

Fysisk karakterisering af vandløb og bidrag til konsekvensanalyse af vandløbsvirkemidler

Notat fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi

Dato: 30. juni 2017

Jes Jessen Rasmussen, Dagmar K. Andersen, Hans Estrup Andersen, Tenna Riis og Annette Baattrup-Pedersen
Institut for Bioscience

Rekvirent:
Miljøstyrelsen
Antal sider: 41

Faglig kommentering:
Brian Kronvang
Kvalitetssikring, centret:
Poul Nordemann Jensen



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Tlf.: 8715 0000
E-mail: dce@au.dk
<http://dce.au.dk>

Indhold

1	Baggrund	3
2	Metode	5
2.1	Overordnet fremgangsmåde for indfrielse af projektets formål	5
2.2	Hovedtyper af påvirkninger	5
2.3	Hydromorfologiske parametre	7
2.4	Beskrivelse af de biologiske kvalitetselementer	9
2.5	Dataanalyser for naturfaglig afgrænsning af mellemstore og store vandløb (opland > 10 km ²) under hovedtype 7	10
2.6	Afgrænsning af og beskrivelse af virkemidler	13
3	Naturfaglig afgrænsning af mellemstore og store vandløb under hovedtype 7	15
3.1	Fysiske parametre og økologisk tilstand	15
3.2	Tærskelværdier og målopfyldelse	15
3.3	Sandsynlighed for målopfyldelse i mellemstore/store vandløb med DFI < 0,24	16
3.4	Naturfaglig afgrænsning af mellemstore og store vandløb under hovedtype 7	18
4	Resultater	19
4.1	Beskrivelse af, hvordan hydromorfologiske påvirkninger kan karakteriseres ved brug af specifikke hydromorfologiske parametre	19
4.2	Påvirkninger af fysiske og hydrologiske parametre på de biologiske kvalitetselementer	23
4.3	Beskrivelse af påvirkningsgrad af biologiske tilstandselementer, herunder risiko for manglende målopfyldelse, i vandløb, der er stærkt påvirkede af hydromorfologiske forandringer	25
4.4	Effekt af virkemidler på de hydromorfologiske forhold i stærkt modificerede vandløb	29
4.5	Effekter af implementering af virkemidler på arealanvendelsen langs vandløb	31
5	Opsamling	36
6	Referencer	38
	Bilag 1. Oversigt over en række vandløbsrestaureringer projekteret i perioden 2010 – 2016	41

1 Baggrund

I Danmark findes ca. 75.000 km vandløb, hvoraf ca. 19.000 km er specifikt målsat i vandområdeplanerne 2015-21. De 19.000 km vandløb er opdelt i ca. 7.800 vandområder, hvor hvert enkelt vandområde som udgangspunkt skal nå miljømålet god økologisk tilstand. Der er dog i Vandrammedirektivet åbnet mulighed for at lempe kravet om økologisk målopfyldelse for vandløb som på baggrund af især de fysiske forhold kan karakteriseres som stærkt modificerede, og hvor opnåelse af god økologisk tilstand vil indebære betydelige negative indvirkninger på vandløbets almenyttige formål (fx afvanding). En lempelse af kravet om god økologisk tilstand indebærer, at vandløbet i stedet skal kunne karakteriseres som stærkt modificerede og målet for disse vil være godt økologisk potentiale.

Vandområder med stærkt modificerede fysiske/morfologiske og hydrologiske (samlet kaldet hydromorfologiske) forhold kan på et overordnet plan opdeles i en række hovedtyper (tabel 1).

Tabel 1. Oversigtstabel med syv hovedtyper af hydromorfologiske forandringer i vandløb med potentiale for at blive karakteriseret som stærkt modificerede vandløb, samt underopdelinger for nogle af hovedtyperne.

Hovedtype	Underopdeling af hovedtype
1. Opstemningsanlæg, hvor stuvningen danner en sø	Opstrøms strækning Nedstrøms strækning
2. Vandløbsstrækninger, der indgår i afvanding i forbindelse med en pumpestation	Pumpestation der afvander anvendt areal (fx landbrug) Pumpestation ved munding på inddiget kysstrækning
3. Fikserede vandløbsstrækninger	Kanaliseret forløb Sinuøst forløb
4. Rørlagte vandløbsstrækninger	
5. Inddigede vandløbsstrækninger	Kanaliseret forløb Sinuøst forløb
6. Vandløb i byområder med betonbund og –sider	
7. Kanaliserede vandløb	

De hydromorfologiske forandringer, der opstår som følge af eksempelvis opstemningsanlæg, rørlægning eller kanalisering, er forskellige. Ved opstemningsanlæg vil der være væsentlige hydrologiske forandringer, og vandløbet vil få ligheder med stillestående vande ved opstemningen, samtidig med, at der vil være et fald efter anlægget som vil afvige væsentligt fra det naturlige fald på vandløbet, hvilket også spiller en rolle for de morfologiske forhold i vandløbene. I rørlagte vandløb vil hydrologien være forholdsvis uforandret, mens der vil være store morfologiske forandringer, hvilket også er tilfældet i kanaliserede vandløb. I både rørlagte og kanaliserede vandløb er bundforhold, sedimenttilførsel og dermed variation i bundforhold, samt de hydrauliske strømningforhold væsentligt anderledes sammenlignet med naturlige vandløb. Da forskellige hovedtyper af hydromorfologiske forandringer påvirker levestederne for de biologiske organismer i vandløbene forskelligt, kan der også forventes forskellige effekter af disse på de biologiske kvalitetselementer. Samtidig kan påvirkningen af de forskellige økologiske kvalitetselementer variere med de forskellige former for påvirkninger af de hydromorfologiske forhold. Anvendelsen af vandløbsvirkemidler vil imidlertid kunne for-

bedre de hydromorfologiske forhold og dermed levestederne for vandløbsorganismer og derfor have potentiale til at forbedre den økologiske tilstand. Anvendelsen af vandløbsvirkemidler vil dog også i et vist omfang kunne påvirke vandløbenes anvendelse, herunder afvandingskapacitet, kulturhistoriske værdier og rekreative formål.

I notatet vil hver af de i tabel 1 nævnte hovedtyper af hydromorfologiske påvirkninger blive defineret og afgrænset. Derefter adresseres i) de hydromorfologiske forandringer, der karakteriserer hver hovedtype af hydromorfologiske påvirkninger (afsnit 4.1), ii) hvorledes og i hvilket omfang hver hovedtype af hydromorfologiske påvirkninger forventes at påvirke biologiske kvalitetselementer (afsnit 4.2 og 4.3), og iii) hvorledes hvert af de potentielle virkemidler kan forventes at adressere hver af de hydromorfologiske påvirkninger, herunder også i hvilket omfang hver af disse virkemidler kan indvirke på vandløbets aktuelle anvendelse (afsnit 4.4 og 4.5).

2 Metode

2.1 Overordnet fremgangsmåde for indfrielse af projektets formål

Indledningsvist beskrives de væsentlige hydromorfologiske parametre som forventes påvirket i hver af de i tabel 1 anførte hovedtyper af hydromorfologiske påvirkninger. Beskrivelsen tager udgangspunkt i relevante fysiske parametre i Dansk Fysisk Indeks (DFI) og relevante hydrologiske variable identificeret i Graeber m.fl. (2013). Den samlede beskrivelse udføres i prosaform og baseres på eksisterende viden fra national og international litteratur.

Vurderingerne af, i hvilken grad hver enkelt DFI-parameter og hydrologisk variabel forventes påvirket af de i tabel 1 anførte hovedtyper af hydromorfologiske påvirkninger, gradueres på tre niveauer: Ringe (*), middel (**) og stor (***) negativ påvirkning.

På baggrund af beskrivelsen af forandringer i de hydromorfologiske parametre for hver af de i tabel 1 anførte hovedtyper af hydromorfologiske påvirkninger gennemføres der en vurdering af, hvorledes disse hydromorfologiske påvirkninger kan påvirke de biologiske kvalitetselementer; fisk, smådyr og planter vurderet ved hhv. Dansk fiskeindeks for vandløb (DFFV), Dansk vandløbsfaunaindeks (DVFI) og Dansk vandløbsplanteindeks (DVPI). Beskrivelsen vil være i prosaform og baseres på eksisterende viden fra national og international litteratur.

Vurderingerne af, i hvilken grad hvert enkelt biologisk kvalitetselement forventes påvirket af hver hovedtype af hydromorfologiske påvirkninger, gradueres på tre niveauer: Ringe (*), middel (**) og stor (***) negativ påvirkning. Ydermere laves en vurdering af sandsynligheden for, at vandløb indenfor hver af de i tabel 1 angivne hovedtyper af hydromorfologiske påvirkninger *ikke* kan opnå målopfyldelse (god økologisk tilstand) bedømt med hhv. DFFV, DVFI og DVPI. Denne vurdering gradueres ligeledes på tre niveauer: Ringe (*), middel (**) og stor (***) sandsynlighed for, at der ikke kan opnås målopfyldelse.

2.2 Hovedtyper af påvirkninger

Grundlaget for beskrivelsen og karakteriseringen af stærkt modificerede vandløb er baseret på en forhåndsopdeling i de i tabel 1 angivne hovedtyper af hydromorfologiske påvirkninger. Disse hovedtyper forventes at omfatte langt de fleste vandløb, som kan karakteriseres som stærkt modificerede. Imidlertid er en nærmere naturfaglig afgrænsning af nogle af disse påvirkningstyper nødvendig for at kunne lave specifikke karakteriseringer af de forventede forandringer af de hydromorfologiske parametre. Nedenfor gennemgås eventuelle afgrænsninger for karakteriseringsarbejdet med de enkelte hovedtyper af hydromorfologiske påvirkninger.

2.2.1 Hovedtype 1: Opstemningsanlæg, hvor stuvningen danner en sø

Opstemningsanlæg i vandløb påvirker de hydrologiske forhold på både op- og nedstrøms strækninger. Opstrøms strækninger karakteriseres ved stuvninger, som har store ligheder med stillestående vand, og nedstrøms strækninger vil opleve mindre varierende vandføringsforhold og opleve en øget transport

af organisk materiale produceret i de opstrøms opstuede vandmasser. I dette arbejde opdeles vandløb med opstemningsanlæg i hhv. opstrøms og nedstrøms beliggende vandløbsstrækninger. Der tages udgangspunkt i opstemningsanlæg, hvor vandføringen igennem eller over opstemningsanlægget fuldt følger hydrografen for vandløbet opstrøms opstemningen. Ligeledes medtages de hydromorfologiske påvirkninger som kan henledes til selve opstemningsanlægget. Det forudsættes altså, at den øvrige morfologiske struktur (fx slyngningsgrad og bredde af upåvirket areal langs vandløbet) i vandløbet er upåvirket.

2.2.2 Hovedtype 2: Vandløbsstrækninger, der indgår i afvanding i forbindelse med pumpestation

I dette notat fokuseres på to typer af pumpestationer; 1) pumpestationer, hvor vand pumpes fra anvendt vandløbsnært areal ud i vandløbet, og 2) pumpestationer, der faciliterer vandtransport i vandløbet gennem vandløbets munding på inddigede kyststrækninger. Begge kategorier af pumpestationer vil påvirke vandløbets hydrologiske forhold samt sedimenttilførsel og transport. Det antages dog, at det for begge kategorier af pumpestationer er gældende, at vandløbet ligeledes er kanaliseret for at optimere afvanding.

2.2.3 Hovedtype 3 & 4: Fikserede eller rørlagte vandløbsstrækninger

Fikserede vandløbskanter og -bund kan være et virkemiddel til reduktion af brinkerosion og/eller sandvandring på særligt udsatte strækninger. Ligeledes kan fiksering forefindes, hvor vandløbets dimensioner skal fastholdes af hensyn til fx vejanlæg og bygninger. For fikserede vandløb tages i dette notat udgangspunkt i vandløbsstrækninger, hvor stensætninger er anvendt som fikseringsmiddel til både brink og bund. Principielt kan vandløbsstrækninger være fikseret i både kanaliserede og sinuøse forløb, men da fikseringer med stensætninger generelt minimerer vandløbets dynamiske kræfter, og da stensætninger udgør en stabil men ensformig substratsammensætning, vurderes det, at forskellen i hydromorfologiske parametre mellem kanaliserede og sinuøse fikserede strækninger er lille.

De hydrologiske forhold i en rørlagt eller fikseret vandløbsstrækning vil afhænge af, i hvilken udstrækning der er dræn- eller lignende tilløb. For eksempel vil et rørlagt vandløb under en mark kunne modtage drænafløb og derved være væsentligt varierende i vandføringsforhold. I dette notat afgrænses fikserede eller rørlagte vandløbsstrækninger til vandløbsstrækninger uden hydrologisk påvirkning, mens de grundlæggende morfologiske forandringer skabt af den fysiske påvirkning er beskrevet.

2.2.4 Hovedtype 5: Inddigede vandløbsstrækninger

Digekonstruktioner langs vandløb vil typisk være opført som beskyttende foranstaltning mod oversvømmelser, og derfor vil inddigede vandløb typisk være omgivet af stærkt menneskeligt påvirkede vandløbsnære arealer (fx landbrug og byområder). Således kan det forventes, at inddigede vandløb oftest vil være underlagt andre påvirkninger som yderligere mindsker risiko for oversvømmelser (fx hyppig grødeskæring, oprensning og kanalisering). Det er dog muligt, at digerne kan være placeret med tilstrækkelig stor afstand fra vandløbet til at rumme et vandløb med slynget forløb. I dette notat arbejdes derfor med to kategorier af inddigede vandløbsstrækninger; 1) kanaliserede

inddagede vandløbsstrækninger hvor vandløbets fysiske struktur er modificeret i stor grad, og 2) slyngede inddagede vandløbsstrækninger hvor vandløbets fysiske struktur kun i lille grad er modificeret.

2.2.5 Hovedtype 6: Vandløb i byområder med betonbund og -sider

Vandløb i byområder med betonbund og -sider har typisk vandløbsnære arealer stærkt påvirket af menneskelig aktivitet, og de hydrologiske forhold kan være stærkt påvirket af regnbetingede overløbssystemer fra befæstede arealer (fx ved tostrengede kloakeringssystemer, hvor regnvand adskilles fra spildevand og derfor kan udledes direkte til recipienterne). Det kan derfor forventes, at der i sådanne vandløb kan forefindes en lang række påvirkninger, som ikke direkte er relateret til de hydrauliske og morfologiske påvirkninger skabt af betonfundamentet. I dette notat fokuseres udelukkende på den fysiske påvirkning af selve betonkonstruktionen under antagelse af, at vandløbets hydrologiske forhold ikke er nævneværdigt påvirkede.

2.2.6 Hovedtype 7: Kanaliserede vandløb

Kanaliserede vandløb er udrettede og ofte nedgravede vandløb, som kan være karakteriseret af ringe fald og der kan også forekomme sætninger af de tilstødende jorde (drænede organogene jorde). Kanaliserede vandløb som naturfagligt set kan afgrænses under hovedtype 7 kan identificeres med anvendelse af samme statistiske metode som anvendt til brug for naturfaglig afgrænsning af små vandløb (Baattrup-Pedersen m.fl. 2016a). I dette notat gennemføres analyser for mellemstore og store vandløb, da disse ikke var medtaget i det tidligere arbejde (oplandsareal > 10 km²). Da der ikke er tilstrækkeligt mange stationer til at foretage en adskilt analyse på mellemstore (opland 10-100 km²) og store vandløb (opland > 100 km²) foretages analysen på alle stationer samlet med oplandsareal > 10 km². Analyserne, der angiver en sandsynlighed for målopfyldelse, kan herefter anvendes til at identificere tærskelværdier for de fysiske parametre, og dermed til, at identificere vandløb, der kan afgrænses under hovedtype 7.

Det bemærkes, at de etablerede sammenhænge i Baattrup-Pedersen m.fl. (2016a) samt i dette notat angiver sandsynligheder for målopfyldelse, og de eksakte tærskelværdier der kan anvendes til den naturfaglige afgrænsning afhænger derfor af hvilken grad af sandsynlighed for målopfyldelse der ønskes.

2.3 Hydromorfologiske parametre

Der anvendes en række hydromorfologiske parametre til beskrivelsen af fysiske og hydrologiske forhold i de i tabel 1 nævnte hovedtyper af hydromorfologiske påvirkninger. Disse parametre indgår dels i Dansk Fysisk Indeks (DFI) (Wiberg-Larsen, 2013) og er dels afrapporteret af Graeber m.fl. (2014) som væsentlige for biologiske kvalitetselementer.

2.3.1 Fysiske parametre (DFI)

DFI benyttes udelukkende i vadbare vandløb og omfatter en kvantitativ bedømmelse af 17 fysiske parametre, der hver især omsættes til en skalaværdi mellem 0 og 3. Skalaværdien for de enkelte parametre tildeles herefter en vægt på enten 1 eller 2 afhængig af deres skønnede betydning for den vandløbsøkologiske tilstand, og den tildelte vægt kan antage både positive og negative værdier (Pedersen m.fl., 2006). De 17 fysiske parametre kan opdeles i strækningsparametre, vandløbsparametre og substratparametre. I DFI indgår i alt

6 strækingsparametre, 7 vandløbsparametre samt 4 substratparametre. I princippet er alle parametre i DFI af betydning for mindst en gruppe af vandløbsorganismer (Pedersen m.fl., 2006). Herunder gennemgås de parametre som er vurderet særligt egnede og robuste til beskrivelsen af fysiske påvirkninger af de i tabel 1 angivne hovedtyper af hydromorfologiske forandringer.

Slyngningsgrad (strækingsparameter) beskriver graden af mæandring ud fra et Sinuositetsindeks (SI, forholdet mellem den faktiske længde af vandløbsstrækningen og den rette linje mellem strækningens start og slutpunkt). Stærkt kanaliserede vandløb vil have en lav slyngningsgrad, hvor SI er tæt på 1.

Tværsnitsprofil (strækingsparameter) beskriver den gennemsnitlige udformning af vandløbets tværsnit på undersøgelsesstrækningen. Opgravede og hyppigt oprensede vandløb vil ofte have et tydeligt rektangulært tværsnitsprofil.

Breddevariation (strækingsparameter) beskrives ved varianskoefficienten (CV) ud fra breddemålinger i 10 transekter. Variationen i vandløbets vandspejlsbredde er en indikator for naturligheden af vandløbets forløb, og kanaliserede, dybt nedgravede og hyppigt oprensede vandløb vil ofte have en meget lille breddevariation.

Sten- og grus (substratparameter) beskriver dækningsgraden af hhv. sten og grus på den undersøgte strækning. Substratets sammensætning er et produkt af de geologiske forhold, strømforhold og menneskeskabte påvirkninger. Som hovedregel vil grovere substrattyper som sten og grus være jævnt forekommende i naturlige vadbare vandløb og være sjældent forekommende i kanaliserede og/eller hyppigt oprensede vandløb.

Mudder og sand (substratparameter) beskriver dækningsgraden af hhv. mudder og sand på den undersøgte strækning. Som hovedregel vil dominansen af sand og mudder på vandløbsbunden øges i vandløb med stærkt opdyrket opland samt kanaliserede og hyppigt oprensede vandløb. Der vil dog være naturlige geografiske forskelle, hvor Vestjyske vandløb grundet sanddominerede geologiske forhold naturligt vil rumme større andele af sand i bundsubstratet.

2.3.2 Hydrologiske parametre

Graeber m.fl. (2014) inkluderede 72 vandføringsvariable i en regressionsanalyse med det sigte at identificere hydrologiske variable med særlig stor betydning for de biologiske kvalitetselementer vurderet ved hhv. Dansk fiskeindeks for vandløb (DFFV), Dansk vandløbsfaunaindeks (DVFI) og Dansk vandløbsplanteindeks (DVPI). Undersøgelsen blev primært udført på mellemstore og store vandløb (type 2 og 3), hvorfor disse værdier ikke direkte kan forventes at være tilsvarende betydende i type 1 vandløb. Analysen identificerede i alt 5 variable med særlig stor betydning for disse biologiske kvalitetselementer, og disse variable er ligeledes inkluderet i dette arbejde for type 2 og 3 vandløb. Definitionerne af disse parametre er gennemgået herunder.

Q_{90} beskriver, hvor ekstreme low flow hændelser er. Q_{90} beregnes ved først at estimere vandføringen ved 90 percentilen af vandføringens varighedskurve. Denne værdi standardiseres herefter med medianvandføringen. Lave Q_{90} værdier angiver, at lave vandføringer er mere ekstreme (meget mindre end medianvandføringen). For makroinvertebrater (DVFI) er Q_{90} positivt korreleret med DVFI.

Fre₁ er defineret som det årlige antal af hændelser med vandføring over medianvandføringen. Her vil stabile vandføringsforhold afspejle sig i en lav Fre₁ værdi. For makroinvertebrater (DVFI) er Fre₁ positivt korreleret med DVFI.

Fre₂₅ beskriver antallet af vandføringshændelser over 25 percentilen, som kan estimeres af vandføringens varighedskurve. Denne parameter er således beskrivende for vandløbs hydrologiske respons på nedbørshændelser og angiver et mål for antallet af moderate vandføringsforstyrrelser. Både vandplanter (DVPI) og fisk (DFFVa) er positivt korreleret med Fre₂₅.

Fre₇₅ beskriver antallet af vandføringshændelser under 75 percentilen, som kan estimeres af vandføringens varighedskurve. Denne parameter er således beskrivende for antal low flow hændelser, og stabile vandføringsforhold vil afspejles ved lavere værdier for Fre₇₅. Både vandplanter (DVPI) og fisk (DFFVa) er negativt korreleret med Fre₇₅.

Dur₃ er den gennemsnitlige varighed (i dage) af vandføringshændelser, der er tre gange større end medianvandføringen. Vandløb med stabile vandføringsforhold vil sjældent eller aldrig opleve sådanne hændelser. Vandplanter (DVPI) er negativt korreleret med Dur₃.

Base Flow Indekset (BFI) er defineret som vandføringen under base flow forhold divideret med den samlede vandføringsmængde. Under base flow består vandføringen primært af tilstrømmende grundvand fra dybere liggende magasiner, og vandløb med stabilt og grundvandsdomineret vandføring vil have høje BFI værdier. Fisk (DFFVa) er stærkt positivt korreleret med BFI.

2.4 Beskrivelse af de biologiske kvalitetselementer

Ifølge EU's vandrammedirektiv skal vandløb i medlemslandene, herunder Danmark, opnå mindst god økologisk tilstand i 2027. Samtidig må der ikke ske en forværring af den økologiske tilstand. Den økologiske tilstand i vandløb vurderes på baggrund af biologiske forhold; de biologiske kvalitetselementer. I Danmark benyttes tre organismegrupper som biologiske kvalitetselementer: undervandsplanter, bunddyr (makroinvertebrater) og fisk. Den økologiske tilstand vurderes ud fra graden af afvigelse fra referencetilstanden (upåvirket eller minimalt påvirket af menneskelig aktivitet). Herunder gennemgås kort de indeks, der benyttes i danske vandløb for karakteriseringen af den økologiske tilstand. En udførlig beskrivelse af de biologiske kvalitetselementer kan findes i Søndergaard m.fl. (2013).

2.4.1 Dansk vandplanteindeks (DVPI)

Dansk vandplanteindeks (DVPI) bygger på en samlet vurdering af artssammensætning og dækningsgrad af plantesamfundene (Baattrup-Pedersen & Larsen 2013). DVPI-indeksværdier angiver en EQR-værdi (Ecological Quality Ratio). En EQR-værdi på 1 afspejler den upåvirkede/næsten upåvirkede tilstand mens EQR-værdier nær 0 vil afspejle den stærkt påvirkede økologiske tilstand. DVPI ændrer sig som funktion af ændringer i de påvirkninger, der anses for væsentlige for plantesamfund i vandløb: næringsforhold, vandløbets fysiske karakteristika (nedgravning, udretning) og grødeskæringshyppighed (Baattrup-Pedersen m.fl., 2013; 2015; 2016b).

2.4.2 Dansk vandløbsfaunaindeks (DVFI)

Dansk Vandløbs Fauna Indeks beskriver ud fra sammensætningen af smådyr den økologiske tilstand i syv faunaklasser (Miljøstyrelsen 1998). Faunaklasse 7 angiver den bedste tilstand (det upåvirkede/næsten upåvirkede vandløb), mens faunaklasse 1 betegner den dårligste tilstand. Faunaklasse 5 betegner grænseværdien for god økologisk tilstand (målopfyldelse).

DVFI er en semi-kvantitativ indikator, som er målrettet påvirkninger af organisk belastning, der giver øget mikrobielt iltforbrug og dermed lavere iltkoncentrationer. DVFI ændrer sig som funktion af graden af organisk belastning og dermed iltkoncentrationer. DVFI responderer imidlertid også på okkerforurening (som i mange vestjyske vandløb), samt på dårlige fysiske forhold.

2.4.3 Dansk fiskeindeks for vandløb (DFFV)

Dansk fiskeindeks for vandløb (DFFV) består af to delelementer; DFFVa og DFFVø og bruges til bedømmelsen af den økologiske kvalitet i alle typer af danske vandløb. DFFVa er baseret på artssammensætningen af fiskesamfund og kan anvendes, hvis der i elektrofiskeriet er fanget mindst 3 arter i første befiskning. DFFVø er udviklet til karakteriseringen af den økologiske kvalitet i vandløb, hvor ørreder gyder, og indikatoren er baseret på tætheden af naturligt produceret ørredyngel. DFFVø er fortrinsvist tiltænkt brug i små vandløb (opland < 10 km²), men kan dog også bruges i større vandløb (Kristensen m.fl., 2014a) såfremt vandløbet har potentiale for en naturlig produktion af ørredyngel. Omvendt er DFFVa fortrinsvist tiltænkt brug i større vandløb (opland > 10 km²), da de mindste vandløb naturligt rummer færrest arter. Både DFFVa og DFFVø angiver en EQR værdi som betegner afvigelse fra referencetilstanden.

2.5 Dataanalyser for naturfaglig afgrænsning af mellemstore og store vandløb (opland > 10 km²) under hovedtype 7

Databearbejdningen for afgrænsning af mellemstore og store vandløb (opland > 10 km²) under hovedtype 7 er med få modifikationer tilsvarende databearbejdningen for afgrænsningen små vandløb (opland < 10 km²) (Baattrup-Pedersen m.fl., 2016a). Af hensyn til læsevenlighed af dette notat gennemgås herunder databearbejdningen med kun få ændringer ift. Baattrup-Pedersen m.fl. (2016). Langt størstedelen af disse vandløb er vadbare og har derfor tilhørende data for den fysiske tilstand vurderet med DFI.

2.5.1 Afgrænsning af oplande

Til digitalisering af oplande til vandområder med et opland > 10 km² er anvendt GIS-data fra den landsdækkende oplandsdatabase, der vedligeholdes af DCE. Oplandsdatabase indeholder vandløb og tilhørende oplande, der kan aggregeres til f.eks. de 90 delvandoplande som er anvendt i vandområdeplanerne 2015-2021. Til støtte for digitaliseringen er der desuden anvendt et GIS beregnet afstrømningsopland til hvert vandområde, genereret udelukkende på basis af højdemodellen DHM-2007/terræn 10m grid fra <http://download.kortforsyningen.dk>.

2.5.2 Data der anvendes til naturfaglig afgrænsning af mellemstore og store vandløb under hovedtype 7

Oplande over 10 km² er genereret i GIS ved, med støtte fra de GIS- beregnede oplande, at digitalisere manglende afgrænsninger ind i oplandsdatabasen så-
dan at afgrænsningen til vandområderne afstemmes med de eksisterende op-
lande i oplandsdatabasen. Der er efterfølgende genereret et totalopland til
hvert vandområde ved en Trace-analyse foretaget på oplandsdatabasens
vandløbsnet fra vandområdets udløbspunkt og opstrøms, sådan at oplandet
til hvert vandområde dækker hele det opstrøms vandløbssystem

Til arbejdet med mellemstore og store vandløb under hovedtype 7 er der an-
vendt data indsamlet i det nationale overvågningsprogram for Vand og Natur
(NOVANA). I denne analyse indgår overvågningsstationer fra NOVANA-da-
tasættet, som har et opland på mere end 10 km². Data fra begge overvågnings-
perioder dvs. perioden 2004-2010 og perioden 2011-2015 er medtaget. For en
delmængde af stationerne er der indsamlet data årligt, mens der for hoved-
parten af overvågningsstationer kun er indsamlet data en gang pr. program-
periode (hvert 6. år).

2.5.3 Parametre anvendt i dataanalyser til naturfaglig afgrænsning af mellemstore og store vandløb under hovedtype 7

For de mellemstore og store vandløb, der indgår under hovedtype 7 er der
gennemført kvantitative analyser af sammenhænge mellem den økologiske
tilstand vurderet for det økologiske tilstandselement; smådyr - operationali-
seret ved DVFI, og en række parametre der beskriver, i hvilken grad vandlø-
bet kan karakteriseres som værende kanaliseret med anvendelse af Dansk Fy-
sisk Index (Wiberg-Larsen og Kronvang, 2015) samt de enkelte parametre der
indgår i dette. Disse er beskrevet nedenfor.

Dansk Fysisk Indeks (DFI) beregnes ud fra en række parametre, der alle be-
skriver forhold med enten positiv eller negativ indflydelse på organismerne i
vandløbet. Ved at kombinere vurderingen af disse opnås et samlet mål for
strækningens fysiske kvalitet (Pedersen m.fl., 2006). Teoretisk kan den sam-
lede indeksværdi rangere fra -12 til 63, men i praksis kan maksimumværdien
ikke opnås, da nogle af de fysiske parametre ikke kan opnå højeste værdi i
samme vandløb.

Slyngningsgraden er vurderet i felten eller ud fra kort i følgende kategorier:
0) lige kanaliserede vandløb ($SI < 1,05$), 1) svagt sinuøse vandløb
($1,05 < SI < 1,25$), 2) sinuøse vandløb ($1,25 < SI < 1,5$) og endelig 4) mæandrede
vandløb ($SI > 1,5$) jævnfør beskrivelse i Teknisk Anvisning: Dansk Fysisk In-
deks (Wiberg-Larsen og Kronvang, 2015).

Tværsnitsprofilen er visuelt kategoriseret i 0) tydeligt rektangulært og kanali-
seret, 1) semi-naturligt (dybt nedgravet), 2) semi-naturlig (ikke dybt nedgravet),
3) naturligt uden tydelige tegn på kanalisering jævnfør beskrivelse i Teknisk
Anvisning: Dansk Fysisk Indeks (Wiberg-Larsen og Kronvang, 2015: TA V05).

Breddevariationen er beregnet som den relative standardafvigelse (CV) af de
i alt 10 transekt-målinger, som også er anvendt i breddemålingen Breddeva-
riationen er herefter kategoriseret i følgende klasser: 0) ingen variation i bred-
den (0-10 %), 1) lille variation i bredden (11-25 %), 2) betydelig variation i
bredden (26-50 %), 3) stor variation i bredden (> 50 %).

Grus er defineret som mineralske partikler med en kornstørrelse på 10-60 mm. Det skal endvidere være blotlagt på vandløbsbunden. Dækningsgraden er visuelt kvantificeret med anvendelse af følgende skala: 0) Ingen eller meget lille forekomst af substrattypen, 1) Op til 10 % af bunden er dækket af substrattypen, 2) 11-25 % af bunden er dækket af substrattypen og 3) mindst 26 % af bunden er dækket af substrattypen. Skalaværdien for grus indgår i den samlede DFI-score med positivt fortegn.

Sten er defineret som mineralske partikler med en kornstørrelse > 60 mm. Endvidere skal substratet være blotlagt på vandløbsbunden. Dækningsgraden er visuelt kvantificeret med anvendelse af følgende skala: 0) Ingen eller meget lille forekomst af substrattypen, 1) Op til 10 % af bunden er dækket af substrattypen, 2) 11-25 % af bunden er dækket af substrattypen og 3) mindst 26 % af bunden er dækket af substrattypen. Skalaværdien for grus indgår i den samlede DFI-score med positivt fortegn.

Mudder er defineret ved en kornstørrelse på <0,25 mm. Tilstedeværelsen konstateres ud over kornstørrelsen ved at bunden er blød. Forekomsten af mudder skal dog have en vis tykkelse for at tælle (mindst 20 mm). Et tyndt lag slam (< 5-10 mm) oven på en i øvrigt fast/mere fast bund regnes således ikke med til denne substrattype. Dækningsgraden er visuelt kvantificeret med anvendelse af følgende skala: 0) Ingen eller meget lille forekomst af substrattypen, 1) Op til 10 % af bunden er dækket af substrattypen, 2) 11-25 % af bunden er dækket af substrattypen og 3) mindst 26 % af bunden er dækket af substrattypen. Skalaværdien for mudder indgår i den samlede DFI-score med negativt fortegn.

2.5.4 Dataanalyse til naturfaglig afgrænsning af mellemstore og store vandløb under hovedtype 7

For EQR-baserede DFVI-værdier er der opstillet en lineær regressionsmodel til henholdsvis DFI og slyngningsgrad. Disse to parametre blev identificeret som særligt velegnede til at karakterisere sandsynligheden for målopfyldelse i små vandløb (opland < 10 km²). I tilfælde af signifikante modeller ($p < 0,05$) er regressionsmodellerne herefter anvendt til at beregne en sandsynlighed for målopfyldelse for DVFI samt identifikation af tærskelværdier der angiver for forskellige sandsynligheder for målopfyldelse.

For delmængden af vandløb med høj risiko for manglende målopfyldelse baseret på DFI og slyngningsgrad beskrives herefter sammenhænge mellem DVFI og hver af de fysiske parametre, der vurderes særligt egnede og robuste til beskrivelsen af fysiske påvirkninger, nemlig slyngningsgrad, breddevariation, tværsnitsprofil og dækningsgrader af grus og mudder. Disse sammenhænge er ligeledes beskrevet med en lineær regressionsmodel. Disse regressionsmodeller benyttes til at beregne sandsynligheden for målopfyldelse under antagelse af en normalfordeling og med modeludtrykket som normalfordelingens middelværdi for givne værdier af de forklarende variable, hvor normalfordelingens varians er modelfejlen.

Det bemærkes, at analyseresultaterne kan anvendes generelt til at vurdere betydningen de medtagne fysiske parametre inden for alle hovedtyper af hydromorfologiske forandringer og ikke kun for hovedtype 7, såfremt disse beskrives. Resultaterne kan derfor anvendes som et supplement til de kvalitative beskrivelser for hovedtype 1-6.

2.6 Afgrænsning af og beskrivelse af virkemidler

Der tages udgangspunkt i de vandløbsvirkemidler, der er medtaget i "Bekendtgørelse om kriterier for vurdering af kommunale projekter vedrørende vandløbsrestaurering" (lovbekendtgørelse nr. 1579 af 8. december 2015). I bekendtgørelsen er en række af virkemidlerne reelt en kombination af flere mindre bestanddele. I denne beskrivelse er det valgt at splitte alle virkemidlerne op i deres mindste bestanddele, således at det er muligt at lave en vurdering af den kumulative effekt af forskellige kombinationer af virkemidlerne. Nedenstående beskrivelser tager udgangspunkt i virkemiddelkataloget (Kristensen m.fl., 2014b).

2.6.1 Udlægning af groft materiale

Virkemidlet omfatter udlægning af groft materiale, primært sten, grus eller træ uden andre fysiske indgreb. Udlægning af grus/sten kan være uegnet i vandløb med lavt vandspejlsfald, idet der kan forekomme kraftig tilsanding af de udlagte strukturer, hvis ikke der forekommer tilstrækkelig høj strømhastighed til at undgå sedimentation af sand og mudder. Effekten af virkemidlet vil derfor være begrænset og kortvarig, hvis der ikke forekommer tilstrækkeligt høje strømhastigheder til at holde de grove substrater fri for sedimenteret sand og mudder.

2.6.2 Udskiftning af bundmateriale

Virkemidlet omfatter en uddybning af vandløbet, samt en efterfølgende udlægning af groft materiale uden andre fysiske indgreb. Uddybningen sker for at sikre at vandstanden ikke stiger som følge af restaureringen. Virkemidlet er derfor en modificeret udgave af "udlægning af groft materiale", blot med bibeholdelse af den oprindelige højde på vandløbsbunden. Ligesom for "udlægning af groft materiale" vil der være begrænset og kortvarig effekt på vandløbets fysiske parametre, hvis der ikke forekommer tilstrækkeligt høje strømhastigheder til at holde de grove substrater fri for sedimenteret sand og mudder.

2.6.3 Hævning af vandløbsbund

Ved hævning af vandløbsbunden forstås udlægning af større mængder af primært groft materiale i kanaliserede og ofte dybtliggende vandløb, så vandløbet kommer tættere på terræn, men bibeholder det kanaliserede forløb. Som ovenfor nævnt vil utilstrækkeligt høje strømhastigheder ofte medføre sedimentation af sand og mudder som over tid vil dække de udlagte grove substrater og derved gøre dem utilgængelige for vandløbets biota.

2.6.4 Etablering af træer langs vandløbet

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.

2.6.5 Genslyngning

Ved genslyngning forstås en tilbagelægning af et kanaliseret vandløb til et naturligt, slynget forløb. Ved genslyngningen er der ikke nødvendigvis tilstræbt et naturligt tværsnitsprofil eller kontakt til de vandløbsnære arealer.

2.6.6 Åbning af rørlagt strækning

Dette virkemiddel er udelukkende rettet mod rørlagte strækninger og rummer, at det rørlagte vandløb åbnes op.

2.6.7 Fjernelse af fysisk spærring

Ved fjernelse af fysiske spærringer forstås enten en fuldstændig fjernelse af en spærring (fx stemmeværk), eller andre tiltag, der sikrer uhindret passage i op- og nedstrøms retning for vandløbsfauna.

3 Naturfaglig afgrænsning af mellemstore og store vandløb under hovedtype 7

3.1 Fysiske parametre og økologisk tilstand

Alle de anvendte fysiske parametre spiller en rolle for vandløbenes økologiske tilstand målt ved DVFI. Der kan således identificeres positive sammenhænge mellem DVFI og hhv. DFI og slyngningsgrad (tabel 2).

Tabel 2. Tabellen angiver sammenhænge mellem de anvendte fysiske parametre og DVFI (responsvariabel). Sammenhænge er beskrevet ved modelestimer for hældningskoefficienterne på regressionsmodellerne (R^2) samt signifikansværdier for de etablerede modeller.

Fysisk parameter	Modelestimat	t-værdi	P værdi	n
DFI	0,75	30,91	<0,0001	2256
Slyngningsgrad	0,12	28,23	<0,0001	2542

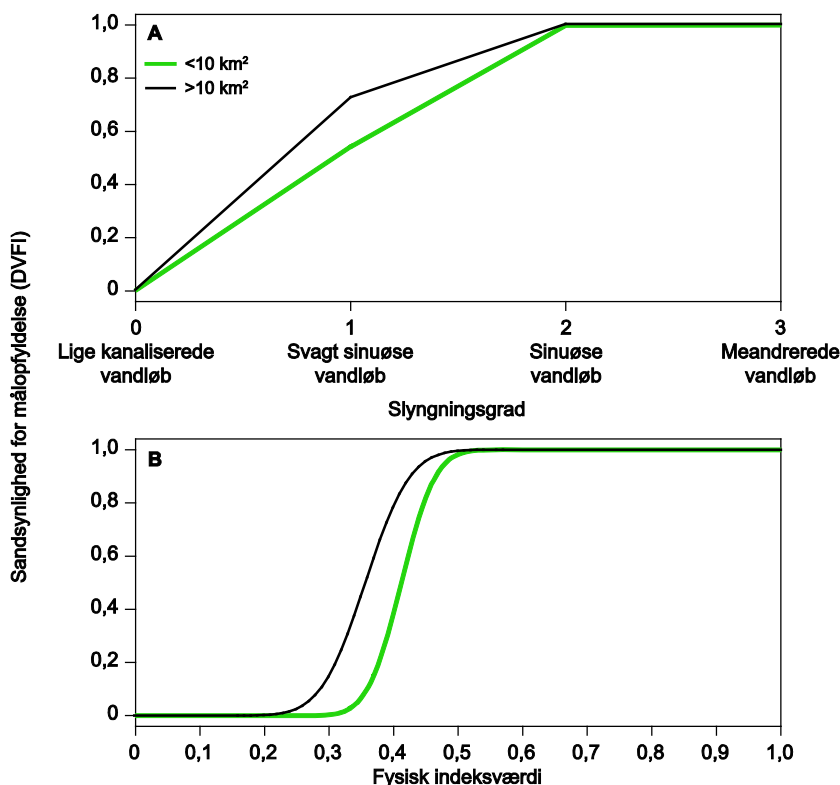
3.2 Tærskelværdier og målopfyldelse

Der er med anvendelse af ovennævnte empiriske sammenhænge udviklet modeller, der angiver sandsynlighed for målopfyldelse bedømt med DVFI som funktion af variationen i henholdsvis DFI og vandløbets slyngningsgrad. De udviklede modeller er afbildet i figur 1. I figur 1 er den tilsvarende sammenhæng for små vandløb, etableret af Baattrup-Pedersen m.fl. (2016a), ligeledes afbildet for at synliggøre et sammenligningsgrundlag for hhv. små og mellemstore/store vandløb.

Ifølge modellen for sammenhæng mellem DVFI og vandløbenes slyngningsgrad spiller slyngningsgraden en væsentlig rolle for, om der kan nå målopfyldelse (figur 1A). Således er sandsynligheden for målopfyldelse minimal i stærkt kanaliserede, mellemstore/store vandløb (slyngningsgrad = 0), mens der er betydelig sandsynlighed (70 %) for målopfyldelse i svagt slyngede, store vandløb (slyngningsgrad = 1). Sandsynligheden for målopfyldelse er næsten 100 % i stærkt sinuøse og mæanderende vandløb. Sandsynlighedskurven for mellemstore/store vandløb er stort set tilsvarende kurven for små vandløb (figur 1A).

Sandsynligheden for målopfyldelse med DVFI varierer også betydeligt i forhold til det fysiske indeks (DFI) (figur 1B). Modellen identificerer en DFI-indeksværdi på 0,24 som værende kritisk for, om der overhovedet kan opnås målopfyldelse. Inden for et ganske snævert interval stiger sandsynligheden for målopfyldelse markant, og allerede ved en DFI indekssværdi på 0,48 er der meget høj sandsynlighed (>95 %) for at opnå målopfyldelse med DVFI (Figur 1B). Sammenlignes sandsynlighedskurverne for små og mellemstore/store vandløb ses en parallelforskydning af kurven for mellemstore/store vandløb mod venstre, hvilket afspejler at den økologiske tilstand bedre kan understøttes ved lavere DFI-indeksværdier i mellemstore/store sammenlignet med små vandløb.

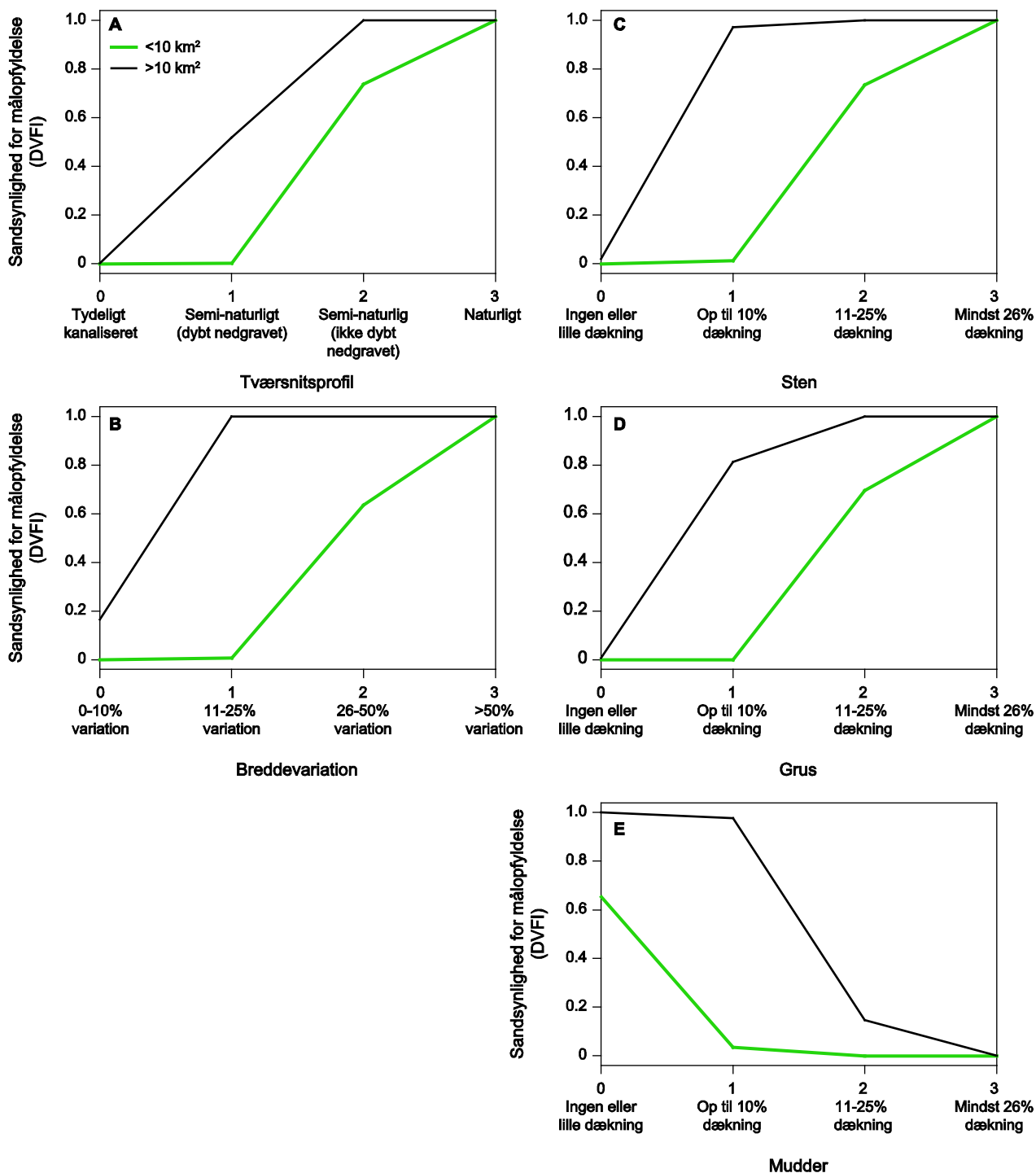
Figur 1. Figuren angiver sandsynlighed for mål opfyldelse for DVFI som funktion af vandløbets slyngningsgrad (A) og relativ DFI score (B). Slyngningsgraden er angivet som kategorisk variabel (1-4) og indgår som delelement i karakteriseringen af den fysiske tilstand i vandløb (jævnfør Wi-berg-Larsen & Kronvang 2015: TA V05). Figuren angiver samtidig sandsynlighedskurver for både mellemstore/store (oplandsareal > 10 km²) og små (oplandsareal < 10 km²) vandløb, hvor sandsynlighedskurven for små vandløb er gentegnet efter Baatrup-Pedersen m.fl. (2016a).



3.3 Sandsynlighed for mål opfyldelse i mellemstore/store vandløb med DFI < 0,24

Tilsvarende de empiriske sammenhænge, der er etableret for alle mellemstore/store vandløb i NOVANA-datasættet (tabel 2), er der etableret sammenhænge for DVFI og nogle af de væsentlige fysiske parametre der indgår i DFI nemlig tværnsnitsprofil, breddevariation, samt dækningsgrader af sten, grus og mudder for den delmængde af vandløb med DFI < 0,24 med henblik på at belyse betydningen af disse parametre for at nå god økologisk tilstand og dermed også i hvor høj grad en evt. forbedring af disse vil kunne øge sandsynligheden for mål opfyldelse. Det er her væsentlig at huske, at der er mange parametre der bidrager til beregning af DFI og som derfor spiller ind på DFI værdien og dermed også for sandsynligheden for at nå god økologisk tilstand. Derfor vil en indsats i forhold til de enkelte fysiske parametre ikke nødvendigvis have den samme effekt i alle vandløb med DFI < 0.24.

De udviklede modeller er afbildet i figur 2. I figur 2 er den tilsvarende sammenhæng for små vandløb, etableret af Baatrup-Pedersen m.fl. (2016a), ligeledes afbildet for at synliggøre et sammenligningsgrundlag for hhv. små og mellemstore/store vandløb. Figur 2 viser, at mellemstore/store vandløb med en DFI < 0,24 kan opnå mål opfyldelse med anvendelse af DVFI, men også at denne sandsynlighed er afhængig af vandløbenes tværnsnitsprofil, breddevariation samt dækningsgrader af sten, grus og mudder. Sandsynlighedskurverne for mål opfyldelse med DVFI som funktion af de udvalgte fysiske parametre er forskudte i mellemstore/store sammenlignet med små vandløb. Denne forskydning viser i alle fem tilfælde, at sandsynligheden for mål opfyldelse i mellemstore/store vandløb generelt er højere end for små vandløb, når der er sammenligneligt dårlige fysiske forhold (figur 2A-E).



Figur 2. Figuren viser sandsynlighed for målopfyldelse med DVFI i delmængden af mellemstore/store vandløb (sorte linjer) med DFI indekssværdi < 0,24. På figuren er dels angivet kategorier for tværsnitsprofil (A) og breddevariation (B) og dækningen af de forskellige substrattyper (C-E). Alle fysiske parametre er kategoriske variable og kan antage fire værdier jævnfør Wiberg-Larsen & Kronvang 2015: TA V05. Figuren angiver samtidigt sandsynlighedskurver for små vandløb gentegnet efter Baattrup-Pedersen m.fl. (2016a).

Sandsynligheden for målopfyldelse i mellemstore/store vandløb med kanaliseret forløb, dybt beliggende og stærkt rektangulært tværsnitsprofil (tværsnitsprofil = 0, figur 2A) er næsten nul, mens denne sandsynlighed stiger betragteligt til >95 %, hvis tværsnitsprofilet er semi-naturligt og er hhv. dybtliggende eller ligger i terræn (figur 2A). Ligeledes viser figur 2B, at sandsynligheden for målopfyldelse er lav, når breddevariationen er ringe mens der er

>95 % sandsynlighed for målopfyldelse, hvis breddevariationen er mindst 11 %. Bundsubstratet spiller også en væsentlig rolle for sandsynligheden for målopfyldelse med DVFI. Vandløb med udbredt forekomst af mudder på bunden (dækningsgrad > 11 %) eller uden grove substrater (sten og grus) har meget lav sandsynlighed for at opnå målopfyldelse. Omvendt har vandløb med lav dækningsgrad af mudder (< 10 %) eller med mindst spredte forekomster af groft substrat (dækningskategori = 1) meget høj sandsynlighed (80-100 %) for at opnå målopfyldelse (figur 2C-E). Figur 2 er yderligere opsummeret i en opslagstabel (tabel 3).

Tabel 3. I tabellen er anført sandsynligheder for målopfyldelse med DVFI i mellemstore og store vandløb (oplandsareal > 10 km²) med indekseret DFI værdi < 0,24. Sandsynligheder for målopfyldelse er opdelt på i alt fem forskellige fysiske parametre, der alle indgår i DFI.

Indekseret kategori for de fysiske parametre (0-3)*	Tværsnitsprofil	Breddevariation	Dækningsgrad af sten	Dækningsgrad af grus	Dækningsgrad af mudder
0	≈0%	18%	≈0%	≈0%	>95%
1	50%	≈100%	98%	81%	95%
2	≈100%	≈100%	≈100%	≈100%	17%
3	≈100%	≈100%	≈100%	≈100%	0%

3.4 Naturfaglig afgrænsning af mellemstore og store vandløb under hovedtype 7

For mellemstore og store vandløb (opland > 10 km²) peger de her fundne resultater på, at vandløb med indekserede DFI-værdier < 0,24 eller et stærkt kanaliseret forløb har lav sandsynlighed for at opnå målopfyldelse med DVFI. Den lave sandsynlighed for at opnå målopfyldelse i vandløb med DFI < 0,24 afspejler formentlig, at væsentlige fysiske parametre, som indgår i DFI beregningen som tværsnitsprofil, breddevariation, samt dækningsgrader af sten, grus og mudder, har stor betydning for målopfyldelse (Figur 2).

For små vandløb (opland < 10 km²) viste Baattrup-Pederesen m.fl. (2016a), at små vandløb med ringe sandsynlighed for målopfyldelse kunne afgrænses til vandløb med indekserede DFI-værdier < 0,32 eller vandløb med et stærkt kanaliseret forløb. Tilsvarende som for delmængden af mellemstore og store vandløb er den lave sandsynlighed for målopfyldelse i disse vandløb formentlig knyttet til væsentlige fysiske parametre, som indgår i DFI beregningen som breddevariation, samt dækningsgrader af sten, grus og mudder, har stor betydning for målopfyldelse.

I dette notat anvendes indekserede DFI-værdier på < 0,24 og < 0,32 for hhv. store/mellemstore og små vandløb for den i tabel 1 anførte hovedtype 7, nemlig gruppen af vandløb, der har kanaliseret forløb. En delmængde af disse vandløb kan tillige vil være inddigede (tabel 1, påvirkningstype 5) og afvande vandløbsnære arealer, hvor en pumpestation er installeret for at optimere afvandingen (tabel 1, påvirkningstype 2).

4 Resultater

4.1 Beskrivelse af, hvordan hydromorfologiske påvirkninger kan karakteriseres ved brug af specifikke hydromorfologiske parametre

Vurderingen af graden af negativ påvirkning af de hydromorfologiske parametre er baseret på empiriske sammenhænge mellem de enkelte fysiske og hydrologiske parametre, samt de biologiske kvalitetselementer. For de fysiske parametre svarer dette til, at stigende afvigelse fra det naturlige referencescenario vurderes som stigende negativ påvirkning. For de hydrologiske parametre er det imidlertid lidt mere komplekst. I tabel 4 opsummeres vurderingen af graden af negativ påvirkning af de hydromorfologiske parametre for hver af de 7 hovedtyper af hydromorfologiske påvirkninger. Her er det for de hydrologiske parametre angivet, hvorvidt negativ påvirkning svarer til stor eller lille påvirkningsgrad. Herunder gennemgås indholdet i tabel 4 i prosaform for hver af de benævnte overordnede hovedtyper af hydromorfologiske påvirkninger.

Tabel 4. Oversigt over væsentlige påvirkninger af fysiske og hydrologiske parametre for hver af de i tabel 1 nævnte hovedtyper af hydromorfologiske påvirkninger. Antallet af (*) indikerer proportionelt graden af negativ påvirkning af den enkelte fysiske eller hydrologiske parameter.

	Hovedtype 1		Hovedtype 2		Hoved- type 3	Hoved- type 4	Hovedtype 5		Hovedtype 6	Hovedtype 7
	Opstrøms	Ned- strøms	Anvendt areal	Inddiget kyst- stræk- ning			Kanali- seret	Sinuøst		
DFI strækningsparametre										
Slyngningsgrad	***	*	***	***	***	***	***	*	***	***
Tværsnitsprofil	***	*	***	***	***	***	***	*	***	***
Breddevariation	***	*	***	***	***	***	***	*	***	***
DFI substratparametre										
Sten/grus dækning	***	**	***	***	*	***	***	*	***	***
Sand/mudder dækning	***	**	***	***	*	*	***	*	*	***
Hydrologiske parametre										
Q90 ¹	*	*	***	***	*	*	*	*	*	***
Fre1 ¹	**	*	**	**	*	*	*	*	*	**
Fre25 ¹	**	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Fre75 ²	*	*	**	**	*	*	*	*	*	***
Dur3 ²	*	*	*	*	*	*	*	*	*	**
BFI ¹	*	*	**	**	*	*	*	*	*	***

¹ Stærk påvirkning afspejler lavere værdier for denne parameter

² Stærk påvirkning afspejler højere værdier for denne parameter

4.1.1 Hovedtype 1: Opstemningsanlæg, opstrøms strækninger

De vandmasser, der opstaves opstrøms opstemningen, vil have en negativ effekt på vandløbets slyngningsgrad, tværsnitsprofil og breddevariation, idet vandløbet her mere vil have karakter af stillestående vand. Opstuvningen af vandet vil generelt reducere strømhastighed og turbulens, samt shear-stress nær bunden, hvorfor der vil være en øget sedimentation og mindre resuspension af fine organiske og uorganiske partikler, som derfor vil overlejre de grovere substrater på vandløbsbunden.

Den samlede vandføring gennem den opstrøms beliggende strækning med opstuvet vand påvirkes ikke ved opstemningen. Der er derfor udelukkende tale om en strækning, hvor vandspejlet er hævet over det naturlige niveau, men med en mindre dynamik i vandføringen, da opstuvningen kan virke som en vandbuffer. Det er derfor vurderet, at alle inkluderede hydrologiske parametre overordnet set er relativt upåvirket af opstemningen på strækningen opstrøms denne.

4.1.2 Hovedtype 1: Opstemningsanlæg, nedstrøms strækninger

Under forudsætning af, at vandløbets fulde vandføring til enhver tid ledes over eller igennem opstemningen, har selve opstemningen ingen indflydelse på vandløbets slyngningsgrad, tværsnitsprofil og breddevariation på den nedstrøms strækning. Der vil imidlertid produceres en øget mængde organisk materiale i de opstrøms opstuede vandmasser, hvilket kan aflejres på bunden og dække grovere substrater nedstrøms opstemningen (Giller & Malmqvist, 1998).

Typisk vil en sø indlejret i et vandløbssystem have en buffer-effekt på vandføringen nedstrøms søen, hvor denne stabiliseres i forhold til opstrøms forhold. Buffer-effekten er imidlertid proportional med søens størrelse (Giller & Malmqvist, 1998), og for Danmark forventes det generelt ikke, at opstuede vandmasser i relation til opstemningsanlæg typisk vil have tilstrækkelig volumen til at ændre vandføringsregimet markant på nedstrøms strækninger.

4.1.3 Hovedtype 2: Vandløb med pumpestation, der afvander vandløbsnært areal

Vandløb, hvor en pumpestation løbende afvander vandløbsnære arealer, vil typisk være stærkt kanaliserede og være underlagt en høj grad af vedligeholdelse (opgravning og grødeskæring) for at optimere afvandingen af disse arealer. Derfor vil sådanne vandløb typisk have lav breddevariation og rektangulært tværsnitsprofil. Grundet kanalisering og vandløbsvedligeholdelse vil dækningsgraden af grovere substrater være stærkt reduceret og dækningsgraden af bløde substrater (sand og mudder) være øget.

Vandløb, der afvander arealer, hvor det er nødvendigt med pumpestationer for at sikre tilstrækkelig afvanding fra de vandløbsnære arealer, vil typisk have ringe fald og generelt lav vandføring og strømhastighed. På trods af den øgede tilførsel af vand fra de vandløbsnære arealer til vandløbskanalen vil de mest kritiske hydrauliske forhold udgøres af kritisk lave vandføringer målt ved Q_{90} , Fre_{75} og BFI. Her forventes det, at sådanne vandløb, grundet de generelt lave vandførings- og strømforhold, vil være særligt udsatte for kritisk lave vandføringer. Samtidig vil der være et lavere antal vandføringer over medianvandføringen (Fre_1).

4.1.4 Hovedtype 2: Vandløb med pumpestation ved inddiget kyststrækning

Vandløb med en pumpestation ved munden på en inddiget kyststrækning vil typisk være stærkt kanaliserede og være underlagt en høj grad af vedligeholdelse for at optimere transporten af vand mod havet på en del af strækningen opstrøms. Længden af denne strækning afhænger bl.a. af faldforhold mv. Munden kan periodevis være aflukket for at forhindre, at havvand trænger op i vandløbssystemet, og vandløbets fortsatte vandføring sikres med pumpestation. Typisk vil sådanne vandløb have lille fald, lav vandføring og lav strømhastighed. Grundet kanalisering og vandløbsvedligeholdelse vil dækningsgraden af grovere substrater være stærkt reduceret og dækningsgraden af bløde substrater (sand og mudder) være øget. Derudover vil perioder med aflukket vandløbsmunding, afhængig af pumpestationens ydeevne, kunne stuve vandet i vandløbet og derved yderligere fremme sedimentation af fine organiske og uorganiske partikler.

På samme måde som for vandløb, hvor en pumpestation afvander vandløbsnære arealer, vil den generelt lave vandføring og strømhastighed medføre, at disse vandløb vil være særligt udsatte for kritisk lave vandføringer. Ligeledes vil der være et lavere antal vandføringer over medianvandføringen (Fre_1).

4.1.5 Hovedtype 3: Fikserede vandløb

Substrater i vandløb med stensætningsfikserede brinker og bund vil logisk være domineret af sten og grus, og vandløbsprofilen vil være udformet således, at vandløbskanalen kan rumme den nødvendige vandføring uden at oversvømme vandløbsnære arealer. Det vil sige, at selvom forløbet både kan være kanaliseret eller sinuøst, vil vandløbsprofilen ofte være relativt dybt og rektangulært og stærkt begrænse land-vand interaktioner. Da stensætningsfikseringer ofte benyttes til reduktion af brinkerrosion og bundtransport af sand, vil forekomst af bløde substrattyper være sparsom.

Der forventes ingen nævneværdig indflydelse af vandløbsfikseringer på de inkluderede hydrologiske parametre i disse vandløb.

4.1.6 Hovedtype 4: Rørlagte vandløb

Rørlagte vandløbsstrækninger er uden naturligt substrat, og rørets dimensioner fastsætter vandløbets profil. Der er derfor maksimal negativ påvirkning af vandløbets fysiske karakteristika. Dog er graden af negativ påvirkning af dækningsgrader for mudder anført som lille, da fravær af mudder ikke vil have en direkte negativ effekt på de biologiske tilstandselementer.

Til gengæld vil de udvalgte hydrologiske parametre kun være påvirket i ringe grad, og det anslås at rørlægning af vandløb, isoleret set, ikke påvirker de udvalgte hydrologiske parametre nævneværdigt. Dog kan manglende grundvandstilstrømning og overfladisk tilstrømning påvirke minimums- og maksimumsafstrømningen.

4.1.7 Hovedtype 5: Inddigede vandløb med kanaliseret forløb

Inddigede vandløb med kanaliseret forløb vil typisk være underlagt en høj grad af vedligeholdelse (opgravning og grødeskæring) for at optimere afvandingen af de vandløbsnære arealer. Vandløbene vil være kanaliserede, med lav breddevariation og rektangulært tværsnitsprofil. Grundet kanalisering og

vandløbsvedligeholdelse vil dækningsgraden af grovere substrater være stærkt reduceret og dækningsgraden af bløde substrater (sand og mudder) være øget. Derudover vil land-vand interaktionerne være stærkt forringede grundet digerne, og den vandløbsnære zone vil være stærkt modificeret.

Vandløb, der afvander arealer, hvor det er nødvendigt med digekonstruktioner for at hindre oversvømmelse af disse, vil ofte have ringe fald og generelt lave strømhastigheder.

4.1.8 Hovedtype 5: Inddagede vandløb med sinuøst forløb

Det er en mulighed, at digekonstruktioner kan være opført med tilpas stor afstand mellem digerne til at det inddagede vandløb i princippet kan have bibeholdt et sinuøst til mæandreende forløb. I modsætning til inddagede vandløb med kanaliseret forløb vil inddagede vandløb med sinuøst forløb have en mere velbevaret og naturlig slyngningsgrad, breddevariation og tværsnitsprofil. Det forventes dog stadig, at vandløbets hældning generelt er lav, og at der grundet sparsom kraft i vandføringen kan være markante forekomster af bløde substrattyper.

4.1.9 Hovedtype 6: Vandløb i byområder med betonbund og -sider

Vandløb i byområder med betonbund og -sider har lav til manglende forekomst af naturlige substrater, herunder sand og mudder, og vil være karakteriseret ved kanaliserede forløb med lav breddevariation og stærkt rektangulært tværsnitsprofil. Som for de rørlagte strækninger forventes de udvalgte hydrologiske parametre kun i ringe grad at være negativt påvirket.

4.1.10 Hovedtype 7: Kanaliserede vandløb

Den naturfaglige afgrænsning af mellemstore/store og små (oplandsareal på hhv. $> 10 \text{ km}^2$ og $< 10 \text{ km}^2$) under hovedtype 7 er baseret på fysiske parametre, der indgår i DFI. To grupper af vandløb falder ind under denne kategori: Første gruppe er mellemstore/store vandløb (opland $> 10 \text{ km}^2$) med indekserede DFI-værdier $< 0,24$, eller med stærkt kanaliserede forløb. Den anden gruppe er små vandløb (opland $< 10 \text{ km}^2$) med indekserede DFI-værdier $< 0,32$ eller et kanaliseret til svagt sinuøst forløb. Denne gruppe af vandløb er derfor per definition stærkt negativt påvirket på alle inkluderede fysiske parametre.

Også de hydrologiske forhold er stærkt påvirkede i denne gruppe af vandløb. Oplandene er ofte intensivt dræned, hvilket giver en større hydrologisk respons i vandløbenes vandføring på nedbørshændelser. Både tid til maksimum vandføring ("rising limb") og tiden, det tager for at vende tilbage til base flow ("recession limb"), er reduceret. Derudover vil maksimumvandføringer i forbindelse med nedbørshændelser øges sammenlignet med naturlige vandløb, fordi markdræn udgør en hurtigere transportvej til vandløbet sammenlignet med transport i underjorder og grundvand. Omvendt vil minimumsvandføringer alt andet lige blive reduceret sammenlignet med naturlige vandløb, fordi oplandets dræned jorder ikke tillader nedsivning og opmagasinering af så meget grundvand som ikke-dræned jorder.

Reduktion af minimumsvandføringer (lavere Q_{90} , Fre_{75} og BFI) vurderes som en kraftig negativ hydrologisk påvirkning fordi alle i Danmark anvendte økologiske kvalitetselementer (planter, smådyr og fisk) responderer negativt på reduceret minimumsvandføring. Derimod vurderes øget frekvens af kraftige

vandføringer (højere Fre₁ og Fre₂₅) ikke som en kraftig negativ påvirkning, da de fleste vandløbsorganismer er tilpasset sådanne vandføringshændelser. Til gengæld vurderes øget Dur₃ (den samlede varighed af vandføringer > 3 x medianvandføring), som er en beskrivende parameter for ekstremt høje vandføringer, som en kraftig negativ påvirkning.

4.2 Påvirkninger af fysiske og hydrologiske parametre på de biologiske kvalitetselementer

Menneskeligt upåvirkede vandløb har en større variation i levesteder i forhold til menneskeligt stærkt påvirkede vandløb. Et naturligt mæandrerende vandløb med et naturligt tværsnitsprofil og variation i vandløbsbredden vil rumme både partier med lav vanddybde og høj strømhastighed (stryg) domineret af groft uorganisk og organisk materiale og dybere partier med langsommere strømhastighed (høller), hvor finere organisk og uorganisk materiale bundfældes. Derudover vil variationen i levesteder yderligere øges af strømmodificerende strukturer såsom vandplanter og større vedfragmenter. Ofte vil der være en tæt interaktion mellem land og vand, idet vandløbsprofilen ligger nær terrænhøjde hvilket yderligere øger antallet af levesteder. I kanaliserede vandløb med ensartet og dybtliggende tværsnitprofil og lav breddevariation, vil både bundforhold og strømhastighed være langt mere ensartet (Giller & Malmqvist 1998; Pedersen 2009). Der er med andre ord plads til flere forskellige arter i det naturlige vandløb, og der er generelt en positiv sammenhæng mellem variation i vandløbenes levesteder, beskrevet ved fysiske og hydrologiske parametre og de biologiske kvalitetselementer (fx Göthe m.fl., 2015; Pedersen & Friberg 2009).

Tabel 5. Oversigt over væsentlige påvirkninger af fysiske og hydrologiske parametre på de biologiske kvalitetselementer. Antallet af (*) indikerer proportionelt graden af negativ (-) eller positiv (+) påvirkning af den enkelte fysiske eller hydrologiske parameter.

	DVPI (opland >10 km ²)	DVFI	DFFVø (opland < 10 km ²)	DFFVa (opland > 10 km ²)
DFI strækningsparametre				
Slyngningsgrad	*** (+)	*** (+)	*** (+)	*** (+)
Tværsnitsprofil	*** (+)	*** (+)	*** (+)	*** (+)
Breddevariation	*** (+)	*** (+)	*** (+)	*** (+)
DFI substratparametre				
Sten/grus dækning	** (+)	*** (+)	*** (+)	** (+)
Sand/mudder dækning	** (-)	*** (-)	*** (-)	*** (-)
Hydrologiske variable				
Q90	** (-)	*** (-)	*** (-)	** (-)
Fre1	* (+)	** (+)	* (+)	* (+)
Fre25	* (+)	* (+)	* (+)	* (+)
Fre75	** (-)	* (-)	** (-)	* (-)
Dur3	* (-)	* (-)	* (+)	* (+)
BFI	** (+)	** (+)	*** (+)	*** (+)

Baseret på den eksisterende viden for empiriske sammenhænge mellem fysiske og hydrologiske vandløbsparametre og biologiske kvalitetselementer vurderes i dette notat graden af påvirkning for hver af de udvalgte fysiske og hydrologiske vandløbsparametre, der blev anvendt til at beskrive fysiske og hydrologiske påvirkninger af de i tabel 1 beskrevne hovedtyper af hydromorfologiske påvirkninger. Disse vurderinger er skaleret på en tre-trins skala, opsummeret i tabel 5, og kort beskrevet i prosaform herunder.

4.2.1 Dansk vandplanteindeks (DVPI)

DVPI er baseret på artsammensætningen, diversiteten og dækningsgraden af vandplanter. DVPI er dog kun interkalibreret for mellemstore og store vandløb (opland > 10 km²) og kan derfor ikke anvendes i små vandløb (opland < 10 km²). Alle tre parametre afhænger i høj grad af variation i vandløbets fysiske udformning og forstyrrelsesfrekvens (Baatrup-Pedersen m.fl., 2015). Derfor er der en positiv sammenhæng mellem DVPI og de fysiske parametre, der overordnet beskriver vandløbets fysiske variation (slyngningsgrad, tværsnitsprofil og breddevariation). Umiddelbart har substratsammensætningen ikke samme grad af indflydelse på DVPI som de overordnede fysiske parametre, men da der er en sammenhæng mellem dækningsgraden af grove (sten og grus) og bløde (mudder) substrattyper og graden af fysisk modifikation, hvor grove substrater er underrepræsenteret og bløde substrater overrepræsenteret i stærkt modificerede vandløb, vurderes sammenhængen mellem DVPI-værdier og substrattyper at være middelstor.

Beskedne forøgelser af vandføringen (Fre_1 og Fre_{25}) kan have positiv indflydelse på plantesamfund, da der her sker en tilstrækkelig forstyrrelse af plantesamfundene til at mindre konkurrencesterke arter kan kolonisere vandløbene og dermed opnå højere DVPI-værdi. Omvendt kan meget kraftige forøgelser i vandføringen (Dur_3) og ekstremt lave vandføringer (Q_{90} , BFI) have negativ effekt på plantesamfundene (Graeber m.fl., 2014, Riis 2008, Riis m.fl., 2008). Ingen af de hydrologiske påvirkninger forventes dog at have større indflydelse på DVPI end de fysiske parametre. Der er dog en risiko for, at meget lave vandføringer kan medføre tilgroning med terrestriske sumpplanter af især vandløbets bredzone, og hele vandløbsprofilen hvis vanddybden er lav, hvilket påvirker DVPI meget negativt.

4.2.2 Dansk vandløbsfaunaindeks (DVFI)

Som for vandplanterne, gælder det for makroinvertebraterne, at stigende antal levesteder er koreleret med stigende antal arter og DVFI-værdi, hvilket blandt andet afspejles i en stærk positiv korrelation mellem DFI og DVFI (Wi-berg-Larsen m.fl., 2010). De strækningsparametre, der beskriver den overordnede naturlige variation i levesteder (slyngningsgrad, tværsnitsprofil, breddevariation og til dels dækningsgrad af sten og grus) er ligeledes stærkt positivt koreleret med DVFI (Baatrup-Pedersen m.fl., 2016a, tabel 2 i dette notat), hvorimod der er en negativ sammenhæng med dækningsgrad af sand og mudder (Pedersen & Friberg 2009).

For de hydrologiske parametre gælder det overordnet, at ekstremt lave vandføringer (Q_{90}) har en stærk negativ indvirkning på makroinvertebrater og DVFI, dels grundet forringede iltforhold og dels grundet øget sedimentation af fint materiale, hvilket forringer variationen og kvaliteten af levesteder (Graeber m.fl., 2014, Hille m.fl., 2014). Frekvensen af mindre forøgelser af vandføringen er derimod uden betydning eller med svag positiv effekt. Det skyldes, at forøgelser i vandføringen kan have positiv effekt på iltforholdene, og en øget strømhastighed ved stigende vandføring kan reducere dækningsgraden af fint sediment og derved forbedre de fysiske forhold.

4.2.3 Dansk fiskeindeks for vandløb (DFFVa, DFFVø)

Generelt har både de overordnede fysiske forhold (strækningsparametre) og substratforhold indflydelse på DFFVa og DFFVø. Der kan således etableres en stærk positiv sammenhæng mellem DFI-værdier og DFFVa for danske

vandløb. Tilsvarende er der en positiv sammenhæng mellem DFFV \emptyset og habitatkvalitet (bl.a. bedømt ved tilstedeværelse af grove substrater og højenergi-strømhastigheder, som er nødvendige forudsætninger for succesfuld gydning og yngeloverlevelse for ørred og laks)(Kristensen m.fl., 2014a). Da kvaliteten og diversiteten af de overordnede fysiske forhold (strækningsparametrene) er positivt korrelerede med antallet og kvaliteten af egnede skjulesteder og gydeforhold for især lithofile fiskearter som ørred og laks, vil der være en stærk positiv korrelation mellem de fysiske forhold og DFFV \emptyset og DFFVa. Tilstedeværelsen af grovere substrater er især vigtig for succesfuld gydning og yngeloverlevelse for ørred, og derfor er der en stærk positiv sammenhæng mellem dækningsgraden af sådanne substrater og DFFV \emptyset , mens denne sammenhæng ligeledes er positiv men mindre stærk for DFFVa (Kristensen m.fl., 2014a). Empiriske undersøgelser har desuden vist, at der er stærk negativ sammenhæng mellem dækningsgraden af mudder og både DFFV \emptyset og DFFVa (Kristensen m.fl., 2014a).

De hydrologiske parametre har også betydning, og generelt er den økologiske kvalitet bedømt med DFFVa stærkt positivt korreleret med stabiliteten af vandløbets vandføring (BFI) (Graeber m.fl., 2014). Fisk er dog langt mere mobile end både makroinvertebrater, og mange arter (bl.a. ørred) kan flytte sig nedstrøms i perioder med lav vandføring, for så at genindvandre, når vandføringen bliver højere igen. Der er ikke lavet egentlige undersøgelser af sammenhængen mellem de hydrologiske parametre og DFFV \emptyset , da datamaterialet har været utilstrækkeligt til en sådan analyse. Dog vurderes det på baggrund af laks og ørreds krav til egnede grusbanks for succesfuld gydning og yngeloverlevelse, at ekstremt lave vandføringer, hvor fint materiale bundfældes og derved kan reducere kvaliteten af gydepladser og yngeloverlevelse, kan have stor negativ effekt på DFFV \emptyset (Hendry m. fl., 2003, Garbe m.fl., 2016).

4.3 Beskrivelse af påvirkningsgrad af biologiske tilstandselementer, herunder risiko for manglende målopfyldelse, i vandløb, der er stærkt påvirkede af hydromorfologiske forandringer

Flere af de i tabel 1 angivne hovedgrupper af hydromorfologiske forandringer påvirker vandløbenes fysiske og hydrologiske parametre på sammenlignelig måde og med sammenlignelig intensitet (tabel 3). Derudover er der et relativt stort overlap i, hvorledes hver enkelt af de identificerede vigtige fysiske og hydrologiske parametre påvirker de biologiske kvalitetselementer (tabel 4). Derfor vil der ligeledes være et relativt stort overlap mellem de i tabel 1 angivne hovedgrupper af hydromorfologiske forandringer med hensyn til, hvordan og med hvilken intensitet de biologiske kvalitetselementer forventes påvirket og den dertil svarende risiko for manglende målopfyldelse.

Herunder gennemgås i prosaform, hvorledes og med hvilken intensitet de biologiske kvalitetselementer påvirkes i hver af de i tabel 1 angivne hovedgrupper af hydromorfologiske forandringer. Denne beskrivelse integrerer således summen af påvirkningerne af hver enkelt fysisk og hydrologisk parameter som opsummeret i tabel 4. I enkelte af disse hovedgrupper af hydromorfologiske forandringer vil der desuden være væsentlige kemiske eller vedligeholdelsesrelaterede påvirkninger, som integreres i den samlede vurdering af risikoen for manglende målopfyldelse. Den nedenstående gennemgang af påvirkninger af de biologiske kvalitetselementer er desuden opsummeret i tabel 5, hvor graden af den samlede påvirkning af de biologiske kvalitetselementer

er karakteriseret på tre niveauer rangerende fra lille, intermediær og til stor grad af påvirkning.

4.3.1 Hovedtype 1: Opstemningsanlæg, opstrøms strækninger

Som det fremgår af tabel 4, er alle tre kvalitetselementer stærkt korrelerede med graden af slyngning, tværsnitsprofil og breddevariation samt typen af bundsubstrat. Alle disse parametre vil påvirkes markant i opstuvningszonen opstrøms et opstemningsanlæg, hvorfor det forventes, at både DVPI, DVFI, DFFV \emptyset og DFFVa vil være stærkt negativt påvirkede. Denne negative påvirkning forventes at være yderligere udtalt for smådyr og fisk, fordi en opstemning blokerer migration af disse organismer i deres opstrøms vandring, medmindre der er lavet egentlige faunapassager.

Sandsynligheden for at opnå målopfyldelse på strækninger umiddelbart opstrøms opstemningsanlæg er meget lille/ikke sandsynlig for fisk og smådyr, mens det vurderes, at der reelt kan være mulighed for at opnå målopfyldelse med DVPI.

4.3.2 Hovedtype 1: Opstemningsanlæg, nedstrøms strækninger

Som beskrevet tidligere har opstemningen lille betydning for de fysiske strækningparametre, såfremt variationen i vandføringen, som ledes gennem eller over opstemningsanlægget, følger den naturlige variation nedstrøms opstemningsanlægget. Den primære effekt af opstemningen nedstrøms, vil være en øget mængde organisk stof i vandet, der navnlig påvirker artssammensætningen af smådyrssamfundet ved en øget dominans af filtratorer og rovdyr (Giller & Malmqvist 1998), men også til en vis grad påvirker fisk og planter negativt. Det er muligt, at nogle planter kan blive begrænset i deres spredning, hvis den nedsatte hastighed i stuvningszonen betyder, at frø og plantefragmenter bundfælder sig og ikke spredes videre nedstrøms. Det er ligeledes muligt, at vandrefisk (fx ørred og laks) ikke har adgang til egnede gydepladser på grund af spærringen, hvorfor den naturlige reproduktion af disse arter kan forhindres. Da ørred og laks vægtes positivt i DFFVa, vil en manglende naturlig reproduktion af disse arter afspejle sig negativt i både DFFVa og DFFV \emptyset .

Såfremt de fysiske forhold nedstrøms opstemningen ikke er markant forarmede, vil der være en rimelig sandsynlighed for at opnå målopfyldelse med alle tre kvalitetselementer (planter, smådyr og fisk), herunder både DFFV \emptyset og DFFVa for fisk.

4.3.3 Hovedtype 2: Vandløb med pumpestation, der afvander vandløbsnært areal

Som beskrevet tidligere vil vandløb i denne kategori typisk være beliggende i områder med ringe fald, være stærkt kanaliserede med lille breddevariation og rektangulært tværsnitsprofil, og der vil typisk være høj grad af vedligeholdelse (opgravning og grødeskæring) for at sikre afvanding. Substratparametre og hydrologiske parametre er ligeledes stærkt negativt påvirkede. Til lige vil områder, der behøver afvanding, typisk være dyrkede arealer, hvorfor koncentrationer af næringsstoffer og pesticider også forventes øgede. Summen af disse påvirkninger vil have meget stor negativ indflydelse på alle tre biologiske kvalitetselementer, jf. tabel 4, og der er meget lav sandsynlighed for, at sådanne vandløbsstrækninger kan opnå målopfyldelse.

4.3.4 Hovedtype 2: Vandløb med pumpestation ved inddiget kyststrækning

Som for vandløb med pumpestation, der afvander vandløbsnære arealer, gælder det, at der vil være en lignende stærk påvirkning af de fysiske vandløbsparametre på en del af strækningen opstrøms. Længden af denne strækning afhænger bl.a. af faldforhold mv. Ligeledes vil der typisk være en høj grad af vedligeholdelse, der homogeniserer og forringer levesteder for dyr og planter. Yderligere vil kritiske minimumsvandføringsparametre være negativt påvirkede. Summen af disse påvirkninger vil have meget stor negativ indflydelse på alle tre biologiske kvalitetselementer, jf. tabel 4, og der er meget lav sandsynlighed for, at sådanne vandløbsstrækninger kan opnå målopfyldelse.

4.3.5 Hovedtype 3: Fikserede vandløb

Vandløb med stenfikserede brinker og bund vil logisk være domineret af grove substrater, og den sandvandring og brinkerrosion, som fikseringen givetvis er iværksat for at modvirke, vil være hæmmet med yderligere reduktion af dækningsgrader af sand til følge. Om end den samlede artsrigdom af smådyr, fisk og planter vil være negativt påvirket grundet homogeniseringen af vandløbets fysiske forhold, vil især arter af smådyr og til dels fisk, som har præferencer for grove substrater, have en sandsynlighed for at danne levedygtige populationer.

For smådyr gælder det, at et ikke ubetydeligt antal arter, der er positive indikatorer i DVFI, har præference for grove substrattyper, og der vil være en rimelig sandsynlighed for at opnå målopfyldelse med DVFI. For fisk gælder det, at både DFFVa og DFFVø er positivt korreleret med mængden af især grus på vandløbsbunden, dels som følge af øget sandsynlighed for succesfuld gydning og yngeloverlevelse af ørred. Det er imidlertid tvivlsomt, om vandløb med stenfikserede brinker og bund vil rumme egnede gydelokaliteter for ørred, hvor både parametre som vanddybde og strømhastighed er stærkt betydende faktorer. Øvrige arter af fisk, som indgår i DFFVa som positive indikatorer, og som har reproduktion knyttet til grove substrattyper, fx smerling, knude, hav-, bæk- og flodlampret og stalling, vil sandsynligvis ikke kunne opnå bæredygtige populationer i et stærkt homogent vandløbsmiljø. Det vurderes derfor, at sandsynligheden for målopfyldelse med både DFFVø og DFFVa vil være relativt lav i denne gruppe af vandløb. Planter vil have svært ved at etablere sig på en bund bestående af sten og grus, og sandsynligheden for at opnå målopfyldelse med DVPI vil være meget lav.

4.3.6 Hovedtype 4: Rørlagte vandløb

Alle biologiske kvalitetselementer påvirkes stærkt negativt på rørlagte strækninger, hvor der er fravær af naturligt substrat og lys. Det er ikke muligt at opnå målopfyldelse med nogen af de biologiske kvalitetselementer i denne gruppe af vandløb.

4.3.7 Hovedtype 5: Inddigede vandløb med kanaliseret forløb

Som beskrevet tidligere vil de fysiske vandløbsparametre alle være stærkt negativt påvirket i denne gruppe af vandløb, og der vil typisk være en betydelig forstyrrelsesintensitet gennem vedligeholdelse (grødeskæring og opgravning) for at optimere afvandingen af de vandløbsnære arealer. Summen af

disse påvirkninger vil have meget stor negativ indflydelse på alle tre biologiske kvalitetselementer, jf. tabel 4, og der er meget lav sandsynlighed for at sådanne vandløbsstrækninger kan opnå målopfyldelse.

4.3.8 Hovedtype 5: Inddigede vandløb med sinuøst forløb

I tilfælde, hvor digekonstruktionerne er opført med tilpas stor afstand mellem digerne til at det inddigede vandløb har bibeholdt et sinuøst til mæeandrende forløb og et velbevaret varieret fysisk vandløbsmiljø, vil de fysiske forudsætninger for målopfyldelse for alle tre biologiske kvalitetselementer være til stede. Intens og hyppig grødeskæring vil reducere dominansen af grødeødannende arter og fremme dominans af fx pindsvineknop, der danner mere tæppelignende, ensformige formationer, hvilket vil have en negativ effekt på både fisk og smådyr (Riley m.fl., 2009, Friberg m.fl., 2014).

Samlet vurderes det, at den mest betydende negative faktor i denne gruppe af vandløb vil være grødeskæringsintensitet og -frekvens. Sandsynligheden for målopfyldelse vil derfor mestendels afhænge af vedligeholdelsesregimet men vurderes overordnet, at der vil være en ikke ubetydelig sandsynlighed for, at der kan opnås målopfyldelse med alle tre kvalitetselementer (planter, fisk og smådyr), herunder både DFFVa og DFFVø for fisk.

4.3.9 Hovedtype 6: Vandløb i byområder med betonbund og -sider

Som det gælder for de rørlagte strækninger, mangler vandløb i byområder med betonbund og -sider stort set naturligt substrat og forløbet vil være kanaliseret med rektangulært tværsnit og manglende breddevariation. Diversiteten og tætheden af planter, smådyr og fisk vil i bedste fald være meget lav, og det vurderes ikke sandsynligt, at der kan opnås målopfyldelse i denne gruppe af vandløb.

4.3.10 Hovedtype 7: Kanaliserede vandløb,

Som for de inddigede vandløb og vandløb med pumpestation, der afvander vandløbsnære arealer, er der i hovedtype 7 vandløb en intens matrix af fysiske og hydrauliske påvirkninger. Denne gruppe af vandløb er således per definition negativt påvirket på alle inkluderede fysiske parametre, mens også en række betydende hydrauliske parametre er negativt påvirket. Summen af disse påvirkninger vil have stor negativ indflydelse på alle tre biologiske kvalitetselementer, jf. tabel 4, og der er ringe sandsynlighed for at sådanne vandløbsstrækninger kan opnå målopfyldelse.

Tabel 5. Oversigt over den forventede negative påvirkning af de tre kvalitetselementer; planter, smådyr og fisk, bedømt ved de respektive økologiske indices for hver af de i tabel 1 angivne hovedtyper af hydromorfologiske påvirkninger. Den forventede negative påvirkning er angivet på tre niveauer, rangerende fra lav (-), intermedier (--), til høj (---) negativ påvirkning. Høj negativ påvirkning er ligeledes associeret med meget lav sandsynlighed for målopfyldelse med det pågældende kvalitetselement og tilhørende økologiske indeks.

		Planter	Smådyr	Fisk	
		DVPI	DVFI	DFFVø	DFFVa
Hovedtype 1	Opstrøms strækninger	--	---	---	---
	Nedstrøms strækninger	-	--	--	--
Hovedtype 2	Afvanding af vandløbsnært areal	---	---	---	---
	Inddiget kyststrækning	---	---	---	---
Hovedtype 3		---	--	---	---
Hovedtype 4		---	---	---	---
Hovedtype 5	Kanaliseret forløb	---	---	---	---
	Sinuøst forløb	--	--	--	--
Hovedtype 6		---	---	---	---
Hovedtype 7		---	---	---	---

4.4 Effekt af virkemidler på de hydromorfologiske forhold i stærkt modificerede vandløb

Der tages udgangspunkt i de virkemidler, der er medtaget i "Bekendtgørelse om kriterier for vurdering af kommunale projekter vedrørende vandløbsrestaurering" (lovbekendtgørelse nr. 1579 af 8. december 2015). I bekendtgørelsen er en række af virkemidlerne reelt en kombination af flere mindre bestanddele. I denne beskrivelse er det valgt at splitte alle virkemidlerne op i deres mindste bestanddele, således at det er muligt at lave en vurdering af den kumulative effekt af forskellige kombinationer af virkemidlerne. For mange af de mindre omfattende restaureringer gælder det, at effekten af det enkelte tiltag er begrænset, hvilket fremgår af tabel 6, mens kombinationer af flere virkemidler vil have større effekt på de hydromorfologiske parametre. Nedenstående beskrivelser tager udgangspunkt i virkemiddelkataloget (Kristensen m.fl., 2014b). I dette afsnit beskrives effekterne af virkemidlerne på de udvalgte stræknings- og substratparametre, nævnt i tabel 3 og 4, og en vurdering af graden af positive effekter, som virkemidlerne har på disse parametre er givet i tabel 6.

4.4.1 Udlægning af groft materiale

Ved tilførsel af groft materiale vil der ske en mindre hævning af vandløbsbunden på udlægsstrækningen. Der er ingen effekt af virkemidlet på vandløbets slyngningsgrad og breddevariation, mens der kan være en mindre effekt på vandløbets tværsnitsprofil, idet en mindre hævning af vandløbsbunden vil resultere i, at vandløbsprofilen løftes lidt som følge af udlægningen af det grove materiale. Tilførslen af groft materiale øger vandløbets habitatheterogenitet gennem en øget dominans af groft substrat og reduceret dominans af sand og mudder.

4.4.2 Udskiftning af bundmateriale

Virkemidlet har ingen effekt på vandløbets slyngningsgrad og breddevariation, mens der kan være marginal effekt på vandløbets tværsnitsprofil, der

kan blive svagt mindre rektangulært. Tilførslen af groft materiale øger vandløbets habitatheterogenitet gennem en øget dominans af groft substrat og reduceret dominans af sand og mudder.

4.4.3 Hævning af vandløbsbund

Udlægning af groft substrat i forbindelse med hævning af vandløbsbunden vil overordnet skabe de samme fysiske forandringer som for "udlægning af groft substrat" og "udskiftning af bundmateriale" i forhold til substratsammensætning, mens der kan forventes en større positiv effekt på vandløbets tværsnitsprofil sammenlignet med "udlægning af groft substrat" og "udskiftning af bundmateriale". På samme vis forventes der ingen effekt af hævning af vandløbsbund på vandløbets slyngningsgrad eller breddevariation.

4.4.4 Etablering af træer langs vandløbet

Træer langs vandløb kan forbedre de fysiske forhold gennem forskellige mekanismer. Det er bl.a. vist, at træplantning alene kan skabe et mere naturligt vandløbsprofil, da træerne, deres rødder, nedfaldende 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 vil blive udsat for kritisk høje temperaturer i sommerhalvåret (Kristensen et al. 2013). Endelig vil træer langs vandløbet betyde tilførsel af blade og grene som både skaber et fødegrundlag for mange smådyr. Det skal derudover bemærkes, at træer er vigtige habitater for de voksne stadier af flere arter vandløbsinsekter, og at disse typisk lever i en bræmme på 20-30 meter langs vandløbene (Wiberg-Larsen and Nørum, 2009).

4.4.5 Genslyngning

De primære effekter af en genslyngning er især relateret til variation i strømhastighed, der potentielt kan føre til øget variation i substratparametre, hvor dækningsgraden af grus/sten, hvis det er til stede i det geologiske materiale, kan øges. Ved genslyngning vil der være mulighed for øget breddevariation, hvis tværsnitsprofilen ligger højt i terrænet og vandløbets naturlige erosionskræfter får frit spil. Der vil naturligt være stor effekt af genslyngning på vandløbets slyngningsgrad.

4.4.6 Åbning af rørlagt strækning

Virkemidlet har en række konsekvenser for det fysiske vandløbsmiljø, idet det unaturlige cement- eller plastikbaserede substrat udskiftes med noget mere naturligt. Åbning af vandløbstrækninger har ingen direkte indflydelse på vandløbets slyngningsgrad eller breddevariation. Derudover forventes ingen positiv effekt af virkemidlet på vandløbets tværsnitsprofil eller på dækningsgraden af grove substrater, medmindre virkemidlet kombineres med andre relevante virkemidler. Et nyåbnet og nygravet vandløbsprofil vil over en periode bestå af sandbund, medmindre andre virkemidler bringes i anvendelse sammen med åbningen af den rørlagte strækning.

4.4.7 Fjernelse af fysisk spærring

Dette virkemiddel har en stærk positiv effekt på de hydromorfologiske forhold opstrøms den tidligere spærring, hvor stuvningen fjernes og et mere naturligt vandløb etableres. Der er ikke *nødvendigtvis* en positiv effekt på slyngningsgrad, breddevariation eller tværsnitsprofil. Indflydelsen på disse parametre vil afhænge af, hvilket leje vandløbet falder tilbage i efter fjernelsen af den fysiske spærring. Der kan være positive effekter på vandløbstrækningen opstrøms den fjernede spærring, idet vandets erosionskræfter får mere frit spil, hvilket kan blotlægge grovere substrater og reducere dækningsgraden af sand og mudder.

For strækninger nedstrøms den fjernede spærring vil der ikke være markante effekter på de fysiske forhold på vandløbsstrækningen. Der kan endog være en mindre, men formentlig forbipasserende, negativ effekt på substratsammensætningen idet en del af det fine sand og mudder, der fjernes fra opstrøms strækninger, som følge af fjernelse af opstuvningen, delvist kan aflejres på den nedstrøms strækning med højere dækningsgrader af sand og mudder til følge.

Tabel 6. Oversigt over de forventede positive effekter af de forskellige virkemidler på de fysiske strækningsparametre; slyngningsgrad, tværsnitsprofil, breddevariation og substratparametre; dækning af sten/grus og dækning af sand/mudder i vandløb. Den forventede positive påvirkning er angivet på tre niveauer, rangerende fra lille (*), intermedier (**), til stor (***) positiv påvirkning. Manglende graduering af den forventede positive påvirkning af virkemidlerne indikerer enten ingen forventet effekt og i enkelte tilfælde en negativ effekt.

	Slyngningsgrad	Tværsnitsprofil	Breddevariation	Sten/grus dækning	Sand/mudder dækning
Fjernelse af fysisk spærring		*	*	*	(*)
Genslyngning	***	*	*	**	**
Hævning af vandløbsbund		***		***	***
Udlægning af groft materiale		***		***	***
Etablering af træer		**	*	*	*
Udskiftning af bundmateriale		*		***	***
Åbning af rørlagt strækning					

4.5 Effekter af implementering af virkemidler på arealanvendelsen langs vandløb

Virkemidlerne vurderes på deres effekt på vandstanden i vandløbet og dermed på afvandingstilstanden og dyrkningsbetingelserne på de vandløbsnære arealer. Effekten af ændringer i vandstanden på arealanvendelsen kan isoleres til vandløbsnære arealer med en høj naturlig grundvandsstand.

Vandløbsnære arealer, hvor høj naturlig grundvandsstand kan forekomme i forår og vækstsæson, vil være lavbundsarealer (flade, lavtliggende) og jorde med lille topografi (flade) og med lav hydraulisk ledningsevne på grund af jordbundens tekstur og struktur, typisk jorde udviklet på moræner (Styczen m.fl., 2016). Lavbundsborde udviklet på en sandet geologi vil sjældent være drænede, mens lavbundsborde udviklet på ler, eller som er underlagt tykke tørvelag, sandsynligvis vil være drænede for at kunne dyrkes i omdrift. Det samme gælder flade, ånære arealer udviklet på moræner.

Påvirkning af afvandingstilstanden og dermed dyrkningsbetingelserne som følge af ændringer i vandstanden i vandløbet kan vurderes opdelt i hhv. drænede og ikke-drænede arealer. For ikke-drænede arealer vil stigningen i vandstand i vandløbet kunne ekstrapoleres til det vandløbsnære areal med en stigning på få promille (Bach (red.), 2016), og graden af påvirkning afhænger direkte af vandspejlsændringen. Arealer kan muligvis stadig dyrkes i omdrift efter en vandstandshævning, eventuelt med afgrøder med en lavere roddybde. For drænede arealer vil en eventuel påvirkning af afvandingstilstanden som følge af virkemidler være betinget af, om drænudløbene oversvømmes eller ej. Hvis drænudløbene ikke oversvømmes, vil påvirkningen af afvandingstilstanden være minimal. Hvis drænudløbene oversvømmes, afhænger graden af påvirkning af vandstandsstigningen. Tabel 7 viser eksempler på sammenhængen mellem neddykning af drænudløb og udbredelsen af oversvømmelse af hoveddræn.

Tabel 7. Sammenhæng mellem neddykning af drænudløb, hældning på hoveddræn og udbredelse af oversvømmelse af hoveddræn under forudsætning af, at det ligger vinkelret på vandløbet (efter Bach (red.), 2016).

	1‰ hældning på hoveddræn	2‰ hældning på hoveddræn
	Oversvømmelse af hovedledning	Oversvømmelse af hovedledning
5 cm neddykning	50 m	25 m
10 cm neddykning	100 m	50 m
15 cm neddykning	150 m	75 m
20 cm neddykning	200 m	100 m

I vurderingen antages arealer med lav terrænhældning og med leret underjord at være drænede. For lavbundsjordene foretages en vurdering for hhv. drænede (underjord af ler/tørv/gyttje) og ikke-drænede (underjord af sand) arealer. Effekten af virkemidler afhænger dels af vandstanden i vandløbet i udgangssituationen, dels af hvor meget virkemidlerne påvirker vandstanden. Begge dele afhænger helt af lokale forhold.

I praksis er det svært at adskille effekten af en række virkemidler. En gennemgang af 24 vandløbsrestaureringer projekteret i perioden 2010 – 2016 viser, at der i alle tilfælde er tale om en kombination af virkemidler, typisk genslyngning, hævnning af vandløbsbunden samt lukning af dræn og grøfter. Alle 24 projekter er karakteriseret ved brug af egentlige vandløbsvirkemidler og repræsenterer et bredt udsnit af virkemidlerne og kombinationer af disse. Projekterne gennemføres oftest med det formål at få større kontakt mellem vandløbet og de vandløbsnære arealer, hvorfor det tilstræbes, at vandløbets vandspejl ligger tæt på terræn. Muligheden for at dyrke de vandløbsnære arealer i omdrift vil dermed blive meget forringede. De 24 projekter viser vandspejls-hævninger rækkende fra få cm til mere end 1,7 m. Bilag 1 indeholder en oversigt over restaureringsprojekterne.

4.5.1 Genslyngning

Ved genslyngning tilbagelægges et kanaliseret vandløb til dets forløb og profil før udretningen eller et tilsvarende naturligt forløb. 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. Genslyngningen medfører sædvanligvis et lavere fald og en deraf følgende lavere vandhastighed og højere vandstand. Drænede arealer: hoveddræn oversvømmes sandsynligvis tæt på

vandløbet, der er forringet afdræning også af arealer opstrøms det oversvømmede hoveddræn, drænenes selvrensende effekt forringes, drænudløb kan tilstoppes. Ikke-drænede arealer: omdrift er sandsynligvis umulig, eventuelt kan det lade sig gøre med afgrøder med lavere roddybde, men med forøget usikkerhed.

4.5.2 Hævning af vandløbsbunden

Ved hævning af vandløbsbunden forstås udlægning af materiale i kanaliserede vandløb, således at vandløbet kommer til at ligge tættere på terræn, dvs. en højere vandstand. Drænede arealer: hoveddræn oversvømmes sandsynligvis tæt på vandløbet, der er forringet afdræning også af arealer opstrøms det oversvømmede hoveddræn, drænenes selvrensende effekt forringes, drænudløb kan tilstoppes. Ikke-drænede arealer: omdrift er sandsynligvis umulig, eventuelt kan det lade sig gøre med afgrøder med lavere roddybde, men med forøget usikkerhed.

4.5.3 Udlægning af groft substrat

Herved forstås udlægning af groft materiale (primært sten, grus eller træ) alene uden andre fysiske indgreb i enten kanaliserede eller naturligt slyngede vandløb, som resulterer i en begrænset (få cm) stigning i vandstanden. Det antages, at drænudløb ikke oversvømmes.

4.5.4 Udskiftning af bundmateriale

Vandstanden i vandløbet forudsættes upåvirket af dette virkemiddel, hvorfor det ingen effekt har på afvandingstilstanden af de vandløbsnære arealer.

4.5.5 Etablering af træer

Virkemidlet indebærer beplantning med hjemmehørende træarter i umiddelbar nærhed af vandløbet. Beplantningen kan enten foretages på den ene eller på begge sider af vandløbet. Vandstanden påvirkes ikke, hvorfor det ingen effekt har på afvandingstilstanden af de vandløbsnære arealer.

4.5.6 Åbning af rørlagte strækninger

Vandstanden i det åbnede vandløb kan alt andet lige forudsættes at være i samme niveau som det rørlagte vandløb, i hvilket tilfælde virkemidlet ingen effekt vil have på afvandingstilstanden af de vandløbsnære arealer. Ofte anvendes virkemidlet dog i kombination med genslyngning og hævning af vandløbsbunden. I disse tilfælde vil der være samme påvirkning af afvandingstilstanden af de vandløbsnære arealer som angivet for disse virkemidler.

Tabel 8 viser en kvalitativ vurdering af effekten af virkemidler på arealanvendelsen af de vandløbsnære arealer på grundlag af de antagelser, der er nævnt ovenfor. Virkemidlerne er vurderet separat og i en række kombinationer. Udslagsgivende for påvirkning af arealanvendelsen af de vandløbsnære arealer er i alle tilfælde den samlede hævning af vandløbets vandstand.

Tabel 8. Kvalitativ vurdering af den formodede effekt af virkemidler på arealanvendelsen af de vandløbsnære arealer. Vurderingen gradueres på tre niveauer fra henholdsvis ingen (-), ringe (*), middel (**) til stor (***) negativ påvirkning. I parentes er angivet effekten, hvis det vandløbsnære areal ikke er drænet.

Virkemiddel	Jordtype	Indflydelse på arealanvendelse
Genslyngning	Lav terrænhældning, leret underjord	***
	Lavbundsjord	*** (**/***)
Hævning af vandløbsbund	Lav terrænhældning, leret underjord	***
	Lavbundsjord	*** (**/***)
Udlægning af groft substrat	Lav terrænhældning, leret underjord	*
	Lavbundsjord	* (*)
Etablering af træer	Lav terrænhældning, leret underjord	-
	Lavbundsjord	- (-)
Genslyngning + hævnning af vandløbsbund	Lav terrænhældning, leret underjord	***
	Lavbundsjord	*** (**/***)
Genslyngning + Udlægning af groft substrat	Lav terrænhældning, leret underjord	***
	Lavbundsjord	*** (**/***)
Genslyngning + etablering af træer	Lav terrænhældning, leret underjord	***
	Lavbundsjord	*** (**/***)
Hævning af vandløbsbund + udlægning af groft substrat	Lav terrænhældning, leret underjord	***
	Lavbundsjord	*** (**/***)
Hævning af vandløbsbund + etablering af træer	Lav terrænhældning, leret underjord	***
	Lavbundsjord	*** (**/***)
Udlægning af groft substrat + etablering af træer	Lav terrænhældning, leret underjord	*
	Lavbundsjord	* (*)
Genslyngning + hævnning af vandløbsbund + udlægning af groft substrat	Lav terrænhældning, leret underjord	***
	Lavbundsjord	*** (**/***)
Genslyngning + hævnning af vandløbsbund + etablering af træer	Lav terrænhældning, leret underjord	***
	Lavbundsjord	*** (**/***)
Genslyngning + udlægning af groft substrat + etablering af træer	Lav terrænhældning, leret underjord	***
	Lavbundsjord	*** (**)
Hævning af vandløbsbund + udlægning af groft substrat + etablering af træer	Lav terrænhældning, leret underjord	***
	Lavbundsjord	*** (**/***)
Genslyngning + hævnning af vandløbsbund + udlægning af groft substrat + etablering af træer	Lav terrænhældning, leret underjord	***
	Lavbundsjord	*** (**/***)

I tabel 9 er opgjørt landbrugsarealet i intensiv dyrkning på enten lerjord med lav terrænhældning eller på lavbundsjord i en række afstande i forhold til vandløb. Dette areal kan potentielt påvirkes af vandløbsvirkemidler, men der er tale om et bruttoareal, da opgørelsen er foretaget langs alle vandløb uanset status.

Table 9. Omdriftsarealet i afstandsklasser fra vandløb opdelt på typer. Alle vandplanvandløb (17.968 km) uanset status indgår. Omdriftsarealer på lavbund med underjord af enten ler eller tørv/gyttje samt omdrift i øvrigt på flad jord (terrænhældning < 1%) med leret underjord antages at være drænede. Omdriftsarealer på lavbund med sandet underjord antages at være ikke-drænede. Alle arealer er angivet i ha.

	Vandløbstype	100 m	200 m	300 m
Lavbund, underjord sand	1	7.902	13.481	18.157
	2 + 3	14.484	27.884	39.389
Lavbund, underjord ler/tørv/gyttje	1	10.179	15.796	20.021
	2 + 3	11.807	21.013	28.737
Lav terrænhældning, leret underjord	1	1.821	4.830	8.440
	2 + 3	1.496	4.321	7.994

5 Opsamling

Dette notat gennemgår, hvorledes en række fysiske og hydrologiske nøgleparametre er påvirket i en række hovedtyper af hydromorfologiske påvirkninger (tabel 1). Relationen mellem disse fysiske og hydrologiske nøgleparametre og de biologiske kvalitetselementer er ligeledes kvantificeret, og denne relation er anvendt til at estimere risikoen for manglende målopfyldelse i hver af de hydromorfologiske hovedtyper.

Herefter er der beskrevet en række virkemidler, der kan bringes til anvendelse for at optimere sandsynligheden for at kunne nå økologisk målopfyldelse. Alle virkemidlerne beror på større eller mindre indgreb i det fysiske vandløbsmiljø, og effekten af disse virkemidler på hvert af de fysiske nøgleparametre er vurderet. Derved kan der uddrages en sandsynlighed for at opnå økologisk målopfyldelse ved at koble gennemgangen af virkemiddeleffekter på fysiske nøgleparametre og disse nøgleparametres direkte sammenhæng med de biologiske tilstandselementer.

Den positive effekt af det enkelte virkemiddel på de overordnede fysiske forhold i vandløbene er ikke nødvendigvis særlig stor, da ingen af virkemidlerne alene påvirker alle de anvendte nøgleparametre. Ydermere er der en række tilfælde, hvor den positive effekt på de fysiske parametre kan have en relativ kort levetid, som eksempelvis i kanaliserede vandløb med nedgravet vandløbsprofil, hvor udlægning af groft materiale med tiden kan overdækkes sand og mudder via sedimentationsprocesser. Ved at kombinere flere af virkemidlerne bliver sandsynligheden for at få gode fysiske forhold med stor habitat-heterogenitet, der kan understøtte en god økologisk tilstand langt større. Kombineres fx genslyngning med hævnning af vandløbsbunden og udlægning af groft materiale skabes der både variation i substratforhold, variation i vandets hastighed og dybde og bedre kontakt til den vandløbsnære zone.

Det skal dog bemærkes, at grundlaget for en succesfuld restaurering er, at retableringen af mere naturnære fysiske forhold kun kan forventes at forbedre de økologiske forhold, hvis de tilstedeværende forarmede fysiske forhold reelt er den væsentligste årsag til manglende økologisk målopfyldelse. Det vil sige, at vandkemiske parametre, herunder næringsstoffer, letomsætteligt organisk stof (BI₅), okker, miljøfremmede stoffer og tungmetaller, maksimalt må være forekommende i koncentrationer, der ikke udgør den væsentligste årsag til manglende målopfyldelse på den pågældende vandløbsstrækning. På samme måde vil eksempelvis bibeholdelse af frekvent grødeskæring, som har negativ effekt på både planter, fisk og smådyr, på restaurerede vandløbsstrækninger være hæmmende for økologisk målopfyldelse (Bach m.fl., 2016).

Derudover viser ny forskning fra Tyskland, at der er stærk sammenhæng mellem restaureringssucces og tilstedeværelse af minimalt forstyrrede habitater på opstrøms lokaliteter i vandløbssystemet, idet disse kan udgøre væsentlige kildepopulationer, hvorfra nye organismer kan kolonisere restaurerede strækninger (Stoll m.fl., 2016). Med andre ord vil manglende tilstedeværelse af opstrøms kildepopulationer kunne resultere i manglende succes af den fysiske genetablering af egnede habitater. Sandsynligheden for tilstedeværelse af kildepopulationer på opstrøms vandløbsstrækninger afhænger af vandløbets geografiske grad af isolation og af vandløbets størrelse, hvor et tæt vandløbsnetværk vil øge sandsynligheden for egnede spredningsveje for egnede

kildepopulationer, og større vandløb vil have større sandsynlighed for at have kildepopulationer på opstrøms lokaliteter (fx Brederveld m.fl., 2011). Den samlede sandsynlighed for restaureringssucces afhænger derfor af meget mere end blot valg af egnede restaureringsmetoder, hvor en tilstrækkelig grundig undersøgelse af øvrige påvirkningsfaktorer og beliggenhed i forhold til kildepopulationer er elementer med stor indflydelse på graden af restaureringssucces.

Der er derfor en række forbehold, der alle skal tages i betragtning, når sandsynligheden for at opnå økologisk målopfyldelse ved implementering af virkemidler skal vurderes.

6 Referencer

Baatrup-Pedersen A., Larsen S.E, Moeslund B., Sode, A., Pedersen T., Thomsen A.G., Riis T., Buchwald E., Pedersen M., Bøgestrand J. & Larsen L.M. (2011). Planteindeks på vej i vandløb. *Vand og Jord* 18: 101-103.

Baatrup-Pedersen A. & Larsen S.E. (2013). Udvikling af planteindeks til brug i danske vandløb. Vurdering af økologisk tilstand (fase I). Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi. 32 s.

Baatrup-Pedersen, A., Larsen, S.E. & Riis, T. (2013). From expert judgement to supervised classification: A new approach to assess ecological status. *Science of the Total Environment* 447: 116-122.

Baatrup-Pedersen, A., Göthe, E. & Riis, T. 2015. DVPI og økologisk tilstand: Karakteristik af plantesamfundene og relation til påvirkninger. Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, 42 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 135 <http://dce2.au.dk/pub/SR135.pdf>

Baatrup-Pedersen, A., Kjeldgaard, A., Jepsen, N., Nielsen, J., Rasmussen, J.J., Andersen, H.E., Larsen, S.E. (2016a) Opdatering af naturfaglige kriterier for afgrænsning af vandløb. Notat fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, 27s.

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

Bach, H. (red.), Baatrup-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.

Brederveld, R.J., Jähnig, S.C., Lorenz, A., Brunzel, S., Soons, M.B. (2011) Dispersal as a limiting factor in the colonization of restored mountain streams by plants and macroinvertebrates. *Journal of Applied Ecology* 48: 1241-1250.

Friberg, N., Baatrup-Pedersen, A., Kristensen, E.A., Kronvang, B., Larsen, S.E., Pedersen, M.L., Skriver, J., Thødsen, H. & Wiberg-Larsen, P. (2014) The river Gelsa restoration revisited: Habitat specific assemblages and persistence of the macroinvertebrate community over an 11-year period. *Ecological Engineering* 66: 150-157.

Garbe, J., L. Beevers, and G. Pender. 2016. The interaction of low flow conditions and spawning brown trout (*Salmo trutta*) habitat availability. *Ecological Engineering* 88: 53-63.

Giller, P.S. & Malmqvist, B. (1998) *The biology of streams and rivers*. Oxford University Press, New York, 296s.

- Göthe, E., Wiberg-Larsen, P., Kristensen, E.A., Baattrup-Pedersen, A., Sandin, L. & Friberg, N. (2015) Impacts of habitat degradation and stream spatial location on biodiversity in a disturbed riverine landscape. *Biodiversity and Conservation* 24: 1423-1441.
- Graeber, D., Wiberg-Larsen, P., Bøgestrand, J., Baattrup-Pedersen, A. (2014) Vurdering af effekten af vandindvinding på vandløbs økologiske tilstand. Notat fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, 29s.
- Hendry, K., D. Cragg-Hine, M. O'Grady, H. Sambrook, and A. Stephen. 2003. Management of habitat for rehabilitation and enhancement of salmonid stocks. *Fisheries Research* 62:171-192.
- Hille, S., Kristensen, E.A., Graeber, D., Riis, T., Jørgensen, N.K. & Baattrup-Pedersen, A. (2014) Fast reaction of macroinvertebrate communities to stagnation and drought in streams with contrasting nutrient availability. *Freshwater Science* 33: 847-859.
- Kristensen, E.A., Jepsen, N., Nielsen, J., Pedersen, S. & Koed, A. (2014a) Dansk Fiskeindeks for Vandløb (DFFV). Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 95, 58s.
- Kristensen, E.A., Jepsen, N., Nielsen, J., Koed, A. (2014b) Virkemidler til forbedring af de fysiske forhold i vandløb. Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 86, 61s.
- McBride, M., Hession, W.C. and Rizzo, D.M., 2010. Riparian reforestation and channel change: How long does it take? *Geomorphology*, 116: 330-340
- Miljøstyrelsen (1998) Biologisk bedømmelse af vandløbskvalitet. Vejledning fra Miljøstyrelsen nr. 5, Miljø- og Energiministeriet, 42s.
- Pedersen, M.L. (2009) Effects of channelisation, riparian structure and catchment area on physical habitats in small lowland streams. *Fundamental and Applied Limnology* 174: 89-99.
- Pedersen, M.L., Sode, A., Kaarup, P. & Bundgaard, P. (2006) Fysisk kvalitet i vandløb. Test af to danske indices og udvikling af et nationalt indeks til brug ved overvågning af vandløb. Faglig rapport fra DMU nr. 590. Danmarks Miljøundersøgelser, 44s.
- Pedersen, M.L. & Friberg, N. (2009) Influence of disturbance on habitats and biological communities in lowland streams. *Fundamental and Applied Limnology* 174: 27-41.
- Riis, T. (2008) Dispersal and colonisation of plants in lowland streams: success rates and bottlenecks. *Hydrobiologia* 596: 341-351.
- Riis, T., Alastair, M.S., Clausen, B. & Sand-Jensen, K. (2008) Vegetation and flow regime in lowland streams. *Freshwater Biology* 53: 1531-1543.
- Riley, W.D., Pawson, M.G., Quayle, V. & Ives, M.J. (2009) The effects of stream canopy management on macroinvertebrate communities and juvenile salmonid production in a chalk stream. *Fisheries Management and Ecology* 16: 100-111.

Stoll, S., Breyer, P., Tonkin, J.D., Früh, D., Haase, P. (2016) Scale-dependent effects of river habitat quality on benthic invertebrate communities - Implications for stream restoration practice. *Science of the Total Environment* 553: 495-503.

Styczen, M., Hansen, S., Petersen, C.T. og Abrahamsen, P. (2016) Samspil mellem vandstand i vandløb og de omliggende dyrkede arealer. Baggrundspapir til Udredning om Grødeskæring (Naturstyrelsen). Institut for Plante- og Miljøvidenskab, Københavns Universitet. 39 s.

Søndergaard, M., Lauridsen, T.L., Kristensen, E.A, Baattrup-Pedersen, A., Wiberg-Larsen, P., Bjerring, R. & Friberg, N. 2013. Biologiske indikatorer til vurdering af økologisk kvalitet i danske søer og vandløb. Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, 78 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 59.
<http://www.dmu.dk/Pub/SR59.pdf>

Wiberg-Larsen, P., Windolf, J., Baattrup-Pedersen, A., Bøgestrand, J., Ovesen, N.B, Larsen, S.E., Thodsen, H., Sode, A., Kristensen, E.A., Kronvang, B. & Kjeldgaard, A. (2010) Vandløb 2009. NOVANA. Faglig rapport fra DMU nr. 804. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet, 100s.

Wiberg-Larsen, P. & Kronvang, B. (2013) Dansk Fysisk Indeks - DFI. Teknisk Anvisning V05. DCE - National Center for Miljø og Energi, 28s.

Bilag 1. Oversigt over en række vandløbsrestaureringer projekteret i perioden 2010 – 2016

Lokalitet	Tiltag
Odder Å, Odder kommune, 2016	Genslyngning, hævning af vandløbsbund, afbrydelse af dræn.
Bølling Nørrebæk, 2013	Hævning af vandløbsbund.
Susåen ved Veterslev, 2016	Genslyngning, hævning af vandløbsbund op til 1 m.
Åstrup Bæk, Haderslev kommune, 2012	Svag genslyngning, hævning af vandløbsbund.
Ørby Grøft, Haderslev kommune, 2012	Svag genslyngning, hævning af vandløbsbund 0.24 – 0.44 m, hævning af sommervandspejl (75% fraktil): 0.05 m - 0.29 m.
Gundesbøl Å, 2013	Genslyngning, fald sænkes fra 0.66 promille til 0.58 promille. .
Simested Ådal, flere vandløb, projektområde 500 ha, 2012	Genslyngning, ophør af grødeskæring, bunden hæves i scenario 2 med 0.2 m. Vandstanden hæves fra 0.1 – 0.15 m (scenario 1) 0.2 – 0.25 m (scenario 2).
Evegrøften, Næstved kommune, 2013	Genslyngning, hævning af bund fra "dybt nedskåret grøft" til en dybde på 0.3 – 0.6 m – estimeret hævning 1 – 1.5 m..
Tulstrup Mølleeng, Favrskov kommune, 2012	Genslyngning, hævning af vandløbsbund 0.5 m, forlægning af vandløb, lukning af grøfter og dræn..
Tolstrup Å, Horsens kommune, 2012, projektområde 30 ha	Genslyngning, hævning af vandløbsbund 0.75 m, lukning af dræn, grøfter, overrisling.
Binderup Å, Busted Bæk, 2012, påvirket areal 88 ha	Genslyngning, hævning af vandspejl 0.05 m – 0.41 m
Højen Å, Vejle kommune, 2015, projektområde 31.2 ha	Hævning af vandløbsbund med 0.3 m på et kortere stykke (i forbindelse med etablering af sø)
Fruens Møllested Bæk, Vejle kommune, 2013, afvanding påvirkes på 13.4 ha.	Genslyngning, åbning af vandløb, forlægning, hævning af vsp. i bæk på 2.6 km strækning, visse stræk hæves bunden 1 m. Resulterende vandspejlstigning 0.55 – 1.76 m (sommerrmiddel)
Hørup Å, Svendborg kommune, 2012, 55 ha får ændrede afvandingsforhold (delområde 1)	Forlægning, genslyngning af vandløb til terrænnært, red. grødeskæring, resulterende vandspejlsstigning 0 – 0.86 m på ca. 1.000 m strækning
Horn Sø, Lemvig kommune, 2012 (Heldum Bæk og Ballevad, 2 indløb til søen)	Genslyngning, hævning af vandløbsbund i to stærkt nedskårne vandløb, ophør af grødeskæring, vandspejlstigning 0.02 – 0.55 m (sommerrmiddel).
Lemvig Sø, Lemvig kommune, 2012	Åbning af vandløb, forlægning, genslyngning, hævning af vandløbsbund, resulterende vandspejlstigning 1.5 m midt i området
Kære Mølleå, Kolding kommune, 2013, 41 ha	Lukning af dræn, genslyngning, hævning af vandløbsbund 0.5 m.
Tempelkrog/Elverdam Å, Odsherred kommune, 2010	Forlægning, genslyngning af å, lukning af dræn, resulterende vandspejlstigning 0.4 – 0.5 m.
Rands Fjord Enge, 2013	Genslyngning Skærup Å, indsnævring, hævning af vandløbsbunden ca. 0.4 m, reduceret grødeskæring.
Salmosen, Roskilde kommune, 2011	Hæve vandstanden i Hove Å ved stryg, resulterende vandspejlstigning 0 – 0.4 m.
Karstoft Å, Ikast-Brandeborg kommune, 2010	Genslyngning, hæve vandløbsbund, lukke dræn. Resulterende vandspejlstigning: Karstoft Å og Risbjerg Bæk. 1.0 m, Harpes Bæk: 0.5 m
Nordby Sø, Assens kommune, 2012	Hæve vandløbsbund
Halkær Å, Vesthimmerlands kommune, 2013	Genslyngning, hævning af vandløbsbund
Odderbæk, Vejle kommune, 2011	Genslyngning, hævning af vandløbsbund 0.68 m, lukke dræn