



BETYDNINGEN AF DANSKE VANDLØBS ALKALINITET FOR DE BENTISKE ALGESAMFUND

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 440

2021



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

BETYDNINGEN AF DANSKE VANDLØBS ALKALINITET FOR DE BENTISKE ALGESAMFUND

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 440

2021

Annette Baattrup-Pedersen¹

Trine Just Johnsen¹

Tenna Riis²

¹Aarhus Universitet, Institut for Bioscience

²Aarhus Universitet, Institut for Biologi



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Datablad

Serietitel og nummer:	Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 440
Kategori:	Rådgivningsrapporter
Titel:	Betydningen af danske vandløbs alkalinitet for de bentske algesamfund
Forfattere:	Annette Baattrup-Pedersen ¹ , Trine Just Johnsen ¹ og Tenna Riis ²
Institutioner:	Aarhus Universitet, ¹ Institut for Bioscience og ² Institut for Biologi
Udgiver:	Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi ©
URL:	http://dce.au.dk
Udgivelsesår:	April 2021
Redaktion afsluttet:	April 2021
Faglig kommentering:	Martin Søndergaard
Kvalitetssikring, DCE:	Signe Jung-Madsen
Sproglig kvalitetssikring:	Anne Mette Poulsen
Ekstern kommentering:	Miljøstyrelsen. Kommentarerne findes her: http://dce2.au.dk/pub/komm/SR440_komm.pdf
Finansiel støtte:	Miljøstyrelsen
Bedes citeret:	Baattrup-Pedersen, A., Johnsen, T.J. & Riis, T. 2021. Betydningen af danske vandløbs alkalinitet for de bentske algesamfund. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 34 s. - Videnskabelig rapport nr. 440 http://dce2.au.dk/pub/SR440.pdf
	Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse
Sammenfatning:	I et tidligere projekt har Aarhus Universitet udviklet et kvalitetsindeks til vurdering af tilstanden af bundlevende alger i vandløb, benævnt SID_TID (link til rapport). Projektet viste, at indekset er følsomt over for koncentrationen af opløst fosfor, som er et centralt næringsstof for algerne, men også, at alkalinitet, som bla. udtrykker kulstoftilgængeligheden, spiller en rolle for hvilke alger, der lever i vandløbene. Vi har derfor i dette projekt nærmere undersøgt hvilken rolle alkalinitet i sig selv spiller for indekset. Det viser sig at SID_TID-indekstærdier er højere i vandløb med høj alkalinitet sammenlignet med vandløb med lav alkalinitet uanset fosforniveauet og at SID-TID-indekstærdien kan antage relativt høje værdier, også selvom P-koncentrationen er lav. Projektet viser derfor, at der er behov for en videreudvikling af indekset. Denne videreudvikling kan naturligt tage afsæt i de algearter, der kan adskille betydningen af henholdsvis alkalinitet og fosfor i en tilstandsvurdering. SID_TID-indekset kan dog godt i sin nuværende form anvendes i alle danske vandløb, som tidligere anbefalet (link til rapport). Dog er der behov for mere viden for at kunne planlægge indsatser i disse, såfremt der ikke er målopfyldelse.
Emneord:	Alkalinitet, fosfor, bundlevende alger, vandløb, SID_TID, kvalitetsindeks, vandrammedirektiv, tilstandsvurdering
Layout:	Grafisk Værksted, AU Silkeborg
Foto forside:	Forsøgsopstilling i et af forsøgsvandløbene – Gudenå ved Hammer. Billede: Tenna Riis
ISBN:	978-87-7156- 589-8
ISSN (elektronisk):	2244-9981
Sideantal:	34
Internetversion:	Rapporten er tilgængelig i elektronisk format (pdf) som http://dce2.au.dk/pub/SR440.pdf
Supplerende oplysninger:	Maj 2021. Første version: april 2021. Der er gjort opmærksom på, at en tidligere udgave af figur 9 blev udgivet med rapporten, hvilket nu er korrigeret.

Indhold

Sammenfatning	5
Summary	6
1 Baggrund	7
2 Formål	8
3 Teknisk løsning	9
4 Metode	10
4.1 NOVANA-vandløb	10
4.2 Kontrolleret forsøg	10
5 Resultater	15
5.1 SID_TID-indeksværdier for NOVANA vandløbene	15
5.2 Benthiske kiselalgearter, alkalinitet og følsomhed over for uorganisk fosfor	19
6 Konklusion	25
7 Perspektivering	26
8 Referencer	27
Appendiks	30
Appendiks 2 P-respons for en række arter som angivet i i den internationale litteratur	33

Sammenfatning

Det er tidligere vist, at værdien for det bentiske algeindeks SID_TID i danske vandløb kan ændre sig som funktion af både vandløbsvandets fosforkoncentration ($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$) og alkalinitet (Andersen et al., 2018). Det er dog uklart, i hvor høj grad alkalinitet influerer SID_TID-indeksets følsomhed over for fosfor, og det er derfor ikke muligt at beskrive betydningen af kun fosfor for den økologiske tilstandsvurdering.

Formålet med projektet er: i) at analysere, hvordan det bentiske algeindeks for danske vandløb, SID_TID, varierer i vandløb med forskellig alkalinitet, og ii) at undersøge, om høj alkalinitet alene kan forårsage, at vandløb ikke kan opfylde miljømålet god økologisk tilstand med anvendelse af indekset.

I projektet anvendte vi to tilgange til at se nærmere på betydningen af alkalinitet- og fosforkoncentrationen for SID_TID-indeksværdien. For det første beskrives variationen i SID_TID-værdierne i fire forskellige grupper af vandløb med forskellige fosfor- og alkalinitetsniveauer med anvendelse af algedata indsamlet i NOVANA-overvågningsprogrammet. For det andet beskriver vi variationen i SID_TID-indeksværdier i algesamfund etableret på kunstige algesubstrater med og uden tilsat fosfor efter tre ugers vækst i høj- og lav-alkaline forsøgsvandløb.

Analyserne viser, at der er stor variation i SID-TID-indeksværdierne i både de høj- og lav-alkaline vandløb. Indekset varierer således mellem 1,41 og 2,23 i de lav-alkaline vandløb og mellem 1,69 og 2,47 i de høj-alkaline vandløb, hvor lave værdier normalt tilskrives ringe grad af påvirkning, mens høje værdier tilskrives større grad af påvirkning.

Analyserne viser også, at SID_TID-indeksværdier er højere i vandløb med høj alkalinitet sammenlignet med vandløb med lav alkalinitet uanset fosforniveauet. Det betyder, at SID-TID-indeksværdien i et vandløb kan antage relativt høje værdier, også selvom P-koncentrationen er lav. Således fandt vi i et af forsøgsvandløbene, at den økologiske status var moderat med anvendelse af SID_TID-indekset, selvom fosforkoncentrationen var lav.

På baggrund af analyserne i denne rapport kan det konkluderes, at vandløb kan have moderat økologisk status vurderet med anvendelse af SID_TID, selvom der ikke i forsøgsperioden blev målt forhøjede fosforkoncentrationer. Det betyder, at det ikke på baggrund af den eksisterende viden er muligt at vurdere, i hvor høj grad en tilstandsvurdering med SID_TID afspejler niveauer af fosfor eller alkalinitet, og at der derfor er behov for en videreudvikling af indekset. Denne videreudvikling kan naturligt tage afsæt i de kiselalgearter, der kan adskille betydningen af henholdsvis alkalinitet og fosfor. SID_TID-indekset kan dog godt i sin nuværende form anvendes i alle danske vandløb som tidligere anbefalet i Andersen et al. (2018), men der er behov for mere viden for at kunne planlægge indsatser i disse, såfremt der ikke er målopfyldelse.

Summary

Previously, it has been shown that values of the benthic algae index, SID_TID, in Danish streams may change as a function of both the phosphorus concentration of the stream water (PO_4^{3-}P) as well as alkalinity (Andersen et al., 2018). However, it is unclear to what extent alkalinity influences the sensitivity of the SID_TID index to phosphorus, and it is therefore not possible to describe the significance of only phosphorus in the assessment of ecological state.

The purpose of this project is: i) to analyse how the benthic algae index for Danish streams, SID_TID, varies in streams with different alkalinity and ii) to examine whether high alkalinity alone may hinder fulfillment of the environmental objective of good ecological status in streams applying the index.

In this project, we used two approaches to examine the significance of the alkalinity and phosphorus concentrations for SID_TID index values. Firstly, the variation in SID_TID values is described for four different groups of streams with different levels of phosphorus and alkalinity using algae data collected within the framework of the NOVANA monitoring program. Secondly, we describe the variation in SID_TID index values in algae communities established on artificial algae substrates with and without added phosphorus after three weeks of growth in high- and low-alkaline experimental streams.

The analyses show that there is great variation in SID-TID index values in both the high-and low-alkaline streams. Thus, the index varies between 1.41 and 2.23 in the low-alkaline streams and between 1.69 and 2.47 in the high-alkaline streams, where low values are usually attributed to poor impact, while high values are attributed major impact.

The analyses also show that SID_TID index values are higher in streams with high alkalinity than in streams with low alkalinity, regardless of phosphorus levels. This means that the SID-TID index value in a stream can assume relatively high values even if the P concentration is low. Thus, in one of the experimental streams, we found that the ecological status was moderate using the SID_TID index, even though the phosphorus concentration was low.

On the basis of the analyses in this report, it can be concluded that streams can be assessed to have moderate ecological status using SID_TID, even though elevated levels of phosphorus were not recorded during the experimental period. This means that it is not possible, on the basis of the existing knowledge, to assess the extent to which an assessment of ecological state with SID_TID reflects levels of phosphorus or alkalinity, and there is therefore a need for further development of the index. This further development can naturally be based on those diatom species for which the impact of alkalinity and phosphorus can be separated. However, in its current form, the SID_TID index can be used in all Danish streams, as previously recommended in Andersen et al. (2018), but there is a need for more knowledge in order to be able to plan interventions in these if environmental objectives are not met.

1 Baggrund

Det er tidligere vist, at de bentiske algesamfund i danske vandløb ændrer sig som funktion af de vandkemiske forhold. Mere specifikt har det vist sig, at især alkalinitet og koncentrationen af fosfor ($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$) spiller en vigtig rolle for sammensætningen af de bentiske algesamfund (Andersen et al., 2018; Kelly et al., 2015). Derfor er det heller ikke overraskende, at SID_TID, som er et bentisk algeindeks udviklet til brug for økologisk tilstandsvurdering i vandløb i Danmark (Andersen et al., 2018), kan ændre sig som funktion af både vandløbsvandets $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ -koncentration og alkalinitet (Andersen et al., 2018). Alkalinitet er et udtryk for mængden af basiske ioner, primært bikarbonat, i vandet. De basiske ioner stammer fra de geologiske lag, og der ses derfor naturlige variationer i vandets alkalinitet på tværs af Danmark. Eksempelvis er alkaliniteten typisk lav i sandede og kalkfattige jorde, som der ses i Vestjylland, mens den er højere i det østlige Danmark, hvor jorderne er mere lerede og kalkrige. Det er ikke overraskende, at alkalinitet spiller en rolle for udbredelsen af alger i vandet, da alkaliniteten har betydning for tilgængeligheden af uorganisk kulstof og derfor for algernes fotosyntese.

For nuværende er der ikke viden om, i hvor høj grad den naturligt varierende alkalinitet influerer på SID_TID-indeksets følsomhed over for fosfor, og det er derfor ikke muligt at beskrive betydningen af kun $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ for den økologiske tilstandsvurdering. En lignende problematik har været adresseret i et tidligere studie, hvor kontrollerede laboratorieforsøg viste, at alkaliniteten kan være mere afgørende end $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ for forskelle i fordelingen af to ganske tæt beslægtede bentiske algearter af slægten *Nitzshia* i engelske vandløb (Kelly et al., 2015).

Mens alkaliniteten i vandløbsvand er en konservativ faktor bestemt af de geologiske forhold i oplandet, som det afstrømmende vand passerer, så er koncentrationen af $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ i høj grad også bestemt af menneskelig aktivitet (Kronvang & Rubæk, 2005; Thodsen et al., 2019). Derfor er det vigtigt at belyse, hvordan alkaliniteten kan påvirke tilstandsvurderingen bestemt ved SID_TID i danske vandløb uden en samtidig påvirkning fra $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$, men også omvendt, hvordan $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ kan påvirke tilstandsvurderingen uden en samtidig påvirkning fra alkalinitet. Hvis en sådan viden ikke er tilgængelig, kan det være vanskeligt at tolke en given SID_TID-indekssværdi fra et vandløb.

I dette projekt vil sammenhænge mellem det bentiske algeindeks i vandløb, benævnt SID_TID (Andersen et al., 2018), og vandløbsvandets alkalinitet blive undersøgt. Samtidig vil det blive undersøgt, om der er særlige algegrupper, grupper af arter eller artsegenskaber, der kan anvendes til at adskille betydningen af $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ og alkalinitet, såfremt det viser sig, at alkaliniteten kan være afgørende for, at vandløb ikke når målopfyldelse vurderet med SID_TID-indekset.

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

2 Formål

Formålet med projektet er: i) at analysere, hvordan det bentiske algeindeks for vandløb, SID_TID, varierer i vandløb med forskellig alkalinitet, og ii) at undersøge, om høj alkalinitet alene kan forårsage, at vandløb ikke kan opfylde miljømålet god økologisk tilstand med anvendelse af indekset.

3 Teknisk løsning

I projektet undersøges betydningen af vandløbsvandets alkalinitet for tilstandsvurderinger i vandløb baseret på bentiske alger i Danmark. Der er anvendt to tilgange til at adskille betydningen af alkalinitet og PO_4^{3-} -P-koncentrationen for de bentiske algesamfund.

I den første tilgang anvendes NOVANA-vandløbsstationer identificeret i et tidligere projekt (Baatrup-Pedersen & Johnsen, 2020) til at beskrive variationen i SID_TID-værdierne i fire forskellige grupper af vandløb (vandløb med lav alkalinitet og lav PO_4^{3-} -P-koncentration; vandløb med lav alkalinitet og høj PO_4^{3-} -P-koncentration; vandløb med høj alkalinitet og lav PO_4^{3-} -P-koncentration og endelig vandløb med høj alkalinitet og høj PO_4^{3-} -P-koncentration).

I den anden tilgang vil der blive gennemført et kontrolleret forsøg i relativt høj- og lav-alkaline vandløb. PO_4^{3-} -P-koncentrationen skal være lav i disse vandløb, da det så er muligt at beskrive, hvordan alkalinitet alene påvirker SID_TID-indekset. I disse vandløb skal der udsættes kunstige algesubstrater, som algerne kan kolonisere, dels substrater hvor der ikke er tilsat PO_4^{3-} -P, dels substrater med PO_4^{3-} -P for på den måde at øge tilgængeligheden af uorganisk fosfor. Herefter kan substraterne prøvetages og anvendes til senere bestemmelse af SID_TID-indeksværdier.

På baggrund af data indsamlet under de to tilgange beskrevet ovenfor kan variationen i SID_TID som funktion af både alkalinitet og PO_4^{3-} -P beskrives, og efterfølgende kan det undersøges, om der er særlige algegrupper, grupper af arter eller artsegenskaber, der kan anvendes til at adskille betydningen af PO_4^{3-} -P og alkalinitet.

4 Metode

4.1 NOVANA-vandløb

I et tidligere notat (Baattrup-Pedersen & Johnsen, 2020) blev vandløb i NOVANA-overvågningen med høje og lave værdier for hhv. alkalinitet og $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ identificeret. Dette blev gjort på baggrund af data i overfladevanddatabasen ODA, hvor fem års gennemsnit baseret på data indsamlet i perioden 2009-2017 af målinger af vandets alkalinitet og $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ -koncentration på vandløbsstationerne blev brugt. Fraktilanalyser gjorde det muligt at fastsætte intervaller for lav og høj alkalinitet samt for lave og høje koncentrationer af $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$, defineret ved 25%- og 75%-fraktilerne (lav alkalinitet $<1,73 \text{ mmol/L}$, lav $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ $<0,025 \text{ mg/L}$, høj alkalinitet $>4,44 \text{ mmol/L}$, høj $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ $>0,063 \text{ mg/L}$) og de tilgængelige vandløbsstationer blev inddelt i fire grupper med hhv.

- 1) lav alkalinitet og lav $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ -koncentrationen (N=141)
- 2) lav alkalinitet og høj $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ -koncentrationen (N=6)
- 3) høj alkalinitet og lav $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ -koncentration (N=17)
- 4) høj alkalinitet og høj $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ -koncentrationen (N=88).

Resultaterne fra Baattrup-Pedersen & Johnsen (2020) viste, at kun få vandløbsstationer kunne identificeres som havende lav alkalinitet i kombination med høj $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ -koncentration samt høj alkalinitet i kombination med lav $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ -koncentration. For vandløbsgruppe 1 er der SID_TID-værdier for 87 vandløb, for vandløbsgruppe 2 er der SID_TID-værdier for 4 vandløb, for vandløbsgruppe 3 er der SID_TID-værdier for 9 vandløb, og for vandløbsgruppe 4 er der SID_TID-værdier for 49 vandløb. Det betyder altså, at for især vandløbsgruppe 2 og vandløbsgruppe 3 er der et meget begrænset sammenligningsmateriale. Det er formentlig et udtryk for, at alkalinitet og fosfatindhold naturligt følges ad, fordi både kalkindhold og næringsstofindhold er højt i morænejord, men lavt i sandjord.

4.2 Kontrolleret forsøg

Der blev udsat kunstige algesubstrater til kolonisering i alt 20 vandløb (tabel 1). Vandløb blev udvalgt, således at 10 vandløb havde relativ høj alkalinitet ($>3,5 \text{ mEqv/L}$), og 10 vandløb havde relativ lav alkalinitet ($<1,5 \text{ mEqv/L}$). Desuden blev vandløbene udvalgt, således at baggrundskoncentrationen af $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ vurderet ud fra eksisterende data fra NOVANA (gennemsnit fra 2009-2017) var $<0,05 \text{ mg PO}_4^{3-}\text{-P/L}$, undtagen for tre stationer, hvor 5-års gennemsnittet var højere, da der ikke var nok stationer med koncentrationer $<0,05 \text{ mg PO}_4^{3-}\text{-P/L}$. I stedet var $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ -koncentrationerne henholdsvis 0,065, 0,070, 0,086 $\text{mg PO}_4^{3-}\text{-P/L}$ på disse tre stationer. Desuden blev der kun udvalgt vandløb med målopfyldelse ifølge den seneste SID_TID-måling.

I både gruppen af høj-alkaline og gruppen af lav-alkaline vandløb blev der i alle 10 vandløb udsat algesubstrater uden tilsat $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$, og i fem af vandløbene i hver alkalinitetsgruppe blev der også udsat algesubstrater med tilsat $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ (herefter algesubstrater med og uden tilsat $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$; Tabel 1).

I forbindelse med udsætning af algesubstraterne samt to gange i løbet af koloniseringsperioden (3 uger) blev der taget vandprøver til vandkemiske analyser. Det viste sig, at i perioden, hvor substraterne var ude i vandløbene, var $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ -koncentrationen meget lav ($<0,013 \text{ mg PO}_4^{3-}\text{-P/L}$) i alle de vandløb,

hvor der var udsat algesubstrater med P-tilsætning (herefter P-algesubstrater) (Tabel 1). I de vandløb, hvor der var udsat algesubstrater uden P-tilsætning, var variationen af $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ koncentrationen i vandløbsvandet større og varierede mellem $<0,01$ til $0,045 \text{ mgPO}_4^{3-}\text{-P/L}$. Efterfølgende valgte vi kun at medtage data fra de vandløb, hvor P-koncentrationen var $<0,013 \text{ mg PO}_4^{3-}\text{-P/L}$ i vandløbsvandet, for på den måde at sikre, at P-koncentrationer ikke var afgørende for SID_TID-indeksberegningen. Det betød, at data fra Tvede Å, Hørup Å, Rislebæk og Bjerge Å ikke blev medtaget i analyserne. Der var ikke signifikant forskel i næringsstofniveauerne (fosfor og kvælstof) mellem gruppen af høj-alkaline ($N=6$) og gruppen af lav-alkaline vandløb ($N=10$).

Tabel 1. Baggrundskemi for vandløbene målt i projektet, dvs. maj 2020, og beregnet på baggrund af data i Overfladevanddatabase ODA (5-års gennemsnit). Desuden er angivet, i hvilke vandløb der er udsat algesubstrater med og uden $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ -tilsætning. ID for vandløb bruges i figur 6 og 9.

Vandløb	ID	Maj 2020			ODA		Alge-subs		
		Alkalinitets gruppe	$\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ (mg/L)	NO_3^- (mg/L)	$\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ (mg/L)	NO_3^- (mg/L)	Alkalinitet uden tilsat	Alge-subs med tilsat	
Tvede å	TVE	Høj	0,024	5,772	0,042	6,555	3,55	X	X
Illerup å	ILL		0,005	0,405	0,016	1,033	3,83	X	X
Hørup å	HØR		0,019	3,786	0,086	3,597	4,07	X	X
Rislebæk	RIS		0,021	0,508	0,035	1,030	4,24	X	X
Bjerge å	BJE		0,045	3,179	0,070	5,050	3,95	X	X
Skjold å	SKJ		0,004	2,385	0,013	2,227	4,60	X	
Lammebæk	LAM		0,004	1,610	0,038	2,117	4,57	X	
Landbæk (Gistrup)	LAN		0,004	4,903	0,008	5,150	4,57	X	
Stamperenden	STA		0,005	4,147	0,021	4,750	4,85	X	
Hårby å	HÅR		0,011	1,632	0,065	2,496	4,78	X	
Rind å	RIN		0,004	2,259	0,017	1,920	0,81	X	X
Idom å	IDO		0,007	0,846	0,016	0,945	0,97	X	X
Hjællund bæk	HJØ		0,008	2,284	0,012	1,967	0,52	X	X
Gudenå	GUD		0,010	2,339	0,008	1,835	1,45	X	X
Haller å	HAL		0,004	0,805	0,013	0,783	0,37	X	X
Herborg bæk	HER		0,003	4,847	0,008	5,005	0,58	X	
Sunds Møllebæk	SUN	Lav	0,003	1,230	0,011	1,301	0,68	X	
Kildebæk	KIL		0,004	4,554	0,005	4,945	0,23	X	
Lillebæk (Vrads)	LIL		0,011	0,407	0,014	0,474	0,99	X	
Vegen å	VEG		0,012	2,775	0,021	2,825	1,10	X	

Algesubstraterne var præpareret i henhold til metoden beskrevet i Tank et al. (2017; s. 153-157). De kunstige algesubstrater er små glasfiltre (2,5 cm diameter; Leco #528-042), der ligger oven på agar i en lille kop (35 mL) (Figur 1). Princippet i metoden er, at agaren i de små kopper kan forberedes, således at agaren indeholder forskellige koncentrationer af $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$. Kopperne placeres derefter i en ramme, der fikseres til vandløbsbunden. Algerne koloniserer derefter substraterne i kopperne og påvirkes samtidigt af agarens P-koncentration, der frigives fra agaren gennem hele inkubationstiden. Metoden anvendes ofte til økologiske undersøgelser af biofilm i vandløb (se f.eks. Kap. 31 i *Methods in Stream Ecology*, red. af Lamberti & Hauer; Academic Press).

Vi havde dels et algesubstrat uden tilsat $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ (K1) og derudover fire algesubstrater med tilsat $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ (K2-K5). Vi brugte to fosfatsalte (mono- og dibasisk; KH_2PO_4 ; K_2HPO_4) til at øge P-koncentrationen i algesubstraterne for at undgå pH-ændringer i agaren (Beck and Hall, 2018). For algesubstrater med tilsat $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ brugte vi følgende koncentrationer: $0,001 \text{ mol P L}^{-1}$ (K2), $0,010 \text{ mol P L}^{-1}$ (K3), $0,100 \text{ mol P L}^{-1}$ (K4) og $0,500 \text{ mol P L}^{-1}$ (K5) (Tabel 2).



Figur 1. Agarkopper, glasfiltre og opstilling i feltet; a) og b) efter Tank et al. (2017); c) fra vores feltforsøg.

Substraterne blev udsat i begyndelsen af maj (4.-6. maj 2020) i lysåbne lavvandede områder i de udvalgte vandløb, og algenes vækst var derfor ikke begrænset af lystilgængeligheden i vandløbene (Figur 1). Desuden blev substraterne udsat i områder med strømhastighed mellem 0,2 og 0,3 m/sek., idet vi ved, at der ikke er nogen tydelig forskel i algekolonisering inden for dette strømhastighedsinterval (Neif et al., 2017).

Substraterne stod i vandløbene i tre uger. Litteraturen viser inkubationstider på mellem 18-33 dage, men generelt er der et maksimum i klorofyl a (chl a) i de benthiske algesamfund efter omkring tre uger (Tank et al., 2017). I løbet af de tre uger lavede vi samtidigt en test af frigivelsesraten fra de forskellige substratbehandlinger i laboratoriet for at sikre, at P-algesubstraterne afgav P i hele perioden, og at algesubstrater uden P ikke afgav P (Costello et al., 2016). To algesubstrater fra hver P-behandling blev placeret i 0,8 L demineraliseret vand ved 15 °C på et rystebord – i alt 10 glas med algesubstrater og 3 kontrolglas uden algesubstrater. Inden for de tre ugers inkubationstid blev der jævnlige udtaget vandprøver til analyse af P-koncentrationer fra hvert prøveglas. Prøverne blev taget til følgende antal timer efter start: 14t, 40t, 65t, 136t, 162t, 207t, 240t, 304t, 353t, 450t, 495t. Efter hver prøvetagning blev glassene skyllet, og nyt demineraliseret vand blev tilsat. Vi beregnede derefter en frigivelsesrate (RR) for hvert tidsinterval ($t_1 - t_0$ (timer); $n=11$) ved at måle stigningen i vandets P-koncentration $[P]$ ($\mu\text{gP/L}$):

$$RR \left(\mu \frac{\text{gP}}{\text{L}} * \text{dag} \right) = \frac{[P]t_1 \left(\mu \frac{\text{gP}}{\text{L}} \right) - [P]t_0 \left(\mu \frac{\text{gP}}{\text{L}} \right)}{(t_1 - t_0 \text{ (timer)}) * 24 \frac{\text{timer}}{\text{dag}} * 0,8}$$

hvor 0,8 er omregning fra 0,8 L til 1 L vand.

Vi beregnede derefter en gennemsnitlig frigivelsesrate for algesubstraterne over de tre uger. Idet frigivelsesraten vil falde over tid pga. fald i koncentration i agarsubstratet og dermed et fald i diffusionsraten, beregnede vi både en gennemsnitlig frigivelsesrate over hele tre ugersperioden samt for den sidste uge, så vi kunne vurdere den relative ændring i den tilgængelige P-mængde fra substraterne. Det skal bemærkes, at frigivelsesraten ikke vil svare til den præcise P-koncentration, der er tilgængelig for algerne, der koloniserer substratet, idet koncentrationen ved substratoverfladen vil være påvirket af strømhastigheden samt det omgivende vands P-koncentration (Costello et al., 2016; Beck & Hall, 2018). I stedet kan det bruges til at vurdere en relativ forskel i frigivelsesrater mellem behandlinger (Tabel 2).

Tabel 2. Agar P-koncentrationer brugt i behandlingerne. Middel frigivelsesrate ($\pm$ SD) af P fra agarsubstraterne over tre uger og i den sidste uge før algeprøvetagning. Nd angiver "ikke målbart".

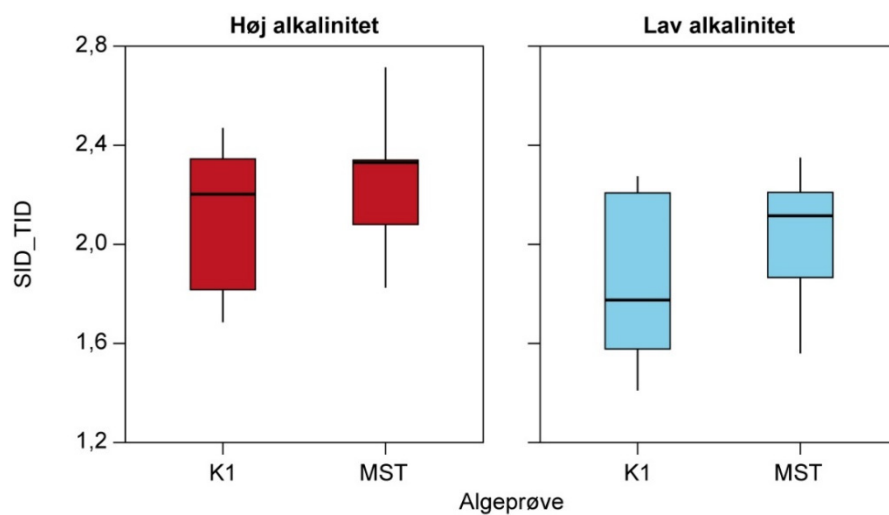
Behandling ID	P-koncentration i algesubstrater (mol P/L agar)	Frigivelsesrate til 1 L vand (3 uger; n=11) (μ g/L*dag)	Frigivelsesrate til 1 L vand (1 uge; n=4) (μ g/L*dag)
K1	0,000	Nd	Nd
K2	0,001	17 $\pm$ 8	12 $\pm$ 2
K3	0,010	171 $\pm$ 60	118 $\pm$ 19
K4	0,100	2222 $\pm$ 1694	1360 $\pm$ 287
K5	0,500	11057 $\pm$ 13144	3585 $\pm$ 2959

Efter tre ugers koloniseringstid i vandløbene blev der gennemført en algeprøvetagning som beskrevet i den tekniske anvisning (https://bios.au.dk/fileadmin/bioscience/Fagdatacentre/Ferskvand/V21_fytobenthos_i_vandloeb_version4.pdf). Dog blev algeprøvetagningen foretaget på de kunstige algesubstrater i stedet for på naturlig substrat som beskrevet i den tekniske anvisning.

Algeprøverne blev sendt til Storbritannien til bestemmelse hos den algespecialist, som står for bestemmelserne i NOVANA-prøvetagningen (Gina Henderson). Herefter blev algeindekset SID_TID beregnet (Andersen et al., 2018). Indekset er baseret på sammensætningen af alger og udviklet til at afspejle graden af næringsstofbelastning og organisk stofbelastning. SID_TID beregnes ud fra SID (Rott et al., 1997; Rott et al., 2003) og TID (Rott et al., 1999), som følger: $((SID+TID) / 2)$ (Andersen et al., 2018). SID er målrettet identifikation af påvirkning fra organisk stof, mens TID er målrettet identifikation af næringsstofbelastning. SID_TID bygger på forekomst og hyppighed af 650 almindelige arter af benthiske alger.

Eftersom prøvetagningen blev gennemført med 10-13 dages forsinkelse i forhold til den benthiske algeprøvetagning i NOVANA-regi, gennemførte MST en NOVANA-prøvetagning i de samme vandløb inden for den i den tekniske anvisnings angivne tidsramme. Der var ikke signifikant forskel på SID_TID-værdier for algeprøver indsamlet af MST og algeprøver fra de kunstige substrater (begrænset til den delmængde, hvor der ikke blev tilsat fosfor til det kunstige substrat, dvs. K1) indsamlet 10-13 dage senere (Figur 2; students t-test, $p>0,05$). Det betyder, 1) at SID_TID-beregningen ikke er påvirket af det senere prøvetagningstidspunkt, og 2) at SID_TID-værdierne ikke varierer mellem MST-prøvetagningen, som blev gennemført på naturlige substrater, og vores prøvetagning, der blev gennemført på de kunstige algesubstrater.

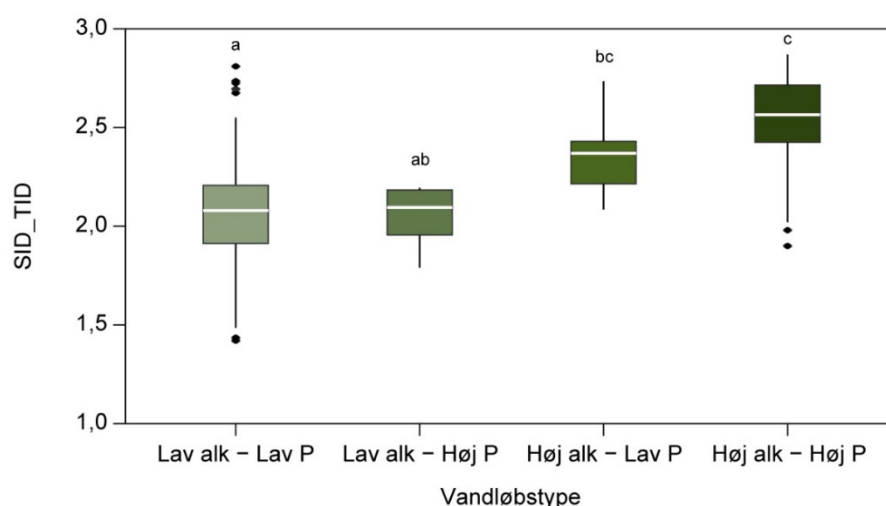
Figur 2. Boxplot, der viser fordeling af SID_TID-værdier for algeprøver indsamlet på kunstigt algesubstrat (K1) og indsamlet af MST (MST). Boxen afgrænser 25-75 %-fraktiler, og lodrette streger strækker sig fra disse fraktiler til henholdsvis laveste og højeste værdi inden for intervallerne $1.5 \cdot \text{IQR}$, hvor IQR er intervallet mellem 25-75 %-fraktilerne. Data-punkter uden for disse lodrette streger udgør outlier-værdier.



5 Resultater

5.1 SID_TID-indeksværdier for NOVANA vandløbene

SID_TID-indeksværdier varierer i vandløb fra NOVANA-programmet, som dækker henholdsvis høj- og lav-alkaline vandløb med henholdsvis høje og lave P-niveauer. Således finder vi, at SID_TID-værdierne generelt er højere i de høj-alkaline vandløb end i de lav-alkaline vandløb, uanset om P-koncentrationen er høj eller lav (Figur 3). Sammenlignes SID_TID-værdierne viser det sig, at i vandløb med lav alkalinitet og lavt P-niveau antager indekset signifikant lavere værdier end dem, vi finder i vandløb med høj alkalinitet uanset P-niveauet (ANOVA, $p < 0,05$) (a-bc-c). Men vi finder også, at SID_TID-indekset i lav-alkaline vandløb med højt P-niveau er sammenligneligt med det, vi finder i høj-alkaline vandløb med lavt P-niveau (ab-bc), og samtidig er det lavere end det, vi finder i vandløb med høj alkalinitet og højt P-niveau (ANOVA; $p < 0,05$) (ab-c, Figur 3). I denne sammenhæng skal dog understreges, at der for nogle af vandløbsgrupperne kun er ganske få observationer og at der kunne have tegnet sig et anderledes billede, hvis det havde været muligt at integrere flere vandløb i analysen.

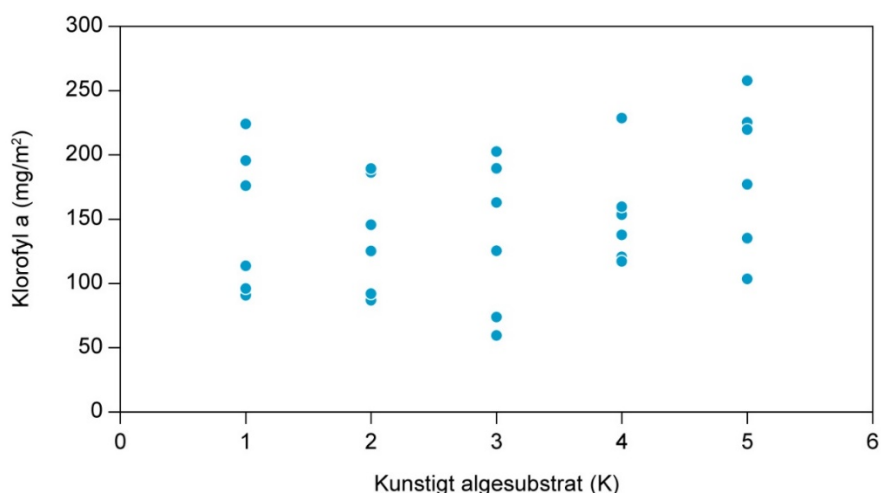


Figur 3. Boxplot af fordeling af SID_TID-indeksværdier for NOVANA-vandløb med 1) lav alkalinitet og lav PO_4^{3-} -koncentration (N=87), 2) lav alkalinitet og høj PO_4^{3-} -koncentration (N=4), 3) høj alkalinitet og lav PO_4^{3-} -koncentration (N=9) og 4) høj alkalinitet og høj PO_4^{3-} -koncentration (N=49). Boxen afgrænser 25-75 %-fraktiler, og lodrette streger strækker sig fra disse fraktiler til henholdsvis laveste og højeste værdi inden for intervallerne $1,5 \cdot \text{IQR}$, hvor IQR er intervallet mellem 25-75 %-fraktilerne. Datapunkter uden for disse lodrette streger udgør outlier-værdier. Forskellige bogstaver (a, b, c) mellem grupperne angiver statistisk signifikant forskel ($\alpha=0,05$).

5.1.1 Benthiske algesamfund og SID_TID-indeksværdier i forsøgs-vandløbene

Vi kunne ikke se en entydig effekt af tilsætningen af P til de kunstige algesubstrater (K2-K5) på biomassen af alger vurderet ud fra indholdet af klorofyl a, hvilket ellers var forventet (Figur 4; ANOVA, $p > 0,05$). Der er heller ikke nogen signifikant sammenhæng mellem klorofyl a-indholdet og P-niveauet (udtrykt som K1-K5), når vi ser på vandløbene hver for sig (dog undtaget Illerup å, hvor der er en negativ sammenhæng; Tabel 3). Det samme billede tegner sig, når vi ser på biomassen af de benthiske kiselalger alene (Tabel 3).

Figur 4. Biomassen af alger i lav- og høj-alkaline vandløb langs en P-gradient (K1-5) udtrykt ved indhold af klorofyl a (mg/m^2).



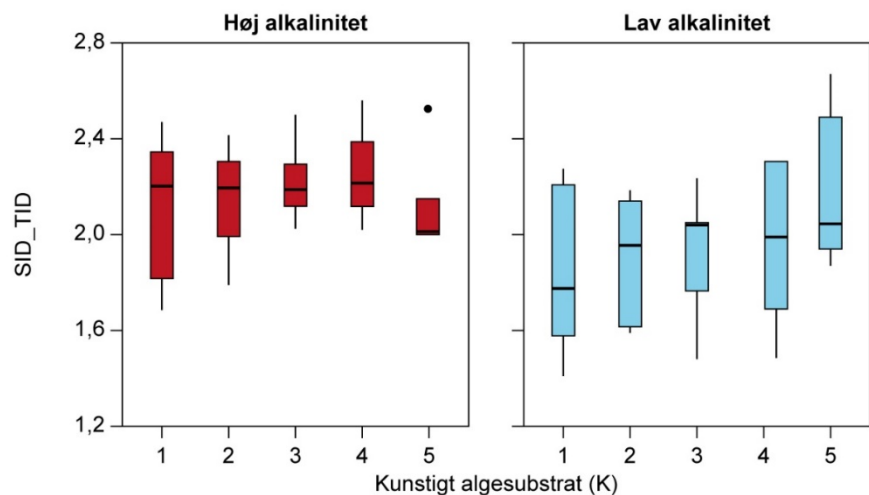
Tabel 3. Sammenhæng (lineær regression) mellem indhold af hhv. total klorofyl a og mængden af bentiske kiselalger i algeprøverne K1-5 inden for hvert vandløb samt for vandløbene samlet. N angiver antallet af algeprøver (K1-5) i analysen. * angiver signifikant sammenhæng på $P=5\%$ -niveau.

Vandløb	Klorofyl a			Bentiske kiselalger		
	Hældning	F-ratio	P-værdi	Hældning	F-ratio	P-værdi
Gudenå (N=5)	0,85	5,23	0,15	0,87	5,99	0,13
Haller (N=5)	0,67	1,59	0,33	0,76	2,71	0,24
Hjølund (N=5)	0,41	0,42	0,59	0,47	0,55	0,53
Idom (N=5)	0,26	0,15	0,74	0,02	<0,01	0,98
Illerup (N=5)	0,99	79,28	0,01*	0,49	0,62	0,51
Rind (N=5)	0,88	6,90	0,12	0,95	20,22	0,046*
Alle (N=30)	0,34	8,72	0,01*	0,37	4,32	0,047*

På trods af det lave fosforindhold i vandløbsvandet ved undersøgelsestidspunktet er indholdet af klorofyl a relativt højt på alle substrater, også de substrater, hvor der ikke er tilsat fosfor (K1; $85,8\text{--}382,1 \text{ mg}/\text{m}^2$) (Figur 4), når vi sammenligner med de niveauer af bentisk klorofyl a, der er rapporteret i andre studier fra vandløb med lav P-koncentration. Eksempelvis viser flere undersøgelser et klorofyl a-indhold, der er mindre end $65 \text{ mg ch a m}^{-2}$ i vandløb med mindre end $0,015 \text{ mg PO}_4^{3-}\text{-P L}^{-1}$ (Biggs et al., 1998; Townsend & Padovan, 2005; Tank et al., 2018; Baattrup-Pedersen et al., 2020). Den store variation i klorofyl a kan afspejle forskelle i både abiotiske forhold, såsom strømhastighed, samt biotiske forhold, såsom græsningstryk. Imidlertid finder vi heller ikke, at SID_TID-indekset ændrer sig signifikant som funktion af stigende fosforniveau i det kunstige substrat, hverken i de lav-alkaline eller høj-alkaline vandløb (Figur 5; covariansanalyse, $p>0,05$).

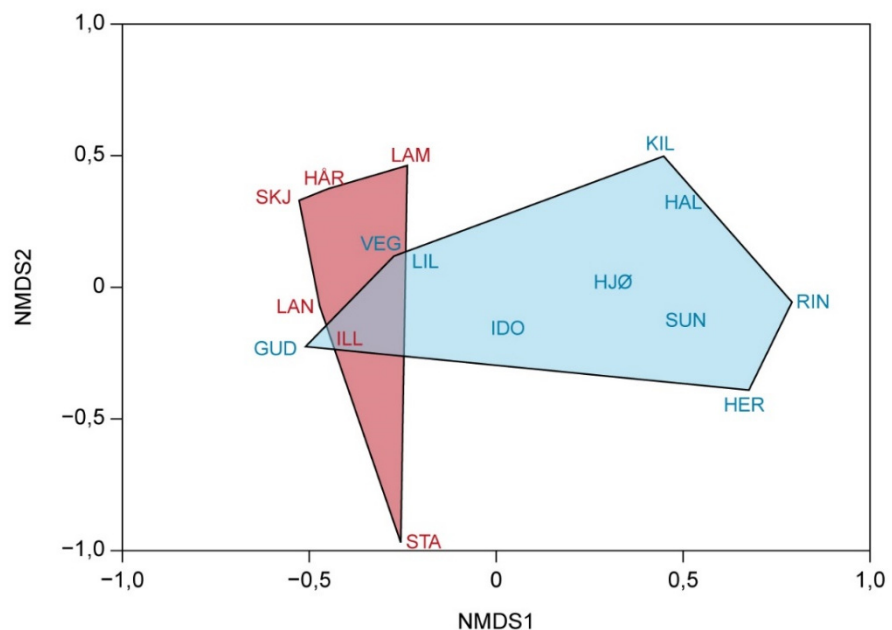
På den baggrund finder vi det vanskeligt at vurdere, om de bentiske kiselalgesamfund har oplevet forskelle i fosfortilgængeligheden på de forskellige substrater (K1-K5) - det kommer i hvert fald ikke til udtryk i resultaterne. Derfor vælger vi at fokusere på at belyse, hvordan algesamfundene ser ud på substrater, hvor der ikke er tilsat fosfor, hvilket også er fyldestgørende i forhold til at indfri formålet, som er i) at analysere, hvordan det bentiske algeindeks for vandløb SID_TID varierer i vandløb med forskellig alkalinitet, og ii) at undersøge, om høj alkalinitet alene kan forårsage, at vandløb ikke kan opfylde miljømålet god økologisk tilstand med anvendelse af indekset.

Figur 5. SID_TID i høj- og lav-alkaline vandløb langs en P-gradient udtrykt ved K1-5.



De benthiske kiselalgesamfund varierer mellem de vandløb, der indgik i det kontrollerede forsøg, hvilket især kan tilskrives forskelle i vandløbenes alkalinitet (Figur 6; Tabel 4). I NMDS-analysen ligger de lav-alkaline vandløb således mod højre i biplottet (Figur 6; blå felt; Gudenå, Haller å, Herborg bæk, Hjøllund bæk, Idom å, Kildebæk, Lillebæk, Rind å, Sunds Møllebæk og Vegen å), mens de høj-alkaline vandløb ligger mod venstre (Figur 6; rødt felt; Hårby å, Illerup å, Lammebæk, Landbæk, Skjold å og Stamperenden). Dette ses også af tabel 4, hvoraf det fremgår, at NMDS1-akseværdierne korrelerer negativt med vandløbsvandets alkalinitet ($r=-0,55$; $P<0,05$).

Figur 6. Algesamfund på alge-substrater uden tilsat $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ plottet (K1) efter NMDS-aksesco-rer. Blå polygon = vandløb med lav alkalinitet ($N=10$). Rød polygon = vandløb med høj alkalinitet ($N=6$). Stationsnavne er givet i Tabel 1.



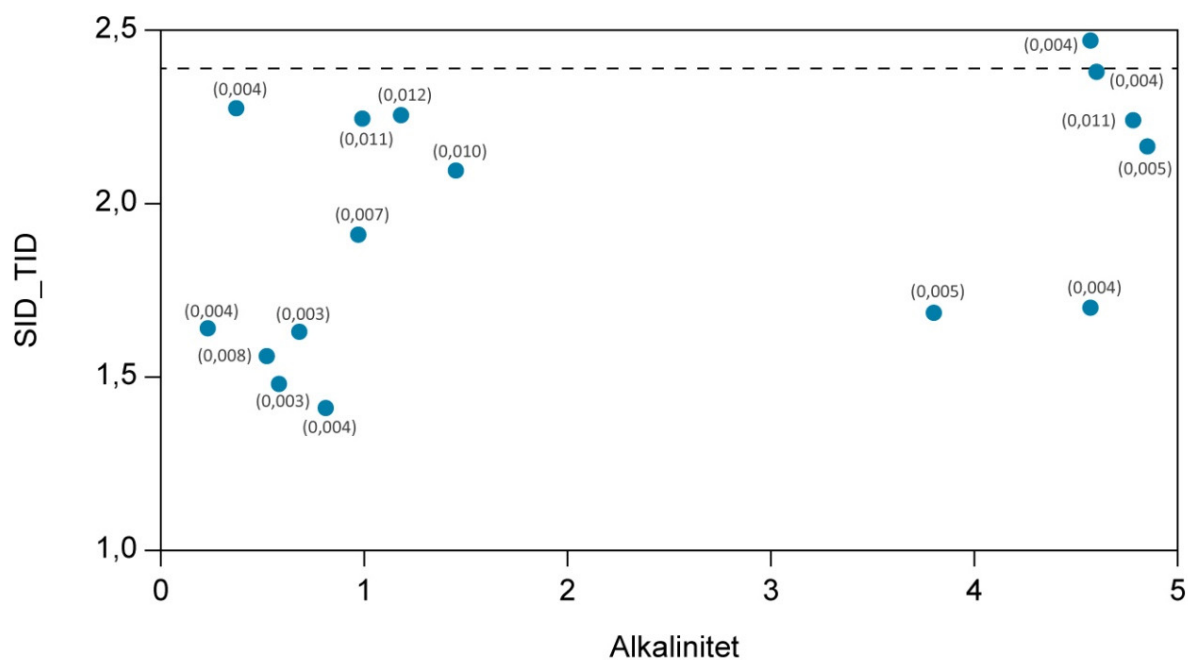
Vi finder også, at forskelle i kiselalgesamfundene afspejles i SID_TID-værdierne, som er beregnet ud fra algesammensætningen i vandløbene. Vi finder således, at der er en negativ korrelation mellem NMDS1-akseværdier og SID_TID-værdierne ($R=-0,52$; $p<0,05$; Tabel 4), hvilket betyder, at SID_TID-værdierne stiger med vandløbsvandets alkalinitet. Dette kan også ses i Figur 7, som dog også viser, at der er stor variation i SID_TID-indeksværdierne uafhængig af alkaliniteten. Vi finder til gengæld ikke, at SID_TID-værdierne er signifikant korreleret til fosforniveauet i vandløbsvandet ($r=-0,41$; $p>0,05$; Tabel 4), hvilket også fremgår af Figur 7, hvor der ikke ses noget mønster i forhold til

fosforkoncentrationen målt i forbindelse med algeprøvetagningen (angivet i parentes i Figur 7).

Tabel 4. Signifikante sammenhænge (korrelationsanalyse, p-værdier, $\alpha=0,05$) mellem NMDS-akser og hhv. abiotiske og biotiske parametre for K1-algeprøverne (N=16).

	NMDS1			NMDS2		
	Hældning	F	P	Hældning	F	P
Abiotiske parametre						
Strømhastighed	0,30	0,21	0,43	-0,22	-0,21	0,43
PO ₄ ³⁻	-0,45	-0,41	0,11	0,06	-0,02	0,94
NO ₃ ⁻	0,09	-0,14	0,60	-0,26	-0,09	0,75
Alkalinitet	-0,42	-0,55	0,03*	0,18	-0,02	0,95
Biotiske parametre						
Klorofyl a	-0,39	-0,36	0,17	-0,63	-0,56	0,03*
Kiselalger	-0,28	-0,15	0,57	-0,57	-0,48	0,06
SID_TID	-0,61	-0,52	0,04*	0,30	0,46	0,07

De fundne resultater viser altså, at SID-TID-værdien kan variere fra 1,4 til 2,4 mellem vandløb, der har relativt lave fosforkoncentrationer (<0,013 mg/L, Figur 7). Vi finder desuden, at i ét af vandløbene er SID_TID-indeksværdien højere end 2,39, som er den grænse, der er valgt for målopfyldelse ved anvendelse af SID_TID-indekset trods en P-koncentration på kun 0.004 mg/L (Figur 7; den ene station, der ligger over den stiplede linje).



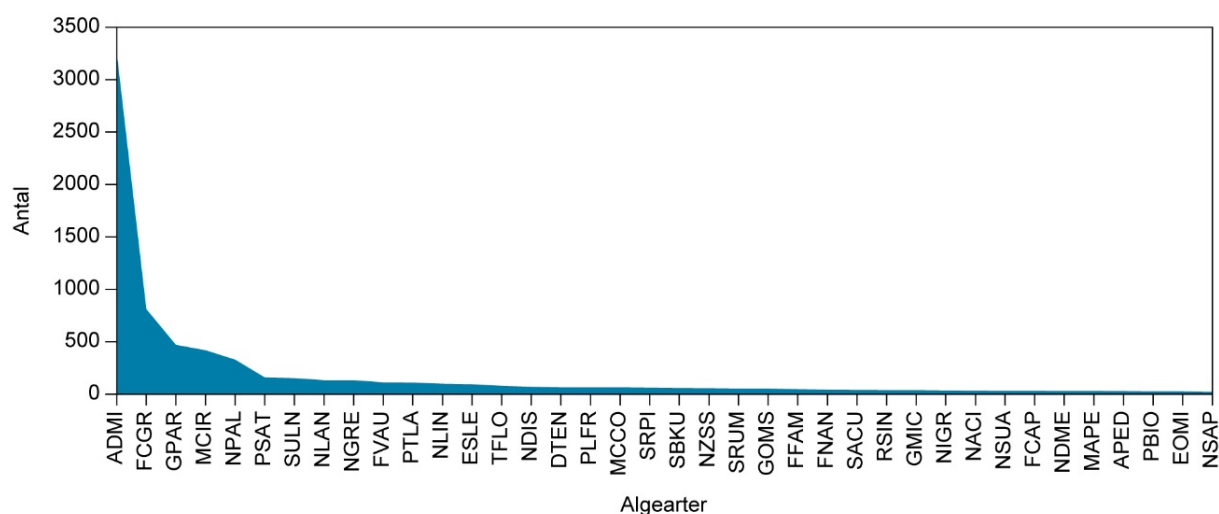
Figur 7. SID_TID-indeksværdierne for algesamfund på algesubstrater uden tilsat PO₄³⁻-P (K1) plottet langs en alkalinitetsgradient (meqv/L), hvor der for hver indekseværdi er angivet den tilhørende fosforkoncentration (mg/L). Den horisontale linje angiver SID_TID-grænseværdien for målopfyldelse (2,39), dvs. SID_TID-værdier under strengen er i målopfyldelse. N=16.

5.2 Bentiske kiselalgearter, alkalinitet og følsomhed over for uorganisk fosfor

Med henblik på at belyse, om der kan være særlige algearter eller grupper af arter, der kan anvendes til at se nærmere på betydningen af $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ og alkalinitet for SID_TID-indeksberegningen, undersøges fordelingen af en række arter nærmere. De arter, der undersøges, er 1) hyppigt til stede i vandløbene, 2) knyttet til NMDS1-aksen og fordeler sig således langs en gradient i alkalinitet og SID_TID-indeksværdierne jf. tabel 4, og 3) kan identificeres som indikatorarter for henholdsvis høj- eller lav-alkaline vandløb. Disse særlige algearter sammenholdes med arter, der tidligere er identificeret som arter, der enten er følsomme eller robuste over for øgede fosforkoncentrationer i danske vandløb (Andersen et al., 2018).

Arter hyppigt til stede i vandløbene

Indledningsvist kan vi se, at det kun er ganske få arter, der for alvor er hyppige i vandløbene (Figur 8). Disse arter, samt arternes indikatorværdier, der udtrykker, i hvor høj grad arterne kan indikere påvirkning af henholdsvis organisk belastning og belastning med næringsstoffer, kan ses i Tabel 5 sammen med arternes følsomhed over for organisk forurening i form af et saprobietal og arternes følsomhed over for næringsstoffer i form af et trofisk tal, hvor følsomheden kan variere mellem 0-4 (Pfister et al., 2016). Værdier tæt på 0 indikerer høj grad af følsomhed, og værdier tæt på 4 indikerer høj grad af robusthed. Værdier for arter fundet i dette studie ligger i intervallet 1,0-3,5 for saprobietallet og 0,6-3,8 for det trofiske tal.



Figur 8. Algearternes abundans (total antal observationer i alle 16 vandløb) i K1-prøverne. Arter med abundans < 20 observationer er ikke vist på figuren. De fulde artsnavne kan findes i Appendiks 1.

Tabel 5. De 20 mest abundante algearter for K1-algesubstraterne fra de 16 vandløb med værdier for abundans (total antal observationer i alle vandløb), SID-indikatorværdi, TID-indikatorværdi, saprobiel (følsomhed over for organisk stof, interval 0-4) og trofisk tal (følsomhed over for næringsstoffer, interval 0-4) angivet. NA angiver, at værdien ikke er tilgængelig.

Art	Abundans	SID-indikatorværdi	TID-indikatorværdi	Saprobietal	Trofisk tal
ADMI	3253	1	1	1,7	1,2
FCGR	810	4	2	1,3	1,1
GPAR	470	NA	2	2,6	3,6
MCIR	419	3	2	1,9	2,5
NPAL	329	NA	3	2,8	3,3
ASAT	159	4	2	1,1	2,1
SULN	153	NA	4	2,7	3,5
NLAN	134	3	4	2,3	3,5
NGRE	134	2	4	2,5	3,5
FVAU	112	2	1	2,5	1,8
PTLA	111	NA	3	2,3	3,3
NLIN	99	2	4	1,9	3,4
CSLE	94	NA	NA	2,0	2,0
TFLO	80	4	2	1,1	0,8
NDIS	69	3	2	2,0	2,4
DTEN	65	4	3	1,3	1,4
ALFR	65	NA	3	2,5	2,8
MCCO	64	4	2	1,2	1,2
FPIN	61	3	1	1,4	2,2
SBKU	58	NA	NA	NA	NA

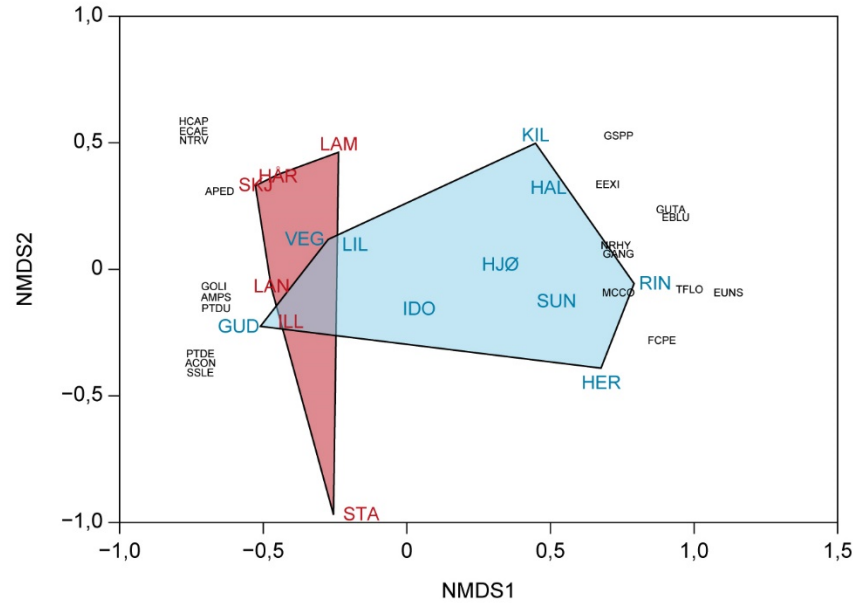
Arter, der afspejler vandløbsvandets alkalinitet

I Tabel 6 ses de arter, som især er knyttet til NMDS akse 1, samt arternes ak-sescore. Arterne er endvidere markeret på Figur 9. De arter, der ses til højre i figuren, er især hyppige i vandløb med lav alkalinitet, mens arter til venstre i figuren er hyppige i vandløb med høj alkalinitet.

Tabel 6. De 10 arter, der trækker hhv. mest negativt og positivt i algesamfundenes indekssværdi ifølge NMDS-analysen for K1-algeprøverne.

K1	
Art	NMDS1
EUNS	1,12
TFLO	0,98
EBLU	0,93
GUTA	0,91
FCPE	0,89
GSPP	0,73
GANG	0,73
MCCO	0,73
NRHY	0,73
EEXI	0,70
APED	-0,65
PTDU	-0,67
AMPS	-0,67
GOLI	-0,67
PTDE	-0,72
ACON	-0,72
SSLE	-0,72
HCAP	-0,74
NRTV	-0,74
ECAE	-0,74

Figur 9. Arter af betydning for SID_TID i K1. Blå polygon = lav alk, rød polygon = høj alk. Artsnavne kan findes i appendiks 1 og stationsnavne i Tabel 1.



Indikatorarter for høj- og lav alkaline vandløb

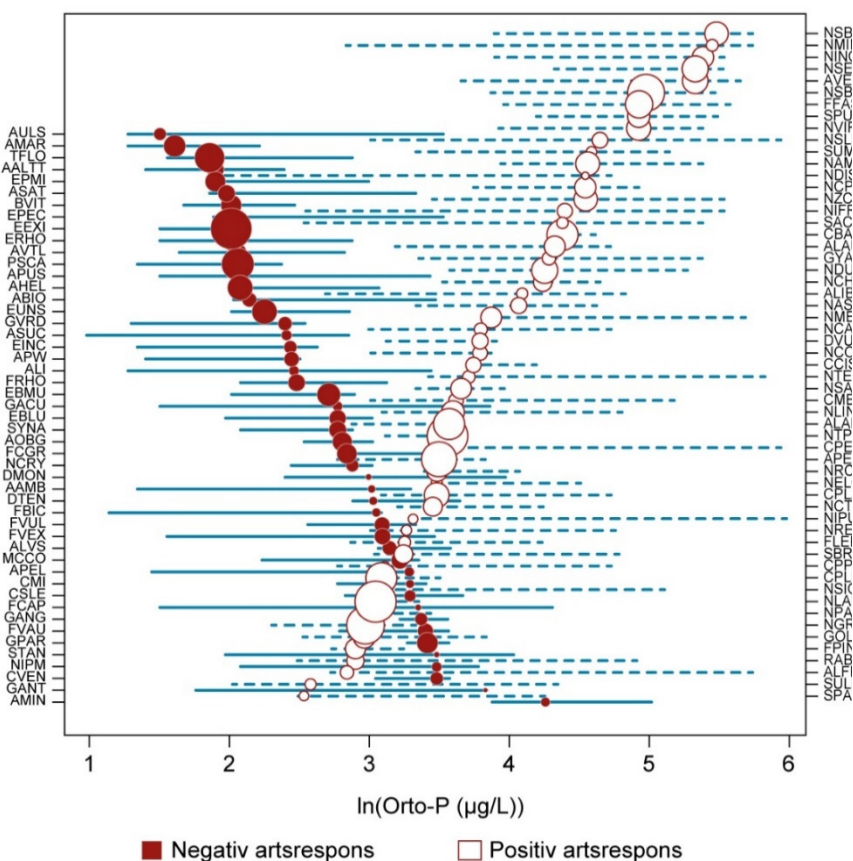
Artsindikatoranalysen identificerer arter, som i særlig grad er knyttet til henholdsvis høj- og lav-alkaline vandløb (Tabel 7). Analysen identificerede to arter som indikatorarter for høj-alkaline vandløb (NLIN og DTEN). Disse arter er samtidig i top-20 over abundante arter i vandløbene og dermed hyppigt forekommende. Analysen identificerede også to arter (GPAR og FVAU) som indikatorarter for lav-alkaline vandløb. Disse er ligeledes i top-20 over abundante arter i vandløbene.

Tabel 7. De 9 mest signifikante indikatorarter for vandløb med hhv. høj og lav alkalinitet ifølge artsindikatoranalysen for K1-algeprøverne (N=16). Artsnavne fremgår af appendiks 1. Korrelationskoefficienten angiver, hvor stærkt arten er associeret til alkalinitetsniveauet, mens * angiver statistisk signifikans $\alpha=0,05$.

Indikatorart	Høj alkalinitet		Indikatorart	Lav alkalinitet	
	korrelationskoefficient	p-værdi		korrelationskoefficient	p-værdi
NINT	0,51	0,03*	SRUM	0,59	0,01*
SACU	0,49	0,045*	FVAU	0,54	0,02*
NREC	0,48	0,045*	PBIO	0,48	0,03*
DTEN	0,44	0,04*	GPAR	0,40	0,04*
NLIN	0,41	<0,01*			

Efterfølgende er de arter, der er identificeret som enten særligt hyppige arter, arter, som er stærkt knyttet til NMDS akse 1, eller arter, som er indikatorarter for henholdsvis høj- og lav-alkaline vandløb, sammenholdt med arter, der tidligere er fundet at være enten særligt følsomme eller robuste over for fosfor i danske vandløb (Figur 10; fra Andersen et al., 2018; Figur 7.3). Arterne kan ses i Tabel 8.

Figur 10. Figur fra Andersen et al. (2018; Figur 7.3), der viser arter, der responderer positivt og negativt på stigende P-koncentration i vandløbsvand. Resultaterne er fremkommet ved en TITAN-analyse, hvor forekomsten af de individuelle arter sættes i forhold til koncentrationen af $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ -koncentrationen ($\ln$ transformeret) i vandløbsvand (fuldt optrukne og stiplede vandrette linjer). For hver art er desuden identificeret et change point (fyldt cirkel for arter med negativ respons på øget $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ -koncentration, tomme cirkler for arter med positiv respons på øget $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ -koncentration, hvor størrelsen på cirklen angiver betydningen; dvs. jo større cirkel, jo stærkere respons. Bemærk: Artskoden for femtenderste art i rækken af arter med positiv respons, FPINN, er forkert benævnt i figuren. Den korrekte benævnelse er FPIN.



Tabel 8. Arter fra Tabel 5-7, der tidligere er fundet væsentlige for SID_TID i danske vandløb (Andersen et al., 2018; Figur 7.3) og anses for at være hhv. følsomme og robuste over for fosforkoncentrationen i vandløbsvand.

Metode	P-følsomme arter	P-robuste arter
Abundans	ASAT	ALFR
	CSLE	FPIN
	DTEN	NDIS
	FCGR	NGRE
	FVAU	NLAN
	GPAR	NLIN
	MCCO	NPAL
	TFLO	SULN
NMDS	EBLU	APED
	EEXI	GOLI
	EUNS	
	GANG	
	MCCO	
	TFLO	
Artsindikatoranalyse	DTEN	NLIN
	FVAU	SACU
	GPAR	

Det fremgår af Tabel 8, at mange af arterne fundet i vores undersøgelse tidligere er identificeret som værende enten følsomme eller robuste over for fosfor. Blandt de følsomme arter er GPAR og FVAU identificeret som indikatorarter for lav-alkaline vandløb, og DTEN, NLIN og SACU er identificeret som indikatorarter for de høj-alkaline vandløb. Det betyder, at alkalinitet også spiller en rolle for disse arter. På den baggrund har vi undersøgt, hvordan arternes hyppighed er relateret til vandløbsvandets alkalinitet, Tabel 9. Det fremgår, at arterne enten bliver hyppigere, når alkaliniteten øges, eller mindre hyppige, når alkaliniteten øges.

Tabel 9. Sammenhæng (lineær regression) mellem de væsentlige arters hyppighed og alkalinitet. * angiver statistisk signifikans $\alpha=0,05$.

Art	Alkalinitet		
	Hældning	F	p
ALFR	0,330	97,84	<0,01*
APED	0,914	68,18	<0,01*
ASAT	-2,665	110,42	<0,01*
CSLE	-0,035	58,51	<0,01*
DTEN	1,151	73,42	<0,01*
EBLU	-0,734	11,91	<0,01*
EEXI	-2,55	9,55	<0,01*
EUNS	-0,905	4,87	0,03*
FCGR	-0,391	556,58	<0,01*
FPIN	0,416	228,66	<0,01*
FVAU	-0,863	165,69	<0,01*
GANG	-1,272	7,18	0,01*
GOLI	0,624	12,78	<0,01*
GPAR	-1,089	668,22	<0,01*
MCCO	-3,251	91,14	<0,01*
NDIS	0,214	14,26	<0,01*
NGRE	0,517	372,50	<0,01*
NLAN	0,271	73,59	<0,01*
NLIN	1,326	129,48	<0,01*
NPAL	-0,081	20,17	<0,01*
SACU	1,152	39,47	<0,01*
SULN	0,389	88,49	<0,01*
TFLO	-0,966	166,02	<0,01*

Efterfølgende sammenligninger viser endvidere, at hovedparten af arterne både øges i hyppighed, når alkaliniteten stiger, og når fosforniveauet stiger (baseret på resultaterne fra Andersen et al., 2018). Det gælder ALFR, FPIN, GOL, NDIS, NGRE, NLIN, SACU og SULN (Tabel 10). Der er også en række arter, der bliver mindre hyppige, når både fosforniveauet og alkaliniteten stiger. Det gælder ASAT, CSLE, EEXI, FCGR, FVAU, GPAR, MCCO og TFLO (Tabel 10).

Til gengæld er det kun få arter, der udviser en modsatrettet respons på henholdsvis fosfor og alkalinitet. Således er det kun DTEN, der bliver mindre hyppig, når fosforniveauet stiger, samtidig med at den bliver mere hyppig, når alkaliniteten stiger, mens det kun er NPAL, der bliver mere hyppig, når

fosforniveauet stiger, og mindre hyppig, når alkaliniteten stiger. Der er generelt god overensstemmelse i de angivne fosforfølsomheder for arterne i Tabel 10, når vi sammenligner den følsomhed / robusthed, der blev fundet tidligere af Andersen et al. (2018), og den følsomhed / robusthed, der kan findes i den internationale litteratur (uddybelse af den internationale litteratur kan ses i appendiks 2). I alt syv arter er registreret som værende både følsomme (-) og robuste (+) over for fosfor i den internationale litteratur, mens Andersen et al. (2018) finder, at arterne er enten følsomme eller robuste.

Tabel 10. De væsentlige arters saprobie- og trofiske tal i algedatabasen OMNIDIA samt arternes respons på alkalinitet. Desuden fremgår arternes P-respons som angivet i a) Andersen et al. (2018) og b) den internationale litteratur (uddybelse af den internationale litteratur kan ses i appendiks 2). Kolonne c angiver, hvilken økologisk tilstandsklasse arten er karakteristisk for ifølge Kelly et al. (2008), hvor * angiver, at arten er særlig karakteristisk for tilstandsklassen. NA angiver, at værdien ikke er tilgængelig.

Art	Artsnavn	Saprob-tal	Trofisk tal	Alk-respons	P-respons		
					a	b	c
ALFR	<i>Achnanthes lanceolata</i> ssp. <i>frequentissima</i>	2,5	2,8	+	+	+	*God *Moderat
APED	<i>Amphora pediculus</i>	2,1	2,8	+	+	- / +	*Ringe/Dårlig
ASAT	<i>Achnanthes subatomoides</i>	1,1	2,1	-	-	0	*Høj
CSLE	<i>Cymbella silesiaca</i>	2,0	2,0	-	-	-	*God
DTEN	<i>Diatoma tenue</i>	1,3	1,4	+	-	-	*Høj
EBLU	<i>Eunotia bilunaris</i>	1,7	0,7	-	-	-	*Høj
EEXI	<i>Eunotia exigua</i>	1,1	1,9	-	-	-	*God
EUNS	<i>Eunotia</i> sp.	NA	NA	-	-	- / 0 / +	*Høj
FCGR	<i>Fragilaria capucina</i> var. <i>gracilis</i>	1,3	1,1	-	-	NA	NA
FPIN	<i>Fragilaria pinnata</i>	1,4	2,2	+	+	0	*Moderat *Ringe/Dårlig
FVAU	<i>Fragilaria vaucheriae</i>	2,5	1,8	-	-	- / 0 / +	*Høj
GANG	<i>Gomphonema angustatum</i>	1	NA	-	-	- / 0 / +	Moderat
GOLI	<i>Gomphonema olivaceum</i>	2,1	2,9	+	+	+ / -	Ringe/Dårlig
GPAP	<i>Gomphonema parvulum</i>	2,6	3,6	-	-	+	*God
MCCO	<i>Meridion circulare</i> var. <i>constrictum</i>	1,2	1,2	-	-	-	*Høj
NDIS	<i>Nitzschia dissipata</i>	2,0	2,4	+	+	- / +	God
NGRE	<i>Navicula gregaria</i>	2,5	3,5	+	+	+	*Moderat *God
NLAN	<i>Navicula lanceolata</i>	2,3	3,5	+	+	0	*Moderat
NLIN	<i>Nitzschia linearis</i>	1,9	3,4	+	+	0	*Moderat *Ringe/Dårlig
NPAL	<i>Nitzschia palea</i>	2,8	3,3	-	+	+	*Moderat
SACU	<i>Synedra acus</i>	NA	1,8	+	+	0	Moderat
SULN	<i>Synedra ulna</i>	2,7	3,5	+	+	- / 0 / +	*Høj
TFLO	<i>Tabellaria flocculosa</i>	1,1	0,8	-	-	-	*Høj

+ og - angiver hhv. positiv og negativ respons på øget P-koncentration. I tilfælde, hvor der er angivet både + og -, er det første tegn et udtryk for, hvilken respons der er registreret flest gange i den internationale litteratur. 0 angiver neutral respons.

Der er desuden god overensstemmelse mellem arternes fosforfølsomhed og den økologiske tilstandsklasse, hvor de typisk forekommer (Kelly et al., 2008; Tabel 10). Arter som fx ASAT, CSLE, DTEN og EEXI, der angives som følsomme over for fosfor, er således også karakteristiske for vandløb med god og høj økologisk tilstand, mens arter som fx APED og GANG er karakteristiske for vandløb med ringe/ dårlig og moderat økologisk tilstand. Tendensen for ALFR, NGRE og SULN er dog ikke helt tydelig, idet ALFR og NGRE er særlig karakteristiske for både moderat og god økologisk tilstand, og SULN er særlig karakteristisk for høj økologisk tilstand, samtidig med at alle tre arter er robuste over for fosfor.

6 Konklusion

Formålet med projektet var i) at analysere, hvordan det bentiske algeindeks for vandløb, SID_TID, varierer i vandløb med forskellig alkalinitet, og ii) at undersøge, om høj alkalinitet alene kan forårsage, at vandløb ikke kan opfylde miljømålet god økologisk tilstand med anvendelse af indekset.

Analyserne viser, at der er stor variation i SID_TID-indeksværdierne i både de høj- og lav-alkaline vandløb, hvor indekset varierer mellem 1,41 og 2,23 i de lav-alkaline vandløb og mellem 1,69 og 2,47 i de høj-alkaline vandløb.

Analyserne viser også, at SID_TID-indeksværdier er højere i vandløb med høj alkalinitet sammenlignet med vandløb med lav alkalinitet uanset fosforniveauet, både når vi ser på SID_TID-indeksværdier beregnet for NOVANA-vandløbene og SID_TID-indeksværdier beregnet for forsøgsvandløbene. Det betyder, at SID_TID-indekset kan antage relativt høje værdier, selvom den målte P-koncentration i vandløbsvandet er lav.

På baggrund af analyserne i denne rapport kan det derfor konkluderes, at høj alkalinitet uden samtidig målbar påvirkning fra fosfor kan bevirke, at vandløb ikke lever op til miljømålet god økologisk tilstand med anvendelse af SID_TID-indekset.

Analyserne viser også, at hovedparten af de arter, vi har identificeret som værende væsentlige både i forhold til arternes hyppighed i vandløbene og som indikatorer for henholdsvis høj og lav alkalinitet, bliver hyppigere, både når vandløbsvandets alkalinitet øges, og når fosforniveauet øges. Dog kan der identificeres enkelte kiselalgearter, der både indgår i SID_TID-indeksberegningen, og som samtidig kan adskille betydningen af henholdsvis alkalinitet og fosfor for SID_TID-indeksberegningen. Således bliver DTEN og GPAR mindre hyppige, når fosforniveauet stiger, samtidig med at de bliver mere hyppige, når alkaliniteten stiger, mens NPAL bliver mere hyppig, når fosforniveauet stiger, og mindre hyppig, når alkaliniteten stiger.

De her afrapporterede resultater viser, at det ikke på baggrund af den eksisterende viden er muligt at vurdere, i hvor høj grad en tilstandsvurdering med SID_TID afspejler niveauer af fosfor eller alkalinitet, og at der derfor er behov for en videreudvikling af indekset. Denne videreudvikling kan naturligt tage afsæt i de kiselalgearter, der, som nænt ovenfor, kan adskille betydningen af henholdsvis alkalinitet og fosfor. SID_TID-indekset kan dog godt i sin nuværende form anvendes i alle danske vandløb som tidligere anbefalet i Andersen et al. (2018), men der er behov for mere viden for at kunne planlægge indsatser i disse, såfremt der ikke er målopfyldelse.

7 Perspektivering

De gennemførte analyser viser, at flere af de kiselalgearter, der spiller en rolle for SID_TID-indeksberegningen, kan forekomme med forskellig hyppighed afhængig af vandløbsvandets alkalinitet. Blandt de arter, vi har kigget nærmere på, der er hyppigt til stede i vandløbene, og som kan identificeres som indikatorarter for henholdsvis høj- og lav-alkaline vandløb, finder vi tre arter med et unikt respons. Således bliver DTEN og GPAR mindre hyppige, når fosforniveauet stiger, samtidig med at de bliver mere hyppige, når alkaliniteten stiger, mens NPAL bliver mere hyppig, når fosforniveauet stiger, og mindre hyppig, når alkaliniteten stiger. Med henblik på at vurdere betydningen af fosfor i en tilstandsvurdering med SID_TID kan det derfor være nødvendigt at kende til vandløbsvandets alkalinitet og at inddrage dette i vurderingen. På baggrund af de her gennemførte analyser foreslås følgende:

- 1) Nærmere analyse af, om der kan identificeres et niveau for alkalinitet, der kan anvendes til at tilpasse grænsefastsættelsen mellem økologiske tilstandsklasser med anvendelse af SID_TID, således at denne tager højde for vandløbsvandets alkalinitet.
- 2) Nærmere analyse af hyppigheden af bentiske algearter ved forskellige tilgængeligheder af fosfor i høj- og lav-alkaline vandløb med det formål at identificere arter og / eller kritiske hyppigheder af disse, der kan anvendes til at udrede i hvor høj grad tilstandsvurderingen afspejler fosfortilgængeligheden i vandløbsvandet.

8 Referencer

- Andersen, D.K., Larsen, S.E., Johansson, L.S., Alnøe, A.B. & Baattrup-Pedersen, A. (2018) Udvikling af biologisk indeks for bentiske alger (fyto-benthos) i danske vandløb. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 42 s. – Videnskabelig rapport nr. 296.
<http://dce2.au.dk/pub/SR296.pdf>
- Beck, W.S. & Hall, E.K. (2018) Confounding factors in algal phosphorus limitation experiments. PLoS ONE, 13(10), e0205684.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0205684>
- Bere, T. & Tundisi, J.G. (2011) Influence of land-use patterns on benthic diatom communities and water quality in the tropical Monjolinho hydrological basin, São Carlos-SP, Brazil. Water SA, 37(1), 93-102.
DOI: 10.4314/wsa.v37i1.64112.
- Biggs, B.J.F., Stevenson, R.J. & Lowe, R.L. (1998) A habitat matrix conceptual model for stream periphyton. Archiv für Hydrobiologie 143:25–56.
- Baattrup-Pedersen, A. & Johnsen, T.J. (2020) Alkalinitet i danske vandløb og betydning for de bentiske algesamfund – FORPROJEKT NR. 2. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 11 s. – Notat nr. 2020|9
https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notat_2020/N2020|9.pdf
- Baattrup-Pedersen, A., Graeber, D., Kallestrup, H., Guo, K., Rasmussen, J.J., Larsen, S.E. & Riis, T. (2020) Effects of low flow and co-occurring stressors on structural and functional characteristics of the benthic biofilm in small streams. Science of the Total Environment, 733, 139331, p.1-10.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139331>
- Celekli, A. & Lekesiz, Ö. (2020) Eco-assessment of West Mediterranean basin's rivers (Turkey) using diatom metrics and multivariate approaches. Environmental Science and Pollution Research, 27, 27796-27806.
<https://doi.org/10.1007/s11356-020-09140-1>
- Costello, D.M., Rosi-Marshall, E.J., Shaw, L.E., Grace, M.R. & Kelly, J.J. (2016) A novel method to assess effects of chemical stressors on natural biofilm structure and function. Freshwater Biology, 61, 2129-2140. doi:10.1111/fwb.12641
- Dela-Cruz, J., Pritchard, T., Gordon, G. & Ajani, P. (2006) The use of periphytic diatoms as a means of assessing impacts of point source inorganic nutrient pollution in south-eastern Australia. Freshwater Biology, 51, 951-972. doi:10.1111/j.1365-2427.2006.01537.x
- Delgado, C., Pardo, I. & García, L. (2012) Diatom communities as indicators of ecological status in Mediterranean temporary streams (Balearic Island, Spain). Ecological Indicators, 15, 131-139. doi:10.1016/j.ecolind.2011.09.037

Ghosh, M., Rajendra Prasad, K.V., Mehta, S.K. & Gaur, J.P. (1999) Response of a natural phytoplankton assemblage to pulsed supply of phosphorus in semicontinuous cultures. *International Journal of Limnology*, 35, 23-29. <http://dx.doi.org/10.1051/limn/1999008>

Gómez, N. & Licursi, M. (2001) The Pampean Diatom Index (IDP) for assessment of rivers and streams in Argentina. *Aquatic Ecology*, 35, 173-181.

Hausner, S., Charles, D.F., Gerritsen, J. & Belton, T.J. (2016) A diatom-based biological condition gradient (BCG) approach for assessing impairment and developing nutrient criteria for streams. *Science of the Total Environment*, 562, 914-927.

Kelly, M. G., Trobajo, R., Rovira, L. & Mann, D. G. (2015) Characterizing the niches of two very similar *Nitzschia* species and implications for ecological assessment. *Diatom Research*, 30, 27-33.

Kelly, M., Juggins, S., Guthrie, R., Pritchard, S., Jamieson, J., Rippey, B., Hirst, H. & Yallop, M. (2008) Assessment of ecological status in U.K. rivers using diatoms. *Freshwater Biology*, 53, 403-422. doi:10.1111/j.1365-2427.2007.01903.x

Kovács, C., Kahlert, M. & Padisák, J. (2006) Benthic diatom communities along pH and TP gradients in Hungarian and Swedish streams. *Journal of Applied Phycology*, 18, 105-117. doi: 10.1007/s10811-006-9080-4

Kronvang, B. & Rubæk, G. Kvantificering af dyrkningsbidraget af fosfor til vandløb og søer. In: Poulsen, H.D. og Rubæk, G.H. (eds) 2005. Fosfor i dansk landbrug - Omsætning, tab og virkemidler mod tab. DJF rapport Husdyrbrug nr. 68. December 2005.

Kwandrans, J., Eloranta, P., Kawecka, B. & Wojtan, K. (1998) Use of benthic diatom communities to evaluate water quality in rivers of southern Poland. *Journal of Applied Phycology*, 10, 193-201. <https://doi.org/10.1023/A:1008087114256>

Mao, S., Guo, S., Deng, H., Xie, Z. & Tang, T. (2018) Recognition of patterns of benthic diatom assemblages within a river system to aid bioassessment. *Water*, 10, 1-16.

Neif, E.M., Graeber, D., Rodrigues, L., Rosenhøj-Leth, S., Jensen, T.M., Wi-berg-Larsen, P., Landkildehus, F., Riis, T. & Baattrup-Pedersen, A. (2017) Responses of benthic algal communities and their traits to experimental changes in fine sediments, nutrients and flow. *Freshwater Biology*, 62, 1539-1550. DOI: 10.1111/fwb.

Park, Y.J., Choi, J.S. & Kim, H.S. (2013) Water quality assessment of the Sinchun stream based on epilithic diatom communities. *Journal of Environmental Biology*, 35, 1053-1059.

Pfister, P., Hofmann, G. & Ehrensperger, G. (2016) Fliessgewässer – Phytobenthos Überarbeitung des trophie- und saprobie-bewertungssystems nach Rott et al. 1999, 1997. Wasserwirtschaftskataster Herausgegeben vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wasserwirtschaftskataster, Wien.

Porter, Goff, E.R., Frost, P.C. & Xenopoulos, M.A. (2013) Changes in riverine benthic diatom community structure along a chlorid gradient. *Ecological Indicators*, 32, 97-106.

Rawson, D.S. (1956) Algal indicators of trophic lake types. *Limnology and Oceanography*, 1, 18-25. <https://doi.org/10.4319/lo.1956.1.1.0018>

Rott, E., Hofmann, G., Pall, K., Pfister, P. & Pipp, E. (1997) Indikationslisten für Aufwuchsalgen in österreichischen Fließgewässern. Teil 1: Saprobielle Indikation. *Wasserwirtschaftskataster, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft*, Wien.

Rott, E., Pfister, P., Van Dam, H., Pipp, E., Pall, K., Binder, N. & Ortler, K. (1999) Indikationslisten für Aufwuchsalgen in österreichischen Fließgewässern. Teil 2: Trophieindikation sowie geochemische Präferenzen, taxonomische und toxikologische Anmerkungen. *Wasserwirtschaftskataster Herausgegeben vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wasserwirtschaftskataster*, Wien.

Rott, E., Pipp, E. & Pfister, P. (2003) Diatom methods developed for river quality assessment in Austria and a cross-check against numerical trophic indication methods used in Europe. *Algological Studies*, 110, 91-115.

Soininen, J. (2002) Responses of epilithic diatom communities to environmental gradients in some Finnish rivers. *International Review of Hydrobiology*, 87, 11-24.

Tank, J. L., Reisinger, A. J., & Rosi, E. J. (2017) Nutrient limitation and uptake. In *Methods in stream ecology* (pp. 147-171). Academic Press.

Tank, J.L., Marti, E., Riis, T., von Schiller, D., Reisinger, A.J., Dodds, W.K., Whiles, M.R., Ashkenas, L.R., Bowden, W.B., Collins, S.M., Crenshaw, C.L., Cowl, T.A., Griffiths, N.A., Grimm, N.B., Hamilton, S.K., Johnson, S.L., McDowell, W.H., Norman, B.M., Rosi, E.J., Simon, K.S., Thomas, S.A. & Webster, J.R. (2018) Partitioning assimilatory nitrogen uptake in streams: an analysis of stable isotope tracer additions across continents. *Ecological Monographs*, 88(1), 120-138.

Thodsen, H., Tornbjerg, H., Rasmussen, J.J., Bøgestrand, J., Blicher-Mathiesen, G., Larsen, S.E., Ovesen, N.B., Windolf, J. & Kjeldgaard, A. (2019) Vandløb 2017. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 74 s. – Videnskabelig rapport nr. 306.
<http://dce2.au.dk/pub/SR306.pdf>

Townsend, S. A., & Padovan, A. V. (2005) The seasonal accrual and loss of benthic algae (*Spirogyra*) in the Daly River, an oligotrophic river in tropical Australia. *Marine and Freshwater Research*, 56(3), 317-327.

Van Dam, H., Mertens, A. & Sinkeldam, J. (1994) A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology*, 28(1), 117-133.

Appendiks

Appendiks 1 Algearter

Artskode	Artsnavn
ACON	<i>Achnanthes conspicua</i>
ALAN	<i>Achnanthes lanceolata</i>
ALFR	<i>Achnanthes lanceolata</i> ssp. <i>frequentissima</i>
ACLI	<i>Achnanthes minutissima</i> var. <i>linare</i>
ACHS	<i>Achnanthes</i> sp.
ASAT	<i>Achnanthes subatomoides</i>
ADMI	<i>Achnanthidium minutissimum</i>
ADMS	<i>Adlafia minuscula</i>
ALIB	<i>Amphora libyca</i>
APED	<i>Amphora pediculus</i>
AMPS	<i>Amphora</i> sp.
CPLE	<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>euglypta</i>
CPPL	<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>pseudolineata</i>
CMEN	<i>Cyclotella meneghiniana</i>
CSLE	<i>Cymbella silesiaca</i>
DPRO	<i>Diatoma problematica</i>
DTEN	<i>Diatoma tenue</i>
DVUL	<i>Diatoma vulgare</i>
ENVE	<i>Encyonema "ventricosum" ag.</i>
ECAE	<i>Encyonema caespitosum</i>
EOMI	<i>Eolimna minima</i>
EBLU	<i>Eunotia bilunaris</i>
EEXI	<i>Eunotia exigua</i>
EUNS	<i>Eunotia</i> sp.
FCAP	<i>Fragilaria capucina</i>
FCGR	<i>Fragilaria capucina</i> var. <i>gracilis</i>
FCME	<i>Fragilaria capucina</i> var. <i>mesolepta</i>
FCPE	<i>Fragilaria capucina</i> var. <i>perminuta</i>
FFAM	<i>Fragilaria famelica</i>
FMAR	<i>Fragilaria martyi</i>
FNAN	<i>Fragilaria nanana</i>
FPIN	<i>Fragilaria pinnata</i>
FRAS	<i>Fragilaria</i> sp.
FVAU	<i>Fragilaria vaucheriae</i>
GANG	<i>Gomphonema angustatum</i>
GASA	<i>Gomphonema angustatum</i> var. <i>sarcophagus</i>
GEXL	<i>Gomphonema exilissimum</i>
GMIC	<i>Gomphonema micropus</i>
GOLI	<i>Gomphonema olivaceum</i>
GPAP	<i>Gomphonema parvulum</i>
GSPP	<i>Gomphonema saprophilum</i>

GOMS	<i>Gomphonema sp.</i>
GUTA	<i>Gomphonema utae</i>
HCAP	<i>Hippodonta capitata</i>
KOBG	<i>Karayevia oblongella</i>
NSAP	<i>Luticola saprophila</i>
MAAT	<i>Mayamaea atomus</i>
MAPE	<i>Mayamaea atomus</i> var. <i>permitis</i>
MVAR	<i>Melosira varians</i>
MCIR	<i>Meridion circulare</i>
MCCO	<i>Meridion circulare</i> var. <i>constrictum</i>
NCRY	<i>Navicula cryptocephala</i>
NCTE	<i>Navicula cryptotenella</i>
NGRE	<i>Navicula gregaria</i>
NITG	<i>Navicula integra</i>
NLAN	<i>Navicula lanceolata</i>
NMEN	<i>Navicula menisculus</i>
NREI	<i>Navicula reinhardtii</i>
NRHY	<i>Navicula rhynchocephala</i>
NASP	<i>Navicula sp.</i>
NTPT	<i>Navicula tripunctata</i>
NTRV	<i>Navicula trivialis</i>
NACI	<i>Nitzschia acicularis</i>
NZAD	<i>Nitzschia adamata</i>
NIAR	<i>Nitzschia archibaldii</i>
NCPL	<i>Nitzschia capitellata</i>
NDIS	<i>Nitzschia dissipata</i>
NDME	<i>Nitzschia dissipata</i> subsp. <i>media</i>
NIFR	<i>Nitzschia frustulum</i>
NIGR	<i>Nitzschia gracilis</i>
NINT	<i>Nitzschia intermedia</i>
NLIN	<i>Nitzschia linearis</i>
NZLT	<i>Nitzschia linearis</i> var. <i>tenuis</i>
NPAL	<i>Nitzschia palea</i>
NPAE	<i>Nitzschia paleacea</i>
NIPM	<i>Nitzschia perminuta</i>
NIPU	<i>Nitzschia pusilla</i>
NREC	<i>Nitzschia recta</i>
NSOC	<i>Nitzschia sociabilis</i>
NZSS	<i>Nitzschia sp.</i>
NSUA	<i>Nitzschia subacicularis</i>
NTUB	<i>Nitzschia tubicola</i>
NPRO	<i>Parlibellus protracta</i>
PSCA	<i>Pinnularia subcapitata</i>
PDAU	<i>Planothidium dau</i>
PTDE	<i>Planothidium delicatulum</i>
PTDU	<i>Planothidium dubium</i>
PGRN	<i>Planothidium granum</i>
PLMN	<i>Planothidium minutissimum</i>

PTRO	<i>Planothidium rostratum</i>
PBIO	<i>Psammothidium bioretii</i>
PHEL	<i>Psammothidium helveticum</i>
PLAU	<i>Psammothidium lauenburgianum</i>
PMRG	<i>Psammothidium marginulatum</i>
RSIN	<i>Reimeria sinuata</i>
RABB	<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>
SSGE	<i>Sellaphora saugerresii</i>
SEXG	<i>Stauroforma exiguiformis</i>
SCVT	<i>Staurosira construens f. venter</i>
SSLE	<i>Staurosirella leptostauron</i>
FLDU	<i>Fragilaria leptostauron var. dubia</i>
SANG	<i>Surirella angusta</i>
SBRE	<i>Surirella brebissonii</i>
SBKU	<i>Surirella brebissonii var. kuetzingii</i>
SACU	<i>Synedra acus</i>
SRUM	<i>Synedra rumpens</i>
SYNT	<i>Synedra tenera</i>
SULN	<i>Synedra ulna</i>
TFLO	<i>Tabellaria flocculosa</i>

Appendiks 2 P-respons for en række arter som angivet i i den internationale litteratur

Art	Artsnavn	International litteratur															N
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
ALFR	<i>Achnantes lanceolata ssp. frequentissima</i>	+	+	+												0	4
APED	<i>Amphora pediculus</i>	+	-	-						+						0	4
ASAT	<i>Achnanthes subatomoides</i>	-						0								0	3
CSLE	<i>Cymbella silesiaca</i>	-	-		-			-								-	5
DTEN	<i>Diatoma tenue</i>	-	-														2
EBLU	<i>Eunotia bilunaris</i>	-			-			-									3
EEXI	<i>Eunotia exigua</i>	-												-			2
EUNS	<i>Eunotia sp.</i>	-		+			0										3
FCGR	<i>Fragilaria capucina var. gracilis</i>															0	1
FPIN	<i>Fragilaria pinnata</i>	+						0	+							0	4
FVAU	<i>Fragilaria vaucheriae</i>	-		+												0	3
GANG	<i>Gomphonema angustatum</i>	0			-		-	+								0	5
GOLI	<i>Gomphonema olivaceum</i>	+				+						-					3
GPAR	<i>Gomphonema parvulum</i>	-	+	+	+	+	+	+	+			+				0	10
MCCO	<i>Meridion circulare var. constrictum</i>	-															1
NDIS	<i>Nitzschia dissipata</i>	-	-	-	0	+				+							6
NGRE	<i>Navicula gregaria</i>	-	+				+									+	4
NLAN	<i>Navicula lanceolata</i>	0	0												+	0	4
NLIN	<i>Nitzschia linearis</i>	+	0		0											0	4
NPAL	<i>Nitzschia palea</i>	0	+	+	+		+	+	+	+				+		+	10
SACU	<i>Synedra acus</i>	0	0													0	3
SULN	<i>Synedra ulna</i>	-	0										+				3
TFLO	<i>Tabellaria flocculosa</i>	-					-				-					-	4

+ og - angiver hhv. positiv og negativ respons på øget P-koncentration. I tilfælde, hvor der er angivet både + og -, er det første tegn et udtryk for, hvilken respons der er registreret flest gange i den internationale litteratur. 0 angiver neutral respons. N angiver antal responser fundet.

1) Kelly et al. (2008), 2) Dela-Cruz et al. (2006), 3) Delgado, Pardo & García (2012), 4) Gomez & Licursi (2001), 5) Kovács, Kahlert & Padisák (2006), 6) Soininen (2002), 7) Van Dam et al. (1994); Bere & Tundisi (2011), 8) Kwadrans et al. (1998), 9) Mao et al. (2018), 10) Rawson (1956), 11) Celekli & Lekesiz (2020), 12) Ghosh et al. (1999), 13) Park, Choi & Kim (2013), 14) Porter-Goff, Frost & Xenopoulos (2013), 15) Hausner et al (2016).

BETYDNINGEN AF DANSKE VANDLØBS ALKALINITET FOR DE BENTISKE ALGESAMFUND

I et tidligere projekt har Aarhus Universitet udviklet et kvalitetsindeks til vurdering af tilstanden af bundlevende alger i vandløb, benævnt SID_TID ([link til rapport](#)). Projektet viste, at indekset er følsomt over for koncentrationen af opløst fosfor, som er et centralt næringsstof for algerne, men også, at alkalinitet, som bla. udtrykker kulstoftilgængeligheden, spiller en rolle for hvilke alger, der lever i vandløbene. Vi har derfor i dette projekt nærmere undersøgt hvilken rolle alkalinitet i sig selv spiller for indekssværdien. Det viser sig at SID_TID-indekssværdier er højere i vandløb med høj alkalinitet sammenlignet med vandløb med lav alkalinitet uanset fosforniveauet og at SID-TID-indekssværdien kan antage relativt høje værdier, også selvom P-koncentrationen er lav. Projektet viser derfor, at der er behov for en videreudvikling af indekset. Denne videreudvikling kan naturligt tage afsæt i de algearter, der kan adskille betydningen af henholdsvis alkalinitet og fosfor i en tilstandsvurdering. SID_TID-indekset kan dog godt i sin nuværende form anvendes i alle danske vandløb, som tidligere anbefalet ([link til rapport](#)). Dog er der behov for mere viden for at kunne planlægge indsatser i disse, såfremt der ikke er målopfyldelse.