
- Pedersen, M. L., Kristensen, E. A., Kronvang, B., Thodsen, H. (2009): Ecological effects of re-introduction of salmonid spawning gravel in lowland Danish streams. *River Research and Applications* 25: 626-638.
- Pess, G. R., Liermann, M. C., McHenry, M. L., Peters, R. J., Bennett, T. R. (2012): Juvenile salmon response to the placement of engineered log jams (ELJS) in the Elwha River, Washington State, USA. *River Research and Applications* 28(7): 872–881.
- Rasmussen, J. J., Andersen, D. K., Andersen, H. E., Riis, T., Baattrup-Pedersen, A. (2017): Fysisk karakterisering af vandløb og bidrag til konsekvensanalyse af vandløbsvirkemidler. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 41 s. -Notat.
(http://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notater_2017/Fysisk_karakterisering_af_vandloeb_og_bidrag_til_konsekvensanalyse_af_vandloebsvirkemidler_final.pdf)
- Roni, P., Quinn, T. P. (2001a): Density and size of juvenile salmonids in response to placement of large woody debris in western Oregon and Washington streams. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 58(2): 282–292.
- Roni, P., Hanson, K., Beechie, T. (2008): Global review of the physical and biological effectiveness of stream rehabilitation techniques. *North American Journal of Fisheries Management* 28: 856–890.
- Roni, P., Beechie, T., Pess, G., Hanson, K. (2015): Wood placement in river restoration: fact, fiction, and future direction. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 72: 466–478.
- Sabater, S., Elosegı, A., Ludwig, R. (eds) (2018): *Multiple Stressors in River Ecosystems - 1st Edition - Status, Impacts and Prospects for the Future*. Elsevier.

- Sand-Jensen, K., Friberg, N. (2000): De strømmende vande. Gads Forlag, København.
- Schultz, K. E. (1980): Sandvandring i vandløbene. Stads- og Haveingeniøren 9: 327-330.
- Shetter, D. S., Clark, O. H., Hazzard, A. S. (1949): The effects of deflectors in a section of a Michigan trout stream. Transactions of the American Fisheries Society 76(1): 248–278.
- von Schiller, D., Acuña, V., Aristi, I., Arroita, M., Basaguren, A., Bellinc, A., Boyero, L., Butturini, A., Ginebreda, A., Kalogianni, E., Larrañaga, A., Majone, B., Martínez, A., Monroy, S., Muñoz, I., Paunović, M., Pereda, O., Petrovic, M., Pozo, J., Rodriguez-Mozaz, S., Rivas, D., Sabater, S., Sabater, F., Skoulikidis, N., Solagaistua, L., Vardakas, L., Elozegi, A. (2017): River ecosystem processes: A synthesis of approaches, criteria of use and sensitivity to environmental stressors. Science of the Total Environment 596–597: 465–480.
- Schinegger, R., Plat, M., Segurado, P., Schmutz, S. (2016). Untangling the effects of multiple human stressors and their impacts on fish assemblages in European running waters. Science of the Total Environment 573: 1079-1088.
- Skriver, J. (1998): Biologisk vandløbskvalitet. I: J. Bøgestrand (Red), Vandløb og Kilder 1998. Faglig rapport fra Danmarks Miljøundersøgelser nr. 292: 53-57.
- Søholm, M. K., Horst Jensen, B. (2003): Ørredens (*Salmo trutta* L.) krav til de fysiske forhold i store vandløb med speciel vægt på yngelstadiet: habitatsundersøgelse, sammenfatning af eksisterende viden og anbefalinger til forbedring af ørredbestande på udvalgte åstrækninger. Specialrapport. Biologisk Institut. Syddansk Universitet.
- Sweeney, B. W., Bott, T. L., Jackson, J. K., Kaplan, L. A., Newbold, J. D., Standley, L. J., Hession, W. C., Horwitz, R. J. (2004): Riparian deforestation, stream narrowing, and loss of stream ecosystem services. Proceedings of the National Academy of Sciences USA (PNAS) 101: 14132-14137.
- Thodsen, H., Tornbjerg, H., Rasmussen, J. J., Bøgestrand, J., Blicher-Mathiesen, G., Larsen, S. E., Ovesen, N. B., Windolf, J., Kjeldgaard, A. (2019): Vandløb 2017. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 74 s. - Videnskabelig rapport nr. 306. <http://dce2.au.dk/pub/SR306.pdf>.
- Vejle Kommune (2011): Om Omme Å's genopretning/vådområdeprojekt. <http://www.vejle.dk/Borger/Natur-og-miljoe/Naturprojekter/Omme-Aadal.aspx>
- Wiberg-Larsen, P., Nørum, U. (2009): Effekter af pyrethroidet lambda-cyhalothrin på biologisk struktur, funktion og rekolonisering i vandløb, Bekæmpelsesmiddelforskning fra Miljøstyrelsen, Nr. 126.
- Wiberg-Larsen, P., Petersen, S., Rugaard, T., Geertz-Hansen, P. (1994): Bedre vandløbspleje giver flere fisk. Vand og Miljø 6: 263-265.
- Wood, P.J., Armitage, P.D. (1997): Biological effects of fine sediment in the lotic environment. Environmental Management 21: 203-217.

VIRKEMIDLER TIL FORBEDRING AF DE FYSISKE FORHOLD I VANDLØB

Version 2

Den foreliggende rapport er en opdatering af virkemiddelkataloget for vandløb fra 2014. De enkelte virkemidler er gennemgået og opdateret, hvis der er fundet ny viden omkring effekterne af virkemidlerne på de tre hidtil benyttede biologiske kvalitetselementer; smådyr, fisk og vandplanter, samt på det fjerde kvalitetselement; de bentiske alger. Derudover beskrives effekter af virkemidlerne på klimatilpasning, forholdene i vandløb med blødbund, og vandplanter i Type 1 vandløb (små vandløb).

ISBN: 978-87-7156-438-9
ISSN: 2244-9981