



Sedimentundersøgelse i Bredvad Sø

AUGUST 2022

Projekt navn	Sedimentundersøgelse i Bredvad Sø
Kunde	Horsens Kommune
Projektleder	Martin Lykke Kristensen
Projekt nummer	22000992
Til	Christina Skipper Ravn, Peter De Santana Eskildsen
Udarbejdet af	Martin Lykke Kristensen, Michael Kloster Larsen
Kvalitetssikret af	Henrik Skovgaard
Godkendt af	Christian Petersen
Version	01
Versionsdato	19-08-2022
Første udgivelsesdato	19-08-2022

INDHOLD

INDHOLD

1. Baggrund	3
2. Metode	4
3. Resultater	5
3.1 Parametre af betydning for udbringning på landbrugsjord	5
3.2 Parametre af betydning for jordhåndteringen	6
3.3 Parametre af betydning for vandmiljøet nedstrøms Bredvad Sø	8
4. Vurdering af resultaterne	8
4.1 Mulighed for nyttiggørelse ved udbringning på landbrugsjord	8
4.2 Jordhåndtering af jordflytningsbekendtgørelsen	8
4.3 Suspenderet sediments betydning for vandmiljøet nedstrøms søen	9
5. Referencer	14

1. BAGGRUND

Som en del af indsatsprogrammet i statens vandområdeplan, skal Gudenåens oprindelige forløb genskabes ved Vestbirk. Åen er opstemmet på strækningen i dag, og ved retableringen skal den menneskeskabte Bredvad Sø tømmes. Derved kan Gudenåen genfinde sit gamle naturlige leje i søbunden.

Projektet vil have en lang række positive effekter på plante- og dyrelivet i åen og samtidig genskabe naturlige forhold på en af de strækninger hvor Gudenåen har størst fald. Når Bredvad Sø tømmes, forventes åen dog at mobilisere en del af det sediment, der med tiden er akkumuleret på søbunden. Det er planlagt, at der i forbindelse med søens tømnings opgraves materiale fra den dybe ende af søen og her anlægges et sandfang til at opsamle større partikler som sand og grus. Fine partikler fra sedimentet vil i nogen grad kunne mobiliseres og udvaskes nedstrøms med åens vand. Dette vil medføre en midlertidig påvirkning af vandløb og søer nedstrøms Vestbirk i anlægsfasen, og det er derfor nødvendigt at kende sø-sedimentets sammensætning og indhold af forskellige potentielt forurenende stoffer.

WSP Danmark har på vegne af Horsens Kommune gennemført et prøvetagningsprogram i juni 2022, hvor sedimentet i Bredvad Sø er undersøgt. Undersøgelsen er gennemført med de nødvendige parametre for at klarlægge i hvilken grad mobiliseret sediment vil påvirke Gudenåen nedstrøms, samt hvorvidt det vil være muligt at opgrave og udbrede sedimentet på f.eks. landbrugsjord eller alternativt at deponere det eller anvende det til indbygning i et planlagt dige i søen.

Nærværende notat beskriver prøvetagningsprogrammet, afrapporterer de målte værdier og vurderer hvilken betydning resultaterne kan få for de løsninger der er i spil ved genopretningsprojektet samt screener for nogle af de potentielle miljøpåvirkninger. Det skal understreges, at dette notat ikke er en miljøvurdering af projektet eller i tilstrækkeligt omfang håndterer myndighedsbehandlingen i forhold til gældende natur- og miljølovgivning.

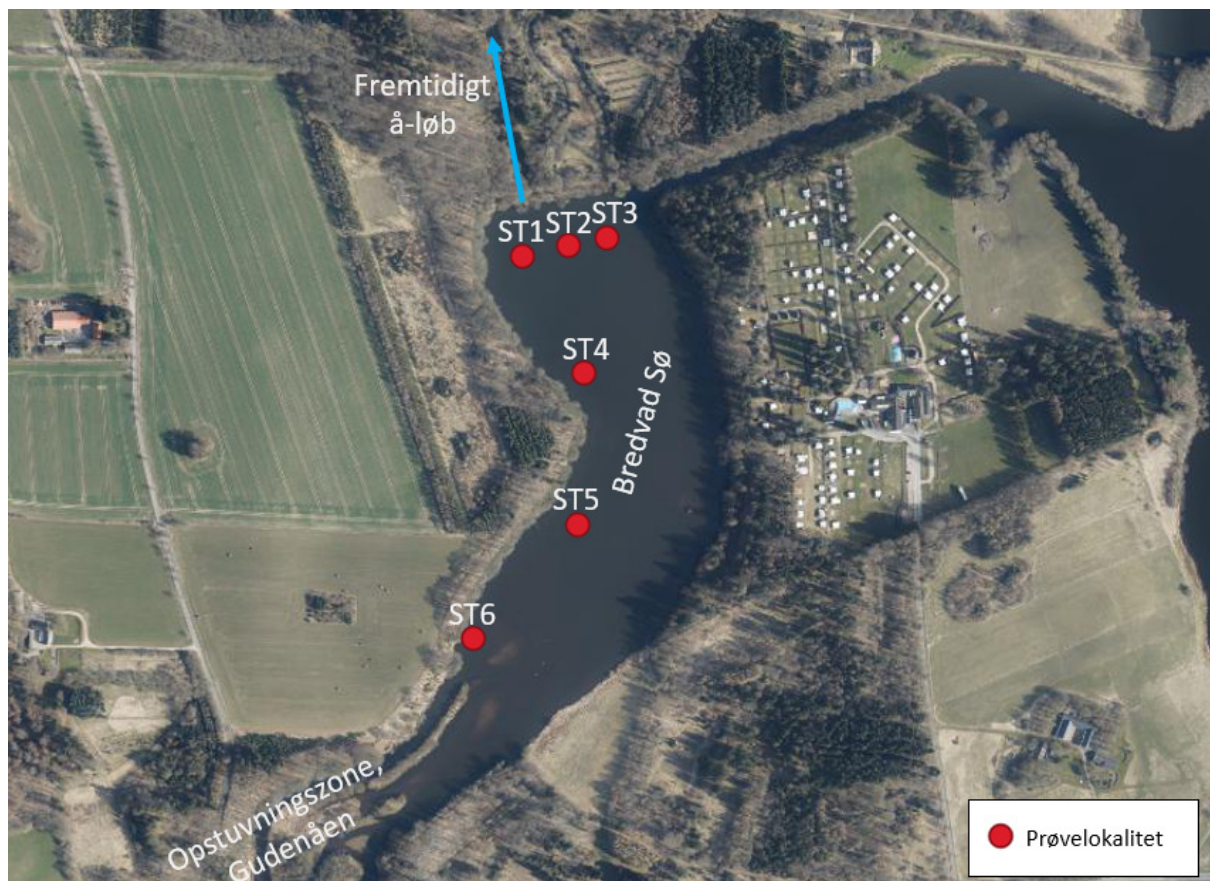
Der er f.eks. behov for en mere dybdegående afklaring af mulige påvirkninger af Natura 2000 områder og bilag IV-arter, jf. habitatbekendtgørelsen, påvirkning af målsatte vandområder og hensyn til bestemmelserne i vandløbsloven, naturbeskyttelsesloven, miljøvurderingsloven m.m.

2. METODE

Undersøgelsen er gennemført ved prøvetagning fra båd, hvorfra der er udtaget sedimentsøjler med kajkrør fra de øverste cirka 50 cm af sedimentet på seks forskellige prøvelokaliteter (Figur 1).

Der blev udlagt tre prøvelokaliteter (ST1-ST3) i den dybe ende af søen, da forekomsten af fine partikler der kan mobiliseres forventes at være størst her. Mobilisering af sediment sker erfaringsmæssigt primært i den afsluttende fase af sø-tømningen, hvor søen begynder at blive til en å, som arbejder sig ned i sit gamle å-leje. Prøvelokaliteterne ST4-ST6 er derfor placeret omtrent hvor åen forventes at lægge sig og derved potentielt mobiliserer sedimentet.

Der er i dag en opstuvningszone længere opstrøms i Gudenåen, som også vil blive påvirket, men her er der i dag så kraftig strøm, at sedimentering af fine partikler som kan mobiliseres ved sø-tømningen vurderes at være ubetydelig.



Figur 1. Prøvelokaliteter i Bredvad Sø.

Der er udtaget tre sedimentprøver indenfor nogle meter på hver af de seks prøvelokaliteter, og de tre prøver er efterfølgende blandet sammen og overført til prøveemballage med den givne lokalitets navn. De samlede prøver fra hver af de seks prøvelokaliteter er efterfølgende sendt til analyse hos Eurofins.

Til analyserne er der valgt de store slampakker hos Eurofins, som indeholder de nødvendige parametre for at vurdere om sedimentet i henhold til jordflytningsbekendtgørelsen kan udbredes på f.eks. landbrugsjord eller lægges til deponi. Der er samtidig tilvalgt glødetabsanalyse samt analyse for total-jernindhold i sedimentet med henblik på at kunne vurdere dets betydning for vandmiljøet såfremt sedimentet suspenderes og føres nedstrøms med Gudenåen.

En samlet oversigt over de undersøgte parametre er vedlagt i bilag 1.

3. RESULTATER

Sedimentets tykkelse blev estimeret af prøvetagerne til at være ca. 0,5 – 1 m i den centrale og opstrøms ende af søen (ved ST4-ST6) og 1-2 m i den dybe/nedstrøms ende af søen (ved ST1-ST3). Det anbefales at der foretages yderligere og mere præcise målinger af sedimentets tykkelse.

Samlede analyseresultater fra de seks prøvelokaliteter er vedlagt i bilag 2.

3.1 PARAMETRE AF BETYDNING FOR UDBRINGNING PÅ LANDBRUGSJORD

Tabel 1 viser analyseresultater, som er bestemmende for sedimenthåndtering ved udbringning på landbrugsjord.

Tabel 1. Resultater fra tungmetalanalyser af sedimentprøver. Grøn markering viser at det målte indhold er under grænseværdi angivet i bekendtgørelsen om anvendelse af affald til jordbrugsformåls Bilag 2. Orange markering viser at indholdet kan være under grænseværdien, men også kan være over. Rød markering viser at indholdet er over grænseværdien.

Komponent	Enhed	ST1	ST2	ST3	ST4	ST5	ST6	Gennemsnitligt indhold*	Grænseværdi**
Bly (Pb)	mg/kg TP	12.000	12.000	7.500	< 8.000	6.500	< 7.000	8.833	10.000
	mg/kg TS	45	34	21	< 2	11	< 2	19,2	120
Cadmium (Cd)	mg/kg TP	570	520	300	< 200	280	< 200	345	100
	mg/kg TS	2,1	1,5	0,85	< 0,05	0,48	< 0,05	0,8	0,8
Kviksølv (Hg)	mg/kg TP	78	72	36	< 40	26	< 40	49	200
	mg/kg TS	0,29	0,21	0,1	< 0,01	0,045	< 0,01	0,1	0,8
Nikkel (Ni)	mg/kg TP	10.000	11.000	6.100	6.500	7.100	10.000	8.450	2.500
	mg/kg TS	38	31	17	1,7	12	2,7	17,1	30
Chrom(Cr)	mg/kg TS	36	31	18	1,8	12	1,4	17	100
Zink (Zn)	mg/kg TS	300	230	120	9,4	86	18	127	4.000
Kobber (Cu)	mg/kg TS	47	41	25	< 3	15	< 3	22	1.000

*Gennemsnit er beregnet som maksimal værdi, hvor der i analyseresultater er angivet en maksimal værdi vist med <

** Bekendtgørelse om anvendelse af affald til jordbrugsformål, Bilag 2 (<https://www.retsinformation.dk/eli/lta/2018/1001>).

Prøverne ST1 og ST2 viser overskridelser af grænseværdien for indholdet af bly, cadmium og nikkel både set i forhold til tørstof og i forhold til det totale indhold af fosfor.

Prøven ST3 viser overskridelser af grænseværdien for indholdet af cadmium og nikkel i forhold til det totale indhold af fosfor samt overskridelse af indholdet af cadmium i forhold til tørstofindholdet.

Prøverne ST4, ST5 og ST6 viser overskridelse af indholdet af nikkel i forhold til det totale fosforindhold. Prøven ST5 viser desuden overskridelse af indholdet af cadmium i forhold til totalfosfor. Prøverne ST4 og ST6 viser mulig overskridelse af indholdet af cadmium i forhold til total fosfor.

For cadmium og nikkel overskrider det gennemsnitlige indhold grænseværdien i forhold til det totale fosforindhold.

Alle prøver har overskridelse af mindst én grænseværdi for mindst én parameter.

3.2 PARAMETRE AF BETYDNING FOR JORDHÅNDBETINGEN

Tabel 2 viser analyseresultater, som er bestemmende for sedimenthåndtering i henhold til jordflytningsbekendtgørelsen (<https://www.retsinformation.dk/eli/lta/2015/1452>) samlet i tabelform.

Tabel 2. Resultater af analyser af sedimentprøverne i forhold til jordflytningsbekendtgørelsens kvalitetskriterier. Grøn markering viser at det målte indhold er under kriteriet, mens rød markering viser at indholdet er over kriteriet.

Komponent	Enhed	Kvalitets kriterium	DL	ST1	ST2	ST3	ST4	ST5	ST6
Tørstof	%		0,05	19	16	32	21	32	84
Bly (Pb)	mg/kg ts.	40	2	45	34	21	< 2	11	< 2
Cadmium (Cd)	mg/kg ts.	0,5	0,05	2,1	1,5	0,85	< 0,05	0,48	< 0,05
Chrom (Cr)	mg/kg ts.	500	1	36	31	18	1,8	12	1,4
Jern (Fe)	mg/kg ts.		5	44000	44000	27000	4400	18000	4800
Kobber (Cu)	mg/kg ts.	500	3	47	41	25	< 3	15	< 3
Kviksølv (Hg)	mg/kg ts.	1	0,01	0,29	0,21	0,1	< 0,01	0,045	< 0,01
Nikkel (Ni)	mg/kg ts.	30	1	38	31	17	1,7	12	2,7
Zink (Zn)	mg/kg ts.	500	1	300	230	120	9,4	86	18
Naphthalen	mg/kg ts.		0,0008	0,023	0,016	0,007	0,017	0,007	< 0,0008
Fluoren	mg/kg ts.		0,0005	0,02	0,015	0,008	0,02	0,012	0,0006
Phenanthren	mg/kg ts.		0,0006	0,14	0,11	0,047	0,18	0,071	0,003
Anthracen	mg/kg ts.		0,0005	0,078	0,061	0,022	0,064	0,032	0,0007
Fluoranthren	mg/kg ts.		0,003	0,44	0,38	0,14	0,45	0,16	0,0085
Pyren	mg/kg ts.		0,003	0,39	0,32	0,12	0,38	0,16	0,0066
Benzo(a)anthracen	mg/kg ts.		0,0015	0,22	0,19	0,066	0,21	0,099	0,0031
Chrysen/ Triphenylen	mg/kg ts.		0,001	0,3	0,23	0,088	0,29	0,12	0,0048
Benzo(b+j+k)fluoranthren	mg/kg ts.		0,0015	0,6	0,48	0,18	0,54	0,19	i.m.
Benzo(a)pyren	mg/kg ts.	0,3	0,001	0,28	0,24	0,085	0,26	0,12	i.m.
Indeno(1,2,3-cd)pyren	mg/kg ts.		0,002	0,27	0,22	0,076	0,22	0,093	i.m.
Dibenz(a,h)anthracen	mg/kg ts.		0,001	0,07	0,055	0,02	0,059	0,025	i.m.
Benzo(g,h,i)perylen	mg/kg ts.		0,001	0,27	0,22	0,083	0,23	0,098	i.m.
Sum af 16 PAH'er (EPA)	mg/kg ts.	4	0,001	3,2	2,6	0,96	3	1,2	0,028
Diethylhexylphthalat (DEHP)	mg/kg ts.	25	0,01	0,26	0,12	0,07	0,1	0,06	< 0,01

Nonylphenoler	mg/kg ts.	25	0,1	1,2	0,27	< 0,1	0,14	< 0,1	< 1
Nonylphenol Monoethoxylat	mg/kg ts.		0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 2
Nonylphenol Diethoxylat	mg/kg ts.		0,2	< 0,4	< 0,5	< 0,3	< 0,2	< 0,7	< 2
Sum af Nonylphenol+ethoxylater	mg/kg ts.	65		1,2	0,27	#	0,14	#	#
PFBA (Perfluorbutansyre)	µg/kg ts.		0,1	<0,41	<0,40	<0,27	<0,38	<0,27	<0,10
PFBS (Perfluorbutansulfonsyre)	µg/kg ts.		0,1	<0,41	<0,40	<0,27	<0,38	<0,27	<0,10
PFPeA (Perfluorpentansyre)	µg/kg ts.		0,1	<0,41	<0,40	<0,27	<0,38	<0,27	<0,10
PFPeS (Perfluorpentansulfonsyre)	µg/kg ts.		0,1	<0,41	<0,40	<0,27	<0,38	<0,27	<0,10
PFHxA (Perfluorhexansyre)	µg/kg ts.		0,1	<0,41	<0,40	<0,27	<0,38	<0,27	<0,10
PFHxS (Perfluorhexansulfonsyre)	µg/kg ts.		0,1	<0,41	<0,40	<0,27	<0,38	<0,27	<0,10
PFHpA (Perfluorheptansyre)	µg/kg ts.		0,1	<0,41	<0,40	<0,27	<0,38	<0,27	<0,10
PFHpS (Perfluorheptansulfonsyre)	µg/kg ts.		0,1	<0,41	<0,40	<0,27	<0,38	<0,27	<0,10
PFOA (Perfluoroktansyre)	µg/kg ts.		0,05	<0,21	<0,20	<0,14	<0,19	<0,14	<0,050
PFOS (Perfluoroktansulfonsyre)	µg/kg ts.		0,05	0,48	0,26	0,22	0,43	0,4	<0,050
6:2 FTS (Fluortelomersulfonat)	µg/kg ts.		0,1	<0,41	<0,40	<0,27	<0,38	<0,27	<0,10
PFOSA (Perfluoroktansulfonamid)	µg/kg ts.		0,1	<0,41	<0,40	<0,27	<0,38	<0,27	<0,10
PFNA (Perfluorononansyre)	µg/kg ts.		0,1	<0,41	<0,40	<0,27	<0,38	<0,27	<0,10
PFNS (Perfluorononansulfonsyre)	µg/kg ts.		0,2	<0,82	<0,80	<0,53	<0,75	<0,54	<0,20
PFDA (Perfluordekansyre)	µg/kg ts.		0,1	<0,41	<0,40	<0,27	<0,38	<0,27	<0,10
PFDS (Perfluordekansulfonsyre)	µg/kg ts.		0,1	<0,41	<0,40	<0,27	<0,38	<0,27	<0,10
PFUnDA (Perfluorundekansyre)	µg/kg ts.		0,1	<0,41	<0,40	<0,27	<0,38	<0,27	<0,10
PFUnDS (Perfluorundekansulfonsyre)	µg/kg ts.		1	<4,1	<4,0	<2,7	<3,8	<2,7	<1,0
PFDoDA (Perfluordodekansyre)	µg/kg ts.		0,1	<0,41	<0,40	<0,27	<0,38	<0,27	<0,10
PFDoDS (Perfluordodekansulfonsyre)	µg/kg ts.		1	<4,1				<2,7	<1,0
PFTTrDA (Perfluortridekansyre)	µg/kg ts.		0,1	<0,41				<0,27	<0,10
PFTTrDS (Perfluortridekansulfonsyre)	µg/kg ts.		1	<4,1				<2,7	<1,0
Sum af PFAS 4 excl. LOQ	µg/kg ts.	10		0,48	0,26	0,22	0,43	0,4	ND
Sum af PFAS excl. LOQ	µg/kg ts.	400		0,48	0,26	0,22	0,43	0,4	ND

Prøven ST1 viser overskridelser af Miljøstyrelsens jordkvalitetskriterier gældende for bly og cadmium og viser desuden overskridelse af afskæringskriteriet for nikkel.

Prøven ST2 viser overskridelser af jordkvalitetskriteriet gældende for cadmium samt overskridelse af afskæringskriteriet for nikkel.

Prøven ST3 viser overskridelse af jordkvalitetskriteriet gældende for cadmium

For de resterende prøver og parametre er der ikke konstateret overskridelser af Miljøstyrelsens jordkvalitetskriterier.

3.3 PARAMETRE AF BETYDNING FOR VANDMILJØET NEDSTRØMS BREDVAD SØ

Sedimentets organiske andel samt indhold af kvælstof, fosfor og jern kan få biologisk betydning for påvirkning af vandområderne nedstrøms Bredvad Sø i det omfang sedimentet suspenderes og føres nedstrøms. Værdierne af disse parametre for sedimentet er indsat i Tabel 3.

Tabel 3. Sedimentets indhold af stoffer af særlig relevans for biologien i vandområderne nedstrøms søen.

Komponent	Enhed	ST1	ST2	ST3	ST4	ST5	ST6
Tørstof	%	19	16	32	21	32	84
Glødetab, total	mg/kg	44000	38000	42000	40000	38000	8000
Glødetab, tørstof	% ts.	23	24	13	19	12	1
Kvælstof, total	mg/kg	1800	1500	1600	1500	1500	11000
Kvælstof, total	mg/kg ts.	9500	9400	5000	7100	4700	13000
Fosfor, total	mg/kg	700	460	900	55	540	230
Fosfor, total	mg/kg ts.	3700	2900	2800	260	1700	270
Jern, total	mg/kg	8360	7040	8640	924	5760	4032
Jern, total	mg/kg ts.	44000	44000	27000	4400	18000	4800

4. VURDERING AF RESULTATERNE

Analyseresultaterne relateres i det efterfølgende dels til ”Bekendtgørelse om anvendelse af affald til jordbrugsformål” (<https://www.retsinformation.dk/eli/lta/2018/1001>) for afklaring af mulighederne for nyttiggørelse af sedimentet på landbrugsjord, dels til ”jordflytningsbekendtgørelsen” (<https://www.retsinformation.dk/eli/lta/2015/1452>) for afklaring af mulighederne for nyttiggørelse/deponering ved godkendt modtager eller alternativt lokal genplacering af sediment i henhold til §19/33 tilladelse.

Endelig vurderes resultaternes betydning også i forhold til mulige konsekvenserne for vandområder nedstrøms Bredvad Sø såfremt sedimentet sættes i suspension og flyttes nedstrøms med Gudenåen.

I forbindelse med vurderingen, gives konkrete anbefalinger til den anvendte fremgangsmåde, når søen tømmes.

4.1 MULIGHED FOR NYTTIGGØRELSE VED UDBRINGNING PÅ LANDBRUGSJORD

Analyseresultaterne relateres til ”Bekendtgørelse om anvendelse af affald til jordbrugsformål” (<https://www.retsinformation.dk/eli/lta/2018/1001>).

På baggrund af de konstaterede overskridelser af grænseværdier, vurderes det ikke at være muligt at få tilladelse til at nyttiggøre slammet ved udbringning på langbrugsjord efter affald til jord bekendtgørelsen.

4.2 JORDHÅNDBLING AF JORDFLYTNINGSBEKENDTGØRELSEN

Ud fra analyseresultaterne vurderes det, at jorden (sedimentet) der fjernes fra søen, skal håndteres i henhold til jordflytningsbekendtgørelsen. Der skal derfor etableres tilstrækkeligt datagrundlag til at udarbejde en

jordhåndteringsplan som skal godkendes af Horsens Kommune inden jordhåndtering og bortskaffelse af jord (sediment) kan finde sted.

De konstaterede overskridelser vurderes at være begrænsede, dog undtaget prøverne ST1 og ST2, hvor der ses overskridelser af jordkvalitetskriteriet med en faktor 3-4 gældende for cadmium.

Det vurderes på baggrund af de foreliggende analyseresultater, at jord repræsenteret ved prøverne ST3, ST4, ST5 og ST6 kan kategoriseres som ren jord.

Jorden repræsenteret ved prøverne ST1 og ST2 kategoriseres på baggrund af indholdet af nikkel som kraftig forurenede (uden for kategori). Jord med overskridelse af afskæringskriteriet for nikkel kan i visse tilfælde bortskaffes som lettere forurenede. I nærværende tilfælde er overskridelserne af nikkel begrænsede. Jorden (sedimentet) fra den dybe ende af søen kan derfor muligvis anvendes indenfor samme matrikel til indbygning i eksempelvis et dige i søen, hvilket må bero på en konkret vurderingen fra Horsens Kommunes side.

For udarbejdelse af en jordhåndteringsplan vil der som udgangspunkt være behov for udarbejdelse af et supplerende prøvetagningsprogram, hvor jordprøver svarende til 1 prøve pr. 120 ton jord, der skal håndteres, prøvetages for analysering for tungmetaller, PAH og kulbrinter (jordpakken).

Omfang af supplerende prøvetagning samt analyseprogram afgøres af Horsens Kommune.

Ud over de kemiske egenskaber for jorden (sedimentet) er det vigtigt at indhenteviden om de geotekniske egenskaber med henblik på at afklare den praktiske jordhåndtering, herunder mulighed for indbygning i eksempelvis støjvolde eller diger.

Hvis jorden som ikke er kategoriseret som ren, ønskes nyttiggjort ved ikke godkendt modtager (f.eks. som terrænhævning på nærliggende arealer) skal tilladelse til anvendelsen søges ved kommunen i form af en §19 eller §33 tilladelse efter miljøbeskyttelsesloven. Udgangspunktet for ansøgning efter §19 eller 33 vil være en af kommunen godkendt jordhåndteringsplan.

4.3 SUSPENDERET SEDIMENTS BETYDNING FOR VANDMILJØET NEDSTRØMS SØEN

Sedimentets betydning for påvirkning af vandområderne tilstand nedstrøms, afhænger i høj grad af hvorledes søen tømmes. Ved en for hurtig tømning, vil en stor del af sedimentet bringes i suspension og føres nedstrøms under den sidste fase af søens tømning, hvilket tidligere er set i eksempelvis Storåen/vandkraftsøen (Birch og Krogboe 1991 – tak til Flemming Kofoed for at fremsende denne rapport og dele sin viden om tømning af søer). Udover at bringe en større del af sedimentet og dets indhold af miljøfremmede stoffer i spil, vil en hurtig tømning også medføre en påvirkning af vandområderne nedstrøms søen i kraft af hurtig suspension af parametrene i afsnit 3.3.

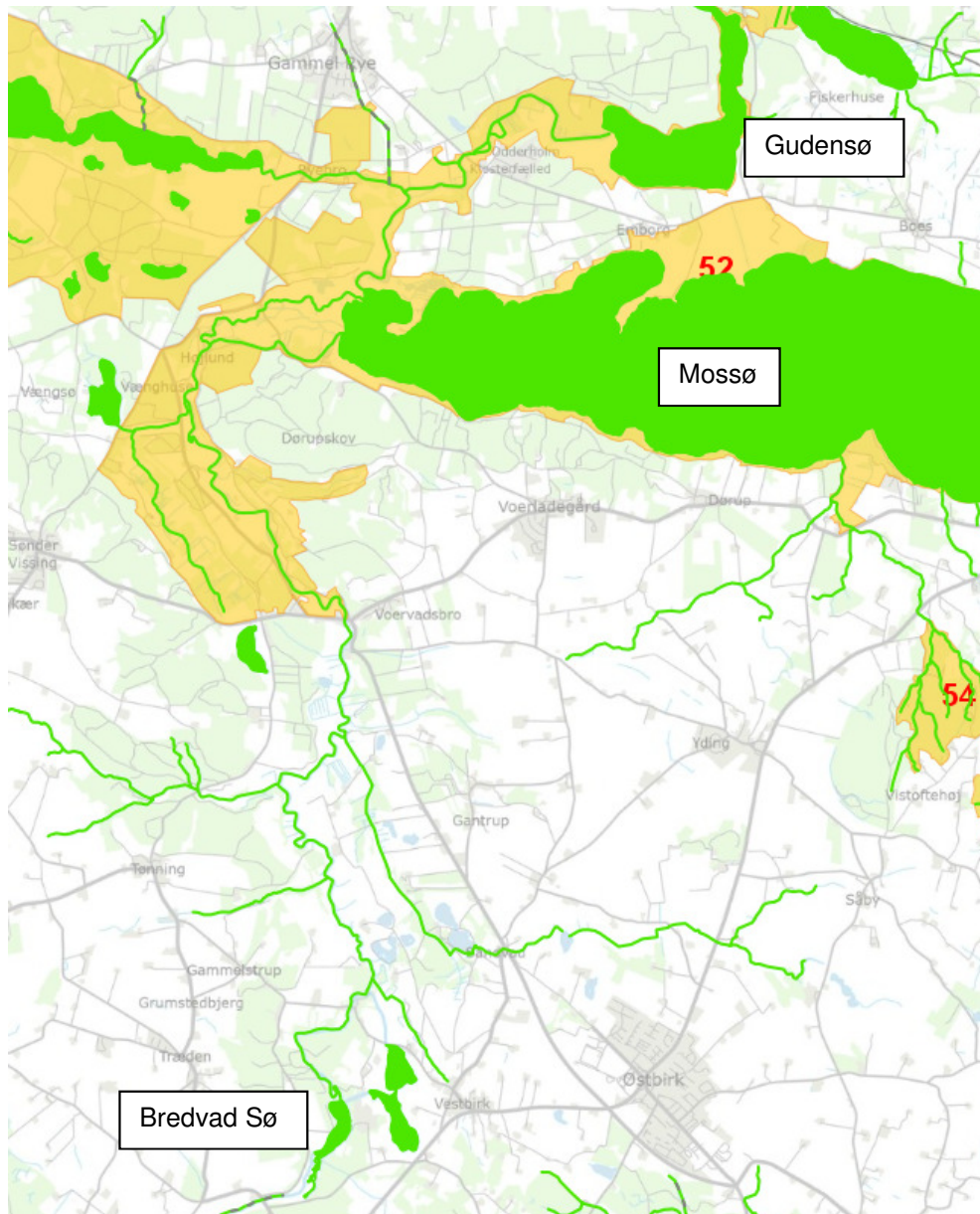
Suspension af sediment er naturligt i vandløb, hvor der i danske vandløb i gennemsnit transporteres 12 mg suspenderet materiale per liter vand (Thodsen et al. 2019). Værdierne kan dog komme væsentligt højere op, især i tidevandszoner i udlandet hvor der måles over 1000 mg suspenderet materiale per liter vand i områder hvor traditionelle rentvandsarter som laks og havørred trækker igennem (Manning, Langston, & Jonas, 2010). Meget høje værdier af suspenderet sediment i vandet over en længere periode kan dog påvirke vandmiljøet negativt ved f.eks. at udskygge plantevækst og tildække nogle habitattyper. Det anbefales derfor at søen tømmes under hensyntagen til sedimentkoncentrationerne i vandet, hvilket i praksis vil kræve en langsom tømning af vand i søen.

Det kan på den baggrund undersøges, hvorvidt man ved en langsom tømning i sommerhalvåret, kan få blotlagt en stor del af den gamle søbund, så denne tørrer op og fastholdes i stedet for at gå i suspension. Denne fremgangsmåde er tidligere anvendt andre steder i f.eks. Holstebro (Birch og Krogboe 1991). Det kan samtidig undersøges hvorvidt fastholdelsen af blotlagt sø-sediment fremmes ved udsåning af græs i det blotlagte sediment.

Den gradvise tømning af søen kan ideelt set reguleres ud fra iltindholdet i vandet, da iltindholdet vil falde når der suspenderes organisk materiale fra søbundens sediment i vandet. Vandets iltindhold kan derfor anvendes som mål for dets indhold af suspenderet sediment fra søen. Ved en iltstyret tømning, kan tømningshastigheden således reduceres, hvis iltindholdet falder under et givent niveau (f.eks. 5 mg/l). Derved bør det være muligt at udtømme en stor del af søens vand så en del af søens sedimentflader blotlægges uden at der sker nævneværdig erosion/suspension af søens sediment og dermed påvirkning af vandområderne nedstrøms søen.

Ved tømningen af det sidste søvand, ændres områdets karakter fra relativt stillestående søvand til løbende åvand. Ved tømning af den sidste rest af søen, vil erosion og suspension af bundsediment i den sidste rest af søen derfor forekomme, uanset hvor langsomt denne sidste del af tømningen gennemføres. Dette sker primært hvor åen eroderer sig ned i sit gamle leje i søbunden. Inden den sidste del af søen tømmes ud, bør opsugning af sedimentet derfor finde sted, som minimum fra den del af den dybe ende af søen der fortsat står under vand. Når det fine sediment fra den dybe ende af søen er suget op, bliver det primært sediment fra å-lejet i området længere opstrøms (ST4-ST6) der vil bringes i suspension og føres nedstrøms med åen når åen genfinder sit gamle leje i søbunden. Ved ST4- ST6 er sedimentet rent jf. afsnit 3.1-3.2 og dets indhold af stoffer der kan påvirke biologien i vandområdet nedstrøms søen er lavere end i sedimentet i den dybe/nedstrøms ende jf. afsnit 3.3. Hvorvidt der også bør opsuges sediment fra det gamle vandløbsprofil ved ST4-ST6 inden den sidste tømning af søen gennemføres, må bero på en senere vurdering. I det følgende tages der udgangspunkt i at sedimentet kun opsuges fra søens dybe ende ved ST1-ST3 inden den sidste del af søen tømmes, mens sediment fra det gamle vandløbsprofil opstrøms ved ST4-ST6 ikke opsuges og derfor bringes i suspension når åen genfinder sit gamle leje.

Den biologiske påvirkning fra stofferne i det sediment der suspenderes, afhænger af hvilken type økosystem der modtager det suspenderede sediment. Primær vandløbsrecipient er Gudenåen nedstrøms Bredvad Sø og primær sørecipient er Gudensø. Mossø vurderes ikke at være primær sørecipient, da Gudenåens ind- og udløb i Mossø i dag er så tæt placeret (ca. 50 m), at Mossø ikke regnes som recipient for åens udledninger i statens vandområdeplaner (Miljøministeriet, 2021). Området nedstrøms Voervadsbro til og med Gudensø (Figur 2) er udpeget som Natura 2000 område (N52), hvilket stiller særlige krav til påvirkningen af dette område udover kravene, der følger af vandområdeplanen og tilhørende bekendtgørelser.



Figur 2. Placering af Bredvad Sø og Natura 2000 områderne nedstrøms. Grøn markering er målsætningen (god økologisk tilstand) af vandområderne i statens gældende Vandområdeplan 2015-2021.

Af parametrene i afsnit 3.3 vurderes fosfor at være det vigtigste stof for Gudensø, idet fosfor som nærings salt regulerer mængden af planktonalger i søen og dermed også påvirkningen af de øvrige biologiske parametre (bunddyr, fisk, vandplanter m.m.). I Forslag til vandområdeplanerne 2021-2027 (Miljøministeriet, 2021) angives den årlige fosfortilførsel til Gudensø til 26.641 kg per år. Hvis hovedparten af sedimentet fra søens dybe ende graves og suges op inden den sidste del af søen tømmes, vil åen primært erodere og suspendere sediment fra ST4 – ST6 når den genfinder sit gamle leje i dette område. Ifølge målingerne fra nærværende måleprogram, indeholder sedimentet ved ST4-ST6 i Bredvad Sø i gennemsnit 275 mg fosfor per kg sediment (Tabel 3). I en situation, hvor et 0,5 m tykt lag sediment med en massefylde på $1,1 \text{ kg l}^{-1}$ eroderes og suspenderes fra en 400 m lang og 20 m bred strækning når søen tømmes, vil det således medføre en mer-tilførsel af fosfor på 1.210 kg til Gudensø, hvis hele sedimentmængden aflejres der ($400 \text{ m} * 20 \text{ m} * 0,5 \text{ m} * 1.100 \text{ kg m}^{-3} * 0,000275 \text{ kg kg}^{-1}$). Dette svarer til 4,5 % af den estimerede årlige fosfortilførsel til søen ifølge Miljøministeriet (2021). Der er dog tale om en påvirkning, der er afgrænset til anlægsfasen, idet påvirkningen via sediment fra søen vil ophøre efter

anlægsarbejdet. Det bemærkes, at det præcise omfang af erosion/suspension af sediment når åen genfinder sit gamle leje, er forbundet med usikkerhed og bør undersøges grundigere inden tømningen iværksættes, eksempelvis ved pejling af søbunden.

Om end kvælstof ikke vurderes at være begrænsende for algeproduktionen i Gudensø, kan kvælstof stadig have en biologisk effekt i søer. Det gennemsnitlige kvælstofindhold på ST4-ST6 er på 4.667 mg/kg (Tabel 3) og ved en tilsvarende erosion og suspension af sediment som i beregningen for fosfor ovenfor, vil Gudensø således få tilført et engangsbidrag på 20.500 kg kvælstof når den sidste del af Bredvad Sø tømmes.

Både for fosfor og kvælstof gælder desuden, at Bredvad Sø i dag tilbageholder en vis del af de stofmængder der tilføres løbende fra Gudenåen. For en sø af Bredvad Sø's størrelse og med vandets korte opholdstid, skønnes denne tilbageholdelse at være 10 % for både fosfor og kvælstof. Ifølge Miljøministeriet (2021) tilføres Bredvad Sø i dag 13.730 kg fosfor, hvoraf 10 % altså forventes tilbageholdt i søen (1.373 kg). Gudensø modtager i dag 26.641 kg fosfor om året fra sit opland, og et øget bidrag på 1.373 kg når Bredvad Sø er fjernet, svarer således til en årlig mer-tilførsel på 5 % fosfor til Gudensø. Denne mertilførsel vil være permanent, når søen er nedlagt. Der vil også være en mertilførsel af kvælstof, men dette har størst betydning for slutrecipienten Randers Fjord. Det skal her nævnes, at der ikke er foretaget modelberegninger til en mere præcis vurdering af den nuværende tilbageholdelse af kvælstof og fosfor i Bredvad Sø.

Jern fra sø-sedimentet der suspenderes, vil ligeledes kunne have en biologisk effekt på Gudenå nedstrøms Bredvad Sø, især hvis en stor andel er i en reduceret form som såkaldt *ferrojern*. I Bredvad Sø var det gennemsnitlige total-jernindhold i sedimentet fra ST4-ST6 på 3.572 mg kg⁻¹. Det er uvist, hvor stor en andel af dette der forekommer som ferrojern og dermed potentielt kan være skadeligt for vandmiljøets organismer. Ved at gennemføre den sidste tømning af søen mens vandet er koldt og iltindholdet er højt, reduceres risikoen for skadevirkning på vandmiljøet fra ferrojern, da ferrojern relativt hurtigt oxideres og udfældes ved iltning.

Omsætning af organisk materiale fra sedimentet er en anden iltforbrugende faktor. Når organisk materiale bringes i suspension, vil det typisk omsættes relativt hurtigt, især hvis vandtemperaturen er høj. Dette kan måles ved hjælp af en såkaldt *BI5-værdi*, som angiver iltforbruget i vand fra nedbrydning af organisk materiale over en femdøgnsperiode. Der er tidligere opstillet vejledende kravværdier for vandmiljøets BI5-niveau for hhv. høj (<1,4 mg/l), god (1,8 mg/l) og moderat (2,5 mg/l) tilstand, som med fordel kan implementeres i det omfang det er praktisk muligt under søens tømning (Miljøministeriet, 2011). Endvidere kan der eksempelvis stilles krav om, at iltkoncentrationen som døgnminimum ikke må komme under 6 mg/l,

Table 4. Vejledende krav til vandkvalitet i vandløb (indsat fra Miljøministeriet (2011)).

Variabel	Vejledende kravværdier for vandløbsvand		
	Høj	God	Moderat (God for Blod- bundsvandløb)
Økologisk tilstand:			
Total NHx-N (mg/l)** (ved 20 °C og pH 7,5-8,0)*	≤ 1*	≤ 1*	≤ 1*
Fri NH3-N (mg/l) *	≤ 0,025*	≤ 0,025*	≤ 0,025*
BIS (mg/l)	< 1,4	< 1,8	< 2,5
Opløst jern (Fe 2+) (mg/l)	< 0,2	< 0,2	< 0,5
Ilt (mg/l) 50 % af tiden	≥ 9*	≥ 7 - 9*	≥ 7*
Ilt (mg/l) døgnminimum	≥ 6*	≥ 4 - 6*	≥ 4*
Ilt (%)	> 70 % (jan-april 80 %)	> 70 % (jan-april 80 %)	> 50 %
pH *	6-9*	6-9*	6-9*
Temperatur (°C): *)			
sommer	≤ 21,5*	≤ 21,5 - 28*	≤ 25 (28)*
vinter	≤ 10*	≤ 10*	≤ 10*
Max temp. ændring ved udledning (°C)	1	1 (1,5 - 3) *	3*
Total restchlor (mg/l HOCl)		≤ 0,005*	≤ 0,005*

De angivne kravværdier kan anvendes som støtteparametre til understøttelse af vurdering af miljømål og tilstand fastlagt ved anvendelse af DVFI (Dansk Vandløbs fauna Indeks).

*) De angivne kravværdier beror på fiskevandsdirektivet³⁰, jf. direktivets bilag I. De fysiske-kemiske parametre anvendes bindende for vandområder, der kan sidestilles med henholdsvis laksefiskvande og karpfiskvande som defineret i direktivets artikel 1.4.

³⁰ Europa-Parlamentets og Rådets direktiv om kvaliteten af ferskvand, der kræver beskyttelse eller forbedring for at være egnet til, at fisk kan leve deri (2006/44/EF)

Sedimentet fra prøverne ved ST4-ST6 har et gennemsnitligt organisk indhold på 28.667 mg/kg, og i alt 126.000 kg organisk materiale må således forventes at blive bragt i suspension i forbindelse med tømning af det sidste vand fra søen (hvis der eroderes og suspenderes 400 m * 20 m * 0,5 m * 1.100 kg m⁻³ = 4.400.000 kg sediment). Hvor hurtigt denne suspension sker, og hvor stor indflydelse den vil få på vandområderne nedstrøms, afgøres af vandføringen og temperaturen på udledningstidspunktet. På grund af sin hurtige omsætningshastighed, er organisk materiale primært en udfordring for iltmængden i å-vandet, hvis det suspenderes i høje koncentrationer og hvis vandtemperaturen samtidig er høj. En fremgangsmåde hvor den gradvise aftømning af hovedparten af søen gennemføres om sommeren (hvor de blotlagte søflader kan tørre op og eventuelt tilplantes med græs) og den afsluttende tømning af søen gennemføres i eksempelvis april (hvor vandtemperatur og vandføring normalt er relativt lav) kan derfor vise sig som fordelagtig. Hele tømningsprocessen bør styres af iltmængden i vandet og løbende analyser af vandprøver. Der bør planlægges og iværksættes et overvågningsprogram inden tømningen af søen iværksættes.

5. REFERENCER

Bekendtgørelse om anmeldelse og dokumentation i forbindelse med flytning af jord:

<https://www.retsinformation.dk/eli/lta/2015/1452>

Bekendtgørelse om anvendelse af affald til jordbrugsformål: <https://www.retsinformation.dk/eli/lta/2018/1001>

Birch og Krogboe. 1991. Vandkraftsøen ved Holstebro. Miljøproblemer og oprensning. Rapport udarbejdet af Vendelbo, O., Wegner, N., Hansen, K.S., Kofoed, F., Vanggård, K., Aagaard, P.

Manning, A. J., Langston, W. J., & Jonas, P. J. (2010). A review of sediment dynamics in the Severn Estuary: Influence of flocculation. Marine Pollution Bulletin, s. 37-51

Miljøministeriet, 2011. Vandplan 2009-2015. Randers Fjord. Hovedvandopland 1.5 Vanddistrikt: Jylland og Fyn.

Miljøministeriet. 2021. Forslag til vandområdeplanerne 2021-2027.

Thodsen, H., Tornbjerg, H., Rasmussen, J. J., Bøgestrand, J., Larsen, S. E., Ovesen, N. B., . . . Windolf, J. (2019). Vandløb 2018. NOVANA. Videnskabelig rapport nr. 353. Aarhus: Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi.