

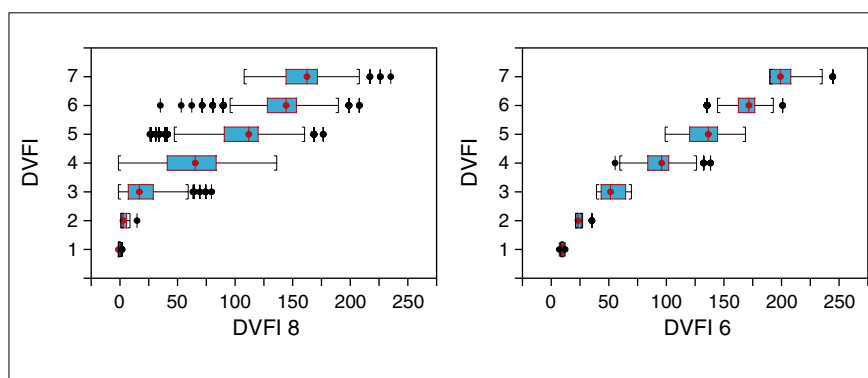
Konvertering af DVFI faunaklasser til EQR-værdier (Økologisk Kvalitets Ratio)

EQR-værdier anvendes i Vandrammedirektivet til at beskrive den økologiske tilstand. Her præsenteres en metode til at beregne EQR-værdier ud fra DVFI faunaklasser.

SØREN E. LARSEN, NIKOLAI FRIBERG,
PETER WIBERG-LARSEN, JENS SKRIVER &
LARS KJELLERUP LARSEN

Baggrund

I forbindelse med implementeringen af Vandrammedirektivet (VRD) er begrebet EQR-værdier blevet introduceret. EQR (Ecological Quality Ratio) repræsenterer den relative afvigelse fra referencetilstanden normaliseret til en værdi mellem 1 (helt uforstyrret) og 0 (dårligst mulige tilstand). Eksempelvis fortæller en EQR-værdi på 0,6, at der er en 60 % overensstemmelse mellem den økologiske tilstand på den undersøgte lokalitet sammenlignet med referencetilstanden. Formålet med EQR er, at vandområder i forskellige bio-geografiske områder kan sammenlignes. Desuden muliggør EQR sammenligning af økologisk kvalitet baseret på forskellige biologiske indikatorer med den ensartede skala



Figur 1. Box-whisker plot for metode 8 (til venstre) og metode 6 (til højre) af de testede varianter.

fra 0-1. Brugen af EQR-værdier har været et centralt element i interkalibreringen af makroinvertebratmetoder i vandløb mellem EU-medlemslandene. De enkelte nationale metoder (indices) er blevet interkalibreret med en fælles metode (ICM indekset), således at inddelingen i økologiske klasser standardiseres. Dette er gjort ved hjælp af simple korrelationsanalyser mellem de enkelte

nationale metoder og den fælles interkalibreringsmetode. Denne fremgangsmåde giver et specifikt problem i relation til DVFI, da den danske metode ikke giver kontinuerte værdier, men kun angiver 7 faunaklasser på en ordinatskala. Reelt betyder dette, at alle korrelationer med DVFI er begrænset til 7 punkter, og sammenhængen får dermed en svag statistisk styrke med lave korrelationskoefficienter til følge. Samtidig kan der på baggrund af 7 klasser ikke beregnes EQR-værdier, der er meningsfulde. Der har derfor været behov for at udvikle en metode, som entydigt kan erstatte de 7 faunaklasser med et større interval af værdier, således at der kan beregnes EQR-værdier, som har en større statistisk styrke.

Denne artikel giver resultaterne af et samarbejdsprojekt, hvor formålet har været, med udgangspunkt i DVFI og den bagved liggende faunaliste, at udvikle en algoritme, der giver et større antal værdier til brug for beregning af EQR. En væsentlig forudsætning for arbejdet har været, at der skal være overensstemmelse mellem nye værdier beregnet med "EQR" metoden og faunaklasser beregnet ud

Tabel 1. Principper for de testede metoder

Metode	Nøglegruppe	Diversitetsskala	Ny kvalitetsskala
EQR-vers. 1	6 klasser	4 klasser	1-24
EQR-vers. 2	9 klasser	4 klasser	1-36
EQR-vers. 3	6 klasser	Pos. - neg. grupper + 11	1-306
EQR-vers. 4	6 klasser	Positive grupper + 1	1-246
EQR-vers. 5	6 klasser	Pos. + neg. grupper	0-300
EQR-vers. 6	9 klasser	Pos. - neg. grupper + 11	1-459
EQR-vers. 7	9 klasser	Positive grupper + 1	1-369
EQR-vers. 8	9 klasser	Pos. + neg. grupper	0-450
EQR-vers. 9	7 DVFI værdier	Pos. - neg. grupper + 11	1-357
EQR-vers. 10	7 DVFI værdier	Positive grupper + 1	1-287
EQR-vers. 11	7 DVFI værdier	Pos. + neg. grupper	0-350

fra DVFI. Yderligere delmål med projektet var at undersøge 1) hvor godt den nye metode korrelerede til den fælles EU-interkalibreringsmetode og 2) hvor god sammenhængen er mellem værdier beregnet vha. den nye metode og to væsentlige forstyrrelsesgradienter i danske vandløb (fysiske forhold og organisk forurening).

Datagrundlag

Udgangspunktet for analysearbejdet har været 217 faunalister fra NOVANA-programmet indsamlet i perioden 2004-08. Disse faunalister er blevet udvalgt under hensyntagen til, at de udvalgte stationer var repræsentative på tre niveauer: geografisk placering, vandløbsstørrelse og faunaklasse. I analysearbejdet er der anvendt data både fra sparke- og pilleprøver. De resterende faunalister fra NOVANA-programmet, i alt 1790, er anvendt til validering af den valgte metode, som skal konvertere nye DVFI-værdier til funktionelle EQR-værdier.

Metode

Det eksisterende DVFI indeksskema er modificeret på forskellige måder, således at indeksberegningen giver flere værdier (større numerisk differentiering af skalaen). Modifikationen er lavet ud fra ekspertvurderinger med udgangspunkt i at multiplicere en fastsat værdi for nøglegruppe-indgangen med en værdi, som udtrykker forskellige mål for diversiteten. Herved vil der fremkomme en større differentiering af kvalitetskalaen.

Der blev udvalgt i alt 11 forskellige metoder til nærmere afprøvning af en større differentiering af skalaen. Vi har i tabel 1 vist den nye kvalitetskala for hver af de 11 metoder, som er testet. Det skal nævnes, at skalaerne ikke er fuldt ud kontinuerte i det angivne interval i tabel 1, ligesom værdierne alene omfatter hele tal.

Faunalisterne fra de 217 udvalgte stationer blev randomiseret, og der er blevet genereret 10.000 nye faunalister. Randomiseringen kan i korte træk beskrives på følgende måde: Der genereres ved randomiseringen både en sparkeprøve og en pilleprøve til hver af de 10.000 faunalister. Ved randomiseringen bestemmes både et antal arter og antallet af individer. Hvilke specifikke arter, der skal optræde i en artsliste, bestemmes ud fra, hvor hyppigt arterne optræder i de 217 lister. Randomiseringsprocessen er ens for sparke- og pilleprøver. Datasættet med de 10.000 faunalister har efterfølgende dannet udgangspunkt for de videre analyser.

Vi har analyseret de 11 metoder med henblik på at finde en optimal algoritme, der genererer et tilstrækkeligt antal EQR-værdier

Tabel 2. Andelen af faunalister, der ikke opnår samme statusklasse ved anvendelse af EQR64 metoden sammenlignet med den oprindelige DVFI metode.

	Antal faunalister	Antal afvigelser	Afvigelser %
DVFI 1 og 2	74	0	0
DVFI 3	132	16	10,8
DVFI 4	2108	230	10,9
DVFI 5 og 6	6481	482	7,4
DVFI 7	1120	0	0
DVFI 4 mod 5	2108	158	7,5
DVFI 5 og 6 mod 4	6481	429	6,6

langs gradienten fra 0 til 1 til at sikre en statistisk styrke, og som har en jævn fordeling og lille spredning. Vi har analyseret, hvorledes de nye EQR-værdier er i overensstemmelse med de 7 faunaklasser, og vi har fastlagt grænsen mellem moderat og god økologisk kvalitet. Disse analyser er gennemført ved at konstruere box-whisker plots, som viser fordelingen af kvalitetsværdier eller EQR-værdier for hver af de 7 DVFI værdier.

Vi har testet den valgte metode på datasættet med de 1790 faunalister fra NOVANA-programmet (herefter benævnt: NOVANA datasættet). Disse faunalister har ikke været anvendt til randomiseringen og udgør dermed et uafhængigt datasæt, som derfor er anvendt til en validering af resultaterne og den nye metode til beregning af EQR-værdier.

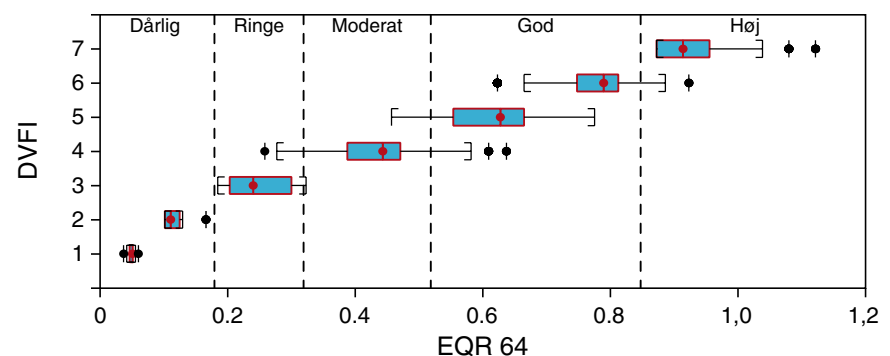
De beregnede EQR-værdier for NOVANA datasættet med den valgte metode blev efterfølgende relateret til resultater fra den fælles EU interkalibreringsmetode, dvs. at interkalibreringsindekset ICM blev beregnet for de danske NOVANA data og sammenstillet med EQR-værdierne.

Sammenhængen mellem EQR-værdier beregnet med den nye metode og BOD_5 koncentrationer samt habitatkvalitet blev ligeledes analyseret med NOVANA data. Det er undersøgt, hvilken type statistisk funktion der bedst beskriver relationerne mellem EQR og BOD_5 /Habitatkvalitet. Disse analyser er gen-

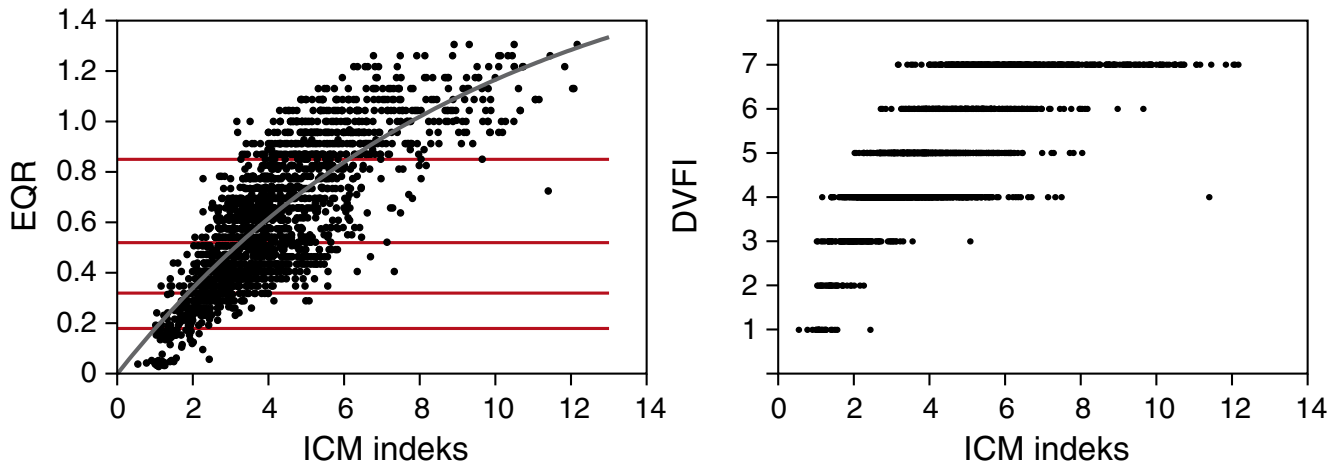
nemført ved anvendelse af regressionsmetoder, og både lineære og ikke-lineære sammenhænge er analyseret. BOD_5 koncentrationerne er grupperet før analyserne i klasser, som beskrevet i Friberg et al. /1/

Resultater

For hver enkelt af de 10.000 faunalister er der beregnet tilhørende faunaklasser samt de 11 tilhørende nye kvalitetsværdier. Metoderne 3, 6 og 9 blev udvalgt, da de gav den bedste differentiering på kvalitetskalaen, samtidigt med at kvalitetsværdierne for de enkelte faunaklasser er bedst muligt adskilt. Metode 1 og 2 gav ikke nogen god differentiering på kvalitetskalaen, primært på grund af at der i diversitetsskalaen kun var anvendt 4 diversitetsklasser. Overordnet set gav alle de øvrige metoder (3-11) en differentieret kvalitetskala, men versionerne 4, 5, 7, 8, 10 og 11 havde alle den svaghed, at kvalitetsværdierne havde meget stor spredning i forhold til de oprindelige faunaklasser og dermed en for ringe overensstemmelse. Fælles for metoderne 3, 6 og 9 er at diversitetsskalaen var fastholdt som differencen mellem antallet af positive og negative diversitetsgrupper, ligesom i beregningen af DVFI. Metode 6 fungerede overordnet bedst med en differentieret kvalitetskala, der havde det mindste overlap mellem de oprindelige faunaklasser. I figur 1 har vi vist sammenhængen mellem DVFI og



Figur 2. Box-whisker plot af vores forslag til EQR-skala. Bemærk, at det er muligt at opnå værdier større end 1. Disse kan efterfølgende flyttes ned til værdien 1.



Figur 3. Sammenhæng mellem EQR og ICM indeks. De vandrette linjer angiver grænserne mellem dårlig, ringe, moderat, god og høj kvalitet. Til højre er sammenhængen mellem DVFI og ICM indeks vist

kvalitetsværdierne for metode 8 og metode 6 i box-whisker form. Figuren viser at for metode 8 er der et betydeligt overlap i kvalitetsværdier for forskellige DVFI værdier. Overlappet er stærkt reduceret for metode 6.

Efterfølgende er der foretaget en normalisering af de nye kvalitetsværdier til en skala fra 0 til 1, som derved repræsenterer EQR værdier. Der er anvendt fire forskellige divisorer til at normalisere til en skala fra 0 til 1. Dette er gjort for de tre udvalgte varianter (3, 6 og 9), som viste de bedste resultater i den indledende analyse. De fire divisorer er:

1. Division med 31*(tal fra nøglegruppe)
2. Division med 36*(tal fra nøglegruppe)

3. Division med 95 % -fraktal i fordeling i den nye kvalitetsskala

4. Division med 99 % -fraktal i fordeling i den nye kvalitetsskala

Tallet fra nøglegruppen er 6, 9 eller 7 for henholdsvis variant 3, 6 og 9. Og 95 % -fraktalen er henholdsvis 132, 198 og 154 for variant 3, 6, og 9. Endelig er 99 % -fraktalen 144, 216 og 168 for henholdsvis variant 3, 6 og 9.

Der er således i alle fire tilfælde divideret med en konstant, som konverterer værdierne ned til det ønskede interval [0;1]. For især divisor 3 og 4 kan EQR-værdier over 1 godt forekomme, men disse kan efterfølgende flyttes

ned til værdien 1, hvis ønsket.

Metode DVFI6 divideret med 99 % -fraktalen (=216) viste den bedste opdeling af værdierne i de oprindelige 7 DVFI klasser samt bedste konvertering til EQR-værdier.

Der er foretaget en beregning af andelen af afvigelser ved anvendelse af den nye EQR-skala, kaldet EQR64, det vil sige hvor stor en andel af de oprindelige faunaklasse-værdier, der på baggrund af den nye skala ikke opnår samme klasse. Disse beregninger er foretaget under den antagelse, at faunaklasserne 1 og 2 svarer til "Dårlig", faunaklasse 3 svarer til "Ringe", faunaklasse 4 til "Moderat", faunaklasserne 5 og 6 til "God" og endelig at faunaklasse 7 svarer til "Høj". Tilsvarende har vi inddelt de nye EQR-værdier på følgende måde: "Dårlig" [0,0,18]; "Ringe" [0,18-0,32]; "Moderat" [0,32-0,52]; "God" [0,52-0,85]; "Høj" [0,85-1]. Figur 2 viser denne opdeling for den valgte EQR skala EQR64. Resultaterne er vist i tabel 2.

Korrelation mellem EQR64 og det fælles EU indeks ICM

Vi har beregnet det internationale indeks ICM, som er en kombination af forskellige indeks, som beskriver tolerance, diversitet og rigdom af makroinvertebrater. ICM indekset er defineret som

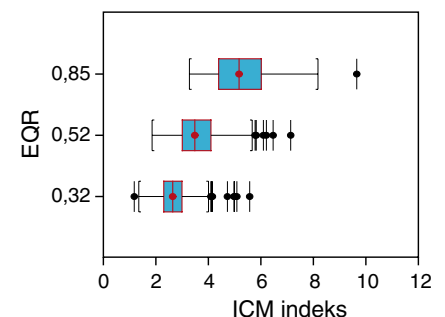
$$ICM = 0,333 \cdot ASPT - 0,266 \cdot \log_{10}(SEL_EPTD + 1) - 0,067 \cdot (1 - GOLD) - 0,167 \cdot Antal\ familier + 0,083 \cdot Antal\ EPTfamilier + 0,083 \cdot Shannon$$

ICM indekset er nærmere beskrevet i Buffagni et al./2/ og er et positivt reelt tal som i praksis ligger i intervallet mellem 0 og omtrent 13 for danske vandløb. I teorien kan indekset blive uendeligt.

ICM indekset er således beregnet for alle de 2007 faunalister, som har dannet grundlag for dette projekt. Vi har samplottet ICM og EQR og får en relativt god sammenhæng med $R^2=0,65$ og modeleret som en negativ eksponentiel vækst model. Sammenhængen er estimeret til at være

$$EQR = 1,79 \cdot (1 - \exp(-0,106 \cdot ICM_i)),$$

og er vist i figur 3. På trods af den store variation så er der en tydelig sammenhæng mellem de to beregningsmetoder til beskrivelse af den økologiske kvalitet. I figur 3 har vi ligeledes vist sammenhængen mellem DVFI og ICM indekset. Her er der også en betragtelig variation, som sammenlignet med grafen for EQR mod ICM er større.



Figur 4. Angivelse af variationsbredde i ICM indeks for grænsen mellem ringe og moderat (0,32), mellem moderat og god (0,52) og mellem god og høj (0,85). Alle EQR værdier som ligger i intervallet $\pm 0,05$ omkring grænseværdien er medtaget i grafen sammen med deres tilhørende ICM indeks værdi.

Box 1: Beregningskema for EQR-værdier illustreret i det skema, som tidligere er anvendt ved beregning af DVFI Klasse. Konstanten k er lig

$$\frac{\text{antal diversitetsgrupper} + 11}{216}$$

DVFI Numerisk (EQR)				
Nøglegrupper (Ng.)				
Nøglegruppe 1: <i>Brachyptera, Capnia, Leuctra, Isogenus, Isoperla, Isoptena, Perlodes, Protonemura, Siphonoperla</i> Ephemeridae, <i>Limnius,</i> Glossosomatidae, Sericostomatidae.	9*k	9*k	9*k	9*k
	8*k	8*k	8*k	8*k
Nøglegruppe 2: <i>Amphinemura, Taeniopteryx, Ametropodidae, Ephemerellidae, Heptageniidae, Leptophlebiidae, Siphonuridae, Elmis, Elodes, Rhyacophilidae, Goeridae</i> <i>Ancylus</i> Hvis <i>Asellus</i> ≥ 5 prøves NG 3 Hvis <i>Chironomus</i> ≥ 5 prøves NG 4	7*k	7*k	7*k	7*k
Nøglegruppe 3: <i>Gammarus</i> ≥ 10, <i>Caenidae</i> Andre <i>Trichoptera</i> end ovenfor ≥ 5 Hvis <i>Chironomus</i> ≥ 5 prøves NG 4	6*k	6*k	6*k	6*k
Nøglegruppe 4: <i>Gammarus</i> ≥ 10, <i>Asellus,</i> <i>Caenidae,</i> <i>Sialis,</i> Andre <i>Trichoptera</i>	5*k	5*k	5*k	5*k
	4*k	4*k	4*k	4*k
Nøglegruppe 5: <i>Gammarus</i> <i>Baetidae</i> <i>Simuliidae</i> ≥ 25 Hvis <i>Oligochaeta</i> ≥ 100 prøves Ng 5, 1 gruppe Hvis <i>Eristalini</i> ≥ 1 prøves Ng. 6	3*k	3*k	3*k	3*k
	2*k	2*k	2*k	2*k
Nøglegruppe 6: <i>Tubificidae</i> <i>Psychodidae</i> <i>Chironomidae</i> <i>Eristalini</i>	1*k	1*k	1*k	1*k

Disse beregninger viser, at omtrent 7 % af artslisterne med en faunaklassen 4; 5 eller 6 ikke er overensstemmende for EQR klasserne Moderat og God. Der er en svag tendens til at flere vandløb vil opnå god tilstand ved anvendelse af EQR64 sammenlignet med den traditionelle DVFI metode.

Validering

Valideringen af EQR64-metoden på det uafhængige datasæt fra NOVANA viser lidt flere afvigelser fra faunaklasse 4 mod faunaklasse 3 og faunaklasse 6 mod faunaklasse 7 (tabel 3). Mere væsentligt er det dog, at den relative andel af afvigelserne omkring God svarer til afvigelser vist i tabel 2. Det betyder, at der

stort set er samme grad af afvigelser mellem EQR klasserne Moderat og God og med en lidt tydeligere tendens til at flere vandløb klassificeres som God ved brug af EQR64 (netto 2,8 %) sammenlignet med den traditionelle DVFI metode. En mulig årsag til dette er at flere artslistere i klassen Moderat har været tættere på at blive klassificeret som God end antallet af artslistere i God som er tæt på klassen Moderat.

Figur 4 viser variationsbredden i ICM indekseværdier for grænsen mellem ringe og moderat kvalitet, for grænsen mellem moderat og god samt for grænsen mellem god og høj kvalitet. Figuren viser en god adskillelse, hvor hovedparten af ICM værdierne for de 3 kvalitetsgrænser er fint adskilte.

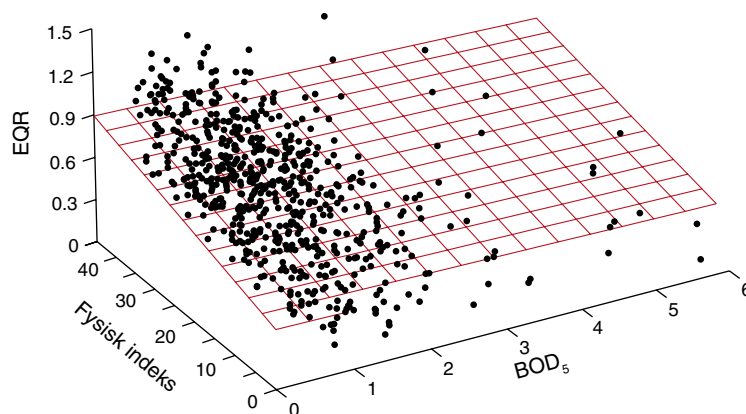
Sammenhæng mellem EQR, BOD₅ og det fysiske indeks

Det fysiske indeks defineret ved en vægtet sum af 17 parametre, som angiver dækningen af forskellige substrater, er beregnet for de af de 2007 faunalister, som har fysiske data til stede. Det drejer sig om i alt 1341 faunalister. I figur 5 har vi vist sammenhængen mellem EQR, BOD₅ og det fysiske indeks. Figuren viser, at det fysiske indeks giver anledning til en langt større differentiering og udslag i EQR skalaen end forskellige koncentrationer af BOD₅. Ændrede fysiske forhold i vandløbet og ændringer i mængden af nedbrydeligt organisk stof giver det forventede udslag i ændrede EQR værdier.

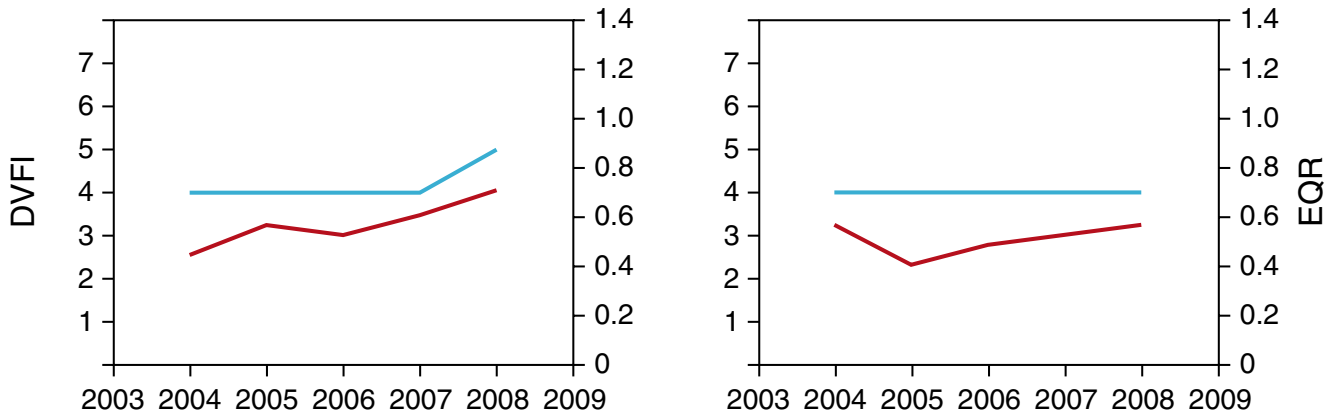
Figur 6 viser, at EQR hurtigere giver et udslag når makroinvertebrat faunaen ændres og udviklingstendenser kan derfor hurtigere erklæres for statistisk signifikante og med en større statistisk sikkerhed.

Konklusion og anbefalinger

Vores analyser viser, at det er muligt at udvide DVFI-skalaen fra de nuværende 7 ordinale



Figur 5. Sammenhænge mellem EQR, BOD₅ og det fysiske indeks. BOD₅ er beregnet som årsgennemsnittet.



Figur 6. To eksempler på udvikling over tid i EQR og DVFI. Tidsserie plottet til venstre er for Trend A og til højre for Nældevads A. Den blå kurve angiver DVFI og den røde EQR.

klasser til en kvalitetsskala med mange flere mulige værdier. Vi har testet 11 forskellige varianter, hvor især variant 3, 6 og 9 generede skalaer, som gav en jævn fordeling med lille spredning for de enkelte DVFI klasser. Ligeledes gav de stor statistisk styrke. Variant 6 var en anelse bedre end de to andre. Såfremt denne normaliseres ned til en EQR-skala, som ligger i intervallet 0 til 1 (på nær for nogle enkelte faunalister med meget høj kvalitet), finder vi, at der derved fremkommer en algoritme, som giver anvendelige EQR-værdier. Analyserne viser imidlertid, at det ikke var muligt at producere en EQR-skala, som er fuldt ud konvertibel med faunaklasserne, men en afvigelse på mindre end 10 % er efter vores faglige vurdering acceptabel. Dette skal også ses i forhold til usikkerheden

på DVFI-skalaen.

Trendanalyse af udviklingen i vandkvaliteten bliver nemmere at gennemføre på EQR-værdier end på DVFI. Dette skyldes, at EQR-værdier er en del af den kontinuerte tallinje og ikke ordnede klasseværdier som DVFI. Man kan så anvende standard trendanalyse metoder. Vi foreslår, at man nu kigger på udviklingen i vandkvaliteten ved at gennemføre en trendanalyse på EQR-værdier tilbage i tiden. Analyserne viser ligeledes, at der opnås en bedre sammenhæng mellem påvirkninger og EQR-værdier, end hvad tilfældet er ved de 7 DVFI klasser.

Vi anbefaler derfor at anvende følgende algoritme til beregning af danske EQR-værdier: De 9 nøglegruppeindgange nummereres fra 1 til 9 med værdien 1 svarende til nøglegruppe

6 og værdien 9 svarende til øverste indgang for nøglegruppe 1. Denne værdi multipliceres med antallet af diversitetsgrupper + 11. Endelig divideres resultatet med 216. Algoritmen er beskrevet på skemaform i box 1. EQR-værdier større end 1 kan reduceres til 1, hvis ønsket. De nye danske EQR-værdier på skalaen fra 0 til 1 kan i daglig tale omtales som $DVFI_{\text{Numerisk}}$, og de sædvanlige DVFI værdier (klasse værdier fra 1 til 7) kan så omtales som $DVFI_{\text{Klasse}}$.

Referencer

- /1/Friberg, N., Skriver, J., Larsen, S. E., Pedersen, M. L. and Buffagni, A. (2010), Stream macroinvertebrate occurrence along gradients in organic pollution and eutrophication. *Freshwater Biology*, 55: 1405–1419. doi: 10.1111/j.1365-2427.2008.02164.x
- /2/Buffagni A., S. Erba, S. Birk, M. Cazzola, C. Feld, T. Ofenböck, J. Murray-Bligh, M.T. Furse, R. Clarke, D. Hering, H. Soszka & W. van de Bund (2005). Towards European Inter-calibration for the Water Framework Directive: Procedures and examples for different river types from the E.C. project STAR. 11th STAR deliverable. STAR Contract No: EVK1-CT 2001-00089. Quad. Ist. Ric. Acque 123, Rome (Italy), IRSA, 467 pp.
- SØREN E. LARSEN, NIKOLAI FRIBERG OG PETER WIBERG-LARSEN er ansat på Institut for Bioscience, Aarhus Universitet
JENS SKRIVER er ansat i Jens Skriver Consult
LARS KJELLERUP LARSEN er ansat i Naturstyrelsen.

Tablet 3: Andelen af faunalister, der ikke opnår samme statusklasse ved anvendelse af EQR64 metoden sammenlignet med den oprindelige DVFI metode beregnet for 1790 faunalister fra NOVANA-programmet.

	Antal faunalister	Antal afvigelser	Afvigelser %
DVFI 1 og 2	34	0	0
DVFI 3	72	3	4,2
DVFI 4	631	170	26,9
DVFI 5 og 6	695	133	19,1
DVFI 7	358	0	0
DVFI 4 mod 5	617	59	9,6
DVFI 5 og 6 mod 4	689	47	6,8