



TEKNISK GRUNDLAG FOR FASTLÆGGELSE AF ØKOLOGISK POTENTIALE I KUNSTIGE OG STÆRKT MODIFICEREDE VANDLØB

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 400

2020



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

[Tom side]

TEKNISK GRUNDLAG FOR FASTLÆGGELSE AF ØKOLOGISK POTENTIALE I KUNSTIGE OG STÆRKT MODIFICEREDE VANDLØB

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 400

2020

Annette Baattrup-Pedersen¹

Morten Lauge Fejerskov²

Trine Just Johnsen¹

Søren E. Larsen¹

¹ Aarhus Universitet, Institut for Bioscience

² NIRAS



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Datablad

Serietitel og nummer:	Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 400
Kategori:	Rådgivningsrapporter
Titel:	Teknisk grundlag for fastlæggelse af økologisk potentiale i kunstige og stærkt modificerede vandløb
Forfattere:	Annette Baattrup-Pedersen ¹ , Morten Lauge Fejerskov ² , Trine Just Johnsen ¹ & Søren E. Larsen ¹
Institutioner:	¹ Aarhus Universitet, Institut for Bioscience og ² NIRAS
Udgiver: URL:	Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi © http://dce.au.dk
Udgivelsesår: Redaktion afsluttet:	Oktober 2020 Oktober 2020
Faglig kommentering: Kvalitetssikring, DCE: Sproglig kvalitetssikring:	Hans Estrup Andersen Signe Jung-Madsen Anne Mette Poulsen
Ekstern kommentering:	Miljøstyrelsen. Kommentarerne findes her: http://dce2.au.dk/pub/komm/SR400_komm.pdf
Finansiel støtte:	Miljøstyrelsen
Bedes citeret:	Baattrup-Pedersen, A., Fejerskov, M.L., Johnsen, T.J. & Larsen, S.E., J. 2020. Teknisk grundlag for fastlæggelse af økologisk potentiale i kunstige og stærkt modificerede vandløb. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 24 s. - Videnskabelig rapport nr. 400 http://dce2.au.dk/pub/SR400.pdf
	Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse
Sammenfatning:	I nærværende rapport er det tekniske grundlag for fastsættelse af grænserne imellem tilstandsklasserne maksimalt, godt og moderat økologisk potentiale i stærkt modificerede og kunstige vandområder tilvejebragt, og der kan på den baggrund fastlægges typespecifikke grænseværdier i kunstige og stærkt modificerede vandløb
Erneord:	Vandrammedirektiv, kunstigt og stærkt modificerede vandløb, EQR, økologisk potentiale, grænseværdier
Layout: Foto forside:	Grafisk Værksted, AU Silkeborg Bjarne Moeslund
ISBN: ISSN (elektronisk):	978-87-7156- 526-3 2244-9981
Sideantal:	24
Internetversion:	Rapporten er tilgængelig i elektronisk format (pdf) som http://dce2.au.dk/pub/SR400.pdf

Indhold

1	Sammenfatning	5
2	Summary	6
3	Indledning	7
3.1	Baggrund	7
4	Formål	8
5	Teknisk løsning	9
6	Data	11
6.1	Fysisk Indeks	11
6.2	Planter	12
6.3	Smådyr	12
6.4	Fisk	12
6.5	Dataanalyser	12
7	Resultater	14
7.1	Tilstandsvurdering i kunstige og stærkt modificerede vandløb	14
7.2	Hovedtyper for fysisk modifikation i kunstige og stærkt modificerede vandløb	14
7.3	DFI og biologiske kvalitetselementer	16
7.4	Empiriske sammenhænge og sandsynlighedsmodeller	18
7.5	Grænsefastsættelse i kunstige og stærkt modificerede vandløb	20
8	Konklusion	22
9	Referencer	23

[Tom side]

1 Sammenfatning

I Danmark er der udpeget en række stærkt modificerede og kunstige vandområder, hvor målet er godt økologisk potentiale, svarende til en svag afvigelse fra det maksimale økologiske potentiale for de enkelte biologiske kvalitetselementer (vandplanter, smådyr og fisk i form af EQR-værdier). Nærværende projekt danner det tekniske grundlag for en fastsættelse af grænserne imellem tilstandsklasserne maksimalt, godt, moderat, ringe og dårligt økologisk potentiale, og dermed kvantificeres betydningen af en svag hhv. mindre afvigelse fra det maksimale økologiske potentiale. Grænserne skal fastlægges ud fra de værdier for de biologiske kvalitetselementer, der er opnåelige ved den mest sammenlignelige type af overfladevand, hvilket er de naturlige vandløb givet de fysiske forhold, der følger af det stærkt modificerede vandløbs karakteristika.

De udpegede stærkt modificerede og kunstige vandområder kan grupperes i to hovedtyper for fysisk modifikation, hvor den ene hovedtype er vandløb med ringe dækning af mudder på vandløbsbunden (<10 %), mens den anden hovedtype er vandløb med betydelig dækning af mudder på vandløbsbunden (>10 %). Dermed er det muligt at fastsætte miljømålene ens for vandløb, som rent fysisk har samme form for modifikation, og hvor man derfor kan forvente samme grad af påvirkning af de biologiske kvalitetselementer.

For de to hovedtyper for fysisk modifikation var det kun muligt at analysere sammenhænge mellem DVFI og de fysiske parametre, da datagrundlaget for planter og fisk var for ringe til at kunne gennemføre videre analyser. På baggrund af signifikante empiriske sammenhænge mellem DFI og DVFI-EQR værdier i de to hovedtyper for fysisk modifikation blev der udviklet sandsynlighedsmodeller, hvor sandsynligheden for målopfyldelse som funktion af DFI kunne identificeres og efterfølgende sammenlignes med den værdi, som er kritisk for at nå målopfyldelse i naturlige vandløb (Baattrup-Pedersen et al. 2016).

På baggrund af de gennemførte analyser er det tekniske grundlag for fastsættelse af grænserne imellem tilstandsklasserne maksimalt, godt og moderat økologisk potentiale i stærkt modificerede og kunstige vandområder tilvejebragt, og der kan på den baggrund fastlægges typespecifikke grænseværdier i kunstige og stærkt modificerede vandløb. På baggrund af de gennemførte analyser kan der fastsættes en grænse mellem godt og moderat økologisk potentiale for DVFI-EQR på 0,52 i vandløb med en dækning af mudder, der er mindre end 10 %, mens grænsen mellem godt og moderat økologisk potentiale for DVFI-EQR kan fastsættes til 0,43 i vandløb med en dækning af mudder, der er større end 10 %. Ved anvendelse af disse grænseværdier vil beskyttelsesgraden være sammenlignelig med det, der gælder i naturlige vandløb, men under hensyntagen til de fysiske modifikationer, der findes i kunstige og stærkt modificerede vandløb.

2 Summary

In Denmark, a number of highly modified and artificial streams have been designated for which the objective is to obtain good ecological potential, corresponding to a slight deviation from the maximum ecological potential for individual biological quality elements (aquatic plants, invertebrates and fish in the form of EQR values). This project provides the technical basis for establishing the thresholds between maximum, good, moderate, poor and bad ecological potential and thus quantifies the importance of a slight and minor deviation from the maximum ecological potential. The thresholds must be determined from the values of the biological quality elements that are obtainable for the most comparable type of surface water, which is natural streams given the physical conditions resulting from the characteristics of the heavily modified stream.

The designated highly modified and artificial streams can be grouped into two main types of physical modification, where one main type is streams with low coverage of mud on the stream bed ($< 10\%$) and the other main type is streams with significant coverage of mud on the stream bed ($> 10\%$). Thus, it is possible to set identical environmental objectives for streams exhibiting the same type of modification, and for which you can therefore expect the same degree of impact on the biological quality elements.

For the two main types of physical modification, it was only possible to analyse the correlation between DVFI and the physical parameters as the amount of data on plants and fish was too poor to allow further analyses. On the basis of significant empirical correlations between DFI and DVFI EQR values for the two main types of physical modification, probability models were developed, in which the probability of fulfilment of objectives as a function of DFI could be identified and subsequently compared with the value that is critical for fulfilling objectives in natural streams (Baattrup-Pedersen et al. 2016).

Based on the analyses conducted, the technical basis for determining the thresholds between maximum, good and moderate ecological potential in heavily modified and artificial aquatic areas was obtained, allowing setting of type-specific threshold values for artificial and highly modified streams. Thus, from the analyses, a threshold between good and moderate ecological potential for DVFI EQR is set to 0.52 in streams with coverage of mud below 10%, while the threshold between good and moderate ecological potential for DVFI EQR is 0.43 for streams with mud coverage above 10%. Using these threshold values, the level of protection will be comparable with that applied in natural streams, but taking into account the physical modifications occurring in artificial and highly modified streams.

3 Indledning

3.1 Baggrund

Ifølge vandrammedirektivet kan EU's medlemsstater udpege vandområder som værende stærkt modificerede, hvis deres hydromorfologiske karakteristika er blevet ændret i væsentlig grad som følge af menneskelig aktivitet, og hvis de fysiske foranstaltninger, der skal til for at opnå god økologisk tilstand, vil have en betydelig negativ indvirkning på anvendelsen af de tilstødende arealer. Tilsvarende kan medlemsstaterne udpege vandområder som kunstige, hvis vandområderne er skabt ved menneskelig aktivitet.

I Danmark er der udpeget en række stærkt modificerede og kunstige vandområder. Disse vandløb er alle fysisk modificerede. Det kan være gennem rørlægninger, kanalisering og/eller uddybning af tidligere slyngede forløb, eller der kan være anlagt diger langs bredderne og opstemninger (fx til anlæg af dambrug). De fysisk modificerede vandløb har typisk ringe variation i udbuddet af levesteder, og levestederne er mere ensformige, hvilket har betydning for de biologiske samfund. Eksempelvis vil en række amfibiske plantearter knyttet til overgangszonen mellem land og vand forsvinde, og artssammensætningen bliver også typisk mere ensformig i selve vandløbet (Baattrup-Pedersen & Riis, 1999). Til gengæld kan nogle arter af smådyr klare sig med små pletter af egnede levesteder (fx sten og grus), selvom vandløbet som helhed er relativt ensformigt. Opstemninger har også stor betydning for de biologiske samfund, især for vandrefisk som fx laks og ørred, der ikke har mulighed for at anvende ellers egnede gydeområder opstrøms opstemningerne.

Ved udpegningen af kunstige og stærkt modificerede vandområder er der fastsat et miljømål, hvor målet er godt økologisk potentiale, svarende til en svag afvigelse fra det maksimale økologiske potentiale for de enkelte biologiske kvalitetselementer (vandplanter, smådyr og fisk). Tilsvarende er moderat økologisk potentiale defineret som en mindre afvigelse fra maksimalt økologisk potentiale, men hvor ændringen er signifikant større end den ændring, vi ser ved godt økologisk potentiale.

Nærværende projekt skal danne det tekniske grundlag for en fastsættelse af grænserne imellem tilstandsklasserne maksimalt, godt, moderat, ringe og dårligt økologisk potentiale og dermed kvantificere betydningen af en svag hhv. mindre afvigelse fra det maksimale potentiale. Tilstandsklasserne skal fastlægges ud fra de værdier for de biologiske kvalitetselementer, der er opnåelige ved den mest sammenlignelige type af overfladevand, givet de fysiske forhold, der følger af det stærkt modificerede vandløbs karakteristika.

Rapporten er bestilt og finansieret af Miljøstyrelsen, der har haft lejlighed til at stille opklarende spørgsmål og kommentere på projektet.

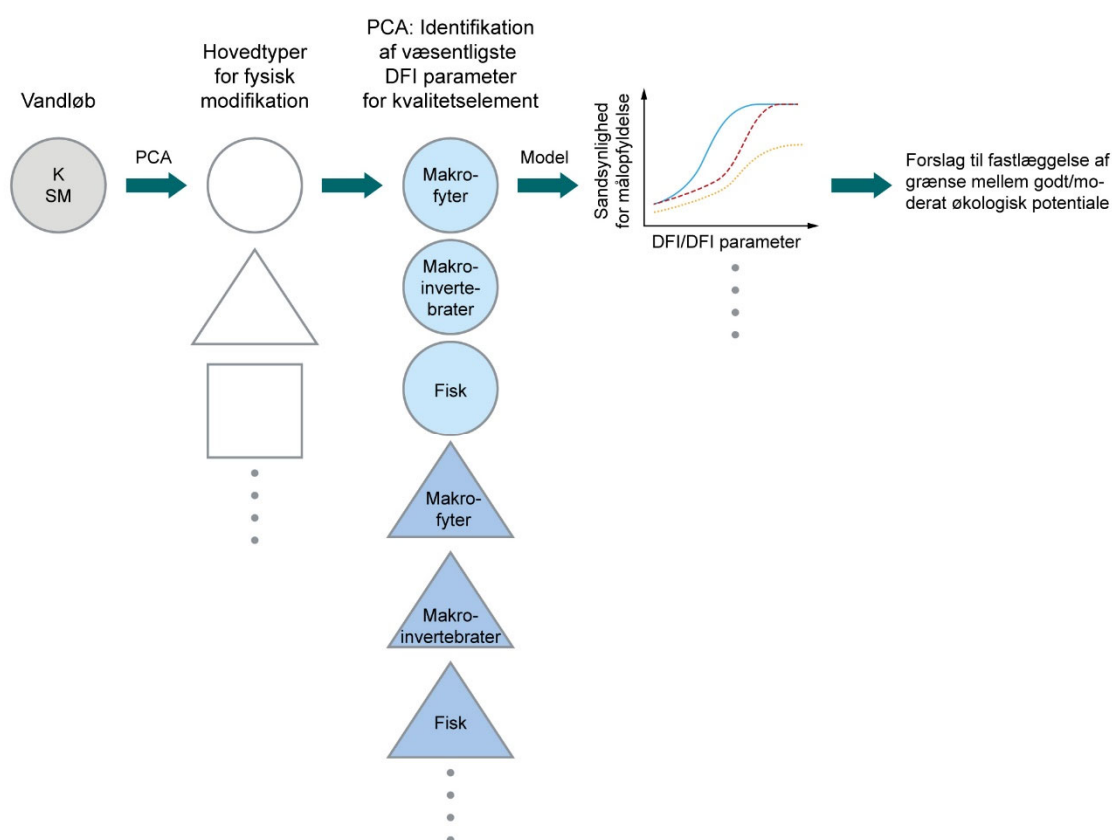
4 Formål

Formålet med projektet er: i) at tilvejebringe det tekniske grundlag for fastsættelse af grænserne imellem tilstandsklasserne maksimalt, godt, moderat, ringe og dårligt økologisk potentiale i stærkt modificerede og kunstige vandområder og ii) at fastlægge tilhørende typespecifikke grænseværdier for hvert enkelt kvalitetselement, hvor type refererer til vandområdernes størrelsestype (type 1-3).

5 Teknisk løsning

For at opfylde projektets formål vil følgende analyser blive gennemført:

- 1) De udpegede stærkt modificerede og kunstige vandområder vil blive grupperet i forskellige hovedtyper af fysisk modifikation med anvendelse af de registrerede parametre i Dansk Fysisk Indeks (DFI) i de enkelte vandområder (slyngningsgrad, tværsnitsprofil, substrat, strøm mv; se figur 1). Derved sikres, at miljømålene fastsættes ens for vandløb, som rent fysisk set har samme form for modifikation, og hvor man derfor kan forvente samme grad af påvirkning af de biologiske kvalitetselementer. Herunder undersøges også, om og hvordan vandløb karakteriseret som kunstige og stærkt modificerede afviger fra hinanden.



Figur 1. Figuren illustrerer den analytiske tilgang, der anvendes til fastlæggelse af forslag til grænser mellem maksimalt/godt og godt/moderat økologisk potentiale i kunstige (K) og stærkt modificerede (SM) vandløb. Cirkel, trekant og kvadrat illustrerer forskellige hovedtyper for fysisk modifikation.

- 2) For hver hovedtype af fysisk variation vil den/de meste betydende DFI-parametre for hvert enkelt kvalitetselement (planter, smådyr og fisk) blive identificeret med anvendelse af en PCA-analyse (figur 1). Efterfølgende vil empiriske sammenhænge mellem den/de betydende DFI-parametre og tilstanden af de biologiske kvalitetselementer blive etableret ved anvendelse af EQR-værdier.

- 3) På baggrund af de udviklede empiriske modeller vil der blive udviklet sandsynlighedsmodeller for målopfyldelse for kvalitetselementerne i de identificerede hovedtyper for fysisk modifikation. Herunder analyseres, om der er forskel i vandløb med forskellig oplandsstørrelse, henholdsvis type 1-, 2- og 3-vandløb.
- 4) Sandsynlighedsmodellerne vil efterfølgende blive anvendt til at foreslå grænser mellem højt og godt økologiske potentiale samt grænseværdier mellem godt og moderat økologisk potentiale, moderat og ringe og endelig ringe og dårligt økologisk potentiale. Dette vil tage udgangspunkt i den EQR-værdi, der er maksimalt opnåelig for hvert kvalitetselement for hver hovedtype for fysisk modifikation (figur 1).

6 Data

Kriterier for udpegning af kunstige og stærkt modificerede vandområder fremgår af retningslinjerne for udarbejdelse af basisanalyse for vandområdeplaner 2021-2027, som kan ses via følgende link: <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikation/er/2019/12/978-87-7038-144-4.pdf>.

Det er en forudsætning for at kunne gennemføre analyserne, at der foreligger både biologiske data og data for Dansk Fysisk Indeks på samme station, og samtidig må stationen ikke være forureningspåvirket, da dette i givet fald vil kunne være afgørende for tilstandsvurderingen. For at sikre, at der inkluderes vandløb i analysen, som er tilnærmelsesvist upåvirkede af kemisk stress, ekskluderes stationer med et højt indhold af organisk stof. Som mål for dette anvendes en BI5-værdi. BI5 er udtryk for det biokemiske iltforbrug og bruges til vurdering af indholdet af biologisk nedbrydeligt organisk stof. For fiskene medtages vandløb med BI5-værdier, der ligger under 1,26 mg/l, svarende til grænsen mellem god og moderat økologisk tilstand, og for smådyrene medtages vandløb med BI5-værdier, der ligger under hhv. 1,4 mg/l, 1,5 mg/l og 1,8 mg/l for type 1-, type 2- og type 3-vandløb (Kallestrup et al. 2019). Antallet af stationer, der indgår i analyserne, fremgår af tabel 1.

Tabel 1. Antal stationer, der indgår i analyserne.

	Stærkt modificerede vandløb	Kunstige vandløb	Total
Planter	35	17	52
Smådyr	321	252	573
Fisk	21	20	42
Fysisk Indeks	321	252	573

6.1 Fysisk Indeks

Dansk Fysisk Indeks (DFI) består af en kvantitativ bedømmelse af 17 fysiske parametre, der kan opdeles i strækningsparametre, vandløbsparametre og substratparametre. Strækningsparametrene omfatter: Høller og stryg; Slyngningsgrad; Tværsnitsprofil; Breddevariation; Underskårne brinker; Bredde af upåvirket/svagt påvirket vandløbsnært areal. Vandløbsparametre omfatter: Nedhængende vegetation; Højenergi hastighed; Trærodder i vandløbet; Emergent vegetation; Undervandsvegetation; Anden fysisk variation; Okkerbelastning. Substratparametre omfatter: Stendækning; Grusdækning; Sanddækning; Mudderdækning. Derudover registreres en række supplerende parametre. DFI kan herefter beregnes ud fra disse parametre, hvorved der opnås et samlet mål for strækningens fysiske kvalitet (Pedersen et al. 2006). Indeks-værdien kan omregnes til en Ecological Quality Ratio (EQR) med anvendelse af følgende sammenhæng: $EQR_DFI = (DFI+12)/75$ (Baattrup-Pedersen et al. 2016). For nærmere beskrivelse af de enkelte parametre samt beregning af indekssværdier henvises til https://bios.au.dk/fileadmin/bioscience/Fagdata-centre/Ferskvand/V05_fysisk_indeks_version_2.3_20160520.pdf.

6.2 Planter

Plantedata omfatter vegetationsundersøgelser fra NOVANA-programmet i overvågningsperioden 2004-2018. Proceduren for dataindsamling er beskrevet i Wiberg-Larsen & Baattrup-Pedersen (2013). I alt var der plantedata fra 52 stationer. Plantedata er hentet fra databasen ODA. DVPI beskriver ud fra sammensætningen af vandplanter den økologiske tilstand i fem tilstandsklasser (Baattrup-Pedersen & Larsen, 2013; Henriksen et al., 2019). DVPI-EQR blev beregnet ud fra en prædiktionsmodel, der er udviklet på baggrund af mere end 1200 planteartslistor med hyppigheder for de tilstedeværende arter (Baattrup-Pedersen & Larsen 2013; Søndergaard et al. 2013). På baggrund af artssammensætningen af planter beregner modellen en sandsynlighed for, at stationer tilhører en given økologisk tilstandsklasse. Denne sandsynlighed omregnes til en EQR-værdi mellem 0 og 1 (Larsen & Baattrup-Pedersen 2015).

6.3 Smådyr

Smådyrsdata omfatter 573 observationer fra NOVANA-programmets kontrol-overvågningsstationer i perioden 2004-2018. I alt var der data fra 573 stationer. Proceduren for indsamling er beskrevet i Wiberg-Larsen (2010). Data for smådyr er ligeledes hentet fra ODA-databasen. DVFI opdeler den økologiske tilstand i syv faunaklasser ud fra sammensætningen af smådyr (Miljøstyrelsen 1998), hvor 7 er bedst og svarer til næsten upåvirkede vandløb, mens 1 er de dårligste vandløb. Faunaklassen omsættes til EQR-værdier, der angiver afvigelsen fra referencetilstanden jf. vandrammedirektivet (metode angivet i Larsen et al. 2014).

6.4 Fisk

Fiskedata omfatter 42 observationer fra NOVANA-programmets kontrol-overvågningsstationer i perioden 2007-2018. Proceduren for indsamling er beskrevet i Wiberg-Larsen et al. (2011). Data for fisk er hentet fra ODA-databasen. Fiskesamfundet kan karakteriseres ved to forskellige indeks, DFFVa og DFFVø. DFFVa beskriver på baggrund af artssammensætningen af fiskesamfund den økologiske tilstand i vandløb. DFFVa kan anvendes, hvis der ved elektrofiskning er fanget mindst tre arter i første befiskning. DFFVø beskriver den økologiske tilstand i vandløb på baggrund af naturlig produceret ørred- og / eller lakseyngel. DFFVø er udviklet til vandløb, der er eller har været egnet til ørred- og / eller laksegydning og opvækst. Indekset er udviklet til vandløb med oplande, der er mindre end 10 km² (type 1-vandløb), men kan også anvendes i større vandløb, hvis forholdene er hertil. DFFVø angiver en EQR-værdi, som betegner afvigelsen fra referencetilstanden jf. vandrammedirektivet. I denne rapport er kun anvendt DFFVø til beskrivelsen af fiskesamfundet, da antallet af data for DFFVa var for sparsomt.

6.5 Dataanalyser

Samtlige stationer med fysiske indeksværdier analyseres vha. Principal Komponent Analyse (PCA). I analysen grupperes vandløb i et todimensionelt rum på baggrund af deres parameterværdier i det fysiske indeks. PCA-analysen identificerer den/de mest betydende fysiske parametre, der karakteriserer vandløbene. Analysen bruges til en opdeling af vandløbene i fysiske modifikationstyper. Ved at se på PCA-vektorens længde kan de betydende parametre identificeres. For at sikre, at der ikke er redundans i analysen, vælges parametre, der ikke er indbyrdes korrelerede.

Der gennemføres også en PCA-analyse inden for de identificerede hovedtyper for fysisk modifikation med henblik på at identificere den/de væsentligste fysiske parametre for de økologiske tilstandselementer. Disse betydende parametre kan efterfølgende bruges som input til regressionsmodellerne, der beskriver sandsynligheden for målopfyldelse (se nedenfor).

Der vil blive etableret lineære regressionsmodeller mellem betydende parametre (DFI og de parametre, der indgår i beregningen af DFI) for de biologiske kvalitetselementer, som identificeres i PCA-analysen, såfremt datagrundlaget er tilstrækkeligt stort til at kunne gennemføre modelleringen. I tilfælde hvor de opstillede modeller er signifikante ($p < 0,05$), bliver regressionsmodellerne anvendt til at beregne en sandsynlighed for målopfyldelse for hver enkelt parameter med anvendelse af eksisterende grænseværdier mellem god/moderat tilstand for naturlige vandløb, som er den mest sammenlignelige type af overfladevand. Sandsynligheden for målopfyldelse beregnes under antagelse af en normalfordeling og med modeludtrykket som normalfordelingens middelværdi for givne værdier af de forklarende variable, hvor normalfordelingens varians er modelfejlen.

7 Resultater

7.1 Tilstandsvurdering i kunstige og stærkt modificerede vandløb

Antallet af tilstandsvurderinger for henh. DVPI, DVFI, DFFVø i kunstige og stærkt modificerede vandløb, medianværdien for tilstandsvurderingerne samt variationen i denne kan ses i tabel 2 for hvert kvalitetselement. Ligeledes kan medianværdien for DFI ses i henholdsvis kunstige og stærkt modificerede vandløb. Overordnet set er der ikke forskelle i tilstandsvurderingen mellem kunstige og stærkt modificerede vandløb (figur 2). Dog er medianværdien for planter (DVPI-EQR) højere i de stærkt modificerede vandløb, samtidig med at den maksimale værdi er højere.

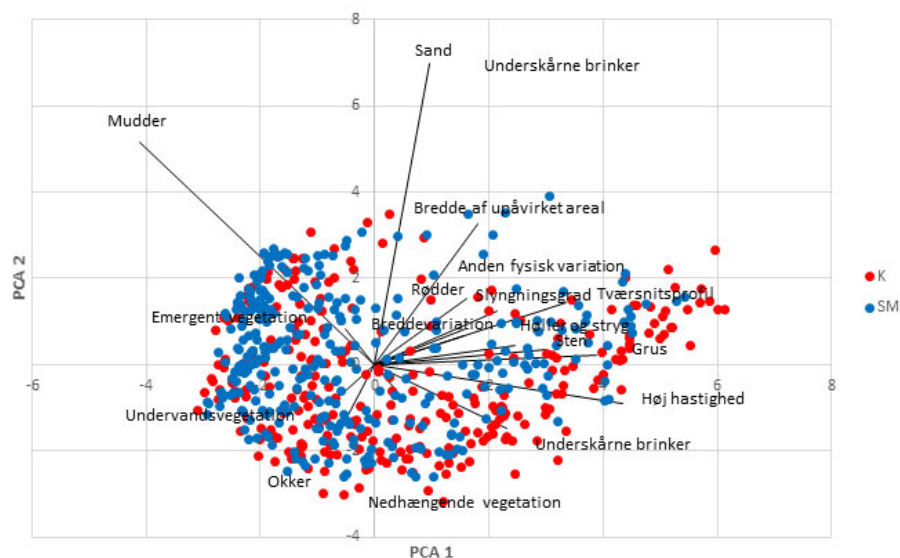
Tabel 2. Antal observationer og medianværdier, samt min- og maxværdier for hver gruppe. For DFFVø er middelværdien også angivet i parentes.

	Stærkt modificerede			Kunstige		
	Median	Min.-Maks.	N	Median	Min.-Maks.	N
Planter, DVPI-EQR	0,413	0,158-0,867	17	0,295	0,152-0,587	35
Smådyr, DVFI-EQR	0,346	0,032-0,958	321	0,486	0,051-1,000	252
Fisk, DFFVø-EQR	0,00 (0,03)	0,00-0,37	21	0,00 (0,04)	0,00-0,37	20
DFI	6,0	-11-43	321	11,5	-10-43	252

7.2 Hovedtyper for fysisk modifikation i kunstige og stærkt modificerede vandløb

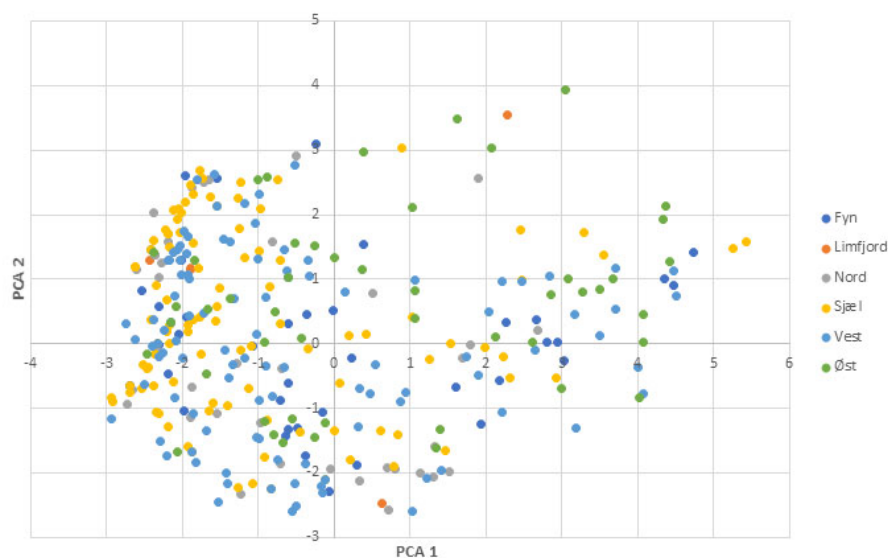
Figur 2 viser resultatet af en PCA-analyse, hvor vektorernes længde og beliggenhed i PCA-plottet angiver, hvilke fysiske parametre der i særlig grad karakteriserer de kunstige og stærkt modificerede vandløb, og som derfor vil kunne anvendes til at identificere hovedtyper for fysisk modifikation. Parametre, der falder ortogonalt ud (dvs. med en vinkel på 90 grader), har en forskellig indvirkning og vil ikke være indbyrdes korrelerede. Vektorer, der peger i samme retning, er positivt korrelerede, mens vektorer, der er modsatrettede, er negativt korrelerede.

PCA-analysen viser, at det som udgangspunkt er dækningen af mudder og sand på bunden samt tværsnitsprofilet (kanaliseret eller naturligt), der adskiller vandløbene fra hinanden (figur 2). Der blev efterfølgende gennemført analyser, hvor det blev undersøgt, i hvor høj grad de enkelte parametre, henholdsvis mudder, sand og tværsnitsprofilet, kunne adskille vandløbene på en entydig måde. Dette er centralt, da formålet med PCA-analysen er at sikre, at der etableres hovedtyper, som rent fysisk ligner hinanden med samme form for modifikation, således at man kan forvente samme grad af påvirkning af de biologiske kvalitetselementer. Analyserne viste, at det kun var dækningen af mudder, der gav en klar adskillelse af vandløbene (se figur 4), og det er derfor kun denne parameter, der anses for at være relevant til identifikation af hovedtyper for fysisk modifikation. PCA-analysen viser også, at der på baggrund af de fysiske parametre, der indgår i DFI, ikke er en systematisk gruppering af vandløb udpeget som henholdsvis kunstige og stærkt modificerede, hvorfor begge vandløbstyper vil blive grupperet sammen. Ligeledes er der ikke en systematisk regional gruppering af vandløbene (figur 3).



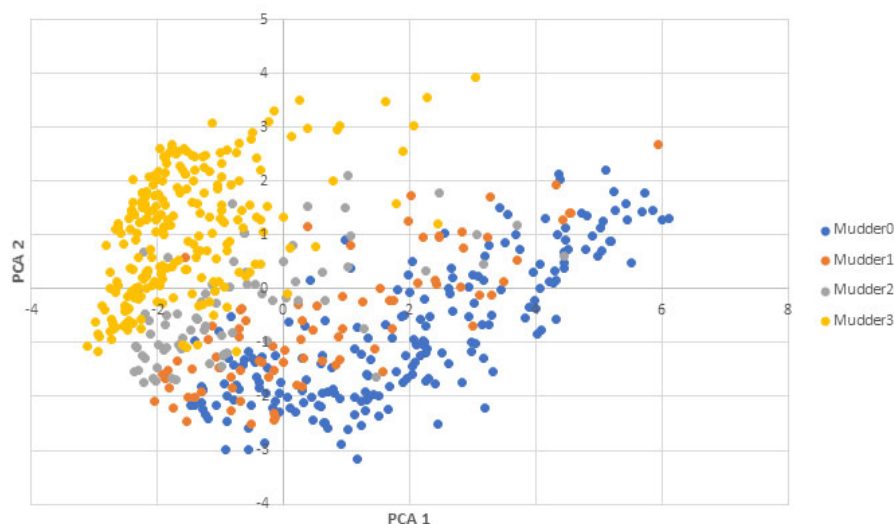
Figur 2. PCA-plot baseret på fysiske data indsamlet i vandløbene i forbindelse med bestemmelse af Dansk Fysisk Indeks. Vektorernes længde og beliggenhed i PCA plottet viser, hvilke fysiske parametre der i særlig grad karakteriserer de kunstige og stærkt modificerede vandløb, og som derfor vil kunne anvendes til at identificere hovedtyper for fysisk modifikation. Parametre, der falder ortogonalt ud (dvs. med en vinkel på 90 grader), har en forskellig indvirkning og vil ikke være indbyrdes korrelerede. Vektorer, der peger i samme retning, er positivt korrelerede, mens vektorer, der er modsatrettede, er negativt korrelerede. Hver station i analysen optræder som et punkt på plottet med angivelse af henholdsvis kunstige (røde) og stærkt modificerede vandløb (blå).

Figur 3. PCA-plot baseret på fysiske data indsamlet i vandløbene i forbindelse med bestemmelse af Dansk Fysisk Indeks med angivelse af stationernes geografiske placering.



På baggrund af PCA-analysen er dækningen af mudder anvendt til at inddеле vandløbene i to hovedtyper for fysisk modifikation, dels vandløb, hvor andelen af mudder udgør mindre end 10 % af bunden, dels vandløb, hvor andelen af mudder udgør mere end 10 % af bunden. Figur 4 viser vandløbenes placering i PCA-plottet i forhold til dækning af mudder, hvor vandløb med en stor andel af mudder på vandløbsbunden er lokaliseret øverst til venstre i PCA-plottet (figur 4), mens vandløb med en ringe andel af mudder på vandløbsbunden er lokaliseret til højre i figur 4. Antallet af strækninger i de to grupper for fysisk modifikation er vist i tabel 3.

Figur 4. PCA-plot baseret på fysiske data indsamlet i vandløbene i forbindelse med bestemmelse af Dansk Fysisk Indeks. Farvemarkerungen angiver scoren for mudderdækning i Dansk Fysisk Indeks, hvor "0" svarer til intet mudder, "1" angiver mindre end 10 % mudder, "2" angiver mellem 10 og 25 % mudder, mens "3" angiver mere end 25 % mudder.



Tabel 3. Antal registreringer fordelt på stærkt modificerede og kunstige vandløb samt grupperet efter mudderdækningen på bunden.

Vandløbsgruppe		Planter	Smådyr	Fisk
Stærkt modificerede	<10 % mudder	8	155	17
	>10 % mudder	9	97	3
Kunstige	<10 % mudder	10	120	10
	>10 % mudder	25	197	11

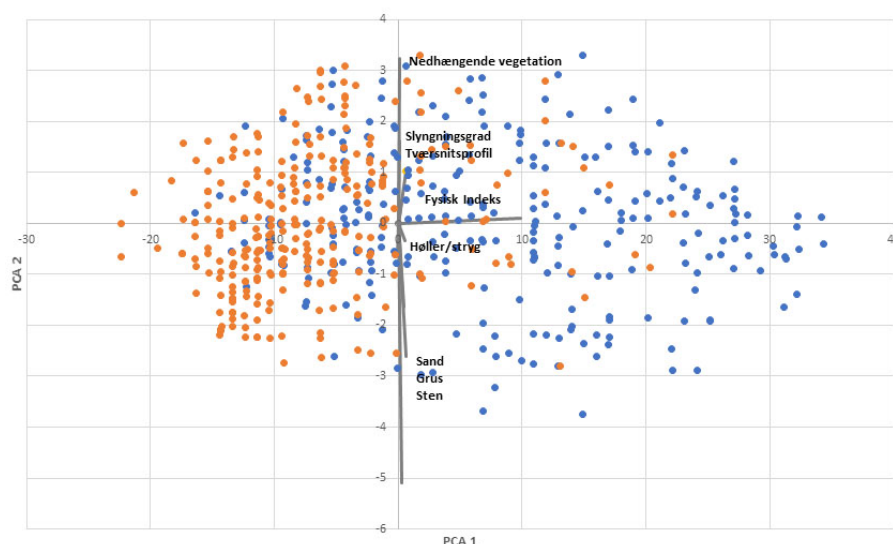
7.3 DFI og biologiske kvalitetselementer

Antallet af vandløb med registreringer af planter og fisk er begrænset i såvel stærkt modificerede som kunstige vandløb for begge hovedtyper af fysisk modifikation (tabel 3). Det betyder, at der kun kan gennemføres kvantitative analyser med henblik på at undersøge, om der kan udvikles signifikante empiriske sammenhænge mellem væsentlige DFI-parametre og den økologiske tilstand udtrykt ved en EQR-værdi for smådyr. Det er derfor også kun for smådyr muligt at undersøge, om der kan etableres sandsynlighedsmodeller til etablering af grænseværdier mellem de økologiske potentialeklasser.

En PCA-analyse for smådyrene viste, at langt den største del af variationen i data kan forklares ved hjælp af PCA1-aksen (92 %). Eftersom det kun er DFI, angivet som fysisk indeks i figur 5, der varierer langs PCA1-aksen, betyder det, at det primært er DFI og kun i mindre grad de enkelte parametre inden for DFI, der kan forklare variationen i tilstanden vurderet ud fra DVFI. Det betyder, at det ikke er en særlig parameter, der indgår i DFI, der kan forklare variationen, men at det er DFI, der integrerer alle parametre, der samlet set forklarer variationen i tilstanden i DVFI.

Samtidig fremgår det også, at der er en entydig fordeling af de to hovedtyper for fysisk modifikation i PCA-analysen med vandløb med ringe mudderdækning (<10 %) beliggende til højre i figur 5 og vandløb med betydelig mudderdækning (>10 %) beliggende til venstre i figur 5.

Figur 5. PCA plot-der viser, at det især er DFI, og kun i mindre grad de enkelte parametre inden for DFI, der kan forklare variationen i tilstanden vurderet ud fra DVFI. Således kan hele 92 % af variationen i data forklares ved hjælp af PCA1-aksen og kun 1,2 % ved hjælp af PCA2-aksen. Røde prikker angiver stationer med mere end 10 % dækning og blå prikker stationer med mindre end 10 % dækning.



Der er herefter etableret empiriske sammenhænge mellem DFI og DVFI med anvendelse af EQR-værdier for den økologiske tilstand for de to hovedtyper for fysisk modifikation (>10 % mudder og <10 % mudder). Der kan for begge hovedtyper af fysisk modifikation etableres signifikante modeller (tabel 4).

Tabel 4. Tabellen angiver modelestimater for afskæringer samt hældningskoefficienter for regressionsmodeller etableret mellem Dansk Vandløbsfauna Indeks (DVFI) og Dansk Fysisk Indeks (DFI) i kunstige samt stærkt modificerede vandløb med en dækning af mudder på vandløbsbunden på henholdsvis mindre end 10 % og større end 10 %. Signifikansniveauet for de etablerede modeller er også angivet.

Variabel	Type	Parameter	Estimat, afskæring			Estimat, hældning			n
			Estimat	t-værdi	P værdi	Estimat	t-værdi	P værdi	
DVFI-EQR	Mudder <10 %	DFI-værdi	0,295	9,92	<0,0001	0,485	7,12	<0,0001	279
	Mudder >10 %		0,188	10,47	<0,0001	0,622	8,28	<0,0001	294

DFVI-EQR-værdien øges med stigende DFI-EQR-værdi for både vandløb med en mudderdækning, der udgør mindre end 10 %, og for vandløb med en mudderdækning, der udgør mere end 10 %. Imidlertid fremgår det også af tabel 4, at afskæringen ved en DFI-EQR-værdi på nul er mindre for vandløb med mere end 10 % dækning af mudder, og også at hældningen er større, hvilket får betydning for sandsynligheden for at nå målopfyldelse ved en given DFI-EQR-værdi. Vandløbsstørrelse spiller til gengæld ikke en signifikant rolle for de etablerede sammenhænge mellem DVFI-EQR og DFI-EQR, hverken for vandløb med <10 % mudder (ANOVA, $p=0,0631$) eller for vandløb med >10 % mudder (ANOVA, $p=0,2069$), selvom medianværdien for DVFI-EQR er højere i type 3-vandløbene (tabel 5). Det kan dels afspejle, at variationen mellem vandløbene er stor, samtidig med at der kun er et begrænset antal type 3-vandløb i datasættet (se tabel 5).

Tabel 5. Medianværdi samt minimum og maksimum for DVFI EQR-værdien fordelt på stærkt modificerede og kunstige vandløb samt i hovedtyper (større eller mindre end 10 % mudder på bunden) og fordelt efter størrelsestyper (Type 1, 2, 3).

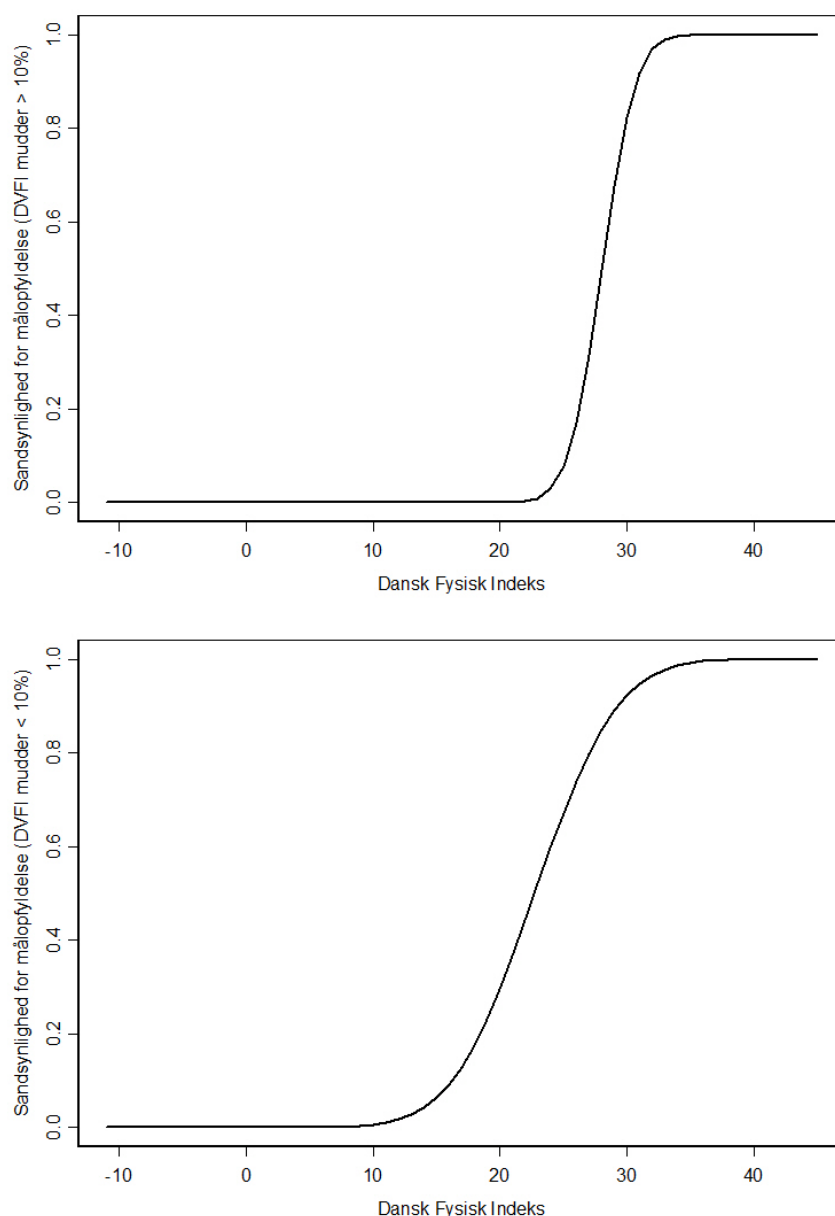
	Median	Min.-Maks.	N
Stærkt modificerede			
<10 % mudder			
Type 1	0,389	0,032-0,833	59
Type 2	0,389	0,111-0,958	58
Type 3	0,667	0,102-0,917	7
>10 % mudder			
Type 1	0,278	0,042-0,833	62
Type 2	0,292	0,037-0,667	122
Type 3	0,333	0,208-0,741	13
Kunstige			
<10 % mudder			
Type 1	0,556	0,065-1,000	136
Type 2	0,486	0,231-1,000	18
Type 3	0,833	–	1
>10 % mudder			
Type 1	0,389	0,061-0,917	67
Type 2	0,278	0,051-0,417	28
Type 3	0,361	0,306-0,417	2

7.4 Empiriske sammenhænge og sandsynlighedsmodeller

Der er med anvendelse af ovennævnte empiriske sammenhænge mellem DVFI-EQR og DFI-EQR for de to hovedtyper for fysisk modifikation (<10 % og >10 % dækning af mudder) etableret modeller, der angiver en sandsynlighed for målopfyldelse for DVFI som funktion af DFI (figur 6) (boks 1).

De etablerede modeller viser, at sandsynligheden for målopfyldelse i vandløb med en dækningsgrad af mudder, der udgør mere end 10 % af vandløbsbunden, er markant ringere end i vandløb, hvor mudder udgør mindre end 10 % af vandløbsbunden (figur 6). Således øges sandsynligheden for målopfyldelse markant ved en DFI-værdi på omkring 12 i vandløb med ringe mudderdækning (<10 %), mens sandsynligheden for målopfyldelse først øges markant ved en DFI-værdi på omkring 23 i vandløb med betydelig mudderdækning (>10 %). Dette resultat betyder, at det er vanskeligere at nå målopfyldelse med anvendelse af DVFI i vandløb med betydelig mudderdækning.

Figur 6. Figuren angiver sandsynlighed for målopfyldelse for DVFI som funktion af Dansk Fysisk Indeks i de to identificerede hovedtyper for fysisk modifikation af stærkt modificerede og kunstige vandløb. Vandløb med dækning af mudder på bunden > 10 % er vist øverst, og vandløb med dækning af mudder på bunden <10% er vist nederst.



Det er tidligere vist, at en DFI-EQR-værdi på 0,32, svarende til en DFI-værdi på 12, er kritisk for at nå målopfyldelse med DVFI i små naturlige vandløb, som er den vandløbstype, der er mest relevant at sammenligne med, eftersom der er en overvægt af mindre vandløb i datasættet (Baatrup-Pedersen et al. 2016). Anvendes samme DFI-værdi som en kritisk værdi i både vandløb med ringe dækning af mudder og vandløb med betydelig dækning af mudder, vil de sammenlignelige EQR-grænseværdier for målopfyldelse være 0,52 i vandløb med ringe dækning af mudder (<10 %), hvilket er den samme som i små naturlige vandløb, mens den vil være 0,43 i vandløb med betydelig dækning af mudder (>10 %). Beregningsmetoden er nærmere beskrevet i boks 1.

Boks 1. Beregning af grænseværdier for økologiske potentialeklasser i vandløb i to hovedtyper for fysisk modifikationer (henholdsvis <10 % mudderdækning og >10 % mudderdækning).

Relationen mellem DVFI_EQR og DFI kan modelleres som en lineær regressionsligning. Det antages, at relationen mellem DVFI_EQR og DFI estimeres som

$DVFI_EQR = \alpha + \beta \cdot DFI$. Hvis DVFI_EQR betragtes som en stokastisk variabel (Y), der kan antages at følge en normalfordeling med middelværdi $\alpha + \beta \cdot DFI$ og varians lig middelfejlen beregnet fra regressionsanalysen, så kan sandsynligheden for målopfyldelse, hvis man antager, at grænsen mellem moderat og god tilstand er lig k (på DVFI_EQR-skalaen), beregnes som: $P(Y > k) = 1 - P(Y \leq k)$.

Derved kan man ved brug af normalfordelingen og det tilladte interval for DFI beregne sandsynligheden for målopfyldelse for alle værdier af DFI og vise det i et diagram.

Man kan også anvende ovenstående sandsynlighedsberegning til at undersøge, om grænsen mellem moderat og godt økologisk potentiale skal ændres i forhold til den gældende grænse for almindelige vandløb. Det er tidligere påvist (Baattrup-Pedersen et al. 2016), at der ved en DFI på 12, svarende til en DVFI_EQR på 0,32 for almindelige vandløb, sker en ændring fra lav til høj sandsynlighed for målopfyldelse. En DFI-værdi på 12 er altså et vendepunkt for målopfyldelsessandsynligheden. For almindelige vandløb er grænsen mellem moderat og godt økologisk potentiale lig 0,52 i DVFI_EQR. Ved en iteration i sandsynlighedsberegningen kan man så finde nye grænser i DVFI_EQR for "mudder < 10 %" og "mudder > 10 %", således at beskyttelsesniveauet bliver det samme som i de almindelige vandløb.

7.5 Grænsefastsættelse i kunstige og stærkt modificerede vandløb

Grænseværdier for de økologiske potentiale-klasser i kunstige og stærkt modificerede vandløb skal fastlægges ud fra de værdier for de biologiske kvalitets-elementer, der er opnåelige i den mest sammenlignelige type overfladevand givet de fysiske forhold, som følger af det stærkt modificerede vandløbs karakteristika. Dette betyder i praksis, at der skal tages højde for de fysiske modifikationer i fastsættelse af grænseværdier i kunstige og stærkt modificerede vandløb, således at beskyttelsesniveauet, i form af en EQR-værdi for grænsen mellem godt / moderat økologisk potentiale, afspejler de fysiske modifikationer. På baggrund af de gennemførte analyser opnås dette ved at fastsætte en grænse mellem godt og moderat økologisk potentiale for DVFI-EQR på 0,52 i vandløb med en dækning af mudder, der er mindre end 10 %, mens grænsen mellem godt og moderat økologisk potentiale for DVFI-EQR fastsættes til 0,43 i vandløb med en dækning af mudder, der er større end 10 % (tabel 6). På samme måde kan grænsen mellem højt og godt økologisk potentiale for DVFI-EQR fastsættes til 0,69 i vandløb med en dækning af mudder, der er mindre end 10 %, mens grænsen mellem højt og godt økologisk potentiale for vandløb med en dækning af mudder, der er større end 10 %, fastsættes til en DVFI-EQR-værdi på 0,65. Ved anvendelse af disse grænseværdier vil beskyttelsesgraden være sammenlignelig med den, der gælder i naturlige vandløb, men under hensyntagen til de fysiske modifikationer, der findes i kunstige og stærkt modificerede vandløb (tabel 6). I tabel 6 ses endvidere grænser mellem moderat og ringe økologisk potentiale samt mellem ringe og dårlig økologisk potentiale i vandløb med en dækning af mudder på henholdsvis mindre end 10 % og mere end 10 %.

Tabel 6. Forslag til grænseværdier i DVFI-EQR mellem maksimalt/godt, godt/moderat, moderat/ringe og ringe/dårlig økologisk potentiale i kunstige og stærkt modificerede vandløb i to hovedtyper af fysisk modifikation. Disse grænser vil sikre, at beskyttelsesgraden er sammenlignelig med den, der gælder i naturlige vandløb, men under hensyntagen til de fysiske modifikationer, der findes i kunstige og stærkt modificerede vandløb.

DVFI-EQR	Mudder <10 %	Mudder >10 %
Maksimalt/godt økologisk potentiale	0,69	0,65
Godt/moderat økologisk potentiale	0,52	0,43
Moderat/ringe økologisk potentiale	0,41	0,30
Ringe/dårlig økologisk potentiale	0,32	0,21

De i tabel 6 foreslåede EQR-grænseværdier kan omsættes til faunaklasser, som det fremgår af tabel 7. Der ses et vist overlap i faunaklasser mellem de enkelte økologiske potentialeklasser. Eksempelvis optræder både faunaklasse 5 og 4 i vandløb i godt økologisk potentiale i gruppen af vandløb med >10 % dækning af mudder. Det betyder, at der skal beregnes en EQR-værdi, for at det kan afgøres om miljømålet, som er godt økologisk potentiale, er indfriet. Metoden til dette er beskrevet i en publikation af Larsen m.fl. (2014).

Tabel 7. Konvertering af DVFI-EQR-grænseværdier mellem økologiske potentialeklasser til faunaklasser (FK) i kunstige og stærkt modificerede vandløb grupperet i to hovedtyper af fysisk modifikation med henholdsvis mindre og mere end 10 % dækning af mudder på vandløbsbunden. Konverteringen følger metode angivet i Larsen et al. (2014).

Økologisk potentiale klasser	FK (Mudder <10 %)	FK (Mudder >10 %)
Maksimalt økologisk potentiale	7;6	7;6
Godt økologisk potentiale	5	5;4
Moderat økologisk potentiale	4	4
Ringe økologisk potentiale	4	3
Dårligt økologisk potentiale	3;2;1	2;1

8 Konklusion

De udpegede stærkt modificerede og kunstige vandområder blev grupperet i hovedtyper for fysisk modifikation., Dette gør det muligt at fastsætte miljømålene ens for vandløb, som rent fysisk har samme form for modifikation, og hvor man derfor kan forvente samme grad af påvirkning af de biologiske kvalitetselementer. Analysen blev gennemført med anvendelse af de registrerede parametre i Dansk Fysisk Indeks (DFI), hvor vandløb belastet med organisk stof blev udelukket, da de vil kunne påvirke analyseresultatet. Der blev identificeret to hovedtyper for fysisk modifikation, hvor den ene hovedtype er vandløb med ringe dækning af mudder på vandløbsbunden (<10 %), mens den anden hovedtype er vandløb med betydelig dækning af mudder på vandløbsbunden (>10 %). Der kunne ikke skelnes mellem kunstige og stærkt modificerede vandløb, og de to typer blev derfor behandlet som én gruppe i de efterfølgende analyser.

For de to hovedtyper for fysisk modifikation var det kun muligt at identificere den/de mest betydende DFI-parametre for smådyrene, da datagrundlaget for planter og fisk var for ringe til at kunne gennemføre analyserne. Den gennemførte PCA-analyse viste, at Dansk Fysisk Indeks (DFI) er den parameter, der overordnet set spiller den mest afgørende rolle for det økologiske potentiale for smådyrene udtrykt ved en DVFI-EQR-værdi. Der blev herefter etableret signifikante empiriske sammenhænge mellem DFI og DVFI-EQR værdier i de to hovedtyper for fysisk modifikation. Efterfølgende blev der udviklet sandsynlighedsmodeller, hvor sandsynligheden for målopfyldelse som funktion af DFI kunne identificeres og sammenlignes med den værdi, som er kritisk for at nå målopfyldelse i små naturlige vandløb (Baattrup-Pedersen et al. 2016).

På baggrund af de gennemførte analyser er det tekniske grundlag for fastsættelse af grænserne imellem tilstandsklasserne maksimalt, godt og moderat økologisk potentiale i stærkt modificerede og kunstige vandområder tilvejebragt, og der kan på den baggrund fastlægges typespecifikke grænseværdier i kunstige og stærkt modificerede vandløb. På baggrund af de gennemførte analyser kan der fastsættes en grænse mellem godt og moderat økologisk potentiale for DVFI-EQR på 0,52 i vandløb med en dækning af mudder, der er mindre end 10 %, mens grænsen mellem godt og moderat økologisk potentiale for DVFI-EQR kan fastsættes til 0,43 i vandløb med en dækning af mudder, der er større end 10 %. Ved anvendelse af disse grænseværdier vil beskyttelsesgraden være sammenlignelig med det der gælder i naturlige vandløb, men under hensyntagen til de fysiske modifikationer, der findes i kunstige og stærkt modificerede vandløb.

9 Referencer

Baatrup-Pedersen, A., Larsen, S.E. (2013). Udvikling af planteindeks i danske vandløb Vurdering af økologisk tilstand (Fase I). - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 60. 32 s.

Baatrup-Pedersen, A., Kjeldgaard, A., Jepsen, N., Nielsen, J., Rasmussen, J.J., Andersen, H.E. Larsen, S.E. (2016). Opdatering af naturfaglige kriterier for afgrænsning af vandløb. Notat fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi. 26 s.

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

Kallestrup, H., Rasmussen, J.J., Baattrup-Pedersen, A., Davidson, T.A., Larsen, S.E. (2019). Fysiske og kemiske kvalitetselementer og understøttelse af god økologiske tilstand i vandløb. Notat fra Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi. 25 s

Larsen, S.E., Baattrup-Pedersen, A. (2015). Matematisk beskrivelse af Dansk Vandløbsplante Indeks. Notat fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi 14 s.

Larsen, S.E., Friberg, N., Wiberg-Larsen, P., Skriver, J., Larsen, L.K. (2014). Konvertering af DVFI faunaklasser til EQR-værdier (Økologisk Kvalitets Ratio) EQR-værdier. Vand og Jord 21 (1), 12-16.

Miljøstyrelsen (1998). Biologisk bedømmelse af vandløbskvalitet. Vejledning fra Miljøstyrelsen nr. 5 / 1998.

Naturstyrelsen (2014). Basisanalyse for Vandområdeplaner 2015-2021. Overfladevandets og grundvandets karakteristika. Påvirkning og arealanvendelse. Tilstand og risikovurdering. Naturstyrelsen, København. 41 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. Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 59. 76 s.

Wiberg-Larsen, P. (2010). Makroinvertebrater (smådyr) i vandløb. Teknisk Anvisning nr. V07 fra Fagdatacenter for Ferskvand, DCE, Aarhus Universitet, Silkeborg.

Wiberg-Larsen, P., Baattrup-Pedersen, A. (2013). Vandplanter i vandløb. Teknisk Anvisning nr. V17 fra Fagdatacenter for Ferskvand, DCE, Aarhus Universitet, Silkeborg.

Wiberg-Larsen, P., Kristensen, E.A., Nielsen, J. (2011). Fiskeundersøgelser i vandløb. Teknisk Anvisning nr. V18 fra Fagdatacenter for Ferskvand, DCE, Aarhus Universitet, Silkeborg.

Wiberg-Larsen, P., Kronvang, B. (2016). Dansk Fysisk Indeks. Teknisk Anvisning nr. V05 fra Fagdatacenter for Ferskvand, DCE, Aarhus Universitet, Silkeborg.

TEKNISK GRUNDLAG FOR FASTLÆGGELSE AF ØKOLOGISK POTENTIALE I KUNSTIGE OG STÆRKT MODIFICEREDE VANDLØB

I nærværende rapport er det tekniske grundlag for fastsættelse af grænserne imellem tilstandsklasserne maksimalt, godt og moderat økologisk potentiale i stærkt modificerede og kunstige vandområder tilvejebragt, og der kan på den baggrund fastlægges typespecifikke grænseværdier i kunstige og stærkt modificerede vandløb.

ISBN: 978-87-7156-526-3
ISSN: 2244-9981