FYSISKE OG KEMISKE KVALITETS-ELEMENTER OG UNDERSTØTTELSEN AF ØKOLOGISK TILSTAND I VANDLØB

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 702 2026

AARHUS UNIVERSITET
DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

FYSISKE OG KEMISKE KVALITETSELEMENTER OG UNDERSTØTTELSEN AF ØKOLOGISK TILSTAND I VANDLØB

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 702 2026

Kirstine Thiemer
Peter M. Andersen
Lisbeth D.R. Henriksen
Mikkel Boel
Jes K. J. Rasmussen

Aarhus Universitet, Institut for Ecoscience

AARHUS
UNIVERSITET
DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Datablad

Serietitel og nummer:	Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 702
Kategori:	Rådgivningsrapporter
Titel:	Fysiske og kemiske kvalitetselementer og understøttelsen af økologisk tilstand i vandløb
Forfattere:	Kirstine Thiemer, Peter M. Andersen, Lisbeth D.R. Henriksen, Mikkel Boel, Jes K. J. Rasmussen
Institution(er):	Aarhus Universitet, Institut for Ecoscience
Udgiver:	Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi ©
URL:	https://dce.au.dk
Udgivelsesår:	Februar 2026
Redaktion afsluttet:	17. februar 2026
Faglig kommentering:	Andreas S. Berthelsen
Kvalitetssikring, DCE:	Signe Jung-Madsen
Sproglig kvalitetssikring:	Anne Mette Poulsen
Ekstern kommentering:	Kommentarerne findes her:
Finansiel støtte:	Styrelsen for Grøn Arealomlægning og Vandmiljø
Bedes citeret:	Thiemer, K., Andersen, P.M., Henriksen, L. D.R., Boel, M. & Rasmussen, J.K.J. 2026. Fysiske og kemiske kvalitetselementer og understøttelsen af økologisk tilstand i vandløb. Aarhus Universitet, DCE – National Center for Miljø og Energi, 77 s. Videnskabelig rapport nr. 702
	Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse

Sammenfatning:	Den økologiske tilstand i danske vandløb vurderes ud fra biologiske kvalitetselementer. Hertil kommer, at fysisk-kemiske kvalitetselementer skal anvendes som støtte i tilstandsvurderingen. Nærværende projekt kortlægger, hvilke af de 14 fysisk-kemiske parametre der bedst kan støtte den biologiske vurdering, og fastsætter grænseværdier på baggrund af et opdateret EU-Tool-Kit.

Emneord:	Økologisk tilstand, Vandløb, Fysisk-kemiske parametre, Grænseværdier, EU Tool-Kit, Vandrammedirektiv, Referenceforhold
Foto forside:	Lisbeth D.R. Henriksen
ISBN:	978-87-7648-035-6
ISSN (elektronisk):	2244-9981
Sideantal:	77

Indhold

Forord **5**

Sammenfatning **6**

Summary **7**

1 Baggrund **8**

2 Formål **9**

3 Data og metoder **10**
3.1 Litteraturstudie 10
3.2 Datagrundlag 10
3.3 Fastsættelse af grænseværdier 14

4 Resultater og diskussion **20**
4.1 Resumé af litteraturstudie 20
4.2 Fastsættelse af grænseværdier 21
4.3 Værdier for de fysisk-kemiske kvalitetselementer under minimalt påvirkede forhold 30

5 Konklusioner og anbefalinger **32**
5.1 Mulige grænseværdier for fysisk-kemiske kvalitetselementer 32
5.2 Behov for videreudvikling 36

6 Referencer **38**

Bilag 1 – Litteraturstudie **42**

Bilag 2 – Nationale koncentrationsniveauer **45**

Bilag 3 – Trinvis vurdering for fastsættelse af grænser **46**

Bilag 4 – EQR-grænser mellem tilstandsklasser **49**

Bilag 5 – Lineære regressioner **50**

Bilag 6 – Smådyr **53**

Bilag 7 – Planter **58**

Bilag 8 – Bentiske alger **63**

Bilag 9 – Fisk **68**
DFFVa 68
DFFVø 72

Forord

Denne videnskabelig rapport er udarbejdet af DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi ved Aarhus Universitet på bestilling fra Styrelsen for Grøn Arealomlægning og Vandmiljø (SGAV).

Projektets formål var at vurdere mulighederne for at fastsætte grænseværdier for relevante fysisk-kemiske kvalitetselementer på baggrund af tilstandsklasser, der understøtter de biologiske kvalitetselementer, samt at fastlægge typespecifikke referenceforhold for fysisk-kemiske kvalitetselementer. Resultaterne kan anvendes som støtte i vurderingen af målopfyldelse for de biologiske kvalitetselementer i henhold til vandrammedirektivet.

Rapporten er udarbejdet af DCE ved Institut for Ecoscience, Sektion for Ferskvandøkologi. SGAV har kommenteret på et udkast til rapporten, og der har i projektperioden været afholdt tre møder med præsentation af foreløbige resultater.

Sammenfatning

Den økologiske tilstand i danske vandløb, som er omfattet af EU's vandrammedirektiv, vurderes primært på baggrund af biologiske kvalitetselementer (smådyr, planter, bentiske alger og fisk). Hertil kommer, at fysisk-kemiske kvalitetselementer skal anvendes som støtte i tilstandsvurderingen. De fysisk-kemiske kvalitetselementer omfatter 14 parametre, der fordeler sig i forhold til vandrammedirektivets fem kategorier: iltforhold (iltkoncentration, iltmætning og BI_5), salinitet (salinitet), forsuring (alkalinitet og pH), næringsstofforhold (ammonium-ammoniak, nitrat, total kvælstof, ortho-P, total fosfor) samt termiske forhold (temperatur), mens suspenderet stof og jern indgår som supplerende fysisk-kemiske støtteparametre.

I nærværende projekt var formålet at vurdere, hvilke fysiske og kemiske kvalitetselementer der kan understøtte de biologiske kvalitetselementer i tilstandsvurderingen af danske vandløb samt at fastsætte grænseværdier og referenceforhold for disse. Indledningsvist er der foretaget en opdateret litteraturgennemgang for at vurdere fysiske-kemiske parametre, som kan have betydende indvirkning på de biologiske kvalitetselementer og således er relevante at fastsætte grænseværdier for. Som metode for fastsættelsen af grænseværdier er anvendt en opdateret version af ECOSTAT-arbejdsgruppens (Ecological Status Working Group) Tool-Kit. Med EU's Tool-Kit kunne der gennemføres analyser for tre biologiske kvalitetselementer smådyr, planter og bentiske alger.

På baggrund af analyserne i dette projekt kan det konkluderes, at det med det nuværende datagrundlag er muligt at fastsætte pålidelige grænseværdier for fire fysisk-kemiske kvalitetselementer i danske vandløb: ammonium-ammoniak, BI_5, ortho-fosfat og total fosfor. For disse parametre er der dokumenterede og statistisk understøttede sammenhænge med de biologiske kvalitetselementer, hvilket gør dem velegnede som støtteparametre i vurderingen af økologisk tilstand. For de resterende ti parametre betyder resultaterne ikke nødvendigvis, at de er irrelevante, men at det eksisterende datagrundlag ikke er tilstrækkeligt til at fastsætte robuste grænseværdier.

Til beskrivelse af referenceforholdene blev der anvendt data fra 18 vandløbsstationer i naturoplande. Disse stationer vurderes at repræsentere det bedst tilgængelige datagrundlag for fysisk-kemiske forhold under minimalt påvirkede forhold i Danmark. Da alle stationerne er små vandløb og overvejende repræsenterer type 1-vandløb, er det dog ikke muligt at udarbejde typespecifikke beskrivelser af den naturlige variation i fysisk-kemiske kvalitetselementer for øvrige vandløbstyper.

Summary

The ecological status of Danish streams covered by the EU Water Framework Directive is primarily assessed on the basis of biological quality elements (macroinvertebrates, aquatic plants, benthic algae and fish). In addition, physico-chemical quality elements must be used as supporting elements in the status assessment. The physico-chemical quality elements comprise 14 parameters distributed according to the five categories of the Water Framework Directive: oxygen conditions (concentration, saturation, BI_5), salinity (salinity), acidification (alkalinity, pH) nutrient conditions (ammonium-ammonia, nitrate, total nitrogen, ortho-phosphate, total phosphorous) and thermal conditions (temperature), while suspended matter and iron are included as supplementary parameters.

The purpose of the present project was to assess which physico-chemical quality elements can support the biological quality in the ecological status assessment of Danish streams and to establish threshold values and reference conditions for these elements. Initially, an updated literature review was conducted to evaluate physico-chemical parameters that may have a significant impact on the biological quality elements and therefore are relevant for the establishment of threshold values. An updated version of the ECOSTAT Working Group Tool-Kit was applied to establish threshold values. Using the EU Tool-Kit, analyses were carried out for the three biological quality elements: macroinvertebrates, aquatic plants and benthic algae.

Based on the analyses conducted in this project, it can be concluded that, given the current data basis, it is possible to establish reliable threshold values for four physico-chemical quality elements in Danish streams: ammonium-ammonia, BI_5, ortho-phosphate and total phosphorous. For these parameters, documented and statistically supported relationships with the biological quality elements exist, making them suitable as supporting parameters in the assessment of ecological status. For the remaining ten parameters, the results do not necessarily imply that they are irrelevant, but rather that the existing data are insufficient for establishing robust threshold values.

To describe reference conditions, monitoring data from 18 streams located in near-natural catchments were used. These stations are considered to represent the best available data basis for assessing physico-chemical conditions under minimally impacted conditions in Denmark. However, since all stations represent small and predominantly type 1 streams, it was not possible to develop type-specific descriptions of the natural variation in physico-chemical quality elements for other stream types.

1 Baggrund

Danmark er, jf. EU's vandrammedirektiv, forpligtet til at udarbejde og anvende fysisk-kemiske kvalitetselementer, der understøtter de biologiske kvalitetselementer (DVFI, DVPI, SID_TID og DFFVa/ø), i tilstandsvurderingen af danske vandløb, herunder både naturlige, kunstige og stærkt modificerede vandløb. De fysisk-kemiske kvalitetselementer omfatter termiske forhold, iltforhold, salinitet, forsuring og næringsstofindhold.

I et tidligere notat fra DCE blev det konkluderet, at brugen af fysisk-kemiske støtteparametre til understøttelse af de biologiske kvalitetselementer i danske vandløb ikke ville styrke tilstandsvurderingen, da det kun var muligt at fastsætte grænser for BI_5 for henholdsvis fisk og smådyr samt alkalinitet for vandplanter (Kallestrup et al. 2019).

Siden notatet er der kommet mere viden inden for området, og der findes nu et mere omfattende datagrundlag (data under NOVANA-programmet), hvilket giver mulighed for bedre analyser samt fastsættelse af flere og mere præcise grænseværdier for de fysisk-kemiske kvalitetselementer, der kan understøtte tilstandsvurderingerne. ECOSTAT-arbejdsgruppen (Ecological Status Working Group), som er oprettet af Europa-Kommissionen, udarbejder retningslinjer og metoder til vurdering af økologisk tilstand for overfladevand i Den Europæiske Union. For at understøtte EU medlemslandenes arbejde med at sætte grænseværdier i forhold til vandrammedirektivet udarbejder ECOSTAT en række rapporter, der sætter rammerne for '*best practice*' i forhold til at udvælge metoder og datasæt samt et Tool-Kit. Anvendelsen af ECOSTAT's Tool-Kit giver mulighed for en standardiseret fremgangsmåde til grænsefastsættelse. ECOSTAT har gennem de seneste år videreudviklet og forbedret *best practice*-metoderne (Kelly et al. 2024) til medlemslandenes arbejde med at implementere de fysisk-kemiske kvalitetselementer. Ligeledes foreligger der en ny version af ECOSTAT's Tool-Kit (Phillips et al. 2024), som ikke var tilgængelig under det tidligere arbejde med at fastsætte grænseværdier for de fysisk-kemiske kvalitetselementer i danske vandløb (Kallestrup et al. 2019).

2 Formål

Nærværende projekt gennemføres for Styrelsen for Grøn Arealomlægning og Vandmiljø i henhold til opgavebestillingen af oktober 2024. Det overordnede formål med projektet er at undersøge, hvorvidt det er muligt at fastsætte grænseværdier for fysisk-kemiske kvalitetselementer i danske vandløb. Disse skal benyttes til understøttelse af krav for målopfyldelse for de biologiske kvalitetselementer jf. vandrammedirektivets målsætning om mindst 'God' økologisk tilstand. Som mål for de biologiske kvalitetselementer anvendes Dansk Vandløbsplante Indeks (DVPI), Dansk Vandløbs Fauna Indeks (DVFI), Dansk Fiskeindeks For Vandløb (DFFVa/DFFVø) samt Dansk bentiske kiselalgeindeks (SID_TID). Helt konkret anvendes de nye ECOSTAT's *best practice*-guidelines og det opdaterede datagrundlag til at gennemføre nye dataanalyser og undersøge mulighederne for:

1. fastsættelse af grænseværdier for de relevante fysisk-kemiske kvalitetselementer mellem alle tilstandsklasser for hvert af de biologiske kvalitetselementer (hvor dette er muligt).
2. fastsættelse af typespecifikke referenceforhold for de enkelte fysisk-kemiske kvalitetselementer i høj tilstand, hvor dette er muligt.

Projektet integrerer desuden et opdateret litteraturstudie mhp. at understøtte fastsættelsen af grænseværdier.

3 Data og metoder

3.1 Litteraturstudie

Formålet med litteraturstudiet er at indsamle og sammenfatte eksisterende viden fra nationale og internationale studier om sammenhængen mellem biologiske og fysisk-kemiske kvalitetselementer samt eventuelle tilhørende grænseværdier. På baggrund af litteraturstudiet vurderes, hvilke fysisk-kemiske kvalitetselementer der er relevante at fastsætte grænseværdier for. Hvis studierne angiver grænseværdier, anvendes disse som sammenlignings-grundlag for de grænseværdier, der beregnes for danske vandløb.

Litteraturgennemgangen fokuserer på videnskabelige artikler publiceret i perioden 2019-2025 (oktober), dvs. perioden efter afslutningen af det tidligere projekt af Kallestrup et al. (2019). Det antages, at dette tidligere studie dækkede den relevante litteratur frem til og med 2018.

I det opdaterede litteraturstudie indgår følgende 14 fysisk-kemiske kvalitetselementer: alkalinitet, iltforhold (koncentration og mætning), salinitet, ammonium-ammoniak, jern, nitrat, total kvælstof, ortho-P, total fosfor, suspenderet stof, temperatur og pH.

Litteratursøgningen er udført i Web of Science og følger samme søgestrategi og kriterier som i Kallestrup et al. (2019) for både biologiske og fysisk-kemiske kvalitetselementer (se Bilag 1, tabeller B1.1-1.3). Der medtages kun *in situ*-studier udført i lavlandsvandløb og kun studier fra lande, der er sammenlignelige med Danmark, herunder øvrige europæiske lande samt New Zealand og Canada. Søgningen er målrettet de tilfælde, hvor Kallestrup et al. (2019) identificerede færre end én korrelation mellem biologiske og fysisk-kemiske parametre, eller hvor der forelå uoverensstemmelse mellem antallet af fundne artikler og dokumenterede korrelationer. For yderligere detaljer om søgeord, afgrænsninger og inklusionskriterier henvises til Bilag 1.

3.2 Datagrundlag

Fastsættelse af grænseværdier

Datagrundlaget omfatter alle bedømmelser af økologisk tilstand for alle biologiske kvalitetselementer fra det nationale overvågningsprogram NOVANA for perioden 2004-2023. Data er udtrukket fra Overfladevandsdatabasen ODA v2 (som er offentlig tilgængelig) og omfatter ca. 800 landsnetstationer (Figur 3.1), hvor det nyeste undersøgelsesår er anvendt. Ligeledes omfatter datagrundlaget alle tilgængelige data for de fysisk-kemiske kvalitetselementer, som er registreret på landsnetstationerne inden for samme tidsperiode. Kun kvalitetssikrede data er anvendt til videre analyser.

Der er oparbejdet fem særskilte datasæt, et for hvert af de biologiske kvalitetselementer: smådyr, vandplanter, bentiske alger og fisk (DFFVa og DFFVø). Hvert datasæt er afgrænset til stationer, hvor der både findes kvalitetssikrede EQR-værdier for mindst et biologisk kvalitetselement og data for mindst et fysisk-kemisk kvalitetselement. For hver station blev det seneste registrerede datapunkt for hvert biologisk kvalitetselement, hvor der samtidig var tilgængelige og kvalitetssikrede data fra mindst to af de foregående fem år, anvendt. For hver fysisk-kemisk støtteparameter blev der beregnet en gennemsnitsværdi dækkende undersøgelsesåret for det biologiske kvalitetselement samt de fire foregående år (5-års gennemsnit). For SID_TID-datasættet

er værdier fra maj-september anvendt (Pacheco et al. 2023). De fysisk-kemiske parametre omfatter alkalinitet, ammonium-ammoniak, BI_5, jern, nitrat-nitrit, total kvælstof, ortho-P, total fosfor, iltindhold, iltmætning, salinitet, suspenderet stof, temperatur og pH. Det præcise antal stationer med gyldige målinger varierer mellem de fire biologiske elementer og fremgår af Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Antal unikke stationer, som opfylder selektionskriterierne og dermed indgår i dataanalyserne. Antallet af unikke stationer er præsenteret for hver mulig kombination mellem de fysisk-kemiske og biologiske kvalitetselementer.

Parameter	Smådyr	Planter	Alger	Fisk
	DVFI	DVPI	SID_TID	DFFVa/ø
Alkalinitet (mmol/L)	815	742	811	233 |304
Ammonium-ammoniak (mg/L)	815	742	812	235 |304
BI_5 (mg/L)	814	742	796	227 |303
Jern (mg/L)	815	742	811	235 |304
Nitrat-Nitrit (mg/L)	815	739	812	232 |304
Total kvælstof (mg/L)	798	641	790	206 |264
Ortho-P (mg/L)	815	742	812	235 |305
Total fosfor (mg/L)	798	641	790	206 |264
Iltindhold (mg/L)	68	59	12	13 |20
Iltmætning (%)	30	25	12	5 |15
Salinitet (‰)	173	114	101	57 |58
Suspenderet stof (mg/L)	279	245	230	95 |101
Temperatur (°C)	815	742	812	236 |305
pH	813	715	812	221 |290

Nationale niveauer

Til beregning af nationale niveauer for de fysisk-kemiske parametre er landsnetstationerne i kontrolovervågningsprogrammet ligeledes benyttet. For hver station i datasættet er der beregnet et femårigt gennemsnit for de fysisk-kemiske kvalitetselementer, baseret på nyeste undersøgelsesår med kvalitetssikrede data samt de fire foregående år. Datasættet omfatter mellem 8 og 675 unikke stationer, afhængigt af det fysisk-kemiske kvalitetselement (Bilag 2, Tabel B2.1). Der er desuden beregnet nationale koncentrationer baseret på data fra maj–september, som anvendes til sammenligning med grænseværdier fastlagt ved brug af SID_TID-indekset (Bilag 2, Tabel B2.2).

Referenceforhold

Beskrivelsen af de fysisk-kemiske parametre under referenceforhold har tidligere været baseret på et mindre udvalg af de landsnetstationer, som også betegnes som referencestationer (128 stationer). I denne rapport har vi imidlertid valgt at basere beskrivelsen af de fysisk-kemiske parametre på de 18 stationer med naturoplande, der også indgår i NOVANA-programmet for stoftransport. Nedenfor følger argumentation for dette valg.

Referencestationerne blev integreret i den første NOVANA-programovervågningsperiode (2004-2009) mhp. at opfylde de regulatoriske krav i EU's vandrammedirektiv om at definere og udpege typespecifikke referencevandløb (EC 2003; Baattrup-Pedersen et al. 2004). Selektionskriterierne for vandløbsstationer i referencetilstand, som beskrevet i EU's vandrammedirektiv,

rummede en lang række elementer, herunder: 1) højst 20 % af vandløbsoplandet må være anvendt til landbrug eller afgræsning, 2) højst 0,4 % af vandløbsoplandet må være dækket af befæstede arealer, og 3) 0 % af de vandløbsnære arealer (tosidet vandløbskorridor med en bredde på 2 x 30 m langs en 5 km strækning i opstrøms retning) må være opdyrkede, afgræssede eller dækket af befæstede arealer (EC 2003).

I tilfælde af at et utilstrækkeligt antal stationer opfyldte referencekriterierne, var der mulighed for at anvende lempede referencekriterier, tilpasset danske forhold. De lempede referencekriterier var kvalitativt beskrevet ud fra samme parametre som de naturlige referencekriterier, herunder: 1) højst 50 % af vandløbsoplandet må være anvendt til landbrug eller afgræsning, 2) højst 0,8 % af vandløbsoplandet må være dækket af befæstede arealer, og 3) <10 % af de vandløbsnære arealer (tosidet vandløbskorridor med en bredde på 2 x 30 m langs en 5 km strækning i opstrøms retning) må være hhv. opdyrkede eller afgræssede eller dækket af befæstede arealer (Kristensen et al., 2008).

En gennemgang af de 128 NOVANA-referencestationer viste, at kun tre af disse opfyldte de lempede referencekriterier, mens ingen opfyldte selektionskriterierne for naturlige referenceforhold (Kristensen et al. 2008). Alle tre stationer havde oplandsstørrelser < 10 km^2. Kristensen et al. (2008) anbefalede desuden, at arbejdet med at afsøge muligheden for at etablere et stationsnetværk, som i større grad repræsenterer kriterierne for naturlige eller lempede referenceforhold, blev videreført.

De 128 referencestationer er repræsentative for danske forhold ift. geografisk fordeling og vandløbsstørrelse (Pedersen et al. 2007), men de er delvist udvalgt efter begrebet 'optimal faunaklasse', der dækker over den højst mulige DVFI-score ved biologisk vandløbsbedømmelse inden for hver vandløbstypologi (Baattrup-Pedersen et al. 2004). Dermed omfatter referencestationerne i NOVANA-programmet primært stationer, der har en relativt høj DVFI-score, men som ikke opfylder hverken naturlige eller lempede referencekriterier og heller ikke rummer upåvirkede eller ubetydeligt påvirkede biologiske samfund.

Da rapportens delmål var at undersøge muligheden for at beskrive de typespecifikke referenceforhold for de fysisk-kemiske kvalitetselementer, og da de fysisk-kemiske kvalitetselementer påvirkes kraftigt af arealanvendelsen i vandløbets opland og vegetationsstrukturen i de vandløbsnære arealer (dos Reis Oliviera et al. 2019), er det ikke optimalt at anvende referencestationerne i landsnettet til at beskrive den fysisk-kemiske referencetilstand eller den minimalt påvirkede tilstand.

I NOVANA-overvågningsprogrammet for stoftransport indgår 18 vandløbsstationer med naturoplande til beskrivelse af naturlige baggrundsniveauer af f.eks. sedimenttransport og udvaskning af næringsstoffer (Figur 3.1). Disse stationer, herefter benævnt 'naturstationer', er udvalgt på baggrund af en række kvalitative kriterier for arealanvendelse i oplandet samt forekomsten af forureningskilder (Bøgestrand et al. 2014; Miljøstyrelsen 2023):

- Højst 10 % af oplandet må være anvendt til dyrkning af afgrøder.
- Der må ikke forekomme kilder til punktudledninger fra f.eks. spredt bebyggelse eller befæstede arealer.

Disse vandløb er alle små (oplandsareal < 20 km^2) (Boutrup et al. 2007) og repræsenterer dermed ikke størrelsesgradienten af danske vandløb (Type 1, 2 og 3). Til gengæld er selektionskriterierne for naturstationerne restriktive omkring arealanvendelsen i oplandet samt forekomsten af mulige forureningskilder fra punktudledninger. Dette bekræftes yderligere af, at netop disse vandløbsstationer blev udvalgt i en arbejdsproces i EU-projektet 'Nordbalt-Ecosafe', hvor en svensk modelleringsmetode skulle afprøves ift. at beskrive referenceforhold for fosfor- og kvælstofkoncentrationer i de skandinaviske og baltiske EU-medlemslande (Fölster et al. 2023). Dermed antages det, at naturstationerne kan bidrage til at opnå det bedst mulige datagrundlag til en beskrivelse af de fysisk-kemiske kvalitetselementer under minimalt påvirkede forhold i Danmark. Dette er ikke ensbetydende med, at de udvalgte stationer opfylder kriterierne for naturlige eller lempede referenceforhold. Derfor omtales stationerne som beskrivende for 'minimalt påvirkede forhold' i den efterfølgende del af denne rapport.

Idet alle stationerne er små og fortrinsvis repræsenterer type 1-vandløb, er der ikke mulighed for at lave en typespecifik angivelse af den naturlige variation i fysisk-kemiske kvalitetselementer under minimalt påvirkede forhold.

Data for alle fysisk-kemiske kvalitetselementer indsamles hvert tredje år (månedlige intervaller) på naturstationerne (Miljøstyrelsen 2023). De fysisk-kemiske kvalitetselementer, for hvilke der indsamles data på naturstationerne, er præsenteret i NOVANA-programbeskrivelsen for 2023-2027 (Miljøstyrelsen 2023) og rummer følgende parametre: temperatur, pH, alkalinitet, nitrat-N + nitrit-N, ammonium-N + ammoniak-N, total-N, ortho-fosfat, total-P, total Fe, suspenderet stof og glødetab (målt på suspenderet stof). Den seneste dataindsamling blev gennemført i 2023 for alle naturstationer, og disse data indgår i beskrivelsen af datavariationen i de fysisk-kemiske kvalitetselementer under minimalt påvirkede forhold.

Figur 3.1. Kort over stationer benyttet til fastsættelse af grænseværdier for fysisk-kemiske kvalitetselementer. Blå cirkler angiver stationer, som er anvendt til bestemmelse af de generelle nationale koncentrationsniveauer. Grønne cirkler angiver stationer, som er anvendt til bestemmelse af datavariationen for de fysisk-kemiske kvalitetselementer under minimalt påvirkede forhold.

3.3 Fastsættelse af grænseværdier

I dette afsnit beskrives den anvendte metode til fastsættelse af grænseværdier for fysisk-kemiske kvalitetselementer. Grænseværdier repræsenterer her koncentrationen/intensiteten af et fysisk-kemisk kvalitetselement, der markerer overgangen mellem to økologiske tilstandsklasser, f.eks. God/Moderat. Fastsættelsen af grænseværdier følger en overordnet og systematiseret fremgangsmåde (illustreret i Figur 3.2). Fremgangsmåden er baseret på procedurerne beskrevet i *Best Practice Guidance*- af Phillips et al. (2018) samt en opdateret version heraf (Phillips et al. 2024). Begge dokumenter er anvendelige, men 2024-udgaven indeholder en mere detaljeret beskrivelse af den logistiske metode. I Bilag 3 (Tabel B3.2-B3.6) er der desuden lavet en oversigt over de trinvise vurderinger for hvert biologiske kvalitetselement. Her fremgår det også, hvorfor det i visse tilfælde ikke har været muligt eller hensigtsmæssigt at fastsætte grænseværdier.

Figur 3.2. Overblik over de trinvise vurderingspunkter i den systematiserede fremgangsmåde for fastsættelse af grænseværdier for fysisk-kemiske kvalitetselementer. Modificeret fra ECOSTAT's Best Practice Guidance (Phillips et al. 2018).

Forudsætninger for data

Ifølge ECOSTAT's vejledning (Phillips et al. 2018) kan grænseværdier kun fastsættes for fysisk-kemiske kvalitetselementer, hvis datagrundlaget opfylder en række basale forudsætninger:

- Målinger skal være uafhængige og dække hele den relevante gradient (hver station indgår således kun en enkelt gang i analyserne).
- Datagrundlaget skal omfatte minimum 50 observationer i de indledende analyser.

- De økologiske tilstandsklasser må ikke overlappe (signifikant forskel mellem fordelingerne af tilstødende klasser, testes vha. Kruskal Wallis og Wilcoxon tests).
- Der skal være en tydelig sammenhæng (enten positiv eller negativ) mellem EQR og det undersøgte fysisk-kemiske kvalitetselement.

I forhold til de ovennævnte generelle forudsætninger for datagrundlaget er der i nærværende projekt indført supplerende kriterier, som adresserer evt. inkongruens mellem dataindsamlingsstrategi og systematisk/naturlig døgn- eller årstidsvariation for det pågældende fysisk-kemiske kvalitetselement. Helt konkret er der tilføjet følgende forudsætninger for datagrundlaget:

1. Er der en naturlig variation i værdierne for det fysisk-kemiske kvalitetselement som følge af omgivende forhold, der varierer systematisk som funktion af tidspunkt på døgn eller årstid, eller varierer stokastisk som følge af f.eks. nedbørsforhold? Hvis 'ja', aktiveres nedenstående kriterium.
2. Opstår de mest ekstreme værdier for det fysisk-kemiske kvalitetselement som følge af disse systematiske eller stokastiske variationer i de omgivende forhold? Hvis 'ja', aktiveres nedenstående kriterium.
3. Er ekstremværdierne samtidig de mest relevante ift. fortolkninger af biologiske effekter, og kan selv meget kortvarige (få timer) forekomster af disse ekstremværdier forventes at have målbare effekter på de biologiske kvalitetselementer? Hvis 'ja', aktiveres nedenstående kriterium.
4. Integreres den forventede systematiske eller stokastiske variation i værdierne på en fyldestgørende måde, herunder forekomster af ekstremværdier, i dataindsamlingsmetoderne for det fysisk-kemiske kvalitetselement?

Hvis der svares 'ja' til pkt. 4, kan det fysisk-kemiske kvalitetselement fortsat indgå i de efterfølgende dataanalyser. Hvis der svares 'nej', antages det, at dataindsamlingsprocedurerne ikke i tilstrækkelig grad sandsynliggør, at forekommende ekstremværdier registreres, og dermed kan datagrundlaget ikke anerkendes som tilstrækkeligt ift. afsøgning af grænseværdier mellem økologiske tilstandsklasser.

Som eksempel kan nævnes temperatur og iltkoncentration. Temperatur påvirkes systematisk over døgnet og årstiderne af de omgivende temperaturforhold og lysindstrålingen, og de mest ekstreme værdier må anses for at være de mest biologisk relevante. Kritisk høje temperaturer og kritisk lave iltkoncentrationer vil kunne generere målbare effekter på få timer. Især længere varme og tørre perioder hen over sommeren kan generere både kritisk høje temperaturer (typisk sidst på eftermiddagen) og samtidig kritisk lave iltkoncentrationer (typisk sidst på natten). Det kræver en sensor-baseret dataindsamling at sandsynliggøre registreringen af forekommende ekstremværdier, der typisk vil forekomme uden for almindelig arbejdstid (kl. 8-16). Men begge fysisk-kemiske kvalitetselementer registreres på landsnetstationerne som spotmålinger fire gange per år, og dataindsamlingsproceduren kan derfor ikke generere tilstrækkeligt repræsentative datasæt for de forventede variationer i parameterværdierne. Etablering af meningsfulde og robuste sammenhænge mellem disse fysisk-kemiske kvalitetselementer og de biologiske kvalitetselementer er af denne grund ikke mulig, hvorfor de udelades fra videre analyser.

Grænseværdier fastsættes desuden kun for fysisk-kemiske kvalitetselementer, der er relevante i en forvaltningsmæssig kontekst. Naturgivne parametre, som f.eks. alkalinitet, der primært afspejler geologiske forhold og følgelig ikke kan påvirkes gennem regulering, er derfor udeladt.

Endelig er de tre danske vandløbstyper (type 1, 2 og 3) slået sammen for at forbedre datagrundlaget og sikre robuste analyser. Det vil sige, at beslutningen om at samle datasættene på tværs af vandløbsstørrelser hviler på en antagelse om, at den biologiske følsomhed over for eller respons på et givet fysisk-kemisk kvalitetselement ikke ændrer sig som en funktion af vandløbsstørrelse.

Analysetilgang

Fastsættelsen af grænseværdier tager udgangspunkt i ECOSTAT's *Best Practice Guidance* og det tilhørende opdaterede Tool-Kit (Phillips et al. 2018; Phillips et al. 2024; Varbiro et al. 2018). Tre analysetilgange anvendes i ECOSTAT's metodegrundlag: (1) lineær regression, (2) kategorisk metode og (3) logistisk regression med minimering af 'mismatch' (Tabel 3.2). For en mere detaljeret gennemgang af de statistiske metoder henvises til Phillips et al. (2018) og Phillips et al. (2024).

Tabel 3.2. Oversigt over de tre analysetilgange anvendt i ECOSTAT's Tool-Kit.

Analysetilgang	Beskrivelse	Anvendelse
1. Lineær regression	Undersøger lineær sammenhæng mellem fysisk-kemisk parameter og EQR.	Anvendes, når der er en tydelig lineær sammenhæng (r^2 > 0,36). Både ordinary least squares (OLS) og type II-regressioner kan bruges, afhængigt af datagrundlaget. Velegnet til stærke lineære relationer.
2. Kategorisk metode	Statistiske sammenligninger mellem tilstødende tilstandsklasser (f.eks. God/Moderat).	Grænser kan estimeres på tre måder: Gennemsnit af middel af tilstødende kvartiler: middel af 75 %-kvartil (bedre klasse) og 25 %-kvartil (lavere klasse). Gennemsnitlig median: middel af 50 %-kvartiler for to klasser. 75 %-kvartil: direkte brug af 75 %-kvartil for den bedste af to klasser. God metode, når der ikke er en klar lineær sammenhæng, men tydelig forskel mellem tilstandsklasserne.
3. Logistisk regression og minimering af 'mismatch'	Forudsiger sandsynligheden for at opnå f.eks. mindst 'God' status (for DVPI EQR > 0,5*) langs gradienten af en fysisk-kemisk parameter.	Aflæsning af grænseværdier ved logistisk regression kan enten ske ud fra en *a priori*-antagelse om 50 % sandsynlighed for at opnå en given tilstandsklasse (svarende til y = 0,5) eller ved en tilgang, der tager højde for 'mismatch' mellem biologisk og fysisk-kemisk klassifikation. Mismatch omfatter tilfælde, hvor den kemiske klassifikation ikke er god, mens den biologiske er god (falsk positive), samt tilfælde, hvor den kemiske klassifikation er god, men den biologiske ikke er god (falsk negative). For at balancere disse to typer af klassifikationsusikkerhed anvendes parameteren FNR = FNP, således at sandsynligheden for falsk negative og falsk positive vægtes ens. Ved aflæsning af grænseværdien anvendes derfor ikke den faste tærskel på 0,50, men i stedet den sandsynlighed, der følger af betingelsen FNR = FNP.

*De individuelle EQR-grænser mellem tilstandsklasser fremgår for hvert biologisk kvalitetselement af Tabel B4.1 i Bilag 4.

Valget af analysetilgang afhænger af styrken af sammenhængen mellem det biologiske kvalitetselement (EQR-værdi) og det givne fysisk-kemiske kvalitetselement:

- Ved en forklaringsgrad (r^2) over 0,36 anvendes lineær regression.
- Ved lavere r^2-værdier, eller når sammenhængen ikke er lineær, benyttes den logistiske eller kategoriske metode.

Den logistiske metode anvendes som den primære analysetilgang, hvis den lineære regression ikke sikrer tilstrækkelig høj forklaringsgrad, da den logistiske metode muliggør kvantificering af usikkerheder og dermed giver et mere robust og gennemsigtigt grundlag for fastsættelse af grænseværdier. Dog anbefales den logistiske metode kun, hvis en række kriterier for den logistiske model opfyldes (Phillips et al. 2018):

- Ved forklaringsgraden pseudo $r^2 > 0{,}15$. Pseudo r^2 anvendes for logistiske modeller, da egentlige r^2-værdier ikke kan udregnes, da EQR-variablen er kategorisk (antager værdierne 0 eller 1).
- Hvis AUC > 0,7. Viser, hvor godt modellen kan skelne mellem steder med og uden observationer af et givent fysisk eller kemisk kvalitetselement.

Hvis disse kriterier ikke er opfyldt, anbefales det i stedet at anvende den kategoriske metode, hvor 75 %-kvartilen benyttes som grænseværdi mellem økologiske tilstandsklasser. Den kategoriske metode blev f.eks. anvendt i det tidligere arbejde med fastsættelse af grænseværdier for fysisk-kemiske kvalitetselementer i danske vandløb (Kallestrup et al. 2019).

Alle analyserne er gennemført i RStudio (version 2024.09.0) ved brug af relevante statistiske pakker, herunder ecostattoolkit (Dolman 2016) og modEVA (Barbosa et al. 2025). Flere parametre er log-transformerede for at opnå normalfordelte residualer, men grænseværdierne er altid rapporteret med samme enheder som de målte dataværdier.

Kriterier for endelig fastsættelse

De beregnede grænseværdier vurderes i forhold til en række kvalitetskriterier. Grænseværdier fastsættes kun, hvis følgende betingelser er opfyldt:

- Der foreligger værdier for mere end én tilstandsklasse (f.eks. ikke kun for Moderat/Ringe), og grænsen mellem God/Moderat (dvs. målopfyldelse) skal være en del af sættet af grænseværdier.
- Grænseværdierne følger en logisk progression mellem tilstandsklasser (dvs. konsistent stigende eller faldende værdier i takt med ændret tilstand) (Phillips et al. 2018).
- De beregnede grænseværdier sammenlignes med nationalt forekommende gradienter for at undersøge, hvorvidt størrelsesordenerne for de enkelte grænseværdier er realistiske i danske vandløb (jf. Tabel B.2.1-2.2 med minimum, 25 %-kvartil, middel, 75 %-kvartil og maksimum). Hvis den beregnede grænseværdi afviger markant fra de nationale niveauer, bør den revurderes eller ikke anvendes som fast grænseværdi (Phillips et al. 2018).

For nogle fysisk-kemiske kvalitetselementer er det muligt at beregne grænseværdier for flere biologiske kvalitetselementer. I disse tilfælde anbefales det at anvende grænseværdien for det mest følsomme biologiske kvalitetselement, idet de øvrige biologiske kvalitetselementer herved også må forventes at kunne opnå den angivne økologiske tilstand.

4 Resultater og diskussion

4.1 Resumé af litteraturstudie

I det tidligere notat gennemførte Kallestrup et al. (2019) et omfattende litteraturstudie med ca. 250 internationale videnskabelige artikler med fokus på korrelationer mellem biologiske og fysisk-kemiske kvalitetselementer i lavlandsvandløb. Den opdaterede litteratursøgning i dette projekt tilføjede yderligere syv relevante artikler fra perioden 2019-2025 (oktober). Ingen af de identificerede studier angiver konkrete grænseværdier, men samlet peger litteraturen på, at størstedelen af kvalitetselementerne viser dokumenterede sammenhænge med mindst ét biologisk kvalitetselement, hvilket gør disse relevante i forhold til fastsættelse af grænseværdier (Tabel 4.1).

På tværs af de biologiske kvalitetselementer findes der dokumenterede sammenhænge for 32 af de 44 potentielle kombinationer mellem biologiske og fysisk-kemiske parametre. I et enkelte tilfælde, nitrat og fisk, er der fundet ét studie, men en egentlig sammenhæng er ikke dokumenteret. For 15 kombinationer findes der fortsat ingen studier, og for mange af de påviste korrelationer bygger resultaterne kun på et enkelt studie, hvilket reducerer robustheden af de samlede konklusioner. På trods af disse begrænsninger viser litteraturen samlet set, at de fleste fysisk-kemiske kvalitetselementer udviser sammenhænge med mindst ét biologisk kvalitetselement. Tabel 3 giver en oversigt over, hvilke fysisk-kemiske kvalitetselementer der har vist sammenhæng med de biologiske kvalitetselementer.

Tabel 4.1. Oversigt over sammenhænge (✓ = korrelation, ÷= ingen korrelation) mellem fysiske-kemiske kvalitetselementer og biologiske kvaltitetselementer samt antal fundne artikler for de enkelte kvalitetselementer.

Fysiske-kemiske kvalitetselementer	Smådyr	Planter	Bentiske alger	Fisk
Alkalinitet	-	✓ (4,4)	-	-
Ammonium	✓ (4,4)	✓(3,3)	✓ (2,2)	*
Fosfor	✓(5,7)	✓(8,9)	✓(5,8)	(1,1)†
Iltforhold	✓(2,2)	✓ (1,1)*	✓(3,3)	(1,1)†
Jern	*	✓ (2,2)†	*	*
Nitrat	✓(3,3)	✓ (1,3)†	(2,2)†	÷ (0,2)*
pH	✓(4,5)	✓(3,3)	✓(3,4)	✓ (1,1)†
Salinitet	✓ (1,1)*	*	(1,1)*	*
Suspenderet stof	✓ (1,1)*	(1,1)*	*	(1,1)†
Temperatur	✓ (4,6)	✓ (3,4)	✓ (5,8)	✓ (12,12)
Total kvælstof	✓ (1,2)*	✓(2,3)	✓(2,2)	*

*Angiver de nye søgninger, men ingen studier fundet, † nye studier fundet for denne kombination. Parentesen angiver først antal fundne artikler, som viser en korrelation, og dernæst det totale antal fundne artikler.

4.2 Fastsættelse af grænseværdier

Litteraturstudiet dokumenterer, at de fleste fysisk-kemiske kvalitetselementer korrelerer med de biologiske kvalitetselementer, og fastsættelse af grænseværdier for disse kan derfor være relevant. Der blev dog ikke fundet egentlige grænseværdier, hvorfor de følgende resultater udelukkende er baseret på analyser udført på det eksisterende datagrundlag, som omfatter ca. 800 stationer. De indledende analyser undersøgte sammenhængen mellem 14 fysisk-kemiske kvalitetselementer og variationen i den biologiske tilstand (EQR) for de fire biologiske kvalitetselementer smådyr, planter, bentiske alger og fisk. Flere fysisk-kemiske parametre blev fravalgt i den videre analyse såsom pH, iltindhold, iltmætning og temperatur, som alene repræsenterer spotmålinger, samt alkalinitet, der er naturgiven og derfor ikke kan reguleres. Boksplots for de fysisk-kemiske kvalitetselementer i tilstandsklasserne for smådyr, planter, bentiske alger og fisk findes i Bilag 6-9.

De resterende fysisk-kemiske kvalitetselementer er vurderet ud fra en trinvis metode (jf. Figur 3.2 og Bilag 3, Tabel B3.2-B3.6), som omfatter kontrol af datagrundlag, vurdering af sammenhæng mellem økologisk tilstand (EQR) og de enkelte fysisk-kemiske kvalitetselementer samt statistiske tests med henblik på at sætte grænseværdier for adskillelse af tilstandsklasser.

Ingen af de undersøgte fysisk-kemiske kvalitetselementer viste en stærk lineær sammenhæng ($r^2 > 0{,}36$) med de biologiske kvalitetselementer (Bilag 5, Tabel B5.1-B5.5). Fastsættelsen af grænseværdier er derfor baseret på to supplerende tilgange: den logistiske regressionsmetode med 'mismatch' samt den kategoriske metode. For den kategoriske metode er 75 %-kvartilen anvendt jf. Kallestrup et al. (2019). I de følgende afsnit præsenteres resultaterne for hvert biologisk kvalitetselement med fokus på de fysisk-kemiske kvalitetselementer, hvor det har været muligt at fastsætte grænseværdier i overensstemmelse med de opstillede kriterier.

Smådyr

For smådyr (DVFI) var det muligt at beregne grænseværdier for ammonium-ammoniak, BI_5, ortho-P, total fosfor og salinitet. For de øvrige fysisk-kemiske kvalitetselementer viste analyserne enten en meget lav forklaringsgrad eller et betydeligt overlap mellem tilstandsklasserne (Bilag 3, Tabel B3.2).

Da de logistiske modeller for DVFI ikke opfyldte kriterierne for modelperformance (pseudo-r^2 og AUC, jf. afsnit 3.3), blev grænseværdierne estimeret med den kategoriske metode baseret på 75 %-kvartilen.

Som eksempel viste ammonium-ammoniak en tydelig adskillelse mellem Høj/God og God/Moderat, hvilket understøttes af ikke-overlappende middelværdier mellem klasserne. For BI_5 sås en klar adskillelse mellem God/Moderat og Moderat/Ringe, mens ortho-P og total fosfor udviste samme mønster med veldefinerede grænser mellem især Høj/God og God/Moderat, og for ortho-P var det muligt også at fastsætte en Moderat/Ringe-grænse. For salinitet viste analyserne forskelle mellem Høj/God og God/Moderat. Der anvendes dog kun en grænse for God/Moderat, da den beregnede Høj/God-grænse lå uden for nationale koncentrationsniveauer og vurderes som værende urealistisk.

En samlet oversigt over de estimerede grænseværdier for hver parameter og tilhørende klassegrænser fremgår af Tabel 4.2. De tilhørende figurer (Figur 4.1-4.5) viser fordelingen af EQR-værdier i de fem tilstandsklasser og illustrerer niveauerne ved 25, 50 og 75 %-kvartilerne for hver parameter.

Tabel 4.2. Resultater fra den kategoriske og logistiske metode til fastsættelse af grænseværdier for ammonium-ammoniak, BI_5, ortho-P, total fosfor og salinitet for DVFI. De fastsatte grænser er i overensstemmelse med generelle nationale niveauer og afspejler de fysisk-kemiske elementers betydning for opretholdelsen af 'God' økologisk tilstand. Logistisk regression angiver koncentrationen ved sandsynligheder for tilstandsklasserne, hvor risikoen for falsk-negative og falsk-positive observationer er lige stor (bemærk, at denne ikke er 50 %). De mulige grænseværdier baseret på DVFI er angivet med fed skrift i tabellen.

	Gns. middel til tilstødende kvartiler	Gns. median til tilstødende kvartiler	75 %-kvartil	Logistisk regression	Sandsynlighed anvendt i logistisk regression (%)	Nationalt niveau (25-75 %-kvartiler)
Ammonium-N (mg/L)						
Høj/God	0,054	0,051	**0,074**	0,024 (0,014-0,039)	16	0,037-0,104
God/Moderat	0,071	0,072	**0,086**	0,056 (0,047-0,0,65)	46	0,037-0,104
BI_5 (mg/L)						
God/Moderat	1,385	1,400	**1,567**	1,240 (1,112-1,388)	46	1,035-1,662
Moderat/Ringe	1,563	1,683	**1,929**	1,473 (1,361-1,595)	59	1,035-1,662
Ortho-P (mg/L)						
Høj/God	0,039	0,035	**0,056**	0,013 (0,006-0,028)	15	0,021-0,065
God/Moderat	0,043	0,043	**0,058**	0,037 (0,027-0,051)	45	0,021-0,065
Moderat/Ringe	0,064	0,055	**0,085**	0,052 (0,041-0,065)	59	0,021-0,065
Total fosfor (mg/L)						
Høj/God	0,080	0,079	**0,102**	0,045 (0,028-0,071)	15	0,058-0,120
God/Moderat	0,092	0,097	**0,113**	0,079 (0,066-0,094)	47	0,058-0,120
Salinitet (‰)						
Høj/God	0,149	0,150	**0,200**	0,123 (0,039-0,205)	20	0,056-0,267
God/Moderat	0,226	0,260	**0,257**	0,203 (0,167-0,237)	47	0,056-0,267

Figur 4.1. Boksplot for ammonium-ammoniak (mg/L) i tilstandsklasserne Høj, God, Moderat, Ringe og Dårlig for DVFI. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25, 50 og 75 %). ♦ Middelværdi. • Outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n*.

Figur 4.2. Boksplot for Bl_5 (mg/L) i tilstandsklasserne Høj, God, Moderat, Ringe og Dårlig for DVFI. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25, 50 og 75 %). ♦ Middelværdi. • Outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved n.

Figur 4.3. Boksplot for ortho-P (mg/L) i tilstandsklasserne Høj, God, Moderat, Ringe og Dårlig for DVFI. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25, 50 og 75 %). ♦ Middelværdi. • Outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n.*

Figur 4.4. Boksplot for total fosfor (mg/L) i tilstandsklasserne Høj, God, Moderat, Ringe og Dårlig for DVFI. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25, 50 og 75 %). ♦ Middelværdi. • Outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n.*

Figur 4.5. Boksplot for salinitet (‰) i tilstandsklasserne Høj, God, Moderat og Ringe for DVFI. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25, 50 og 75 %). ♦ Middelværdi. • Outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n*.

Planter

For planter (DVPI) kunne der fastsættes mulige grænseværdier for ammonium-ammoniak, BI_5, ortho-P og total fosfor. De øvrige fysisk-kemiske kvalitetselementer viste enten manglende sammenhæng med DVPI, stort overlap mellem tilstandsklasser eller lav forklaringsværdi af den totale variation, og det var derfor ikke muligt at fastsætte grænseværdier for disse (Bilag 3, Tabel B3.3).

Den logistiske regressionsmetode blev anvendt til at fastsætte grænseværdier for BI_5 og ortho-P. For ammonium-ammoniak og total fosfor opfyldte modellerne derimod ikke kravene til modelperformance (pseudo-r^2 og AUC), og grænseværdierne blev derfor bestemt ved den kategoriske metode baseret på 75 %-kvartilen.

På denne baggrund kunne der for ammonium-ammoniak fastsættes en grænse mellem God/Moderat. For BI_5 kunne der fastsættes grænser for både Høj/God, God/Moderat og Moderat/Ringe. For ortho-P kunne der fastsættes grænser mellem Høj/God og God/Moderat, og for total fosfor kunne der fastsættes grænser for Høj/God, God/Moderat og Moderat/Ringe.

Generelt viser de logistiske analyser en tendens til at give lavere grænseværdier (mere restriktive) end den kategoriske metode (Tabel 4.3). Figur 4.6-4.7 viser de logistiske modeller for fastsættelse af grænser for BI_5 og ortho-P. Modellerne illustrerer den estimerede sandsynlighed for at opnå mindst god økologisk tilstand som funktion af koncentrationen, hvor sandsynligheden falder med stigende koncentration. Den logistiske regression angiver den koncentration, hvor sandsynligheden for at opnå hhv. mindst høj, god eller moderat økologisk tilstand er afbalanceret mellem falsknegative og falsk-positive observationer. Denne værdi varierer mellem parametre og er ikke nødvendigvis 50 %.

Figur 4.8-4.9 viser fordelingen af ammonium-ammoniak og total fosfor i de fem tilstandsklasser. En samlet oversigt over de estimerede grænseværdier for DVPI fremgår af Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Resultater fra den kategoriske og logistiske metode til fastsættelse af grænseværdier for ammonium-ammoniak, BI_5, ortho-P og total fosfor for DVPI. De fastsatte grænser er i overensstemmelse med generelle nationale niveauer og afspejler de fysisk-kemiske kvalitetselementers betydning for opretholdelsen af 'God' økologisk tilstand. Logistisk regression angiver koncentrationen ved sandsynligheder for tilstandsklasserne, hvor risikoen for falsk-negative og falsk-positive observationer er lige stor (bemærk, at denne ikke er 50 %). De mulige grænseværdier baseret på DVPI er angivet med fed skrift i tabellen.

	Gns. middel af tilstødende kvartiler	Gns. median af tilstødende kvartiler	75 %-kvartil	Logistisk regression	Sandsynlighed anvendt i logistisk regression (%)	Nationalt niveau (25-75 %-kvartiler)
Ammonium-N						
God/Moderat	0,064	0,059	**0,084**	0,055 (0,041-0,070)	49	0,037-0,104
BI_5						
Høj/God	1,069	1,057	1,245	0,886 (0,766-1,006)	49	1,035-1,662
God/Moderat	1,259	1,218	1,466	**1,183 (1,094-1,273)**	46	1,035-1,662
Moderat/Ringe	1,410	1,417	1,620	**1,555 (1,453-1,658)**	63	1,035-1,662
Ortho-P						
Høj/God	0,027	0,025	0,037	**0,016 (0,015-0,016)**	28	0,021-0,065
God/Moderat	0,039	0,036	0,050	**0,034 (0,033-0,035)**	44	0,021-0,065
Moderat/Ringe	0,047	0,047	0,062	0,057 (0,014-0,241)	64	0,021-0,065
Total fosfor						
Høj/God	0,074	0,064	**0,096**	0,050 (0,012-0,218)	27	0,058-0,120
God/Moderat	0,088	0,079	**0,108**	0,076 (0,039-0,147)	49	0,058-0,120
Moderat/Ringe	0,094	0,097	**0,113**	0,109 (0,065-0,181)	67	0,058-0,120

Figur 4.6. Sandsynlighedsmodeller (logistisk regression) for planter (DVPI) til at fastsætte grænser for BI_5 (mg/L) mellem tilstandsklasserne God/Moderat og Moderat/Ringe. Stiplede linjer er sandsynlighederne for at opnå hhv. minimum god og minimum moderat status, der anvendtes til at fastsætte grænseværdier.

Figur 4.7. Sandsynlighedsmodeller (logistisk regression) for planter (DVPI) til at fastsætte grænser for ortho-P (mg/L) mellem tilstandsklasserne Høj/God og God/Moderat. Stiplede linjer angiver sandsynlighederne for at opnå hhv. minimum høj og god tilstand, der anvendtes til at fastsætte grænseværdier.

Figur 4.8. Boksplot for ammonium-ammoniak (mg/L) i tilstandsklasserne Høj, God, Moderat, Ringe og Dårlig for DVPI. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25, 50 og 75 %). ♦ Middelværdi. • Outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n*.

Figur 4.9. Boksplot for total fosfor (mg/L) i tilstandsklasserne Høj, God, Moderat, Ringe og Dårlig for DVPI. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25, 50 og 75 %). ♦ Middelværdi. • Outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n*.

Bentiske alger

For bentiske alger (SID_TID) var der ingen observationer i tilstandsklassen Dårlig og kun én observation i tilstandsklassen Ringe. Det var derfor ikke muligt at fastsætte grænseværdier mellem tilstandsklasserne Ringe/Dårlig og Moderat/Ringe. Som for de øvrige biologiske kvalitetselementer viste flere af de fysisk-kemiske parametre desuden begrænset sammenhæng med SID_TID, og der var betydeligt overlap mellem tilstandsklasserne eller lav forklaringsværdi (Bilag 3, Tabel B3.4).

Grænseværdier blev fastsat ved logistisk regression for ortho-P og total fosfor, mens den kategoriske metode baseret på 75 %-kvartilen blev anvendt for ammonium-ammoniak og BI_5, da de logistiske modeller ikke opfyldte kriterierne for modelperformance. For suspenderet stof kunne der beregnes grænseværdier, men disse lå uden for de nationale koncentrationsniveauer (Bilag 2) og vurderes derfor som værende ikke anvendelig.

For ammonium-ammoniak kunne der fastsættes en grænse mellem God/Moderat. For BI_5, ortho-P og total fosfor kunne der fastsættes grænser mellem Høj/God og God/Moderat. De logistiske modeller for ortho-P og total fosfor viser, at sandsynligheden for at opnå mindst god økologisk tilstand falder med stigende koncentrationer (Figur 4.10 og 4.11), hvilket er i tråd med resultaterne for de øvrige biologiske kvalitetselementer. Den logistiske regression angiver den koncentration, hvor sandsynligheden for at opnå hhv. mindst høj eller god økologisk tilstand er afbalanceret mellem falsk-negative og falsk-positive observationer. Denne værdi varierer mellem parametre og er ikke nødvendigvis 50 %. Figur 4.12 og 4.13 viser fordelingen af ammonium-ammoniak og BI_5 i de fem tilstandsklasser. En samlet oversigt over de beregnede grænseværdier for de relevante fysisk-kemiske kvalitetselementer og tilhørende tilstandsklasser fremgår af Tabel 4.4.

Tabel 4.4. Resultater af den kategoriske og logistiske metode til fastsættelse af grænseværdier for ammonium-ammoniak, BI_5, ortho-P og total fosfor for SID_TID. De fastsatte grænser er i overensstemmelse med generelle nationale niveauer (bemærk, at der for alger sammenlignes med niveauer fra maj-september) og afspejler de fysisk-kemiske kvalitetselementers betydning for opretholdelsen af 'God' økologisk tilstand. Logistisk regression angiver koncentrationen ved sandsynligheder for tilstandsklasserne, hvor risikoen for falsk-negative og falsk-positive observationer er lige stor (bemærk, at denne ikke er 50 %). De mulige grænseværdier baseret på SID_TID er angivet med fed skrift i tabellen.

	Gns. middel til tilstødende kvartiler	Gns. median til tilstødende kvartiler	75 %-kvartil	Logistisk regression	Sandsynlighed anvendt i logistisk regression (%)	Nationalt niveau (25–75 %-kvartiler)
Ammonium-N (mg/L)						
God/Moderat	0,062	0,062	**0,081**	0,081 (0,068-0,095)	67	0,027-0,083
BI_5 (mg/L)						
Høj/God	1,233	1,183	**1,433**	1,018 (0,855-1,182)	31	0,92-1,55
God/Moderat	1,435	1,333	**1,666**	1,552 (1,349-1,755)	68	0,92-1,55
Ortho-P (mg/L)						
Høj/God	0,029	0,028	0,036	**0,020 (0,016-0,025)**	41	0,020-0,072
God/Moderat	0,048	0,045	0,060	**0,057 (0,050-0,064)**	65	0,020-0,072
Total fosfor (mg/L)						
Høj/God	0,073	0,069	0,085	**0,059 (0,051-0,067)**	37	0,053-0,130
God/Moderat	0,099	0,095	0,114	**0,110 (0,100-0,120)**	66	0,053-0,130

Figur 4.10. Sandsynlighedsmodeller (logistiske regressioner) for bentiske alger (SID_TID) til at fastsætte grænser for ortho-P mellem tilstandsklasserne Høj/God og God/Moderat. Stiplede linjer angiver sandsynlighederne for, at opnå hhv. minimum høj og god tilstand, der er anvendt til at fastsætte grænseværdier.

Figur 4.11. Sandsynlighedsmodeller (logistiske regressioner) for bentiske alger (SID_TID) til at fastsætte grænser for total fosfor mellem tilstandsklasserne Høj/God og God/Moderat. Stiplede linjer angiver sandsynlighederne for at opnå hhv. minimum høj og god tilstand, der er anvendt til at fastsætte grænseværdier.

Figur 4.12. Boksplot for ammonium-ammoniak (mg/L) i tilstandsklasserne Høj, God, Moderat og Ringe for SID_TID. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (5, 25, 50, 75 og 95). ♦ Middelværdi. • Outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved n.

Figur 4.13. Boksplot for BI_5 (mg/L) i tilstandsklasserne Høj, God, Moderat og Ringe for SID_TID. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25, 50 og 75 %). ♦ Middelværdi. • Outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n*.

Fisk

Analyserne for fisk (DFFVa/ø) viste, at der er stort overlap mellem tilstandsklasserne (Bilag 3, Tabel B3.5-3.6). Jern og ammonium var de eneste parametre, som viste en signifikant adskillelse mellem tilstandsklasserne Moderat/Ringe. Da denne adskillelse dog ikke bidrager til målopfyldelse, er det ikke muligt at fastsætte grænseværdier for disse parametre. For de øvrige fysisk-kemiske parametre er der ingen signifikant forskel mellem de tilstødende tilstandsklasser, hvilket gør dem uegnede til fastsættelse af grænseværdier. Derfor kan ingen af de tre anvendte metoder bruges til at fastsætte grænseværdier for de 14 fysisk-kemiske kvalitetselementer, når DFFVa/ø anvendes med det nuværende datagrundlag.

4.3 Værdier for de fysisk-kemiske kvalitetselementer under minimalt påvirkede forhold

Tabel 4.5 præsenterer værdier for de fysisk-kemiske kvalitetselementer for de 18 naturstationer. Sammenlignet med tidligere sammenstillinger af værdier for de fysisk-kemiske kvalitetselementer for de 7-15 mest upåvirkede referencestationer i landsnettet (Bøgestrand 1999; Baattrup-Pedersen et al. 2004) ses stærkt sammenlignelige middelværdier samt delvist sammenlignelige minimum- og maksimumværdier (Tabel 4.5). Forskelle mellem rapporterede temperaturværdier i vandløbsvandet er reelt usammenlignelige, idet dataindsamlingstidspunktet kan have enorm betydning (f.eks. mellem skyede/skyfrie perioder). Derfor bør temperatur måles med sensor, så de mere overordnede mønstre i temperaturvariationer (f.eks. døgnamplitude) eventuelt ville kunne sammenlignes mellem stationer.

Der ses også en mindre forskel i jernkoncentrationer (højere middel- og maksimumkoncentrationer i naturoplande), men da de geografiske placeringer af naturstationerne og referencestationerne ikke er undersøgt nærmere, kan denne forskel evt. forklares ved, at vestjyske stationer er mindre hyppigt forekommende blandt de 7-15 referencestationer sammenlignet med naturstationerne (Figur 3.1).

Tabel 4.5. Værdier for fysisk-kemiske kvalitetselementer målt på naturstationerne (NOVANA-delprogram for stoftransport) og 7-15 udvalgte referencestationer (NOVANA-delprogram for vandløb). Værdier for de fysisk-kemiske kvalitetselementer fra referencestationerne er gengivet fra DCE's faglige rapport nr. 499 (Baattrup-Pedersen et al. 2004) og DMU's faglige rapport nr. 292 (Bøgestrand 1999). Antallet af vandløbsstationer, der indgår i parameterbeskrivelserne, er angivet i parentes. NA angiver manglende værdier.

Parameter	Naturoplande (n=18)[1]	DCE-rapport nr. 499 (n=7)[1]	DMU-rapport nr. 292 (n=15)[2]
Alkalinitet (mmol/L)	2,17 (0,072-4,433)	NA	2,1 (0,6-4,9)
Ammonium-ammoniak (mg/L)	0,035 (0,007-0,149)	0,039±0,035	0,05 (0,01-0,16)
BI_5 (mg/L)	1,028 (0,53-1,43)	1,07±0,22	1,2 (0,9-1,6)
Jern (mg/L)	0,96 (0,21-6,37)	< 1,0	0,4 (0,0-1,0)
Nitrit-nitrat (mg/L)	0,53 (0,03-1,2)	0,69±0,53	NA
Total kvælstof (mg/L)	1,19 (0,28-2,26)	1,11±0,65	NA
Ortho-P (mg/L)	0,033 (0,004-0,091)	0,024±0,014	0,05 (0,0-0,12)
Total fosfor (mg/L)	0,053 (0,01-0,15)	0,056±0,030	NA
Salinitet (‰)	0,05 (0,0-0,21)	NA	NA
Suspenderede stoffer (mg/L)	8,47 (2,93-16,37)	NA	NA
Temperatur (°C)	8,2 (6,7-9,5)	NA	10,8 (8,0-12,2)
pH	7,51 (5,77-8,26)	NA	7,4 (4,9-8,1)

[1] Middelværdi ± 95 % konfidensinterval. [2] Middelværdi samt minimum- og maksimumværdi.

Det understreges, at naturstationerne ikke nødvendigvis opfylder de naturlige eller lempede referencekriterier. Dette er ikke undersøgt. Kristensen et al. (2008) fandt, at kun tre af de 128 referencestationer opfyldte de lempede referencekriterier. Dog havde Kristensen et al. (2008) ikke adgang til datakilder, der kunne muliggøre en komplet gennemgang og tjek af opfyldelse af samtlige referencekriterier. Der manglede f.eks. adgang til en opdateret database for vandløbsspærringer (både længdegående og laterale). De data, som Kristensen et al. (2008) manglede for at kunne gennemgå alle danske vandområder (vandløbsstrækninger) og vurdere, hvorvidt de opfyldte de naturlige og lempede referencekriterier, burde være tilgængelige nu. Det vil sige, at det i dag er muligt at færdiggøre det arbejde, som Kristensen et al. (2008) påbegyndte – arbejdet med at kortlægge vandløbsstrækninger, der opfylder referencekriterierne i EU's vandrammedirektiv samt behovet for at benytte udenlandske eller ekspertvurderede referenceforhold til at beskrive den naturlige variation i fysisk-kemiske, hydromorfologiske og biologiske forhold under upåvirkede referenceforhold.

Det skal nævnes, at der i Sverige er udviklet et modelværktøj til beskrivelse af referenceværdier for udvalgte fysisk-kemiske kvalitetselementer i vandløbstyper, for hvilke referenceforholdene ikke er velbeskrevne (Fölster et al. 2021). Modelværktøjet er udviklet for at kompensere for de manglende svenske referencevandløb i lerdominerede oplande. Landbruget i Sverige er placeret, hvor udbyttet er størst, altså i lerdominerede oplande, hvorfor der ikke findes referencestationer i lerdominerede svenske oplande. Det forventes, at upåvirkede vandløb i lerdominerede oplande vil have næringsstofkoncentrationer over niveauerne for upåvirkede vandløb i næringsfattige og sanddominerede oplande. Derfor vil et netværk af referencestationer, som alle er placeret i sanddominerede oplande, underestimere de forventede referenceniveauer for de fysisk-kemiske kvalitetselementer. I en dansk kontekst har dette modelværktøj kun været afprøvet på udvalgte kvælstof- og fosforkoncentrationer (Fölster et al. 2023). Så vidt vides, er det ikke undersøgt, hvordan eksisterende danske vandløbsstationer, der muligvis opfylder naturlige eller lempede referencekriterier (Kristensen et al. 2008), fordeler sig geografisk, samt i hvilket omfang de repræsenterer eksisterende geomorfologiske danske forhold.

5 Konklusioner og anbefalinger

5.1 Mulige grænseværdier for fysisk-kemiske kvalitetselementer

På baggrund af analyserne i dette projekt kan det konkluderes, at det med det nuværende datagrundlag kun er muligt at fastsætte grænseværdier for fem fysisk-kemiske kvalitetselementer i danske vandløb: ammonium-N, BI_5, orthofosfat, total fosfor og salinitet (Tabel 5.1). For disse parametre er der dokumenterede og statistisk understøttede sammenhænge med de biologiske kvalitetselementer, hvilket gør dem egnede som støtteparametre i vurderingen af økologisk tilstand. Grænseværdierne kan – jf. CIS Guidance Document nr. 37 (EC 2019) – anvendes i både naturlige, kunstige og stærkt modificerede vandløb.

Tabel 5.1. Oversigt over alle de mulige grænseværdier for ammonium-ammoniak (mg/L), BI_5 (mg/L), ortho-P (mg/L), total fosfor (mg/L) og salinitet (‰) som støtte for hhv. smådyr (DVFI), planter (DVPI) og bentiske alger (SID_TID) baseret på enten 75 %-kvartilen fra den kategoriske analyse eller de logistiske regressioner. Værdier for nationale niveauer og stationer med minimal påvirkning (naturoplande).

	Metode	Høj/God	God/Moderat	Moderat/Ringe	Nationale niveauer[1]	Naturoplande[2]
Smådyr						
Ammonium-N (mg/L)	75 %-kvartil	0,074	0,086	NA	0,037- 0,104	0,035 (0,007-0,149)
BI_5 (mg/L)	75 %-kvartil	NA	1,567	1,929	1,035-1,662	1,028 (0,53-1,43)
Ortho-P (mg/L)	75 %-kvartil	0,056	0,058	0,085	0,021-0,065	0,033 (0,004-0,091)
Total fosfor (mg/L)	75 %-kvartil	0,102	0,113	NA	0,058-0,120	0,053 (0,01-0,15)
Salinitet (‰)	75 %-kvartil	0,200	0,257	NA	0,056-0,267	0,05 (0,0-0,21)
Planter						
Ammonium-N (mg/L)	75 %-kvartil	NA	0,084	NA	0,037-0,104	0,035 (0,007-0,149)
BI_5 (mg/L)	Logistisk reg.	NA	1,183 (1,094-1,273)	1,555 (1,453-1,658)	1,035-1,662	1,028 (0,53-1,43)
Ortho-P (mg/L)	Logistisk reg.	0,016 (0,015-0,016)	0,034 (0,033-0,035)	NA	0,021-0,065	0,033 (0,004-0,091)
Total fosfor (mg/L)	75 %-kvartil	0,096	0,108	0,113	0,058-0,120	0,053 (0,01-0,15)
Bentiske alger						
Ammonium-N (mg/L)	75 %-kvartil	NA	0,081	NA	0,027-0,083	0,035 (0,007-0,149)
BI_5 (mg/L)	75 %-kvartil	1,433	1,666	NA	0,92-1,55	1,028 (0,53-1,43)
Ortho-P (mg/L)	Logistisk reg.	0,020 (0,016-0,025)	0,057 (0,050-0,064)	NA	0,02-0,072	0,033 (0,004-0,091)
Total fosfor (mg/L)	Logistisk reg.	0,059 (0,051-0,067)	0,110 (0,100-0,120)	NA	0,053-0,130	0,053 (0,01-0,15)

[1] 25-75 %-kvartiler [2]Middelværdi ± 95 % konfidensinterval.

Sammenhæng mellem fysisk-kemiske og biologiske kvalitetselementer

De estimerede grænseværdier er baseret på logistiske regressioner, hvis modelkravene kunne opfyldes, eller den kategoriske analyse (75 %-kvartiler). For alle fem fysiske-kemiske kvalitetselementer er der påvist biologiske relationer til ét eller flere biologiske kvalitetselementer (DVFI, DVPI og SID_TID), hvilket understøtter deres anvendelse med støtteparametre.

Eksempelvis understøttes den observerede sammenhæng mellem DVFI og BI_5, ammonium-N og total-P af en række internationale studier. Friberg et al. (2010) undersøgte hyppigheden af forekomster af taksonomiske grupper af smådyr, som indgår i DVFI som følsomme eller ikke-følsomme over for forurening med iltforbrugende stof i danske vandløb. Analyserne viste, at hyppigheden af forekomsterne af en række følsomme arter faldt med stigende koncentrationer af BI_5, ammonium-N og total fosfor. De mest følsomme grupper, der blev undersøgt i studiet (f.eks. *Leuctra* sp., *Isoperla* sp. og *Sericostoma personatum*) forekom yderst sjældent ved koncentrationer af BI_5 > 1,5 mg/L og ammonium-N > 0,1 mg/L. Det giver god mening, at grænseværdierne for God/Moderat og Høj/God økologisk tilstand vurderet med DVFI ligger under niveauerne for BI_5 og ammonium-N, som Friberg et al. (2010) beskrev som kritiske for de undersøgte enkeltarter. Dette skyldes, at en lang række af de følsomme indikatorarter i DVFI forekom så sjældent i danske vandløb, at de ikke indgik i Friberg et al. (2010)'s analyse.

For BI_5 blev der både etableret signifikante sammenhænge til DVFI, DVPI og bentiske alger (SID_TID), og grænseværdierne blev identificeret med logistisk regression for DVPI, mens 75 %-kvartilen blev anvendt for DVFI og bentiske alger (Tabel 5.1). Her blev de mest restriktive grænseværdier identificeret for DVPI og den logistiske metode, hvilket kunne indikere, at DVPI er mere følsom ift. BI_5 sammenlignet med DVFI og SID_TID. Både DVFI og SID_TID er helt eller delvist målrettet tilgængeligheden af opløst ilt ved vandløbsbunden, som direkte påvirkes af BI_5 (Friberg et al. 2010; Andersen et al. 2018). Dog afspejler SID_TID-indekset primært gradienterne af ortho-fosfat, men internationale studier underbygger, at de udviklede indikatorer for bentiske alger i EU-medlemslandene generelt er følsomme over for både eutrofieringsgradienter og BI_5 (f.eks. Hering et al. 2006). Til sammenligning er det ikke tydeliggjort i udviklingsfasen af DVPI, i hvilken grad indekset afspejler responser på gradienter i BI_5, men det er interkalibreret mod gradienter af ortho-fosfat (Baattrup-Pedersen & Larsen 2013). Internationale studier har vist, at smådyrsindikatorer og indikatorer for bentiske alger generelt er mere følsomme over for og udviser en mere konsistent respons på BI_5 sammenlignet med indikatorer for vandplanter, der generelt repræsenterer flere samtidigt forekommende påvirkninger, der forventes at co-variere med BI_5 (eutrofiering, lys, hydrologiske påvirkninger og grødeskæring) (f.eks. Hering et al. 2006). Hvad angår anbefalinger af grænseværdier, vurderes det mest hensigtsmæssigt at fastsætte BI_5-grænseværdier med udgangspunkt i de biologiske indikatorer, der er mest specifikt følsomme over for iltforhold og iltforbrugende organisk stof (her især DVFI og til dels SID_TID) for at undgå, at grænseværdierne uhensigtsmæssigt påvirkes af co-varierende effekter.

I nærværende rapport blev der fundet signifikante sammenhænge mellem salinitet og DVFI, og der blev identificeret statistisk robuste grænseværdier for Høj/God og God/Moderat med salinitetsniveauer på hhv. 0,2 ‰ og 0,257 ‰. Internationale studier har vist, at salinitet kan påvirke artssammensætningen af smådyrssamfundene i vandløb og samfundenes økologiske og funktionelle karaktertræk (f.eks. Szöcs et al. 2014; Kaczmarek et al. 2024). Dog er salinitets-

niveauerne, hvor negative effekter er dokumenteret i de internationale studier, generelt noget højere, end hvad der er målt i danske vandløb. For eksempel påviste Blasius & Merritt (2002) negative effekter på krebsdyr og insekter ved koncentrationer af vejsalt (NaCl) på 5000-10000 mg/L (svarende til 5-10 ‰). Kefford et al. (2016) gennemgik eksisterende international videnskabelig litteratur og fandt, at langt de fleste taksonomiske grupper af smådyr kunne eksistere langs en forholdsvis bred salinitetsgradient, mens enkelte taksonomiske grupper var meget følsomme. På den baggrund udviklede Pickwell et al. (2021) et indikatorsystem for smådyr (SAGI) for britiske vandløb, som var målrettet salinitet. Her viste forfatterne, at salinitet var en betydende presfaktor, men først når saliniteten blev så høj, at vandområderne var stærkt brakvandspåvirkede. Traditionelle smådyrsindikatorer, der er målrettet forurening med iltforbrugende organisk stof, er typisk relativt ufølsomme over for salinitetsgradienter, der ligger under niveauerne for brakvand (0,5-25 ‰) (Canedo-Argueles et al. 2025). På denne baggrund er det sandsynligt, at den observerede statistisk signifikante sammenhæng mellem salinitet og DVFI i nærværende undersøgelse er et artefakt af andre presfaktorer, der ikke er målt eller co-varierer med salinitet. Derfor anbefales det ikke af fastsætte grænseværdier for dette fysisk-kemiske kvalitetselement.

For de resterende ni parametre er datagrundlaget fortsat utilstrækkeligt til at fastsætte pålidelige grænseværdier. Årsagerne til det utilstrækkelige datagrundlag inkluderer stor variation i data, svage eller manglende statistiske sammenhænge, overlappende tilstandsklasser, grænseværdier, der kun kan estimeres mellem tilstandsklasser, som ikke er relevante i forhold til målopfyldelse (f.eks. Moderat/Ringe), samt værdier, der ikke harmonerer med nationale niveauer (f.eks. suspenderet stof, Bilag 3, Tabel B3.4). Hertil kommer metodiske begrænsninger i dataindsamlingen for nogle fysisk-kemiske kvalitetselementer, hvilket vanskeliggør grænsefastsættelse, idet metoderne ikke systematisk indsamler data på tidspunkter, hvor evt. kritiske niveauer med betydning for de biologiske kvalitetselementer typisk opstår.

Ovenstående udfordringer afspejler, at vandløb er komplekse multistressormiljøer, hvor de fysisk-kemiske forhold både påvirker parametrene indbyrdes samt de biologiske samfund. Når de fysisk-kemiske kvalitetselementer analyseres enkeltvist, kan en del af forklaringskraften gå tabt, idet andre fysiske kemiske parametre også kan påvirke det biologiske kvalitetselement (EQR-værdi), hvilket analysemetoderne ikke tager højde for. Samtidig er de biologiske indekser, der i øjeblikket anvendes i Danmark, kun delvist udviklet til at reagere på variationer i de fysisk-kemiske kvalitetselementer. SID_TID og DVPI er primært følsomme over for eutrofiering, især fosfor, mens DVFI og fiskeindeksene (DFFVa/ø) primært responderer på forurening med iltforbrugende organisk stof (BI_5) samt i en vis udstrækning hydromorfologiske forhold.

Sammenligning med nationale niveauer

En sammenligning med nationale niveauer viser, at de beregnede grænseværdier generelt ligger inden for disse intervaller (Tabel 5.1), mens sammenligning med værdier fra de 18 stationer med naturoplande (Tabel 5.1) og 7-15 referencevandløb (DCE og DMU, Tabel 4.5) viser, at de mulige grænseværdier typisk ligger højere. Dette er forventeligt, da naturstationer repræsenterer minimalt påvirkede forhold, og referencevandløb har minimal påvirkning fra oplandet, og værdierne bør derfor være lavere end de fastsatte grænser for Høj/God eller God/Moderat tilstand. For eksempel ligger grænseværdierne

for smådyr og planter lidt over de absolutte referenceværdier, hvilket afspejler både naturlig variation og en vis grad af antropogen påvirkning. For de bentiske alger (DVAI) ligger grænserne for Høj/God for ortho-P og total fosfor tættere på referenceværdierne.

International kontekst og sammenligning

Selv om de estimerede grænseværdier i nærværende studie er baseret på danske data og nationale biologiske indekser, er det relevant at sætte dem i en international kontekst for at vurdere deres robusthed og konsistens. En sådan sammenligning kan bidrage til at belyse, om de estimerede grænseværdier ligger på et niveau, der er i overensstemmelse med tilsvarende vurderinger i andre lande og inden for EU's fælles rammer for vandforvaltning.

Mulighederne for direkte sammenligning er imidlertid begrænsede. Der findes ingen samlet europæisk oversigt over grænseværdier for alle støtteparametrene, hvilket indskrænker mulighederne for egentlige sammenligninger med de fastsatte grænseværdier for danske vandløb. Enkelte studier har dog fastsat grænseværdier for næringsstoffer ved brug af ECOSTAT-metoder for vandløbstyper inden for den central-baltiske GIG (Central Baltic Geographical Intercalibration Group), som Danmark er en del af (Thrane et al. submitted; Poikane et al. 2019; Poikane et al. 2021).

I den CB-GIG er der defineret seks typologier, hvor de danske vandløbstyper 1-3 fordeler sig i enten R-C1 (Small lowland siliceous – sand, alkalinity < 0,4), R-C4 (Medium lowland mixed < 0,4) eller R-C6 (Small, lowland, calcareous, alkalinity >2). En direkte overførsel mellem danske typer og CB-GIG-typerne er vanskelig, da de danske typer primært er defineret ud fra oplandsstørrelse og vandløbsbredde, mens CB-GIG-typologien også inddrager variation i alkalinitet og geomorfologi (van de Bund (Red.) 2009).

For vandløbstype R-C1 har Poikane et al. (2021) estimeret specifikke grænseværdier for total kvælstof (TN) og opløst reaktivt fosfor (SRP) baseret på logistiske regressionsmodeller for både makrofyter og bentiske alger. For TN er grænseværdierne for Høj/God 0,85 mg/L (0,61-1,05) for makrofyter og 0,71 mg/L (0,62-0,83) for bentiske alger, mens grænserne for God/Moderat er 2,21 mg/L (1,80-2,40) og 2,86 mg/L (2,30-3,12) for hhv. makrofyter og bentiske alger.

ECOSTAT's *Best Practice Guidance* (Phillips et al. 2018) indeholder grænseværdier for næringsstofferne SRP og total kvælstof. Disse værdier er imidlertid fastsat for de brede vandløbstypekategorier (kaldet 'broad types') og dækker over sammenlægninger af flere GIG-typer, og det anbefales, at de ikke anvendes til egentlig validering (Phillips et al. 2018). Da de brede typologier ikke direkte afspejler de danske vandløbstyper, er grænseværdierne vanskelige at overføre direkte og dermed heller ikke velegnede til sammenligning med de grænser, der er estimeret i nærværende studie. De betydelige metodiske forskelle mellem lande, herunder om fosfor måles som SRP, ortho-P eller total fosfor, betyder, at egentlige 1:1-sammenligninger af grænseværdier er vanskelige.

I EU-forskningsprojektet NordBalt Ecosafe er der fastsat grænseværdier for totalfosfor (TP) for vandløbstypen R-C4 baseret på et datasæt, der omfattede bentiske algedata fra Danmark, Polen og Letland. Grænsen mellem God og Moderat økologisk tilstand blev her estimeret til 0,105 mg P/L (0,076-0,134) (Thrane et al. submitted), hvilket stemmer godt overens med værdier beregnet udelukkende på baggrund af danske vandløbsdata. I samme projekt blev

mulighederne for at sætte grænseværdier for total kvælstof undersøgt, men her var forudsætningen for de logistiske modeller ikke opfyldt.

Anvendelse af forsigtighedsprincippet

Ved fastsættelse af grænseværdier for fysisk-kemiske kvalitetselementer kan det overvejes at anvende et forsigtighedsprincip, hvor grænserne fastsættes ud fra det biologiske kvalitetselement, der udviser den største følsomhed over for den pågældende fysisk-kemiske parameter, forudsat at sammenhængen er biologisk meningsfuld og statistisk robust. Denne tilgang sikrer, at ingen biologiske kvalitetselementer svækkes på grund af for lempelige støtteparametre (Poikane et al. 2021; Lyche-Solheim et al. 2024). Anvendelse af forsigtighedsprincippet indebærer, at de laveste (mest restriktive) grænseværdier blandt de biologiske kvalitetselementer vælges som grundlag for grænser mellem tilstandsklasser.

I nærværende studie medfører anvendelse af forsigtighedsprincippet generelt mere restriktive grænseværdier for næringsstoffer, særligt ortho-fosfat og total fosfor, hvor både planter (DVPI) og bentiske alger (SID_TID) udviser høj følsomhed. For ortho-fosfat er de laveste og mest robuste grænseværdier identificeret på baggrund af planter (DVPI), mens bentiske alger (SID_TID) giver de mest restriktive grænseværdier for total fosfor og ammonium-N. Disse biologiske kvalitetselementer er begge målrettet eutrofieringspåvirkninger og vurderes derfor at være velegnede som grundlag for fastsættelse af grænseværdier for fosforparametre.

For BI_5 er grænseværdierne ved anvendelse af forsigtighedsprincippet baseret på smådyr (DVFI), da DVFI vurderes at være det biologiske kvalitetselement, der mest direkte og specifikt responderer på påvirkninger fra iltforbrugende organisk stof. En oversigt over de foreslåede grænseværdier ved anvendelse af forsigtighedsprincippet fremgår af Tabel 5.2.

Tabel 5.2. Oversigt over forslag til grænseværdier for de fysisk-kemiske kvalitetselementer, hvis forsigtighedsprincippet anvendes. Tabellen angiver, hvilket biologisk kvalitetselement grænseværdierne er estimeret ud fra. Værdierne er baseret på enten den logistiske regressionsmetode (angivet med konfidensinterval i parentes) eller den kategoriske metode.

Parameter	Biologisk kvalitetselement	Høj/God	God/Moderat	Moderat/Ringe
Ammonium-N (mg/L)	Bentiske alger (SID_TID)	-	0,081	-
BI_5 (mg/L)	Smådyr (DVFI)	-	1,567	1,929
Ortho-P (mg/L)	Planter (DVPI)	0,016 (0,015-0,016)	0,034 (0,033-0,035)	-
Total fosfor (mg/L)	Bentiske alger (SID_TID)	0,059 (0,051-0,067)	0,110 (0,100-0,120)	-

5.2 Behov for videreudvikling

Ud af de 14 fysisk-kemiske kvalitetselementer er det i dag kun muligt at komme med forslag til grænseværdier for fire, selv om litteraturstudiet viser, at det ville være relevant at sætte grænseværdier for flere fysisk-kemiske kvalitetselementer. Dette understreger behovet for videreudvikling af metoder for at kunne fastsætte robuste grænseværdier for de resterende parametre.

En central udfordring er, at flere parametre, f.eks. iltforhold og temperatur, ikke kan beskrives tilstrækkeligt med enkeltobservationer og de nuværende modeller. Her kræves først og fremmest anvendelse af højfrekvente dataindsamlingsmetoder (sensor-baserede) for at generere et fyldestgørende datagrundlag. Datagrundlaget skal givetvis analyseres med andre og mere

avancerede statistiske tilgange såsom tidsserieanalyser eller modeller, der eksplicit håndterer variation over tid, for at kortlægge, hvilke dele af datatidsserierne der har den stærkeste sammenhæng med observerede variationer i de biologiske samfund. Samtidig giver sådanne datasæt også mulighed for at analysere og koble flere fysisk-kemiske kvalitetselementer i en multistressor-sammenhæng, hvilket forventes at øge forklaringsgraden af påvirkninger.

For at styrke det faglige grundlag for fremtidige grænseværdier peger projektet på følgende udviklingsbehov:

- Videreudvikling og implementering af en dataindsamlingsstrategi for fysisk-kemiske kvalitetselementer med forventet stor økologisk betydning (f.eks. iltforhold og temperatur) mhp. at oparbejde et fyldestgørende datagrundlag til analyser af påvirkningskraft og fastsættelse af robuste grænseværdier.
- Udvikling af modeller, der mere præcist beskriver sammenhængen mellem fysisk-kemiske parametre og biologiske kvalitetselementer.
- Udvikling af egnede biologiske indikatorer for parametre, hvor en sammenhæng er dokumenteret i litteraturen, men eksisterende modeller ikke performer tilstrækkeligt.
- Bedre forståelse af multistressor-effekter for biologien i vandløb.

Tilsammen vil disse tiltag styrke både robustheden og den praktiske anvendelighed af fremtidige grænseværdier og dermed understøtte en mere sikker vurdering af den økologiske tilstand i danske vandløb.

6 Referencer

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

Argillier, C., Carriere, A., Poikane, S. & van de Bund, W. 2022. Lake Hydromorphological Assessment and Monitoring Methodologies – European survey, EUR 31029 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2022. ISBN 978-92-76-49642-7, doi:10.2760/274896, JRC127847.

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

Baattrup-Pedersen, A., Friberg, N., Pedersen, M.L., Skriver, J., Kronvang, B. & Larsen, S.E. 2004. Anvendelse af Vandrammedirektivet i danske vandløb. Danmarks Miljøundersøgelser. Faglig rapport fra DMU nr. 499.

Barbosa, A.M., Real, R., Munoz, A.R. & Brown, J.A. 2013. New measures for assessing model equilibrium and prediction mismatch in species distribution models. Diversity and Distributions 19(10): 1333-1338. doi:10.1111/ddi.12100, https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/ddi.12100.

Blasius, B.J. & Merritt, R.W. 2002. Field and laboratory investigations on the effects of road salt (NaCl) on stream macroinvertebrate communities. Environmental Pollution 120(2). https://doi.org/10.1016/S0269-7491(02)00142-2

Bona, F., Falasco, E., Nizzoli, D., Zoppi, M. & La Morgia, V. 2024. A diatom-based approach to refine nutrient concentrations compatible with the "good" status of Northern Italy rivers. Science of the Total Environment 912: 169444. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169444

Boutrup, S., Bijl, L. van der, Jensen, P.N., Svendsen, L.M., Grant, R., Bøgestrand, J., Jørgensen, T.B., Ellermann, T., Ærtebjerg, G., Bruus, M., Søgaard, B., Thorling, L. & Dahlgren, K. 2007. Vandmiljø og Natur 2006. Tilstand og udvikling – faglig sammenfatning. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. Faglig rapport fra DMU nr. 646.

Bøgestrand, J., Kronvang, B., Windolf, J. & Kjeldgaard, A. 2014. Baggrundsbelastning med total N og nitrat-N. Notat fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi.

Bøgestrand, J. (red.). 1999. Vandløb og kilder 1998. NOVA 2003. Danmarks Miljøundersøgelser. Faglig rapport fra DMU nr. 292.

Canedo-Arguelles, M., Beklioglu, M., Crabot, J., Cunillera-Montcusi, D., Free, G., Hernadez-Carrasco, D., Kelly, M.G., Moyanosalcedo, A.J., Schäfer, R.B. & Poikane, S. 2025. Preparing European freshwaters for a saltier future,

Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2025, https://data.europa.eu/doi/10.2760/7705629 , JRC141037.

Dolman, A. 2016. ecostattoolkit: An R package to implement and test the ECOSTAT toolkit for estimating nutrient boundaries. GitHub. https://github.com/andrewdolman/ecostattoolkit

dos Reis Oliveira, P.C., van der Geest, H.G., Kraak, M.H.S. *et al.* 2019. Land use affects lowland stream ecosystems through dissolved oxygen regimes. Scientific Reports 9: 19685. https://doi.org/10.1038/s41598-019-56046-1

European Commission. 2003. Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC), Guidance Document No 10: Rivers and Lakes — Typology, Reference Conditions and Classification Systems.

European Commission. 2019. Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC), Guidance Document No 37: Steps for defining and assessing ecological potential for improving comparability of Heavily Modified Water Bodies.

European Commission, Joint Research Centre, Phillips, G., Teixeira, H., Kelly, M., Lyche Solheim, A., Free, G., Salas Herrero, M.F., Kolada, A., Varbiro, G. & Poikane, S. 2024. Establishing supporting element standards. A revised approach and applications. Publications Office of the European Union, Luxembourg https://data.europa.eu/doi/10.2760/55461 , JRC137201

Friberg, N., Skriver, J., Larsen, S.E., Pedersen, M.L. & Buffagani, A. 2010. Stream macroinvertebrates occurrence along gradients in organic pollution and eutrophication. Freshwater Biology, vol. 55, issue 7. https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2008.02164.x

Fölster, J., Markensten, H., Sandström, S. & Widén-Nilsson, E. 2021. Förslag till bedömningsgrunder för näringsämnen i sjöar och vattendrag. SLU, Vatten och miljö: Rapport 2021:15.

Fölster, J., Solheim, A.,L., Kronvang, B., Skarbøvik, E., Aroviita, J., Lagzdins, A. & Kardel, I. 2023. Technical note on reference values. D1.1 in the Horizon Europe project: NORDBALT-ECOSAFE.

Gavioli, A., Milardi, M., Castaldelli, G., Fano, E. A. & Soininen, J. 2019. Diversity patterns of native and exotic fish species suggest homogenization processes but partly fail to highlight extinction threats. Diversity and Distributions 25(8): 983-994. https://doi.org/10.1111/ddi.12904

Herring, D., Johnson, R.K., Kramm, S., Schmutz, S., Szoszkiewicz, K. & Verdonschot, P.F.M. 2006. Assessment of European streams with diatoms, macrophytes, macroinvertebrates and fish: a comparative metric-based analysis of organism response to stress. Freshwater Biology 51(9). https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2006.01610.x

Halabowski, D., Lewin, I., Bąk, M., Płaska, W., Rosińska, J., Rechulicz, J. & Dukowska, M. 2025. Ecological assessment of rivers under anthropogenic pressure: Testing biological indices across abiotic types of rivers. Water 17: 1817. https://doi.org/10.3390/w17121817

Jarić, S., Karadžić, B., Paunović, M., Milačič, R., Ščančar, J., Kostić, O., Zuliani, T., Vidmar, J., Miletić, Z., Anđus, S., Mitrović, M. & Pavlović, P. 2024. Relationship between potentially toxic elements and macrophyte communities in the Sava River. Heliyon 10: e34994. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e34994

Kaczmarek, N., Benlasri, M., Schäfer, R.B., Aabid, A., Nothof, M., Lazrak, K., Ghamizi, M. & Berger, E. 2024. Macroinvertebrate community responses to salinity around non-saline-saline confluence in the Draa River Basin, Morocco. Hydrobiologia 851. https://doi.org/10.1007/s10750-023-05445-7

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 DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi.

Kefford, B.J., Buchwalter, D., Canedo-Argüelles, M., Davis, J., Duncan, R.P., Hoffmann, A. & Thompson, R. 2016. Salinized rivers: degraded systems or new habitats for salt-tolerant faunas? Biology Letters 12(3). https://doi.org/10.1098/rsbl.2015.1072

Kelly, M., Teixeira, H., Lyche Solheim, A., Free, G., Phillips, G., Salas Herrero, M.F., Kolada, A., Varbiro, G. & Poikane, S. 2024. Physico-chemical criteria to support Good Ecological Status in Europe, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2024, doi:10.2760/355815, JRC136407.

Kristensen, E.A., Baattrup-Pedersen, A., Skriver, J., Jørgensen, J., Kronvang, B., Andersen, H.E., Hoffmann, C.C. & Wiberg-Larsen, P. 2008. Identifikation af referencevandløb til implementering af vandrammedirektivet i Danmark. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. Faglig rapport fra DMU nr. 669.

Lyche-Solheim, A., Balkoni, A., Thiemer, K., Thrane, J.E., Fölster, J., Krongvang, B., Aroviita, J., Ainis, L. & Kardel, I. 2024. Report on impact of climate change on nEQR in Nordic and Central Baltic lakes and rivers. Deliverable 1.3 under the Nordbalt Ecosafe project.

Miljøstyrelsen. NOVANA. 2023. Det nationale overvågningsprogram for vandmiljø og natur 2023-27. Miljøstyrelsen. ISBN: 978-87-7038-556-5.

Pacheco, J.P, Larsen, S.E. & Baattrup-Pedersen. 2023. Alkalinity and its influence on benthic diatom assessments in Danish running waters. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 31 pp. Scientific Report No. 521. http://dce2.au.dk/pub/SR521.pdf

Pedersen, M.L., Baattrup-Pedersen, A. & Wiberg-Larsen, P. (red.). 2007. Økologisk overvågning i vandløb og på vandløbsnære arealer under NOVANA 2004-2009. 4. udgave. Danmarks Miljøundersøgelser. Aarhus Universitet. Teknisk Anvisning fra DMU nr. 21.

Pickwell, A., Constable, D., Chadd, R., Extence, R. & Little, S. 2021. The development of a novel macroinvertebrate indexing tool for the determination of salinity effects in freshwater habitats. River Research and Applications 38(3). https://doi.org/10.1002/rra.3914

Poikane, S., Kelly, M.G., Salas Herrero, F., Pitt, J.A., Jarvie, H.P., Claussen, U., Leujak, W., Lyche Solheim, A., Teixeira, H. & Phillips, G. 2019. Nutrient criteria for surface waters under the European Water Framework Directive: Current state-of-the-art, challenges and future outlook. Science of the Total Environment 695: 133888. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.133888

Poikane, S., Várbíró, G., Kelly, M., Birk, S. & Phillips. G. 2021. Estimating river nutrient concentrations consistent with good ecological condition: more stringent nutrient threshold needed. Ecological Indicators 121. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107017

Phillips, G., Kelly, M., Teixeira, H., Salas Herrero, M.F., Free, G., Leujak, W., Lyche Solheim, A., Varbiro, G. & Poikane, S. 2018. Best practice for establishing nutrient concentrations to support good ecological status, EUR 29329 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg. ISBN 978-92-79-92906-9. https://doi.org/10.2760/84425

Thrane, J.E, Thiemer, K., Balkoni, A., Fölster, J., Kronvang, B., Pacheco, J.P., Aroviita, J., Ainis, L., Kardel, I., Phillips, G., Mingarelli, S., Free, G. & Lyche-Solheim, A. In review. Setting safe ecological boundaries for nutrients and exploring climate impacts on biological resilience in lowland lakes and rivers in the Nordic and Central European regions.

Szöcs, E., Coring, E., Bäthe, J. & Schäfer, R. 2014. Effects of anthropgenic salinization on biological traits and community composition of stream macroinvertebrates. Science of the Total Environment 468-469. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.08.058

Søndergaard, M., Jeppesen, E., Jensen, J.P. (redaktører), Bradshaw, Skovgaard, H. & Grünfeld, S. 2003. Vandrammedirektivet og danske søer. Del 1: Søtyper, referencetilstand og økologiske kvalitetsklasser. Danmarks Miljøundersøgelser. 142 s. – Faglig rapport fra DMU nr. 475. http://fagligerapporter.dmu.dk.

van de Bund, W. (Ed.) 2009. Water Framework Directive intercalibration technical report Part 1: rivers. European Commission, Joint Research Centre. ISBN 978-92-79-12789-2, DOI 10.2788/23384.

Varbiro, G., Teixeira, H., Kelly, M. & Phillips, G. 2018. A Shiny application of a statistical toolkit to assist with the development of nutrient concentrations that would support good ecological status for the Water Framework Directive.

Vehanen, T., Sutela, T., Aroviita, J., Karjalainen, S.-M., Riihimäki, J., Larsson, A. & Vuori, K.-M. 2022. Land use in acid sulphate soils degrades river water quality – Do the biological quality metrics respond? Ecological Indicators 141: 109085. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109085

Weekes, L., FitzPatrick, Ú. & Kelly-Quinn, M. 2021. Assessment of the efficiency of river macrophytes to detect water-column nutrient levels and other environmental conditions in Irish rivers. Hydrobiologia 848: 2797-2814. https://doi.org/10.1007/s10750-021-04598-7

Bilag 1 – Litteraturstudie

Der blev i det forrige notat af Kallestrup et al. (2019) udført et litteraturstudie af relevant videnskabelig litteratur med gennemgang af omkring 250 internationale artikler, der blev afsøgt for sammenhænge mellem mindst et af de nævnte 14 fysisk-kemiske kvalitetselementer og mindst et af de økologiske kvalitetselementer (fisk, smådyr, vandplanter eller bentiske alger) (Tabel B1.1). Det opdaterede litteraturstudie i dette notat blev udført under antagelse af, at Kallestrup et al. (2019) fyldestgørende har afsøgt litteraturen til og med 2018. Det opdaterede litteraturstudie dækker derfor perioden 2019-2025 (oktober).

Litteratursøgningen er foretaget i databasen Web of Science. Det opdaterede litteraturstudie i dette projekt havde til sigte at anvende de samme søgetermer, som blev anvendt af Kallestrup et al. (2019). I Tabel B1.2 er angivet søgetermer, hvor klammer markerer, hvor parametrene fra Tabel B1.1 indsættes. Tilsvarende er samme inklusionskriterier anvendt (Tabel B1.3).

Tabel B1.1. Biologiske og fysisk-kemiske parametre anvendt i litteratursøgningen. Skråstreg (/) indikerer, hvor flere versioner af samme eller lignende udtryk blev brugt.

Type	Parameter
Biologiske	Fish
	Macroinvertebrates/invertebrates
	Macrophytes
	Diatoms/phytobenthos/phytoplankton
Fysisk-kemiske	Temperature
	Oxygen/O2
	Salinity
	Ammonium/NH4/NH4+
	Nitrate/NO3/NO3-
	Total nitrogen/nitrogen/TN/total N
	Phosphorus/phosphor/total P/total phosphorus
	Suspended sediment/suspended
	material/suspended matter/sedimentation
	pH
	Iron/Fe/metal

Tabel B1.2. Søgetermer anvendt i litteraturstudiet.

Søgetermer
[fys-kem parameter] AND [bio parameter] AND lowland streams
[fys-kem parameter] AND [bio parameter] AND lowland river
[fys-kem parameter] AND [bio parameter] AND ecological status AND stream
[fys-kem parameter] AND [bio parameter] AND ecological status AND river

Tabel B1.3. Kriterier for inklusion af studier.

Kriterier
Studier udført in situ
Studier udført i vandløb, hovedsageligt europæiske eller sammenlignelige med europæiske lavlandsvandløb
Studier med tydeligt definerede fysiske/kemiske parametre
Studier med tydeligt definerede mål/indeks for biologisk diversitet; lokale indeks til måling af biologisk diversitet er ikke medtaget

Resultaterne af de nye søgninger for enkelte fysisk-kemiske kvalitetselementer gennemgås herunder:

Alkalinitet

I forbindelse med litteraturstudiet i Kallestrup et al. (2019) viser alkalinitet en forklaringsværdi for plantesamfundet, mens der ikke er fundet studier for korrelation imellem alkalinitet og hhv. smådyr, fisk og alger. Alkalinitet er en naturgiven parameter, og den kan derfor ikke reguleres. Dermed er den ikke oplagt at benytte som støtteparameter, og yderligere litteratursøgning er udeladt i forbindelse med litteraturstudiet i denne rapport.

Ammonium-ammoniak

Ingen nyere studier (2019-2025), som undersøger korrelationen mellem ammonium og biologiske kvalitetselementer, blev identificeret.

Fosfor

Der blev fundet én artikel, der undersøgte sammenhængen mellem fosforkoncentrationer og fiskesamfund. Gavioli et al. (2019) rapporterede, at total fosfor var den tredje mest betydningsfulde faktor, som påvirkede det lokale bidrag til beta-diversitet (LCBD-værdier) for hjemmehørende fiskearter i lavlandsvandløb i Norditalien med en relativ indflydelse på cirka 13 %.

Iltforhold

I en multivariat analyse af blandt andet lavlandsvandløb, som omfattede fiskearter, biotiske indeks (herunder det polske fiskeindeks EFI + PL) samt en række miljøparametre, blev opløst ilt identificeret som en af de tre vigtigste faktorer, der påvirker sammensætningen af fiskesamfundene. De to første akser i CCA-analysen forklarede 32,1% af variationen i fiskedataene og 72,9% af variationen i forholdet mellem arter og miljø. Forfatterne fremhæver, at selvom fiskeindekset (EFI + PL) generelt reagerer på miljømæssige påvirkninger, er dets diagnostiske værdi begrænset i kraftigt belastede vandsystemer. Især lavt iltindhold fremstår som en centralt begrænsende stressfaktor, der kan reducere både fiskenes forekomst og artsdiversitet – uanset øvrige habitatforhold (Halabowski et al., 2025).

Jern

Jarić et al. (2024) identificerede jern som en af de to mest betydningsfulde kemiske forklaringsvariable i deres undersøgelse af en del af lavlandsstrækningen af Sava-floden i Sydøsteuropa. Studiet viste, at vandplanters artsrigdom faldt ved jernkoncentrationer i sedimentet over 16 mg kg^{-1}.

Nitrat

I et studie af Weekes et al. (2021) i irske vandløb blev der ikke fundet nogen signifikant korrelation mellem nitratkoncentration og artsrigdom af vandplanter, hvilket indikerer, at nitrat alene ikke nødvendigvis er en afgørende

faktor for vegetationsdiversiteten. Derimod fandt Bona et al. (2024), at nitratkoncentrationer havde indflydelse på sammensætningen af bentiske alger i norditalienske lavlandsvandløb. Ved at anvende det diatombaserede indeks ICMi (Intercalibration Common Metric index) viste deres regressionsanalyse med EQR-værdier for bentiske alger, at tærsklen for overgangen mellem god og moderat økologisk tilstand svarer til en nitratkoncentration på 1,388 mg $N\text{-}NO_3/L$.

pH

I en undersøgelse af finske lavlandsvandløb blev der fundet en sammenhæng mellem lav pH (forsuring) og forringede fiskesamfund, herunder færre sensitive arter og ændret samfundsstruktur (Vehanen et al. 2022).

Salinitet

Ingen nyere studier i perioden 2019-2025 afsøgte korrelationer mellem biologiske parametre og salinitet.

Suspenderet stof

Én artikel omhandlede sammenhængen mellem suspenderet stof og fiskesamfund i lavlandsvandløb. Gavioli et al. (2019) fandt, at koncentrationen af totalt suspenderet stof var den mest indflydelsesrige miljøvariabel for variationen i det lokale bidrag til beta-diversitet (LCBD-værdier) hos hjemmehørende fiskearter i norditalienske lavlandsvandløb, med en relativ indflydelse på 60,11 %.

Temperatur

Korrelation er angivet i mere end et studie for alle fire biologiske kvalitetselementer i Kallestrup et al. (2019) og undersøges ikke videre her.

Total kvælstof

Ingen nyere studier i perioden 2019-2025 afsøgte korrelationer mellem biologiske parametre og total kvælstof.

Bilag 2 – Nationale koncentrationsniveauer

Tabel B2.1. Oversigt over generelle koncentrationsniveauer i danske vandløb på målinger fra stationer indsamlet under NOVANA-kontrolovervågningsprogrammet i perioden 2004-2023. Værdierne er for hver station beregnet som et femårigt gennemsnit, baseret på nyeste undersøgelsesår med kvalitetssikrede data samt data fra de fire foregående år.

Parameter	Antal stationer	Minimum	Middel	25 %-kvartil	75 %-kvartil	Maksimum
Alkalinitet (mmol/L)	667	0,005	2,948	1,658	4,252	12,667
Ammonium-ammoniak (mg/L)	672	0,003	0,113	0,037	0,104	16,04
BI_5 (mg/L)	654	0,507	1,487	1,035	1,662	25,118
Jern (mg/L)	670	0,02	0,72	0,298	0,9	6,967
Nitrat-N (mg/L)	672	0,019	3,137	1,533	4,141	14,339
Total kvælstof (mg/L)	672	0,36	3,795	2,167	4,877	20,067
Ortho-P (mg/L)	672	0,001	0,053	0,021	0,065	1,317
Total fosfor (mg/L)	672	0,004	0,104	0,058	0,120	2,377
Oxygen indhold (mg/L)	1	6,567	6,567	6,567	6,567	6,567
Oxygenmætning (%)	8	69,333	85,429	80,589	91,169	99,242
Salinitet (‰)	201	0,0	0,182	0,056	0,267	1,4
Suspenderet stof (mg/L)	184	1,2	9,956	6,349	11,598	120,0
Temperatur (°C)	675	5,0	10,539	9,308	11,668	17,5
pH	675	3,973	7,609	7,374	7,932	8,463

Tabel B2.2. Oversigt over generelle koncentrationsniveauer i danske vandløb på målinger fra stationer indsamlet under NOVANA-kontrolovervågningsprogrammet i perioden 2004-2023. Værdierne er for hver station beregnet som et femårigt gennemsnit, baseret på nyeste undersøgelsesår med kvalitetssikrede data samt data fra de fire foregående år.

Parameter	Antal stationer	Minimum	Middel	25 %-kvartil	75 %-kvartil	Maksimum
Alkalinitet (mmol/L)	656	0,044	3,066	1,738	4,3	16,0
Ammonium-ammoniak (mg/L)	660	0,003	0,146	0,027	0,083	42,0
BI_5 (mg/L)	641	0,4	1,465	0,92	1,55	49,465
Jern (mg/L)	659	0,02	0,65	0,248	0,794	7,45
Nitrat-N (mg/L)	660	0,005	2,51	0,983	3,3	15,0
Total kvælstof (mg/L)	660	0,132	3,133	1,6	3,812	45,0
Ortho-P (mg/L)	660	0,001	0,067	0,02	0,072	2,5
Total fosfor (mg/L)	660	0,005	0,122	0,053	0,13	0,251
Oxygen indhold (mg/L)	1	6,567	6,567	6,567	6,567	6,567
Oxygenmætning (%)	8	69,333	84,51	76,675	91,971	98,75
Salinitet (‰)	147	0,0	0,22	0,1	0,3	1,55
Suspenderet stof (mg/L)	178	1,2	6,956	3,957	8,23	31,653
Temperatur (°C)	662	8,738	13,931	12,5	15,33	26,0
pH	660	5,71	7,631	7,354	7,938	8,77

Bilag 3 – Trinvis vurdering for fastsættelse af grænser

Tabel B3.1. Beskrivelse af hvert trin i fastsættelsen af grænser.

TRIN	Kriterium	Beskrivelse
TRIN 1	Naturgivne forhold/spotmålinger	Er parameteren naturgiven, eller forekommer vigtige ekstremværdier med stor sandsynlighed ikke i datasættet pga. dataindsamlingsproceduren (f.eks. spotmålinger), anvendes det ikke som fys-kem kvalitetselement i de efterfølgende analyser.
TRIN 2	Tilstrækkeligt datagrundlag	Krav: mindst 50 observationer (n > 50).
TRIN 3	Signifikant sammenhæng med EQR	Test udføres for lineær eller log-lineær sammenhæng ($p < 0,05$).
TRIN 4	Forklaringsgrad	Sammenhængen skal være stærk med $r^2 > 0,36$.
TRIN 4A	Adskilte tilstandsklasser	Tilstandsklasser skal adskille sig signifikant (Kruskal-Wallis test, $p < 0,05$).
TRIN 5A	Grænser mellem tilstandsklasser	Identificeres via Wilcoxon-test (minimum ved G/M-grænsen).
TRIN 5B	Logisk progression	Grænseværdier skal vise en logisk progression i forhold til tilstandsklasserne.
TRIN 5C	Sammenligning med nationale niveauer	Grænseværdier kontrolleres mod kendte nationale koncentrationsniveauer.
TRIN 6	Fastlæggelse af grænser	Grænser fastsættes, hvis ovenstående kriterier er opfyldt.

Tabel B3.2. Trinvis vurdering af de 14 fysisk-kemiske kvalitetselementers egnethed til fastsættelse af grænseværdier for DVFI. Forkortelser for grænser mellem tilstandsklasser: HG= Høj/God, GM= God/Moderat, MR= Moderat/Ringe, RD= Ringe/Dårlig. Grøn = opfyldt kriterium, rød = ikke opfyldt.

	Trin 1: Naturgivne forhold / spotmålinger	**Trin 2:** Tilstrækkeligt data (>50 obs)	**Trin 3:** Lineær sammenhæng m. EQR	**Trin 4:** Signifikant sammenhæng (r^2>0,36)	**Trin 4a:** Ikke overlappende tilstandsklasser (Kruskal-test sig.)	**Trin 5a:** Grænser mellem tilstandsklasser (Wilcoxon-test, minimum G/M)	**Trin 5b:** Logisk progression i grænseværdi	**Trin 5c:** Overenstemmelse med nationale koncentrationsniveauer	**Trin 6:** Muligt at fastsætte grænser
Fysisk-kemiske kvalitetselementer									
Alkalinitet (mmol/L)	Ja	-	-	-	-	-	-	-	Nej
BI5 (mg/L)	-	Ja	Ja	Nej	Ja	GM, MR	Ja	Ja	Ja
Iltmætning (%)	Ja	-	-	-	-	-	-	-	Nej
Iltindhold (mg/L)	Ja	-	-	-	-	-	-	-	Nej
Salinitet (‰)	-	Ja	Ja	Nej	Ja	HG, GM	Ja	Ja	Ja
pH	Ja	-	-	-	-	-	-	-	Nej
Jern (mg/L)	-	Ja	Nej	Nej	Nej	-	-	-	Nej
Nitrat-N (mg/L)	-	Ja	Nej	Nej	Nej	-	-	-	Nej
Total N (mg/L)	-	Ja	Ja	Nej	Nej	-	-	-	Nej
Ortho-P (mg/L)	-	Ja	Ja	Nej	Ja	HG, GM	Ja	Ja	Ja
Total P (mg/L)	-	Ja	Ja	Nej	Ja	HG, GM	Ja	Ja	Ja
Suspenderet stof (mg/L)	-	Ja	Nej	Nej	Nej	-	-	-	Nej
Ammoniak-ammonium (mg/L)	-	Ja	Ja	Nej	Ja	HG, GM	Ja	Ja	Ja
Temperatur (°C)	Ja	-	-	-	-	-	-	-	Nej

Tabel B3.3. Trinvis vurdering af de 14 fysisk-kemiske kvalitetselementers egnethed til fastsættelse af grænseværdier for DVPI. Forkortelser for grænser mellem tilstandsklasser: HG= Høj/God, GM= God/Moderat, MR= Moderat/Ringe, RD= Ringe/Dårlig. Grøn = opfyldt kriterium, rød = ikke opfyldt.

Fysisk-kemiske kvalitetselementer	**Trin 1:** Naturgivne forhold / spotmålinger	**Trin 2:** Tilstrækkeligt data (>50 obs)	**Trin 3:** Lineær sammenhæng m. EQR	**Trin 4:** Signifikant sammenhæng (r^2>0,36)	**Trin 4a:** Ikke overlappende tilstandsklasser (Kruskal-test sig.)	**Trin 5a:** Grænser mellem tilstandsklasser (Wilcoxon-test, minimum G/M)	**Trin 5b:** Logisk progression i grænseværdier	**Trin 5c:** Overensstemmelse med nationale koncentrationsniveauer	**Trin 6:** Muligt at fastsætte grænser
Alkalinitet (mmol/L)	Ja	-	-	-	-	-	-	-	Nej
BI5 (mg/L)	-	Ja	Ja	Nej	Ja	HG, GM, MR	Ja	Ja	Ja
Iltmætning (%)	Ja	-	-	-	-	-	-	-	Nej
Iltindhold (mg/L)	Ja	-	-	-	-	-	-	-	Nej
Salinitet (‰)	-	Ja	Ja	Nej	Ja	HG	-	-	Nej
pH	Ja	-	-	-	-	-	-	-	Nej
Jern (mg/L)	-	Ja	Ja	Nej	Ja	HG, GM, RD	Nej	-	Nej
Nitrat-N (mg/L)	-	Ja	Nej	-	-	-	-	-	Nej
Total N (mg/L)	-	Ja	Ja	Nej	Ja	GM, MR	Nej	-	Nej
Ortho-P (mg/L)	-	Ja	Ja	Nej	Ja	HG, GM, MR	-	Ja	Ja
Total P (mg/L)	-	Ja	Ja	Nej	Ja	HG, GM, MR	-	Ja	Ja
Suspenderet stof (mg/L)	-	Ja	Nej	-	-	-	-	-	Nej
Ammoniak-ammonium (mg/L)	-	Ja	Ja	Nej	Ja	GM	-	Ja	Ja
Temperatur (°C)	Ja	-	-	-	-	-	-	-	Nej

Tabel B3.4. Trinvis vurdering af de 14 fysisk-kemiske kvalitetselementers egnethed til fastsættelse af grænseværdier for SID_TID. Forkortelser for grænser mellem tilstandsklasser: HG = Høj/God, GM = God/Moderat, MR = Moderat/Ringe, RD = Ringe/Dårlig. Grøn = opfyldt kriterium, rød = ikke opfyldt.

Fysisk-kemiske kvalitetselementer	**Trin 1:** Naturgivne forhold / spotmålinger	**Trin 2:** Tilstrækkeligt data (>50 obs)	**Trin 3:** Lineær sammenhæng m. EQR	**Trin 4:** Signifikant sammenhæng (r^2>0,36)	**Trin 4a:** Ikke overlappende tilstandsklasser (Kruskal-test sig.)	**Trin 5a:** Grænser mellem tilstandsklasser (Wilcoxon-test, minimum G/M)	**Trin 5b:** Logisk progression i grænseværdier	**Trin 5c:** Overenstemmelse med nationale koncentrationsniveauer	**Trin 6:** Muligt at fastsætte grænser
Alkalinitet (mmol/L)	Ja	-	-	-	-	-	-	-	Nej
BI5 (mg/L)	-	Ja	Ja	Nej	Ja	HG,GM	Ja	Ja	Ja
Iltmætning (%)	Ja	-	-	-	-	-	-	-	Nej
Iltindhold (mg/L)	Ja	-	-	-	-	-	-	-	Nej
Salinitet (‰)	-	Ja	Nej	-	-	-	-	-	Nej
pH	Ja	-	-	-	-	-	-	-	Nej
Jern (mg/L)	-	Ja	Ja	Nej	Nej	-	-	-	Nej
Nitrat-N (mg/L)	-	Ja	Nej	Nej	-	-	-	-	Nej
Total N (mg/L)	-	Ja	Nej	Nej	-	-	-	-	Nej
Ortho-P (mg/L)	-	Ja	Ja	Nej	Ja	HG,GM	Ja	Ja	Ja
Total P (mg/L)	-	Ja	Ja	Nej	Ja	HG,GM	Ja	Ja	Ja
Suspenderet stof (mg/L)	-	Ja	Ja	Nej	Ja	GM	-	Nej	Nej
Ammoniak-ammonium (mg/L)	-	Ja	Ja	Nej	Ja	GM	-	Ja	Ja
Temperatur (°C)	Ja	-	-	-	-	-	-	-	Nej

Tabel B3.5. Trinvis vurdering af de 14 fysisk-kemiske kvalitetselementers egnethed til fastsættelse af grænseværdier for DFFVa. Forkortelser: HG = Høj/God, GM = God/Moderat, MR = Moderat/Ringe, RD = Ringe/Dårlig. Grøn = opfyldt kriterium, rød = ikke opfyldt.

Fysisk-kemiske kvalitetselementer	**Trin 1:** Naturgivne forhold / spotmålinger	**Trin 2:** Tilstrækkeligt data (>50 obs)	**Trin 3:** Lineær sammenhæng m. EQR	**Trin 4:** Signifikant sammenhæng (r^2>0,36)	**Trin 4a:** Ikke overlappende tilstandsklasser (Kruskal-test sig.)	**Trin 5a:** Grænser mellem tilstandsklasser (Wilcoxon-test, minimum G/M)	**Trin 5b:** Logisk progression i grænseværdier	**Trin 5c:** Overenstemmelse med nationale koncentrationsniveauer	**Trin 6:** Muligt at fastsætte grænser
Alkalinitet (mmol/L)	Ja	-	-	-	-	-	-	-	Nej
BI5 (mg/L)	-	Ja	Ja	Nej	Ja	MR	-	-	Nej
Iltmætning (%)	Ja	-	-	-	-	-	-	-	Nej
Iltindhold (mg/L)	Ja	-	-	-	-	-	-	-	Nej
Salinitet (‰)	-	Ja	Ja	Nej	Nej	Nej	-	-	Nej
pH	Ja	-	-	-	-	-	-	-	Nej
Jern (mg/L)	-	Ja	Nej	-	-	-	-	-	Nej
Nitrat-N (mg/L)	-	Ja	Nej	-	-	-	-	-	Nej
Total N (mg/L)	-	Ja	Nej	-	-	-	-	-	Nej
Ortho-P (mg/L)	-	Ja	Ja	Nej	Ja	Nej	-	-	Nej
Total P (mg/L)	-	Ja	Ja	Nej	Nej	-	-	-	Nej
Suspenderet stof (mg/L)	-	Ja	Nej	-	-	-	-	-	Nej
Ammoniak-ammonium (mg/L)	-	Ja	Ja	Nej	Ja	Nej	-	-	Nej
Temperatur (°C)	Ja	-	-	-	-	-	-	-	Nej

Tabel B3.6. Trinvis vurdering af de 14 fysisk-kemiske kvalitetselementers egnethed til fastsættelse af grænseværdier for DFFVø. Forkortelser: HG = Høj/God, GM = God/Moderat, MR = Moderat/Ringe, RD = Ringe/Dårlig. Grøn = opfyldt kriterium, rød = ikke opfyldt.

Fysisk-kemiske kvalitetselementer	**Trin 1:** Naturgivne forhold / spotmålinger	**Trin 2:** Tilstrækkeligt data (>50 obs)	**Trin 3:** Lineær sammenhæng m. EQR	**Trin 4:** Signifikant sammenhæng (r^2>0,36)	**Trin 4a:** Ikke overlappende tilstandsklasser (Kruskal-test	**Trin 5a:** Grænser mellem tilstandsklasser (Wilcoxon-test, minimum G/M)	**Trin 5b:** Logisk progression i grænseværdier	**Trin 5c:** Overenstemmelse med nationale koncentrations	**Trin 6:** Muligt at fastsætte grænser
Alkalinitet (mmol/L)	Ja	-	-	-	-	-	-	-	Nej
BI5 (mg/L)	-	Ja	Nej	-	-	-	-	-	Nej
Iltmætning (%)	Ja	-	-	-	-	-	-	-	Nej
Iltindhold (mg/L)	Ja	-	-	-	-	-	-	-	Nej
Salinitet (‰)	-	Ja	Nej	-	-	-	-	-	Nej
pH	Ja	-	-	-	-	-	-	-	Nej
Jern (mg/L)	-	Ja	Ja	Nej	Ja	MR	-	-	Nej
Nitrat-N (mg/L)	-	Ja	Ja	Nej	Ja	Nej	-	-	Nej
Total N (mg/L)	-	Ja	Ja	Nej	Ja	Nej	-	-	Nej
Ortho-P (mg/L)	-	Ja	Nej	-	-	-	-	-	Nej
Total P (mg/L)	-	Ja	Nej	-	-	-	-	-	Nej
Suspenderet stof (mg/L)	-	Ja	Nej	-	-	-	-	-	Nej
Ammoniak-ammonium (mg/L)	-	Ja	Ja	Nej	Ja	MR	-	-	Nej
Temperatur (°C)	Ja	-	-	-	-	-	-	-	Nej

Bilag 4 – EQR-grænser mellem tilstandsklasser

Tabel B4.1. Oversigt over EQR-grænser mellem økologiske tilstandsklasser for de biologiske kvalitetselementer fordelt på vandløbstype. EQR-grænser kan ses på retsinformation.dk (Miljø og Ligestillingsministeriet 2023).

			EQR-grænser mellem tilstandsklasser			
Kvalitetselement	**Indeks**	**Vandløbstype**	**Grænse Høj/God**	**Grænse God/Moderat**	**Grænse Moderat/Ringe**	**Grænse Ringe/Dårlig**
Vandplanter	DVPI	1, 2 og 3	0,70	0,50	0,35	0,20
Smådyr	DVFI	1, 2 og 3	1,0	0,71	0,57	0,43
Fisk - arter	DFFVa	1, 2 og 3	0,70	0,50	0,30	0,10
Fisk - ørred	DFFVø	1	0,81	0,50	0,25	0,06
Fisk - ørred	DFFVø	2 og 3	0,83	0,50	0,33	0,10
Bentiske alger	SID_TID	1,2 og 3	0,861	0,68	0,501	0,221

Bilag 5 – Lineære regressioner

Tabel B5.1. Resultater af lineære regressioner for smådyr (EQR) og fysisk-kemiske kvalitetselementer.

Parameter	p	r^2
Alkalinitet (mmol/L)	-	-
Ammonium-ammoniak (mg/L)	<0,001	0,17
BI_5 (mg/L)	<0,001	0,12
Jern (mg/L)	0,420	<0,01
Nitrat-N (mg/L)	0,076	<0,01
Total kvælstof (mg/L)	<0,001	0,04
Ortho-P (mg/L)	<0,001	0,11
Total fosfor (mg/L)	<0,001	0,14
Iltindhold (mg/L)	-	-
Iltmætning (%)	-	-
Salinitet (‰)	<0,001	0,28
Suspenderet stof (mg/L)	0,868	<0,01
Temperatur (°C)	-	-
pH	-	-

Tabel B5.2. Resultater af lineære regressioner for planter (EQR) og fysisk-kemiske kvalitetselementer.

Parameter	p	r^2
Alkalinitet (mmol/L)	-	-
Ammonium-ammoniak (mg/L)	<0,001	0,05
BI_5 (mg/L)	<0,001	0,17
Jern (mg/L)	<0,001	0,06
Nitrat-N (mg/L)	0,864	<0,01
Total kvælstof (mg/L)	0,005	0,01
Ortho-P (mg/L)	<0,001	0,20
Total fosfor (mg/L)	<0,001	0,13
Iltindhold (mg/L)	-	-
Iltmætning (%)	-	-
Salinitet (‰)	<0,001	0,17
Suspenderet stof (mg/L)	0,131	<0,01
Temperatur (°C)	-	-
pH	-	-

Tabel B5.3. Resultater af lineære regressioner for bentiske alger (EQR) og fysisk-kemiske kvalitetselementer.

Parameter	p	r^2
Alkalinitet (mmol/L)	-	-
Ammonium-ammoniak (mg/L)	<0,001	0,05
BI_5 (mg/L)	<0,001	0,06
Jern (mg/L)	<0,001	0,03
Nitrat-N (mg/L)	0,47	<0,01
Total kvælstof (mg/L)	0,64	0,001
Ortho-P (mg/L)	<0,001	0,20
Total fosfor (mg/L)	<0,001	0,2
Iltindhold (mg/L)	-	-
Iltmætning (%)	-	-
Salinitet (‰)	0,058	0,04
Suspenderet stof (mg/L)	<0,001	0,09
Temperatur (°C)	-	-
pH	-	-

Tabel B5.4. Resultater af lineære regressioner for fisk (DFFVa EQR) og fysisk-kemiske kvalitetselementer.

Parameter	p	r^2
Alkalinitet (mmol/L)	-	-
Ammonium-ammoniak (mg/L)	<0,001	0,05
BI_5 (mg/L)	0,007	0,03
Jern (mg/L)	0,757	<0,01
Nitrat-N (mg/L)	0,702	<0,01
Total kvælstof (mg/L)	0,080	<0,01
Ortho-P (mg/L)	<0,001	0,06
Total fosfor (mg/L)	0,006	0,04
Iltindhold (mg/L)	-	-
Iltmætning (%)	-	-
Salinitet (‰)	0,002	0,16
Suspenderet stof (mg/L)	0,775	<0,01
Temperatur (°C)	-	-
pH	-	-

Tabel B5.5. Resultater af lineære regressioner for fisk (DFFVø EQR) og fysisk-kemiske kvalitetselementer.

Parameter	p	r^2
Alkalinitet (mmol/L)	-	-
Ammonium-ammoniak (mg/L)	0,000192	0,049
BI_5 (mg/L)	0,827	0,001
Jern (mg/L)	5,67e-06	0,069
Nitrat-N (mg/L)	1,44e-05	0,064
Total kvælstof (mg/L)	0,00021	0,055
Ortho-P (mg/L)	0,000256	0,046
Total fosfor (mg/L)	0,582	0,002
Iltindhold (mg/L)	-	-
Iltmætning (%)	-	-
Salinitet (‰)	0,483	0,025
Suspenderet stof (mg/L)	0,862	0,006
Temperatur (°C)	-	-
pH	-	-

Bilag 6 – Smådyr

Figur B6.1. Boksplot for alkalinitet i tilstandsklasserne høj, god, moderat, ringe og dårlig for DVFI for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n*.

Figur B6.2. Boksplot for ammonium-ammoniak i tilstandsklasserne høj, god, moderat, ringe og dårlig for DVFI for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n*.

Figur B6.3. Boksplot for BI_5 i tilstandsklasserne høj, god, moderat, ringe og dårlig for DVFI for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n*.

Figur B6.4. Boksplot for jern i tilstandsklasserne høj, god, moderat, ringe og dårlig for DVFI for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n*.

Figur B6.5. Boksplot for nitrat-N i tilstandsklasserne høj, god, moderat, ringe og dårlig for DVFI for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n*.

Figur B6.6. Boksplot for total kvælstof i tilstandsklasserne høj, god, moderat, ringe og dårlig for DVFI for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n*.

Figur B6.7. Boksplot for ortho-P i tilstandsklasserne høj, god, moderat, ringe og dårlig for DVFI for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n*.

Figur B6.8: Boksplot for total fosfor i tilstandsklasserne høj, god, moderat, ringe og dårlig for DVFI for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n*.

Figur B6.9. Boksplot for iltindhold i tilstandsklasserne høj, god, moderat og ringe for DVFI for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n.*

Figur B6.10. Boksplot for iltmætning i tilstandsklasserne høj, god og moderat for DVFI for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n.*

Figur B6.11. Boksplot for salinitet i tilstandsklasserne høj, god, moderat og ringe for DVFI for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n.*

Figur B6.12. Boksplot for suspenderet stof i tilstandsklasserne høj, god, moderat, ringe og dårlig for DVFI for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n*.

Figur B6.13. Boksplot for temperatur i tilstandsklasserne høj, god, moderat, ringe og dårlig for DVFI for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n*.

Figur B6.14. Boksplot for pH i tilstandsklasserne høj, god, moderat, ringe og dårlig for DVFI for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n*.

Bilag 7 – Planter

Figur B7.1. Boksplot for alkalinitet i tilstandsklasserne høj, god, moderat, ringe og dårlig for DVPI for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ punkt angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n.*

Figur B7.2. Boksplot for ammonium-ammoniak i tilstandsklasserne høj, god, moderat, ringe og dårlig for DVPI for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n.*

Figur B7.3. Boksplot for BI_5 i tilstandsklasserne høj, god, moderat, ringe og dårlig for DVPI for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n*.

Figur B7.4. Boksplot for jern i tilstandsklasserne høj, god, moderat, ringe og dårlig for DVPI for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n*.

Figur B7.5. Boksplot for nitrat-N i tilstandsklasserne høj, god, moderat, ringe og dårlig for DVPI for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n*.

Figur B7.6. Boksplot for total kvælstof i tilstandsklasserne høj, god, moderat, ringe og dårlig for DVPI for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n.*

Figur B7.7. Boksplot for ortho-P i tilstandsklasserne høj, god, moderat, ringe og dårlig for DVPI for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n.*

Figur B7.8. Boksplot for total fosfor i tilstandsklasserne høj, god, moderat, ringe og dårlig for DVPI for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n.*

Figur B7.9. Boksplot for iltindhold i tilstandsklasserne høj, god, moderat, ringe og dårlig for DVPI for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n*.

Figur B7.10. Boksplot for iltmætning i tilstandsklasserne høj, god, moderat, ringe og dårlig for DVPI for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n*.

Figur B7.11. Boksplot for salinitet i tilstandsklasserne høj, god, moderat, ringe og dårlig for DVPI for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n*.

Figur B5.12. Boksplot for suspenderet stof i tilstandsklasserne høj, god, moderat, ringe og dårlig for DVPI for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n.*

Figur B7.13. Boksplot for temperatur i tilstandsklasserne høj, god, moderat, ringe og dårlig for DVPI for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n.*

Figur B7.14. Boksplot for pH i tilstandsklasserne høj, god, moderat, ringe og dårlig for DVPI for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n.*

Bilag 8 – Bentiske alger

Figur B8.1. Boksplot for alkalinitet i tilstandsklasserne høj, god, moderat og ringe for SID_TID for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n.*

Figur B8.2. Boksplot for ammonium-ammoniak i tilstandsklasserne høj, god, moderat og ringe for SID_TID for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n.*

Figur B8.3. Boksplot for BI_5 i tilstandsklasserne høj, god, moderat og ringe for SID_TID for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n.*

Figur B8.4. Boksplot for jern i tilstandsklasserne høj, god, moderat og ringe for SID_TID for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n.*

Figur B8.5. Boksplot for nitrat-N i tilstandsklasserne høj, god, moderat og ringe for SID_TID for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n.*

Figur B8.6. Boksplot for total kvælstof i tilstandsklasserne høj, god, moderat og ringe for SID_TID for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n.*

Figur B8.7. Boksplot for ortho-P i tilstandsklasserne høj, god, moderat og ringe for SID_TID for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n.*

Figur B8.8. Boksplot for total fosfor i tilstandsklasserne høj, god, moderat og ringe for SID_TID for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n.*

Figur B8.9. Boksplot for iltindhold i tilstandsklasserne høj, god og moderat for SID_TID for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n.*

Figur B8.10. Boksplot for iltmætning i tilstandsklasserne høj og god for SID_TID for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n.*

Figur B8.11. Boksplot for salinitet i tilstandsklasserne høj, god og moderat for SID_TID for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n.*

Figur B8.12. Boksplot for suspenderet stof i tilstandsklasserne høj, god og moderat for SID_TID for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n.*

Figur B8.13. Boksplot for temperatur i tilstandsklasserne høj, god, moderat og ringe for SID_TID for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n.*

Figur B8.14. Boksplot for pH i tilstandsklasserne høj, god, moderat og ringe for SID_TID for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n.*

Bilag 9 – Fisk

DFFVa

Figur B9.1. Boksplot for alkalinitet i tilstandsklasserne høj, god, moderat, ringe og dårlig for DFFVa for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n.*

Figur B9.2. Boksplot for ammonium-ammoniak i tilstandsklasserne høj, god, moderat, ringe og dårlig for DFFVa for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n.*

Figur B9.3. Boksplot for BI_5 i tilstandsklasserne høj, god, moderat, ringe og dårlig for DFFVa for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n.*

Figur B9.4. Boksplot for jern i tilstandsklasserne høj, god, moderat, ringe og dårlig for DFFVa for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n.*

Figur B9.5. Boksplot for nitrat-N i tilstandsklasserne høj, god, moderat, ringe og dårlig for DFFVa for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n.*

Figur B9.6. Boksplot for total kvælstof i tilstandsklasserne høj, god, moderat, ringe og dårlig for DFFVa for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n.*

Figur B9.7. Boksplot for ortho-P i tilstandsklasserne høj, god, moderat, ringe og dårlig for DFFVa for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n.*

Figur B9.8. Boksplot for total fosfor i tilstandsklasserne høj, god, moderat, ringe og dårlig for DFFVa for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n.*

Figur B9.9. Boksplot for iltindhold i tilstandsklasserne høj, god, moderat, ringe og dårlig for DFFVa for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n.*

Figur B9.10. Boksplot for iltmætning i tilstandsklasserne høj, ringe og dårlig for DFFVa for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n.*

Figur B9.11. Boksplot for salinitet i tilstandsklasserne høj, god, moderat, ringe og dårlig for DFFVa for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n.*

Figur B9.12. Boksplot for suspenderet stof i tilstandsklasserne høj, god, moderat, ringe og dårlig for DFFVa for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n.*

Figur B9.13. Boksplot for temperatur i tilstandsklasserne høj, god, moderat, ringe og dårlig for DFFVa for alle vandløbstyper. De horisontale linje r beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ sort punkt angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n.*

Figur B9.14. Boksplot for pH i tilstandsklasserne høj, god, moderat, ringe og dårlig for DFFVa for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n.*

DFFVø

Figur B9.15. Boksplot for alkalinitet i tilstandsklasserne høj, god, moderat, ringe og dårlig for DFFVø for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n.*

Figur B9.16. Boksplot for ammonium-ammoniak i tilstandsklasserne høj, god, moderat, ringe og dårlig for DFFVø for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n.*

Figur B9.17. Boksplot for BI_5 i tilstandsklasserne høj, god, moderat, ringe og dårlig for DFFVø for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n.*

Figur B9.18. Boksplot for jern i tilstandsklasserne høj, god, moderat, ringe og dårlig for DFFVø for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n.*

Figur B9.19. Boksplot for nitrat-N i tilstandsklasserne høj, god, moderat, ringe og dårlig for DFFVø for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n.*

Figur B9.20. Boksplot for total kvælstof i tilstandsklasserne høj, god, moderat, ringe og dårlig for DFFVø for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n.*

Figur B9.21. Boksplot for ortho-P i tilstandsklasserne høj, god, moderat, ringe og dårlig for DFFVø for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n.*

Figur B9.22. Boksplot for total fosfor i tilstandsklasserne høj, god, moderat, ringe og dårlig for DFFVø for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n.*

Figur B9.23. Boksplot for iltindhold i tilstandsklasserne høj, moderat, ringe og dårlig for DFFVø for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n.*

Figur B9.24. Boksplot for iltmætning i tilstandsklasserne høj, moderat, ringe og dårlig for DFFVø for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n.*

Figur B9.25. Boksplot for salinitet i tilstandsklasserne høj, god, moderat, ringe og dårlig for DFFVø for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n.*

Figur B9.26. Boksplot for suspenderet stof i tilstandsklasserne høj, god, moderat, ringe og dårlig for DFFVø for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n.*

Figur B9.27. Boksplot for temperatur i tilstandsklasserne høj, god, moderat, ringe og dårlig for DFFVø for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n.*

Figur B9.28. Boksplot for pH i tilstandsklasserne høj, god, moderat, ringe og dårlig for DFFVø for alle vandløbstyper. De horisontale linjer beskriver kvartilerne (25,50 og 75 %), mens ♦ angiver middelværdien. • viser outliers. Antallet af stationer i hver tilstandsklasse er angivet ved *n.*

FYSISKE OG KEMISKE KVALITETS-ELEMENTER OG UNDERSTØTTELSEN AF ØKOLOGISK TILSTAND I VANDLØB

Den økologiske tilstand i danske vandløb vurderes ud fra biologiske kvalitetselementer. Hertil kommer, at fysisk-kemiske kvalitetselementer skal anvendes som støtte i tilstandsvurderingen. Nærværende projekt kortlægger, hvilke af de 14 fysisk-kemiske parametre der bedst kan støtte den biologiske vurdering, og fastsætter grænseværdier på baggrund af et opdateret EU-Tool-Kit.

ISBN: 978-87-7648-035-6
ISSN: 2244-9981