



Silkeborg Kommune

# Restaurering af Lyngsø

**FORUNDERSØGELSE AF MULIGHEDERNE FOR SØRESTAURERING I LYNGSØ**

Silkeborg Kommune

# Restaurering af Lyngsø

FORUNDERSØGELSE AF MULIGHEDERNE FOR SØRESTAURERING I LYNGSØ

---

<b>Rekvirent</b>	Silkeborg Kommune
<b>Rådgiver</b>	Orbicon A/S Jens Juuls Vej 16 8260 Viby J
<b>Projektnummer</b>	1321700302
<b>Projektleder</b>	Henrik Skovgaard
<b>Tekst</b>	Henrik Skovgaard og Jonathan David Carl
<b>Kvalitetssikring</b>	Bjarne Moeslund
<b>Revisionsnr.</b>	0.3
<b>Godkendt af</b>	Anette Marqvardsen
<b>Udgivet</b>	25-05-2018

## INDHOLDSFORTEGNELSE

<b>1. INDLEDNING</b> .....	<b>5</b>
<b>2. BESKRIVELSE AF LYNGSØ</b> .....	<b>6</b>
<b>3. MILJØTILSTAND</b> .....	<b>10</b>
3.1. Temperatur og ilt .....	10
3.2. Vandkemiske forhold .....	11
3.3. Biologiske forhold .....	19
3.3.1 Fisk .....	19
3.3.2 Vegetation (makrofytter) .....	23
<b>4. VAND- OG NÆRINGSSTOFTILFØRSEL FRA OPLANDET</b> .....	<b>25</b>
4.1. Vandområdeplan 2015-2021 .....	25
<b>5. VURDERING AF MÅLOPFYLDELSE NU OG PÅ SIGT</b> .....	<b>26</b>
5.1. Fosformodellering og indsatsbehov .....	27
<b>6. FOSFORPULJE I SEDIMENTET</b> .....	<b>33</b>
6.1. Sedimentet i Lyngsø .....	33
6.1.1 Sedimentkarakteristik .....	34
6.1.2 Mobil fosforpulje i sedimentet .....	36
6.2. Vurdering af størrelsen af den interne belastning .....	38
<b>7. MULIGHEDER FOR SØRESTAURERING</b> .....	<b>40</b>
7.1. Egnethed til sørestaurering ved opfiskning af fredfisk .....	40
7.2. Egnethed til sørestaurering ved kemisk fosforfældning .....	43
<b>8. SKITSEPROJEKTERING AF SØRESTAURERING</b> .....	<b>46</b>
8.1. Restaurering ved opfiskning af fredfisk .....	46
8.1.1 Omkostninger til restaurering ved opfiskning .....	48
8.2. Kemisk fældning af fosfor med aluminium .....	49
8.2.1 Fremgangsmåde .....	49
8.2.2 Overvågningsprogram .....	50

8.2.3	Omkostninger .....	50
<b>9.</b>	<b>MYNDIGHEDSBEHANDLING .....</b>	<b>52</b>
9.1.	Restaurering ved opfiskning af fredfisk .....	52
9.2.	Restaurering ved kemisk fosforfældning med aluminium .....	53
<b>10.</b>	<b>TIDS- OG AKTIVITETSPLAN .....</b>	<b>55</b>
<b>11.</b>	<b>REFERENCER .....</b>	<b>56</b>
<b>12.</b>	<b>BILAG .....</b>	<b>59</b>
12.1.	Bilag 1: Belastningsopgørelse for Lyngsø (Miljøstyrelsen, 2017) .	59

## 1. INDLEDNING

Som led i realiseringen af indsatsprogrammerne i statens Vandområdeplan for Jylland-Fyn 2015-2021 skal Silkeborg Kommune undersøge mulighederne for at gennemføre sørestaurering af Lyngsø med henblik på at opfylde målsætningen om "god økologisk tilstand" i søen.

Statens tilskudsordning til forundersøgelser og realisering af sørestaurering er baseret på Bekendtgørelse nr. 784 af 24. juni 2016 og "Vejledning om tilskud til kommunale projekter til restaurering af søer under vandområdeplanerne 2015-2021". (SVANA, 2016).

Silkeborg Kommune og Orbicon har indgået en aftale om at udarbejde en forundersøgningsrapport, som opfylder kravene til sådanne i "Vejledning for gennemførelse af sørestaurering" (Søndergaard m.fl. 2015). Forundersøgelsen skal klarlægge, om Lyngsø kan restaureres ved opfiskning af fredfisk (biomanipulation) og/eller kemisk fældning af fosfor i søen. Undersøgelsen omfatter følgende elementer:

- Indhentning af basisoplysninger om søen og oplandet.
- Indhentning af vandkemiske og -fysiske data fra Danmarks Miljøportal (Stoq).
- Udviklingen af vandkemiske og -fysiske parametre over tid.
- Status for fiskebestand og undervandsvegetation.
- Vurdering af næringsstofbalancen for søen og prognose for dennes næringsstofmæssige ligevægtstilstand.
- Vurdering af målopfyldelse nu og på sigt.
- Analyse og vurdering af nye sedimentdata fra 3 stationer i søen. Metoden følger vejledningen med en  $TP_{sed}$ -profilen til en simpel bestemmelse af potentielt mobilt P.
- Vurdering af behov for sørestaurering og begrundet anbefaling af metode.
- Beregning af økonomiske omkostninger ved sørestaurering og vurdering af tidshorisonten for arbejdets gennemførelse.
- Oversigt over bindinger og nødvendige myndighedsgodkendelser.
- Forslag til opfølgende monitoring.

I forundersøgelsen indgår data fra Danmarks Miljøportal og Miljøstyrelsen.

## 2. BESKRIVELSE AF LYNGSØ

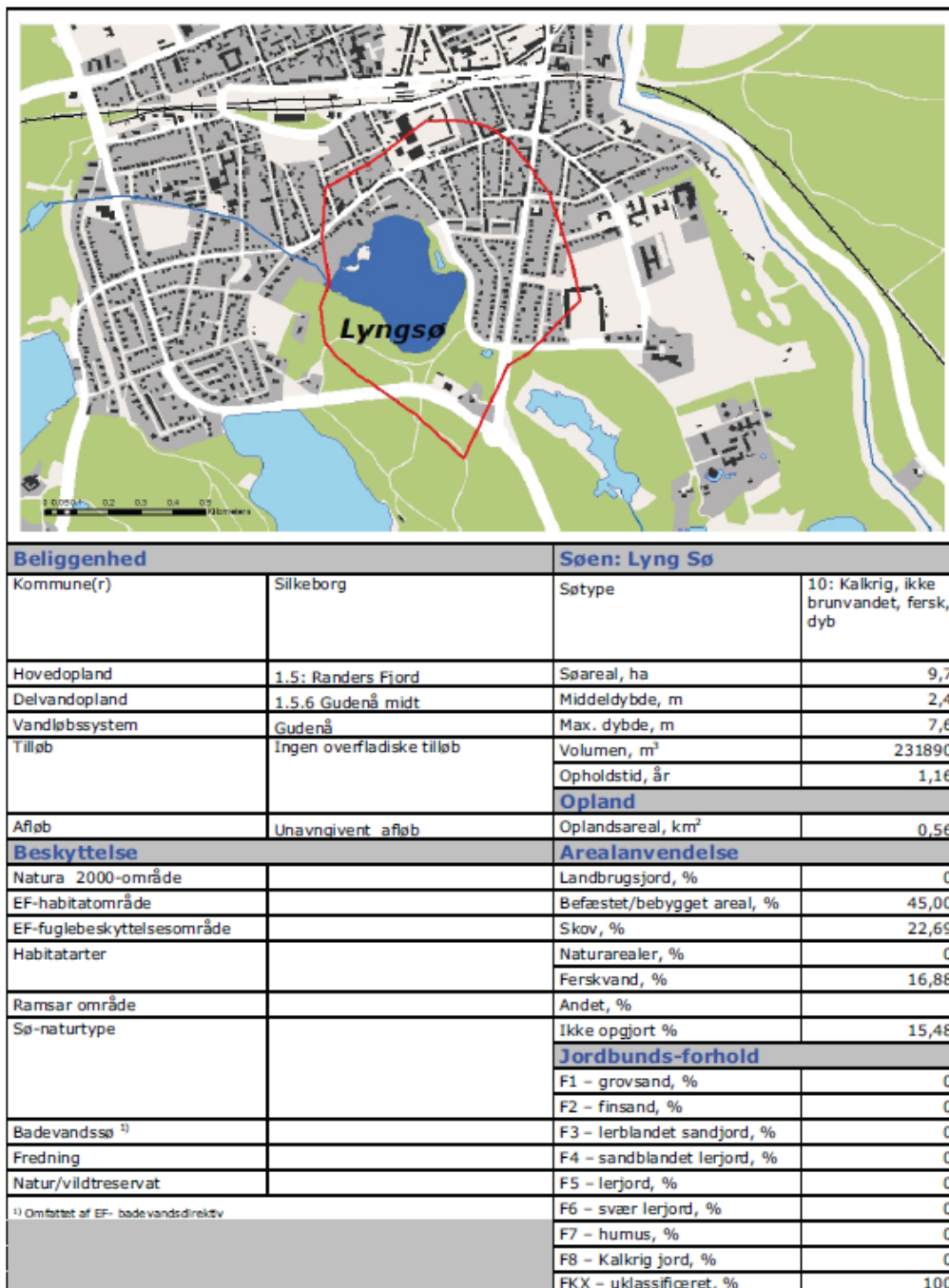
Lyngsø, der er opstået i et dødishul fra sidste istid, ligger i den sydlige del af Silkeborg i Silkeborg Kommune og kan i dag karakteriseres som en bysø omkranset af villahaver. Naturstyrelsen er eneejer af bredden.

Søarealet er 9,7 ha, middeldybden er 2,4 meter og den maksimale dybde 7,6 meter. Søen har tidligere været forurenede med spildevand, men tilførslen af spildevand er blevet væsentligt reduceret i de seneste årtier. Siden 1989 er der sket et betydeligt fald i fosforkoncentrationen i søen, men miljøtilstanden er stadig dårlig, bl.a. på grund af fosforfrigivelse fra søbunden, hvilket giver anledning til stor algevækst og uklart vand om sommeren.

Lyngsø har et lille afstrømningsopland (0,56 km<sup>2</sup>), der overvejende består af bebyggede arealer og skov, Figur 2.1.1. Der er ingen overfladiske tilløb, men et delvis rørlagt afløb, Pøtsøgrøften, som via Pøt Sø leder vandet til Ørnsø og derfra via Lyså videre gennem Silkeborg Langsø ud i Gudenåen og slutteligt Randers Fjord. Søen modtager i perioder spildevand fra fællesoverløb og regnvand (vejvand, tagvand m.m.) fra separatloakeret opland.

Figur 2.1. Luftfoto med dybdekort fremgår af Figur 2.2 og de morfometriske data af Tabel 2.1.

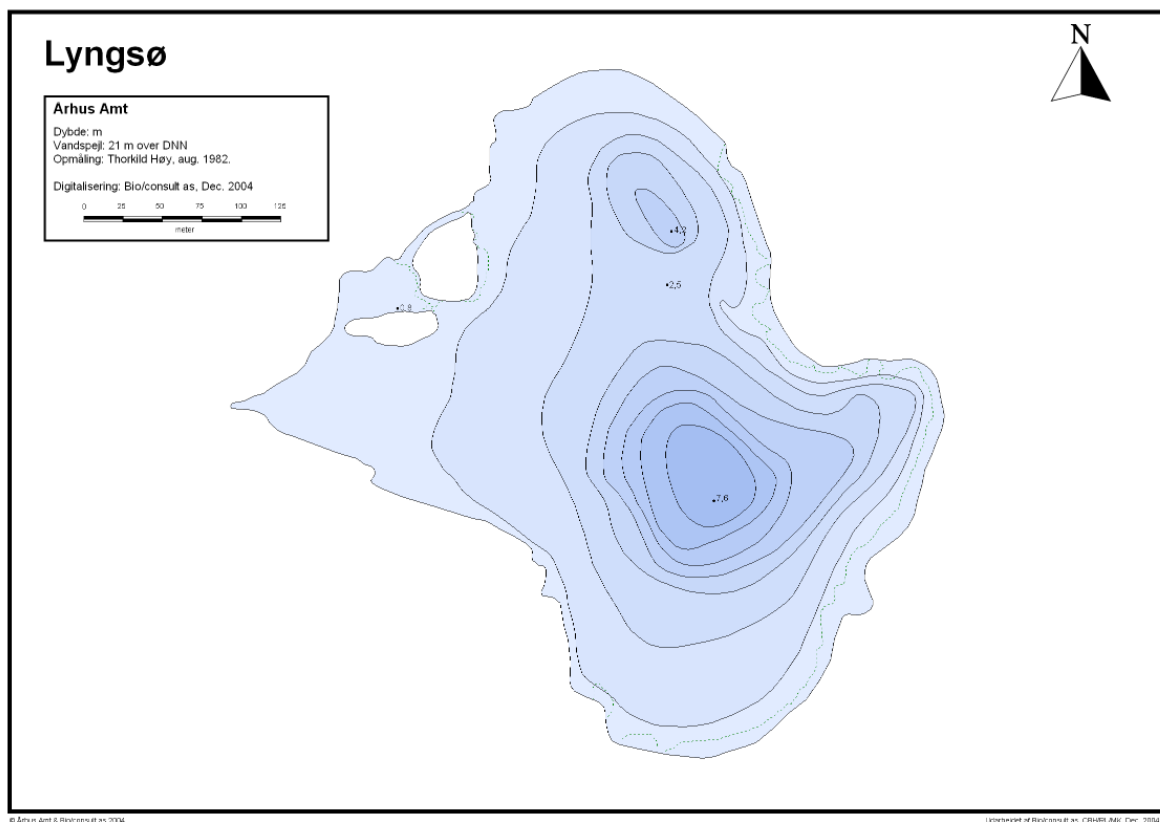
Vandmasserne i Lyngsø er på grund af den relativt store dybde og vindbeskyttede beliggenhed temperaturlagdelte om sommeren, og ofte er der iltfrie forhold i bundvandet.



Figur 2.1: Basisoplysninger om Lyngsø (By- og Landskabsstyrelsen, 2010).

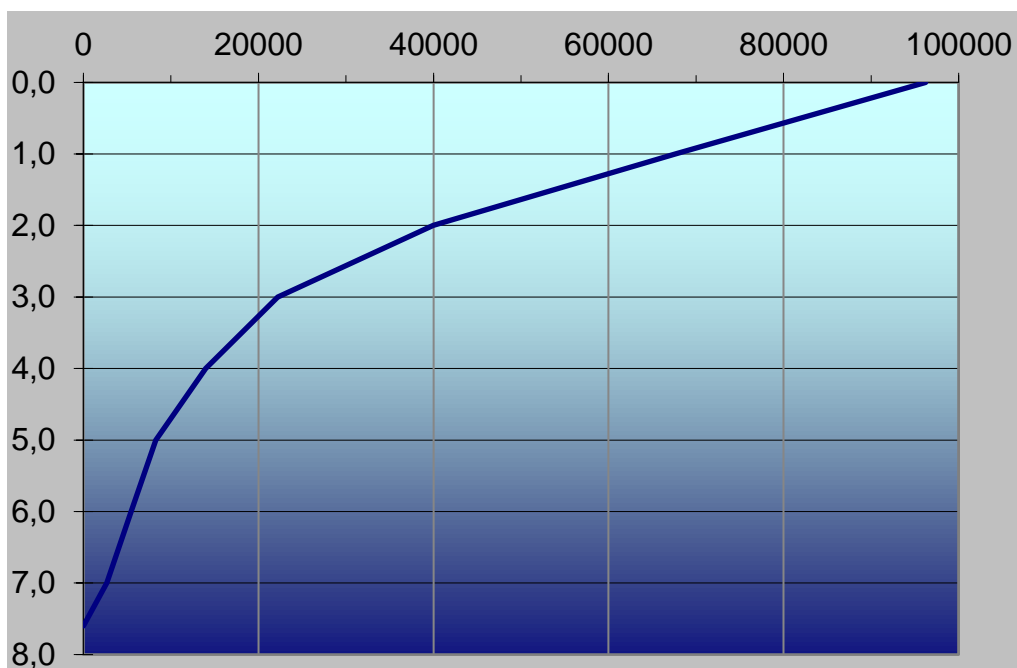
Tabel 2.1: Morfometriske data for Lyngsø

Søareal	9,7 ha
Maksimumdybde	7,6 m
Middeldybde	2,4 m
Volumen	231.890 m <sup>3</sup>
Vandets gennemsnitlige opholdstid	1,4 år (Miljøstyrelsen, 2017)
Oplandsareal	0,56 km <sup>2</sup>



Figur 2.2. Kort over Lyngsø med dybdekurver (1 meter kurver) og dybdepunkter baseret på opmåling i 1984 (foretaget ved vandspejl 21 m over DNN af Thorkild Høy og digitaliseret af Bio/consult i 2004).





Figur 2.4: Hypsograf, der viser det akkumulerede søareal i m<sup>2</sup>, der ligger over en bestemt vanddybde. F.eks. viser figuren, at et søareal på 40.000 m<sup>2</sup> (4,0 ha) har en dybde på mere end 2,0 meter.

Lyngsø er i statens Vandområdeplan 2015-2021 karakteriseret som søtype 10, dvs. en dyb, fersk, ikke brunvandet alkalisk sø med miljømålet "god økologisk tilstand". Ifølge MiljøGIS for Vandområdeplanerne 2015-2021 (Miljøstyrelsen, januar 2018) har søen aktuelt "dårlig økologisk tilstand", og miljømålsætningen er dermed ikke opfyldt.

Den seneste undersøgelse af Lyngsø er foretaget i 2016 som led i det nationale overvågningsprogram NOVANA. Data fra denne undersøgelse og tidligere år indgår i nærværende rapport tillige med data om tilførsel af vand og fosfor fra oplandet og nye sedimentdata fra 2018.

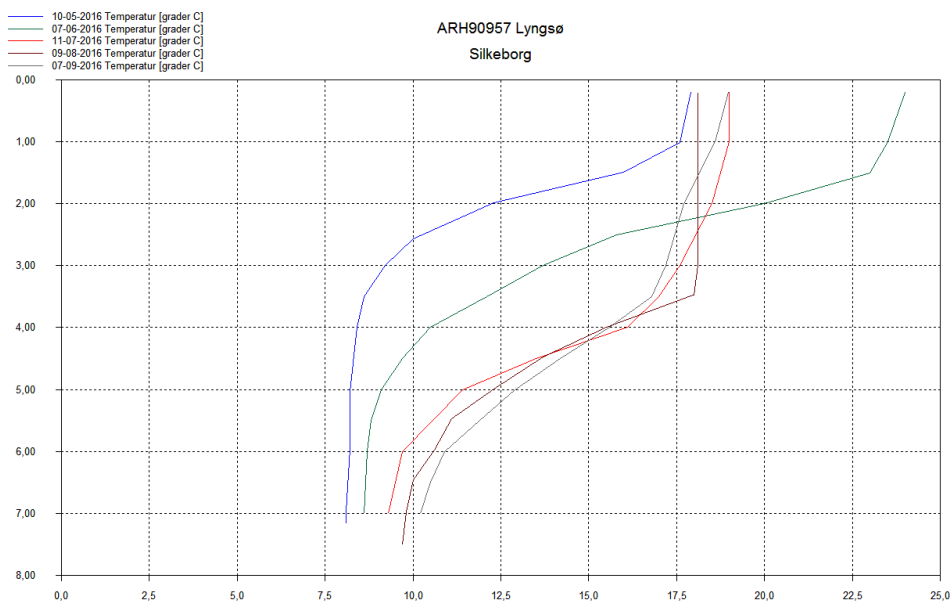
### 3. MILJØTILSTAND

I dette kapitel beskrives status og udvikling i miljøtilstanden i Lyngsø. Søen er blevet undersøgt siden 1970-erne, først af Aarhus Amt og siden 2007 af Miljøstyrelsen som led i den nationale overvågning af vandmiljøet (NOVANA). Der er fokuseret på de væsentligste vandkemiske parametre i tilstandsbeskrivelsen, men i rapporten inddrages også andre parametre i det omfang, de er relevante for vurderingen af søens egnethed til sørestaurering ved kemisk fosforfældning.

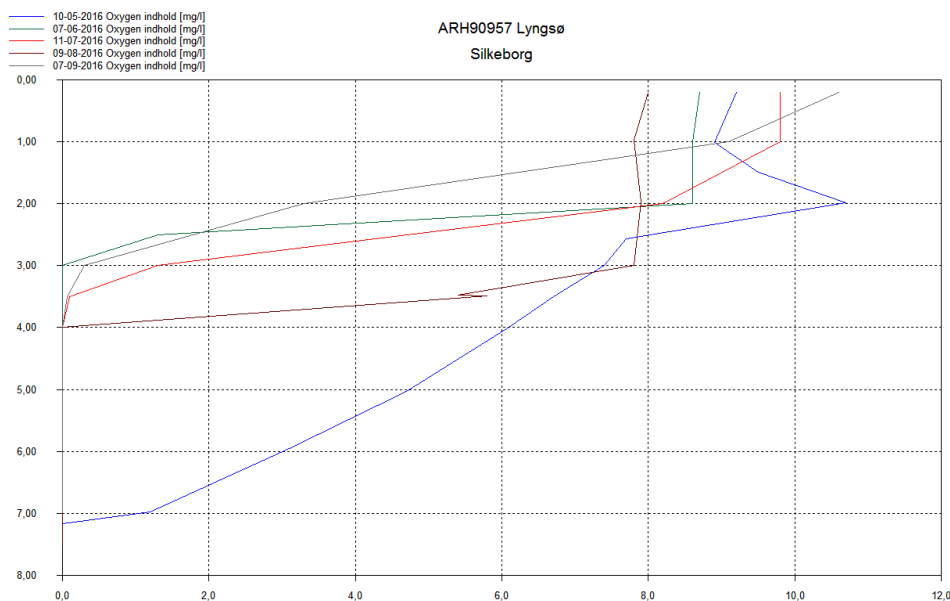
#### 3.1. Temperatur og ilt

Lyngsø er en relativt dyb og vindbeskyttet sø, hvorfor der opstår temperaturlagdeling af vandmasserne om sommeren, Figur 3.1.1. Lagdelingen opstår typisk i maj i dybdeintervallet 1-3 meter og varer til oktober. Lagdelingen bevirker, at iltindholdet falder markant under 1-2 meters dybde, og der iltfrie forhold allerede i 3-4 meters dybde, Figur 3.1.2.

Der er ingen nyere målinger af iltindholdet i vinterhalvåret, men tidligere målinger viser en bedre opblanding af vandmasserne og et højere iltindhold i bundvandet i vinterhalvåret, hvilket er normalt for dybe søer. Ved langvarigt isdække kan der dog opstå lave iltkoncentrationer i søen.



Figur 3.1.1: Temperaturprofiler i Lyngsø i sommeren 2016.



Figur 3.1.2: Iltprofiler i Lyngsø i sommeren 2016.

### 3.2. Vandkemiske forhold

I de senere år der i forbindelse med statens overvågningsprogram (NOVANA) udtaget 5-7 prøver i hvert måleår, typisk med én prøve i hver af de fem sommermåneder (maj-september) og én prøve i henholdsvis forår og efterår. Da Lyngsø er en dyb sø, udtages der foruden prøver af overfladevandet også prøver af bundvandet under temperaturspringlaget i sommermånederne, dog med et meget varierende antal prøver. Data er hentet fra Danmarks Miljøportal, Stoq-databasen.

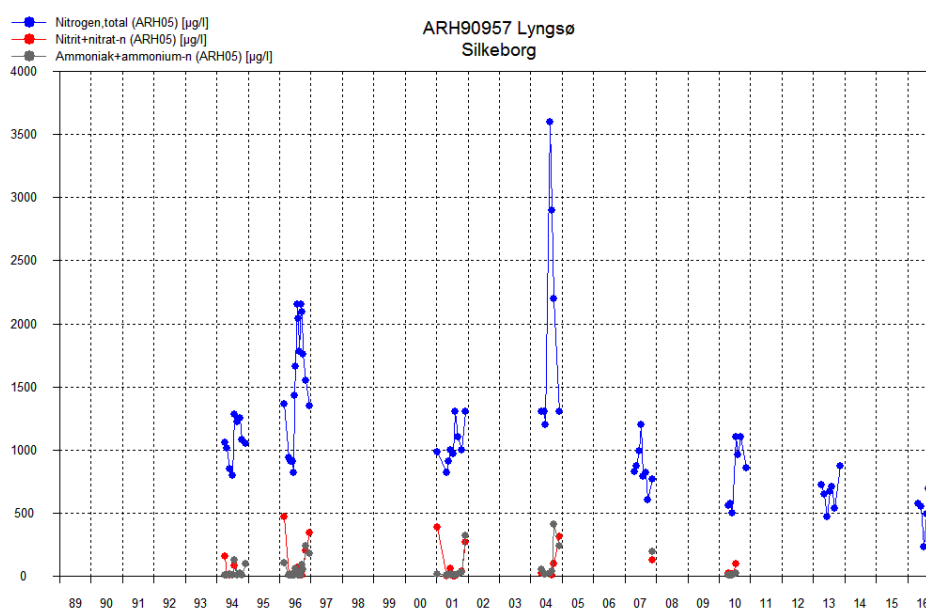
I dette afsnit gennemgås de vigtigste vandkemiske parametre fra undersøgelsesperioden 1994 til 2016.

Figur 3.2.1 viser kvælstofkoncentrationen (total-N, ammonium-N og nitrat+nitrit-N) i overfladevandet i de seneste årtier. Generelt er koncentrationen af kvælstof lav i Lyngsø, hvilket stemmer godt overens med beliggenheden i et lille opland uden landbrugsarealer.

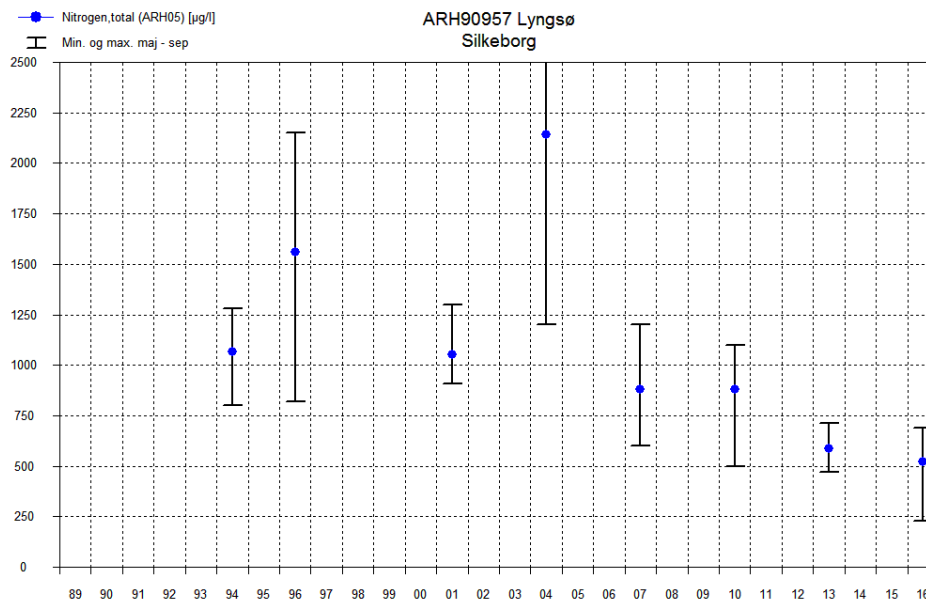
Søen følger det typiske billede for danske søer med et fald i tilførslen af kvælstof siden 1980-erne. Dette fald skyldes i Lyngsø's tilfælde mindre tilførsel af spildevand til søen. I 2004 var kvælstofkoncentrationen markant højere end i øvrige år. Det var sammenfaldende med høje fosforkoncentrationer i samme år og skyldes formentlig udledninger af spildevand (regnbetingede udledninger). Det skal nævnes, at Lyngsø i 1990-erne som et forsøg gennem to somre blev tilsat kalciumnitrat ( $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ) til de ca. 10 % af søarealet med vanddybder over 5 m (Søndergaard m.fl., 2000). Tilsætningen skete det første år i form af opløst nitrat, mens der det andet år blev tilsat nitrat i pilleform. Nitrattilsætningen i Lyngsø havde markante effekter på ophobningen af fosfat i

bundvandet. I år uden tilsætning blev der målt koncentrationer på op til 2,9 mg P/l mod op til 0,8 og 1,2 mg P/l i de to behandlingsår (Søndergaard, M., 2007). Restaureringsmetoden har dog aldrig vundet indpas i Danmark, bl.a. fordi øget kvælstoftilførsel kan forringe miljøtilstanden i nedstrøms marine recipienter og øge mængden af fytoplankton og epifytiske alger i søen til skade for undervandsvegetationen (Olsen m.fl., 2016). Forsøg viser således, at den negative effekt af høj kvælstofkoncentration på søers tilstand kan være betydelig i søer med moderate eller høje fosforkoncentrationer, især når kvælstofkoncentrationen (total-N) er større end 1-2 mg N/l om sommeren.

Kvælstofkoncentration (total-N) har i de senere år været lav i Lyngsø med et sommergennemsnit på 0,5 mg N/l i 2016 og koncentrationer af uorganisk kvælstof (ammonium + nitrat/nitrit) under 0,1 mg N/l om sommeren i 2010 (Tabel 3.2.1 og Figur 3.2.2). Sammenholdt med, at vægtforholdet mellem total-N og total-P (TN:TP) i Lyngsø i sommeren 2016 som gennemsnit var 8 og i perioder under skæringsværdien 7 (Redfield ratio, dvs. det typiske forhold mellem kvælstof og fosfor i planktonalger), er væksten af fytoplankton i Lyngsø i perioder potentielt kvælstofbegrænset. En yderligere reduktion af tilførslen af kvælstof til Lyngsø vil derfor gavne søens miljøtilstand forudsat, at der ikke sker opblomstring af kvælstoffikserende blågrønalger. En relativt høj fosforkoncentration i Lyngsø vurderes dog at være den væsentligste årsag til manglende opfyldelse af miljømålsætningen.



Figur 3.2.1: Kvælstofkoncentrationen (total-N, ammonium-N og nitrat+nitrit-N) i Lyngsø i perioden 1994-2016.



Figur 3.2.2: Kvælstofkoncentrationen (total-N) som sommergennemsnit i Lyngsø i perioden 1994-2016.

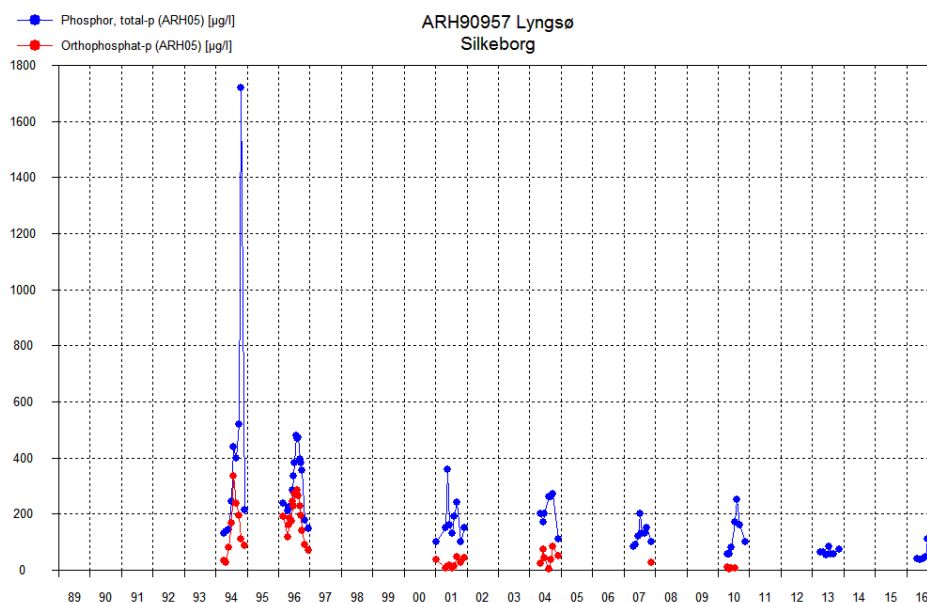
Figur 3.2.3 viser koncentrationen af fosfor (total-P) i overfladevandet i de seneste årtier. Målingerne er hovedsagelig fra sommerperioden, og har i 2013 og 2016 ligget i intervallet 50-100 µg P/l. De meget høje målinger i 1990-erne tilskrives forurening med spildevand (udledninger af regnvand med opspædet spildevand fra fælleskloakerede områder).

Generelt er svingningerne i fosforkoncentrationerne henover året blevet mindre, men målingerne i 2010 viser, at søen stadig kan udvise meget høje fosforkoncentrationer på over 200 µg P/l om sommeren.

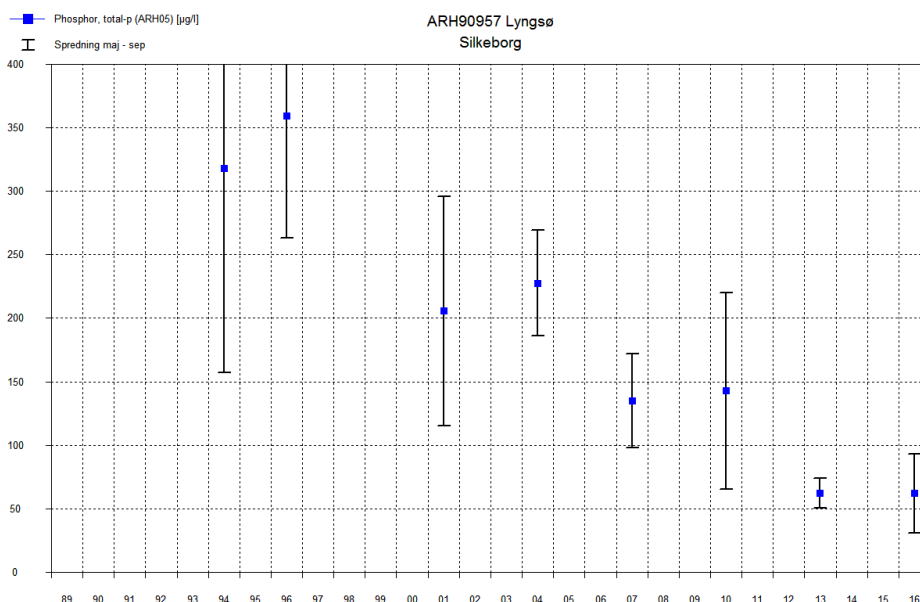
Figur 3.2.4 viser ekstremt høje fosforkoncentrationer under springlaget om sommeren. Det skyldes, at ophobet fosfor fra tidligere årtiers forurening frigives fra sedimentet til bundvandet som opløst fosfor, når den jernbundne fosforpulje i sedimentet går i opløsning under de iltfrie forhold, der hersker i bundvandet om sommeren. En del af den fosfor, der findes i bundvandet få meter under søoverfladen vil i forbindelse med blæst kunne blandes op med overfladevandet, ligesom visse grupper af planktonalger kan bevæge sig vertikalt i vandsøjlen og hente opløst fosfor og andre næringsstoffer i og under springlaget.

Sommergennemsnittet i 2013 og 2016 var 62 µg P/l, Tabel 3.2.1 og Figur 3.2.5. Det er højere end de 31 µg P/l som sommergennemsnit, der ifølge Vandområdeplan 2015-2021 er en forudsætning for at opnå "god økologisk tilstand" i dybe søer.

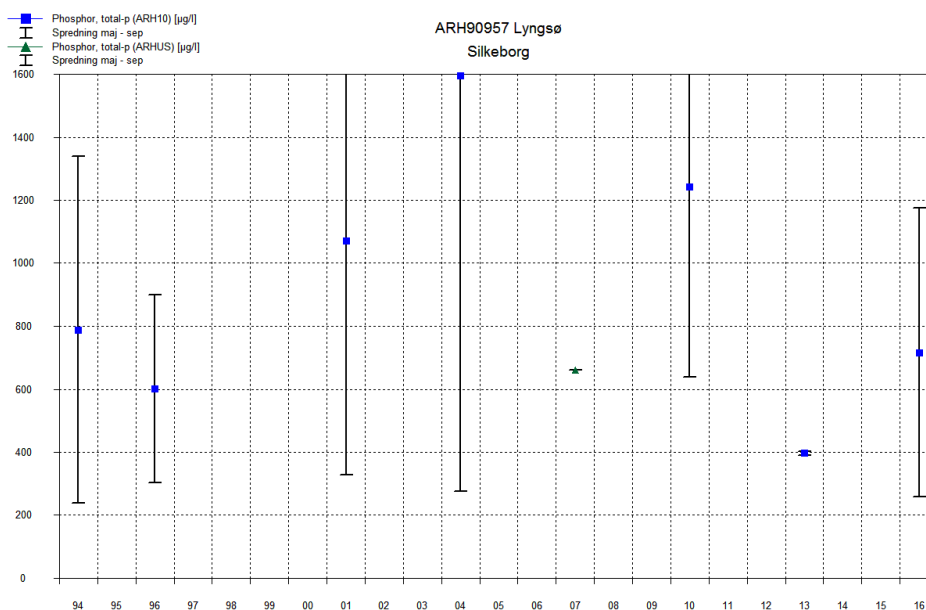
Det skal nævnes, at fosforkoncentrationerne (total-P) for perioden 2010-2016 kan være underestimeret med op til 17 % på grund af generelle metodefejl ved laboratorieanalyser af ferskvandsprøver, men der er endnu ikke udmeldt officielle korrektionsfaktorer fra Miljøstyrelsen.



Figur 3.2.3: Fosforkoncentrationen (total-P og ortho-P) i Lyngsø i perioden 1994-2016.



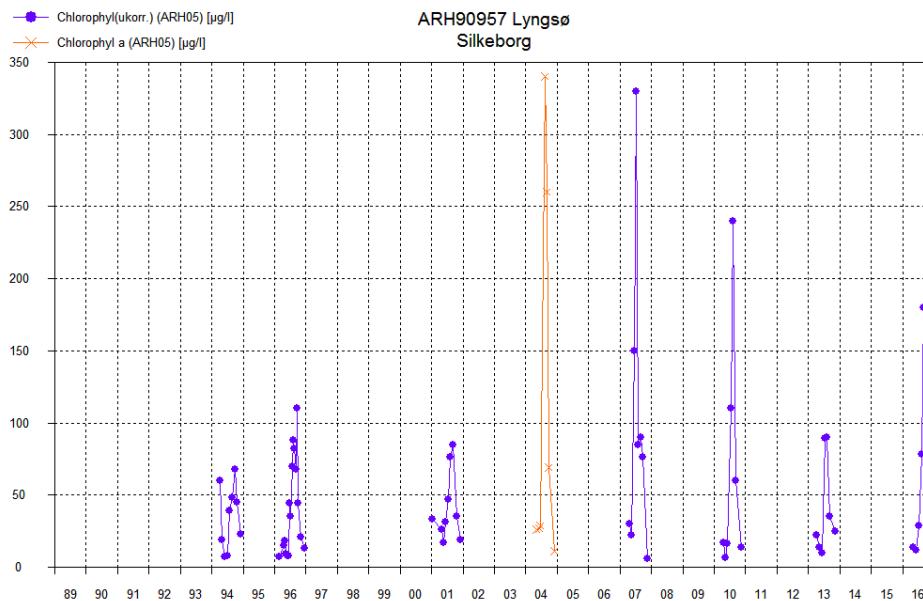
Figur 3.2.4: Fosforkoncentrationen (total-P) i overfladevandet som sommergennemsnit i Lyngsø i perioden 1994-2016.



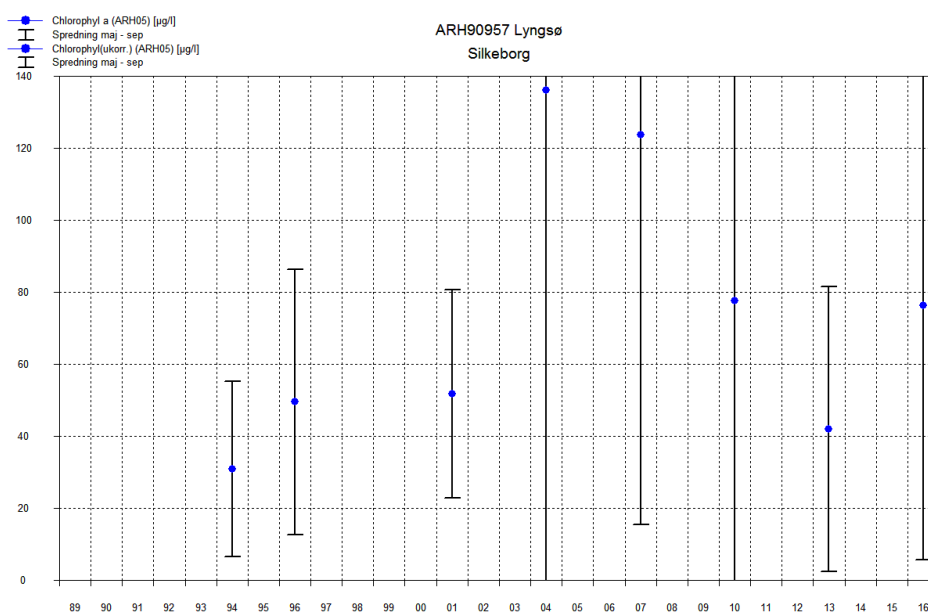
Figur 3.2.5: Fosforkoncentrationen (total-P) i bundvandet som sommergennemsnit i Lyngsø i perioden 1994-2016.

Figur 3.2.6 viser koncentrationen af klorofyl-a i overfladevandet i perioden 1994 til 2016. Målingerne er hovedsagelig fra sommerperioden, og der ses en stor variation fra under 10 µg/l til over 300 µg/l. Søens klorofylindhold varierer meget fra år til år, og der er ingen signifikant udvikling i overvågningsperioden.

Sommergennemsnittet for klorofyl på 76 µg/l i 2016, der fremgår af Figur 3.2.7 og Tabel 3.2.1, ligger langt over den målsatte værdi i Vandområdeplan 2015-2021 på ca. 12 µg/l for "god økologisk" tilstand i dybe ferske søer. I 2016 svarer klorofylkoncentrationen til "dårlig økologisk tilstand".



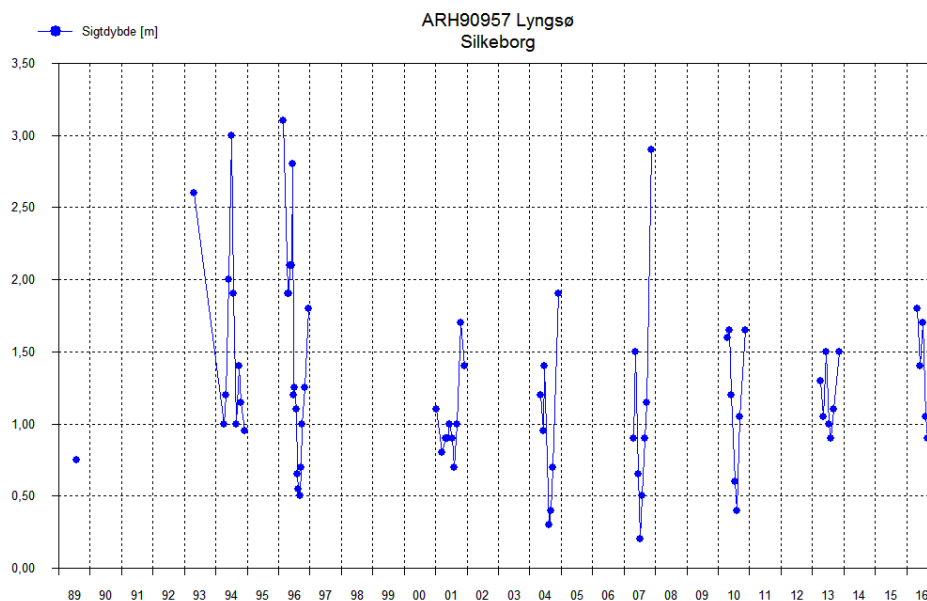
Figur 3.2.6: Klorofylkoncentrationen i Lyngsø i perioden 1994-2016.



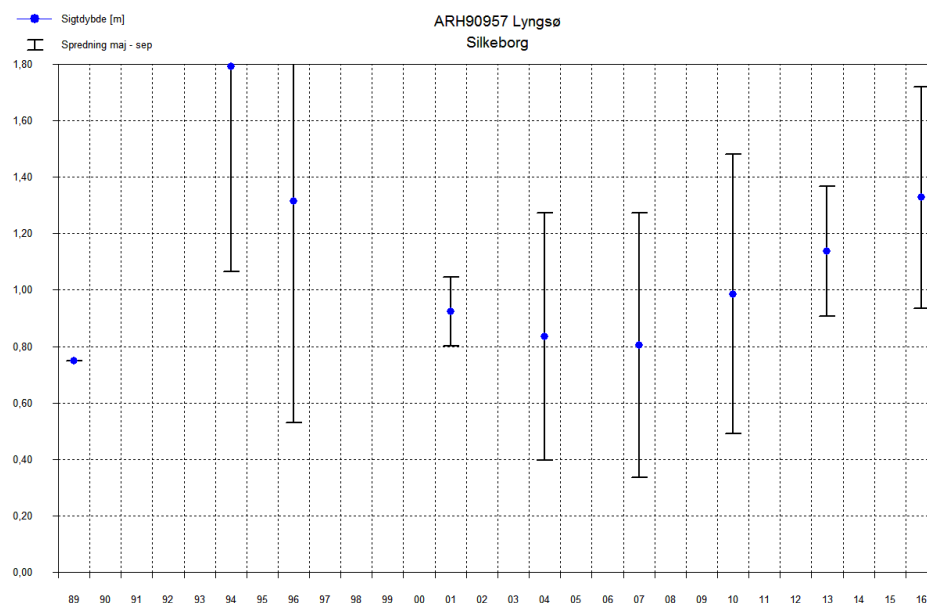
Figur 3.2.7: Klorofylkoncentrationen som sommergennemsnit i Lyngsø i perioden 1994-2016.

Figur 3.2.8 viser sigtddyben (mål for vandets klarhed målt med en hvid secchiskive) i overfladevandet i de seneste år. Målingerne er hovedsagelig fra sommerperioden og ligger i intervallet 0,4 – 1,5 meter med enkelte målinger over 1,5 meter. Der er ingen signifikant udvikling i søens sigtddybe set over hele overvågningsperioden, men sigtddyben er steget siden 2007. En sommersigtddybe på ca. 1,3 meter i 2016 er dog stadig relativt lav, når søen har en middeldybde på 2,4 meter. Søvandet fremstår i dag i perioder uklart og grønt på grund af stor vækst af fytoplankton, og det uklare vand er en hindring for en større udbredelse af undervandsvegetation.



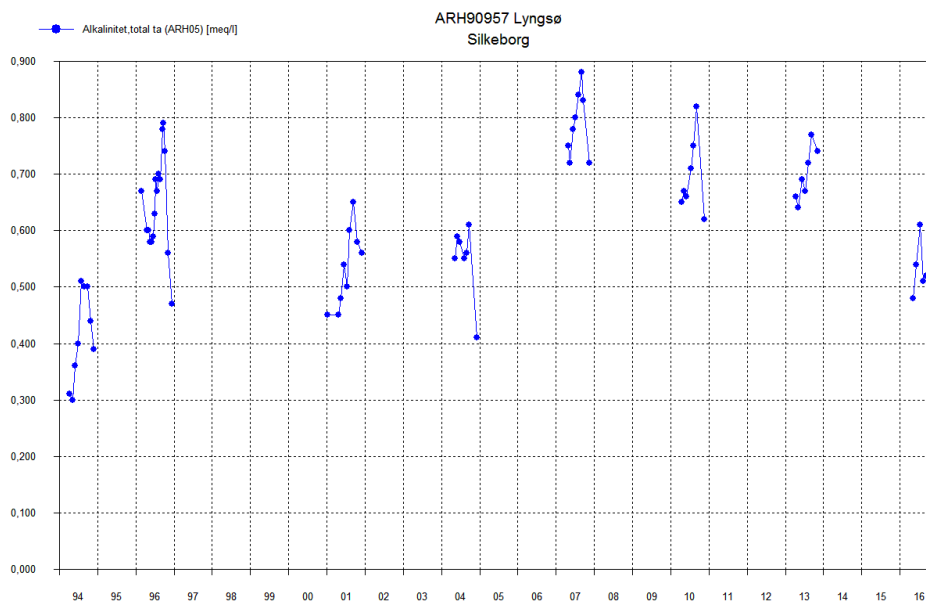


Figur 3.2.8: Sigt dybden i Lyngsø i perioden 1989-2016.



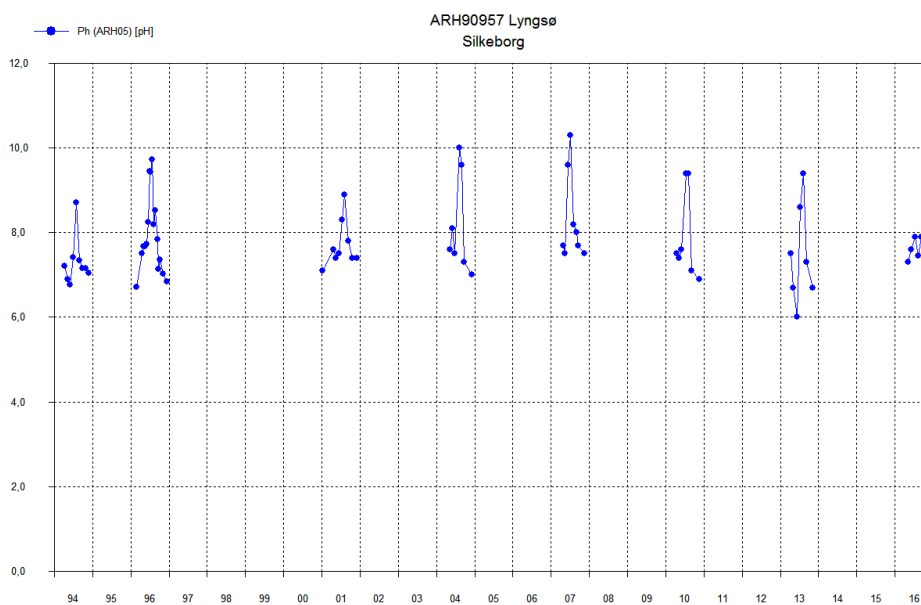
Figur 3.2.9: Sigt dybden i Lyngsø som sommergennemsnit i perioden 1989-2016.

Andre betydende parametre for vurderingen af søens egnethed til f.eks. kemisk fosforfældning er alkalinitet og pH. I Figur 3.2.10 ses en kurve over alkaliniteten i Lyngsø i perioden 1994 til 2016. Det ses, at alkaliniteten varierer noget fra år til år og inden for de enkelte år, men typisk er 0,55-0,8 mækv/l om sommeren. Søen kan dermed karakteriseres som en moderat alkalisk sø.



Figur 3.2.10: Alkaliniteten i Lyngsø i perioden 1994-2016

I Figur 3.2.11 ses en kurve over pH i Lyngsø i perioden 1994 til 2016. pH er normalt under 8 men i perioder om sommeren med høj algeproduktion kan pH stige til ca. 9. Det skete dog ikke i 2016. I efteråret og om vinteren er pH typisk lavere end om sommeren.



Figur 3.2.11: pH i Lyngsø i perioden 1994-2016

	2004	2007	2010	2013	2016
Total-N, mg N/l	2,14	0,88	0,88	0,58	0,52
Ammonium-N, µg N/l	77		17		
Nitrat+nitrit-N, µg N/l	28		71		
Total-P, µg P/l	170	135	143	62	62
Ortho-P, µg P/l	39		6		
pH	8,4	8,6	8,0	7,4	7,7
Alkalinitet	0,57	0,81	0,73	0,71	0,54
Klorofyl, µg/l	136	124	78	42	76
Sigtdybde, meter	0,84	0,80	0,99	1,14	1,33

Tabel 3.2.1: Sommergennemsnit af vigtige vandkemiske parametre i Lyngsø i perioden 2004-2016.

### 3.3. Biologiske forhold

I dette afsnit gennemgås resultaterne af undersøgelser af biologiske forhold i Lyngsø med fokus på søens fiskebestand og vegetation.

#### 3.3.1 Fisk

Som led i det nationale overvågningsprogram NOVANA blev der gennemført fiskeundersøgelser i Lyngsø i 2010 og senest i 2016 med henblik på en vurdering af fiskebestandens artssammensætning, størrelsesfordeling og biomasse og dermed økologiske tilstand. Retningslinjer i den nyeste udgave af Nationalt Center for Miljø og Energi's (DCE) tekniske anvisning for fiskeundersøgelser i søer (TA-S05) blev fulgt. Feltarbejdet i 2010 blev udført i perioden fra d. 31. august til 2. september, og i 2016 udført i perioden 15. til 16. august. I begge undersøgelser blev der anvendt 9 biologiske oversigtsgarn og elektrofiskeri.

I 2010 og 2016 blev der registreret de samme 6 arter; aborre, gedde, skalle, rudskalle, brasen og ål, dog blev der også fanget en enkelt suder i 2010. Ål blev kun observeret under elektrofiskeri.

I 2010 blev der i alt fanget 803 fisk (89 fisk pr. garn) med samlet vægt på 17,2 kg.

Gennemsnitsfangsten pr. garn i fiskeundersøgelse i 2010 var 1,9 kg fisk.

**2010**

Art	Antal per art			Vægt (gr.) per art		
	<10 cm	>10 cm	total	<10 cm	>10 cm	total
Aborre	33	60	93	340	2,220	2,560
Gedde	0	2	2	0	2,350	2,350
Brasen	4	20	24	10	1,030	1,040
Rudskalle	145	8	153	1,060	530	1,590
Skalle	452	78	530	3,600	5,320	8,920
Suder	0	1	1	0	750	750
Total	634	169	803	5,010	12,200	17,210

I 2016 blev der i alt fanget 671 fisk (75 fisk pr. garn) med samlet vægt på 33,3 kg. Gennemsnitsfangsten pr. garn i fiskeundersøgelse i 2016 var 3,7 kg fisk.

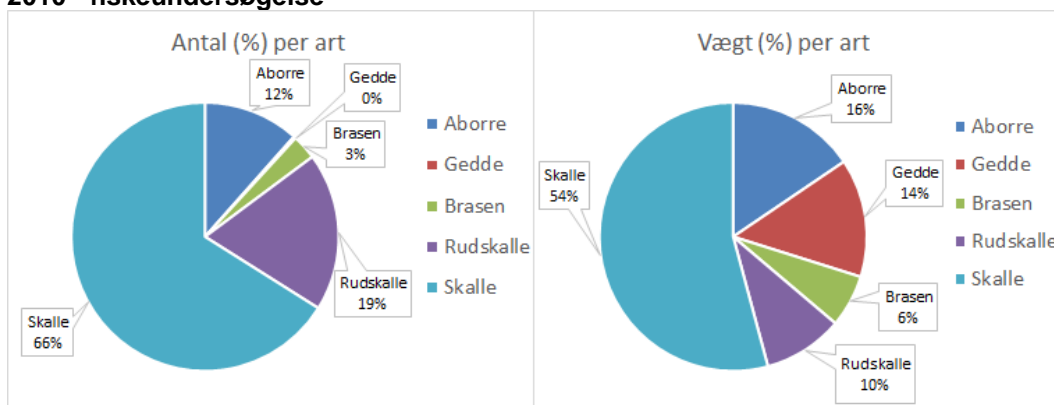
**2016**

Art	Antal per art			Vægt (gr.) per art		
	<10 cm	>10 cm	total	<10 cm	>10 cm	total
Aborre	235	57	292	1,140	1,710	2,850
Gedde	0	3	3	0	6,250	6,250
Brasen	3	20	23	100	14,710	14,710
Rudskalle	27	62	89	190	1,880	2,070
Skalle	103	161	264	1,120	6,350	7,460
Total	368	303	671	2,550	30,900	33,340

Antalsmæssigt er Lyngsø domineret af små (<10 cm) og store (>10 cm) skaller, små (<10 cm) aborre samt rudskalle, Figur 3.3.1 og Figur 3.3.2. Skaller udgjorde 66% af fangsten i 2010 og 39% af fangsten i 2016, hvorimod aborre udgjorde 12 % af fangsten i 2010 og 44 % af fangsten i 2016, hvor aborrerne havde en høj rekruttering og antallet af små aborre var højt. Antalsmæssigt udgjorde rudskalle 19 % og 13 % af fangsten i henholdsvis 2010 og 2016.

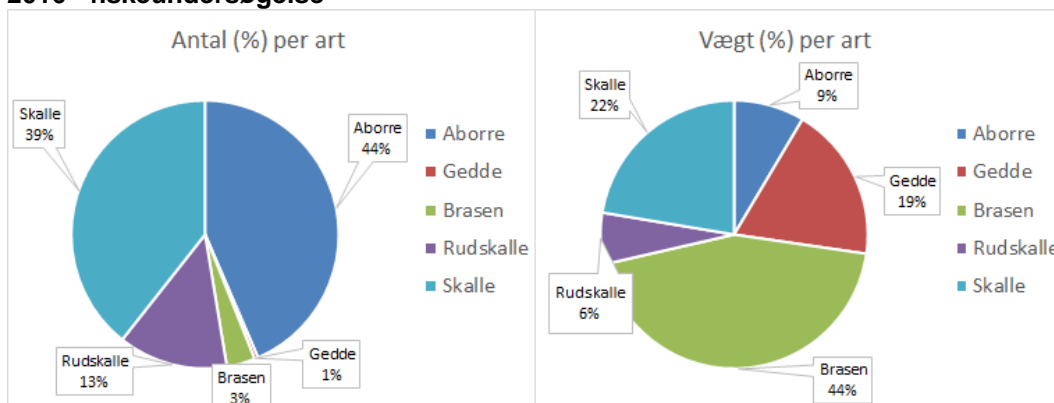
Vægtmæssigt er Lyngsø domineret af fredfiskene skalle, rudskalle og brasen, som tilsammen udgjorde 70 % af fangsten i 2010 og 72 % af fangsten i 2016. Vægtmæssigt udgjorde gedde og store (>10 cm) aborrer kun 27 % og 24 % af fangsten i henholdsvis 2010 og 2016.

**2010 - fiskeundersøgelse**



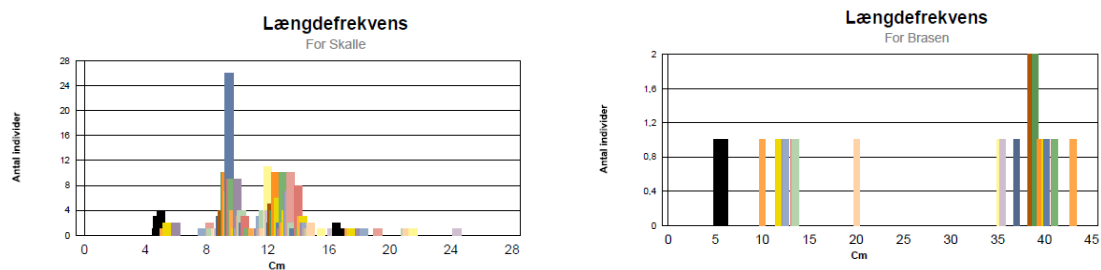
Figur 3.3.1: Antal og vægtfordeling i % af fiskearter i Lyngsø i 2010. Data fra fiskeundersøgelsen udført i 2010.

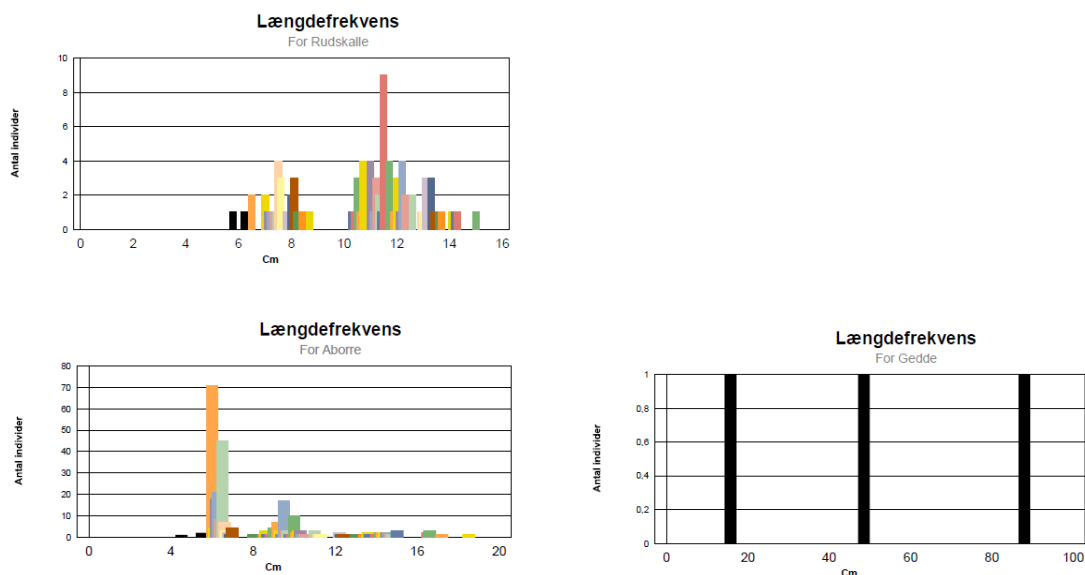
**2016 - fiskeundersøgelse**



Figur 3.3.2: Antal og vægtfordeling i % af fiskearter i Lyngsø i 2016. Data fra den seneste fiskeundersøgelsen udført i 2016.

Størrelsesfordeling af arter af fredfisk (skalle, brasen og rudskalle) samt aborre og gedde i 2016 er vist i Figur 3.3.3.





Figur 3.3.3: Størrelsesfordelingen af fiskearter i Lyngsø fanget med 9 oversigtsgarn i den seneste fiskeundersøgelse udført i 2016.

Generelt er den nuværende fiskebestand i Lyngsø karakteriseret ved mange småfisk af især aborre og skalle, mens bestanden af større aborrer ( $\geq 15$  cm) og gedder er meget lille. De meget få aborrer i rovfiskestørrelsen  $\geq 15$  cm er karakteristisk for næringsrige søer. I 2016 var der meget aborreyngel, men antallet af større aborrer (de ældre aldersgrupper) var lav. Selvom rekrutteringsgrundlaget for flere og større aborrer (rovaborre) er til stede, er der formentlig både en høj dødelighed de første år og en stor konkurrence om føden fra den store fredfiskebestanden, som forsinker aborrernes vækst. Dermed kan de ende som et "tusindebrødre" samfund, hvor kun få aborrer opnår en størrelse, hvor de kan betragtes som rovfisk ( $>15$ -20 cm).



Foto: Småaborrer på lavt vand. Kilde: Rudolf Svensen.

En beregning af fiskeindeks for søer (<http://www.dmu.dk/Pub/SR59.pdf>) baseres på fire indikatorer:

- 1 - Totalfangst (antal) pr. garn
- 2 - Vægtandel af rovfisk over 10 cm
- 3 – Vægtandel af skalle og brasen
- 4 - Middel individbiomasse i den totale fangst (BPUE/NPUE).

Beregningen giver en såkaldt EQR værdi - Ecological Quality Ratio.

#### Beregninger 2016:

1. Antal fisk per garn: 75 fisk per garn
2. Vægtandel af rovfisk > 10:  $1.710 + 6.250$  (vgt. af aborre og gedde >10 cm) /  $33.340$  (total vægt af alle fisk) = 0,239
3. Vægtandel skalle og brasen:  $(7.460 + 14.710 / 33.340) = 0,668$
4. Middel individbiomasse i den totale fangst (BPUE/NPUE) i gram = 0,02

Beregningen baseret på data fra den seneste fiskeundersøgelse i 2016 var på 0,167. Det svarer til en "ringe økologisk tilstand" i klassifikationssystemet i Vandområdeplan 2015-2021.

### 3.3.2 Vegetation (makrofytter)

I 2010 (d. 29. juni) og 2016 (d. 12. august) blev der udført en undersøgelse af vegetationen (makrofytter) i Lyngsø efter retningslinjer i NOVANA programmet (ekstensiv 1 sø, TA-S04).

Arter af undervands- og flydeplanter, som blev observeret i Lyngsø, samt det relative plantedækkede areal (RPA) er vist i Tabel 3.3.1.

Tabel 3.3.1: Observerede plantearter i Lyngsø samt deres relative plantedækkede areal (RPA) fra vegetationsundersøgelser udført i 2010 og 2016. Data fra STOQ, Danmarks Miljøportal.

Lyngsø	(RPA) %		(RPA) %
<b>2010</b>	<b>13,72</b>	<b>2016</b>	<b>1,47</b>
Bugtet glanstråd ( <i>Nitella flexilis</i> )	13,06	Brudelys, submers ( <i>Butomus umbellatus</i> )	0,03
Vandpileurt ( <i>Persicaria amphibia</i> )	-	Vandpest ( <i>Elodea canadensis</i> )	0,02
Gul åkande ( <i>Nuphar lutea</i> )	-	Gul åkande ( <i>Nuphar lutea</i> )	1,86
Frøbid ( <i>Hydrocharis sp.</i> )	-	Frøbid ( <i>Hydrocharis sp.</i> )	-
Kruset vandaks ( <i>Potamogeton crispus</i> )	0,69	Kruset vandaks ( <i>Potamogeton crispus</i> )	1,41

I 2010 blev der observeret få arter af undervandsplanter, hvoraf Bugtet glanstråd samt Kruset vandaks var de mest hyppige. Det relative plantedækkede areal (RPA) var næsten 14 % og det plantefyldte volumen (RPV) var 1,54 %. Dybdegrænsen for undervandsplanter var 2,1 meter.



Foto: Kruset vandaks. Kilde: Rudolf Svensen.

I 2016 blev der også observeret få arter af undervandsplanter, hvoraf Kruset vandaks var den mest hyppige med en gennemsnitlig dækningsgrad på 1,4 %. I undersøgelsen i 2016 var RPA reduceret til kun 1,47 %, og det plantefyldte volumen (RPV) til kun 0,27 %. Begge værdier var betydeligt lavere end i 2010 på trods af, at sigtdybden var lidt højere i 2016 end i 2010. Dybdegrænsen for undervandsplanter i 2016 var 1,9 meter. Den afgørende forskel var, at kransnålgæarten Bugtet Glanstråd ikke blev registreret i 2016.

Øvrige vand- og flydebladsplanter observeret i søen i 2010 var flydebladsplanterne Vandpileurt, Frøbid og Gul åkande. I 2016 blev der også observeret Frøbid samt Bru-delys og Vandpest, og i begge undersøgelser blev der observeret sporadisk forekomst af arter af trådalger.

Samlet set er undervandsvegetationen artsfattig, indikatorarten for rent vand, Bugtet glanstråd, er forsvundet, dækningsgraden er lav og dybdegrænsen er nu under 2 meter. Samlet set svarer det til "ringe økologisk tilstand" (Søndergaard m.fl., 2013). Der er tale om en betydelig forringelse af tilstanden og tilbagegang for undervandsvegetationen i Lyngsø i perioden 2010 til 2016. Der kan ikke peges på en entydig årsag til dette, idet der ikke er sket en forringelse af sigtdybden. Det kan undre, at Bugtet glanstråd er helt forsvundet fra søen efter at have være den dominerende art i 2010. Det er dog vurderingen, at Lyngsø i henseende til undervandsvegetation byder på forringede og meget varierende vækstbetingelser, hvilket er årsagen til det ringe antal arter og fluktuationerne i arternes forekomst samt fluktuationerne i RPV og RPA.



## 4. VAND- OG NÆRINGSSTOFTILFØRSEL FRA OPLANDET

### 4.1. Vandområdeplan 2015-2021

I Vandområdeplan 2015-2021 har Miljøstyrelsen beregnet en gennemsnitlig årlig tilførsel af vand og fosfor til en række målsatte søer, herunder Lyngsø. I beregningen er der anvendt en standardmetode med en opsplittning af bidragene fra punktkilder og det åbne land (status 2010-2014) samt en baseline tilførsel (2021). Baseline 2021 tilførslen er en fremskrivning under indregning af allerede vedtagne indsatser, herunder planlagte indsatser overfor f.eks. spildevandsrensning, der er indarbejdet i kommunens spildevandsplan. Opgørelsen er kun udarbejdet for næringsstoffet fosfor, som almindeligvis har størst betydning for miljøtilstanden i danske søer.

Det atmosfæriske bidrag af fosfor ved deposition på selve søoverfladen er ikke opgjort særskilt, men sættes normalt til 0,1 kg P/ha søoverflade årligt (Bjerring m.fl., 2015). Det svarer til ca. 1,0 kg P/år på hele søoverfladen i Lyngsø.

Ifølge Miljøstyrelsen er den gennemsnitlige årlige tilførsel af vand til Lyngsø (overfladevand og grundvand) 167.800 m<sup>3</sup>/år. Tilførslen af fosfor til søen er på baggrund af vandtilførslen opgjort til 12,2 kg P/år (total-P), hvilket svarer til en vandføringsvægtet indløbskoncentration af total-P på 73 µg P/l (Miljøstyrelsen, 2017).

For perioden 2010-2014 er tilførslen af fosfor fra det åbne land (diffus tilførsel) opgjort til 9,5 kg P/år og fra regnbetingede udledninger 10,1 kg P/år. Forskellen mellem den aktuelle belastning beregnet som summen af bidraget fra det åbne land og regnbetingede udledninger og statustilførslen på 12,2 kg P/år skyldes, at den aktuelle tilførsel i perioden 2010-2014 er "normeret" til middelvandføringen gennem hele perioden 1990-2014.

Miljøstyrelsen oplyser ikke, hvordan fordelingen af tilførsler af vand og fosfor er fordelt mellem grundvand og overfladevand. Miljøstyrelsen oplyser heller ikke, hvor meget fosfor, der aflastes fra søen via afløbet.

Miljøstyrelsen har ikke foretaget direkte målinger af vandføringer og fosfortilførsel i tilløb til Lyngsø. Opgørelsen er baseret på data fra referencestationer og typeoplunde og er derfor behæftet med betydelig usikkerhed.

Opnåelse af en sommergennemsnitlig fosforkoncentration på 31 µg P/l, som er forudsætningen for målopfyldelse i fremtiden, kræver ifølge Miljøstyrelsens en reduktion af tilførslen af fosfor til søen på 2 kg P/år (indsatsbehov). Se også kapitel 5.1.

## 5. VURDERING AF MÅLOPFYLDELSE NU OG PÅ SIGT

Lyngsø er målsat med "god økologisk tilstand" i Vandområdeplan 2015-2021 for Jylland-Fyn (SVANA, 2016). Målsætning og tilstand for søen fremgår af Tabel 5.1. Miljømålet er ikke opfyldt, fordi tilstandsklasserne for de enkelte tilstandsparametre er dårligere end "god økologisk tilstand" eller ukendte. Den samlede tilstand er vurderet som "dårlig økologisk tilstand" i Lyngsø, idet tilstandsparameteren med den laveste værdi definerer den samlede tilstand ("one out all out" princippet). Data fra undersøgelserne i 2016 undersøgelsen indgår ikke i tilstandsvurderingen, men søens tilstand vurderes stadig at være dårlig på baggrund af overvågningsdata for klorofyl, fiskebestand og makrofytter. Lyngsø opfylder dermed heller ikke målsætningen, når de nye data fra 2016 lægges til grund for vurderingen.

Oplandet til Lyngsø er i Vandområdeplanen 2015-2021 udpeget til en indsats overfor fosfor i form af fosforvådområder. Desuden er det registreret som et område med en indsats over for spildevand fra spredt bebyggelse (OP) (MiljøGIS, 2018). Der er ikke fastsat en indsats over for regnbetingede udledninger i statens indsatsprogram i søens opland.

Det fremgår af indsatsprogrammet, at Lyngsø skal restaureres ved anvendelse af bio-manipulation (opfiskning af fredfisk) eller fosforfældning (indgreb overfor den interne fosforfrigivelse fra søsedimentet) på baggrund af en nærmere analyse af søens egnethed til sørestaurering. Ud over restaurering i selve søen skal den eksterne fosfortilførsel fra oplandet også reduceres som foreskrevet i Vandområdeplan 2015-2021.

Tabel 5.1: Målsætning, tilstand og indsatsbehov i Lyngsø. Kilde Miljøstyrelsen (MiljøGIS). Data fra 2016 undersøgelsen indgår ikke i tilstandsvurderingen.

	<b>Lyngsø miljømål og indsats</b>
Målsætning (miljømål)	God økologisk tilstand
Tilstand klorofyl (udtryk for mængden af planktonalger)	Ringe økologisk tilstand
Tilstand fytoplankton (Mængde og sammensætning af planktonalger)	Ukendt
Tilstand makrofytter (undervandsplanter)	God økologisk tilstand
Tilstand fisk	Dårlig økologisk tilstand
Miljøfarlige stoffer	Ukendt tilstand
<b>Samlet tilstand</b>	<b>Dårlig økologisk tilstand</b>
Målsætning opfyldt	Nej
Indsatsbehov fosfor	2 kg P/år
Indsatsbehov restaurering	Sørestaurering

### 5.1. Fosformodelling og indsatsbehov

På baggrund af Miljøstyrelsens massebalancer for fosfor og vand kan der beregnes en fosforkoncentration i søen, når denne er i biologisk/kemisk ligevægt med tilførslen af fosfor fra oplandet.

Med en fosfortilførsel på 12,2 kg P/år, en vandtilførsel på 167.800 m<sup>3</sup>/år og en gennemsnitlig opholdstid af vandet i søen på 1,38 år vil Lyngsø ifølge Miljøstyrelsens modelberegninger i en ligevægtstilstand have en fosforkoncentration (sommergennemsnit) på 42 µg P/l (Miljøstyrelsen, 29/9 2017).

Søndergaard m.fl. (2003) har i en analyse af danske søer vurderet, at god økologisk tilstand i dybe søer (søtype 10) er betinget af en fosforkoncentration (sommergennemsnit) på maks. ca. 25 µg P/l. Miljøstyrelsen har i Vandområdeplan 2015-2021 vurderet, at 31 µg P/l som sommergennemsnit er forudsætningen for en god økologisk tilstand i Lyngsø. Ved at regne tilbage med førnævnte fosformodel og korrigere for forskellen mellem sommer- og årgennemsnit kræver det, at den eksterne tilførsel af fosfor reduceres med 2 kg P/år.

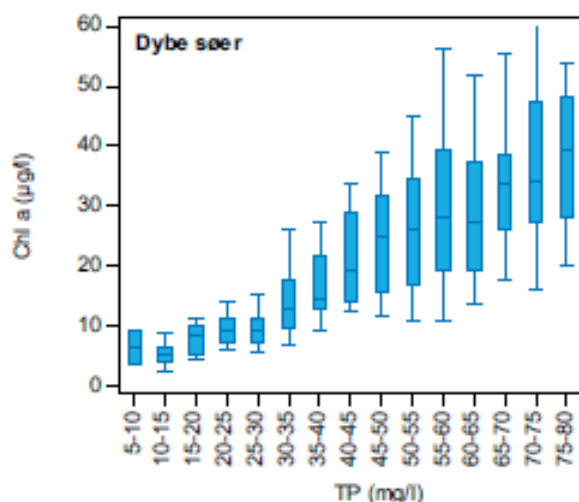
Ovenstående konklusioner er baseret på en ligevægtstilstand i søen, og forudsætter, at der ikke sker nettofrigivelse af fosfor fra sedimentet eller negative forskydninger i fødekæderne i form af øget dominans af dyreplanktonspisende fredfisk som skaller, dvs. at søen befinder sig i en klarvandet tilstand med undervandsvegetation.

Ud fra en formel for relationen mellem klorofyl og fosfor i dybe søer:

Klorofyl a = 229,1\*TP<sup>0,80</sup> (Jensen m.fl. 1997)

kan der beregnes en fremtidig klorofylkoncentration i Lyngsø på 14 µg/l ved en fosforkoncentration på 31 µg P/l, hvilket er lidt højere end kravværdien på 12 µg/l ved målopfyldelse for parameteren klorofyl for dybe søer (søtype 10), jf. BEK nr 1001 af 29/06/2016. Det skal her tages i betragtning, at modelberegningerne dækker over en statistisk variation.

En undersøgelse foretaget af Søndergaard m.fl. (2015) viser således, at klorofylkoncentrationen kan variere betydeligt inden for fosforintervallet 30-40 µg P/l, og at en større sikkerhed for en klorofylkoncentration på maksimalt 12 µg/l kræver en fosforkoncentration på 20-30 µg P/l, altså lidt lavere end forudsat i Vandområdeplanen, Figur 5.1.1.



Figur 5.1.1: Klorofylkoncentrationen (Chl. a) i dybe søer (gennemsnitsdybde >3 meter) i forhold til koncentrationen af totalfosfor (TP).

Orbicon er enig med Miljøstyrelsen i, at det vil være muligt at opnå "god økologisk tilstand" i Lyngsø, hvis søens fosforkoncentration nedbringes til 31 µg P/l. Det er dog på baggrund af data i Figur 5.1.1 Orbicons vurdering, at der er væsentlig større sikkerhed for målopfyldelse ved at nedbringe fosforkoncentrationen til 25 µg P/l.

I Vandplan 2009-2015 for Randers Fjord (Miljøstyrelsen, 2012) blev tilførslen af fosfor i baseline 2015 (status i 2015) opgjort til 21 kg P/år med et indsatsbehov for målopfyldelse på 8 kg P/år fra regnbetingede udledninger (separatkloakeret område). I vandplanen nævnes det, at datagrundlaget er utilstrækkeligt og yderligere tekniske virkemidler skal identificeres med henblik på at finde løsninger til at reducere fosfortilførslen i dialog med kommunen.

I den gældende Vandområdeplan 2015-2021 er tilførslen af fosfor i baseline 2021 opgjort til 12,2 kg P/år, dvs. 8,8 kg P/år mindre end forudsat i vandplan 2009-2021 og som tidligere nævnt med et indsatsbehov for målopfyldelse på 2 kg P/år, Tabel 5.1.1.

Tabel 5.1.1: Tilførsel af vand og fosfor til Lyngsø i Vandplan 2009-2015 og Vandområdeplan 2015-2021 og indsatsbehov.

	Vandplan 2009-2015	Vandområdeplan 2015-2021
Vandtilførsel, m <sup>3</sup> /år	199.900	167.800
Status fosfortilførsel (baseline), kg P/år	21	12,2
Målsat fosfortilførsel (maks), kg P/år	13	10,2
Indsatsbehov fosfortilførsel, kg P/år.	8	2

Der er ingen detaljerede oplysninger om beregningsforudsætningerne i de to planer, men forskellen skyldes en kombination af ændrede opgørelser af fosforafstrømningen fra oplandet og reviderede fosformodeller, der er taget i anvendelse i forbindelse med skiftet fra Vandplan 2009-2015 til Vandområdeplan 2015-2021.

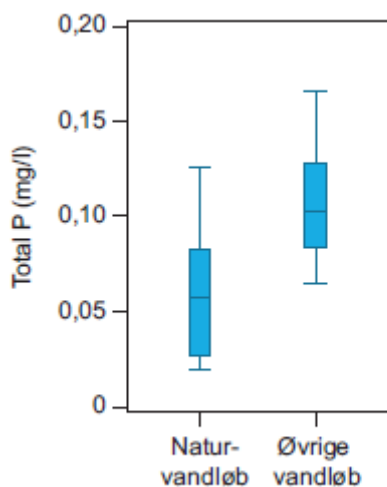
Den arealbaserede vandafstrømning til Lyngsø kan på baggrund af vandtilførslen på 167.800 m<sup>3</sup>/år og et afstrømningsopland på 0,56 km opgøres til 9,5 l/s/km<sup>2</sup>, hvilket er på niveau med en række målte oplande i regionen, om end i den lave ende af intervallet (Danmarks Miljøundersøgelser, 2000).

Opgørelsen af vandtilførslen til Lyngsø i vandplanerne er formentlig behæftet med stor usikkerhed, da 45 % af oplandet er bebyggelse med betydelige befæstede arealer, der ændrer på afstrømningsmønstret. Desuden kan der ske indsivning af grundvand til søen, ligesom der er en naturlig år til år variation afhængig af nedbørsmængden. Der findes desværre ingen målte vandføringer i afløbet fra søen, som kan be- eller afkræfte det anvendte tal for vandtilførsel til søen.

Det fremgår af MiljøGis for vandområdeplanerne 2015-2021, at oplandet til Lyngsø indgår i en større udpegning af indsatser i form af fosforvådområder. Da der ikke er nogen betydende overfladiske vandløb til søen, er dette virkemiddel ikke relevant. Selvom tilførslen af spildevand fra regnbetingede udledninger af Miljøstyrelsen vurderes at være det største kulturbetingede fosforbidrag, er oplandet ikke udpeget til en indsats overfor regnbetingede udledninger.

Miljøstyrelsen har i Vandområdeplan 2015-2021 anvendt en vandføringsvægtet indløbskoncentration på fosforkoncentration på 73 µg P/l under de nuværende forhold.

Ifølge Windolf *et al.*, 2011 var den landsgennemsnitlige koncentration af total P i landbrugsoplande i 2010 (uden punktkilder) 110 µg P/l. Medianen for danske vandløb var ca. 55 µg P/l for naturvandløb og ca. 100 µg P/l for øvrige vandløb ved seneste afrapportering af vandløbsovervågningen i 2016, Figur 5.1.2 (Thodsen m.fl., 2016).



Figur 5.1.2: Koncentrationen af total-fosfor i vandløb i 2015. Vandføringsvægtede årsmiddelværdier. Box-whisker diagrammet angiver 10, 25, 50, 75 og 90 percentiler. (Efter Thodsen m.fl., 2016).

Da oplandet til Lyngsø består af en blanding af bebyggede områder, haver og skov, virker det sandsynligt, at den nuværende vandføringsvægtede indløbskoncentration er ca. 73 µg P/l. Det er højere end naturbidraget, men lavere end i vandløb med meget landbrug og spredt bebyggelse. Som forudsætning for god økologisk tilstand har Miljøstyrelsen vurderet, at den vandføringsvægtede indløbskoncentration ikke må overstige ca. 61 µg P/l svarende til målbelastningen i Vandområdeplan 2015-2021 på 10,2 kg P/år.

Som tidligere nævnt er der størst sikkerhed for målopfyldelse med en søkoncentration af fosfor på maks. ca. 25 µg P/l, hvilket vil kræve en indløbskoncentration, der ligger tæt på naturbidraget, altså ca. 50-55 µg P/l. Det svarer til en målbelastning på ca. 9 kg P/år forudsat, at Miljøstyrelsens vandtilførsel er korrekt. Det vurderes kun muligt at opnå så lave koncentrationer, hvis tilførslen af fosfor fra regnvandsbetingede udledninger er lavere end idag.

Det skal her nævnes, at målsætningen om "god økologisk tilstand" inden 2027 (3. og sidste planperiode for Vandområdeplanerne) kun forventes opfyldt, hvis fosforfrigivelse fra søbunden ikke giver anledning til forhøjede fosforkoncentrationer i overfladevandet. En tilstrækkelig reduktion af fosfortilførslen er forudsætningen for, at et eventuelt restaureringsindgreb over for den interne belastning i søen vil kunne være langtidsholdbart.

Silkeborg Spildevand har oplyst at, der ikke er ukloakerede ejendomme i oplandet til Lyngsø, men der sker udledning af fosfor fra fællesoverløb og regnvandsbetingede udledninger fra separatkloakeret opland. De nyeste tal viser, at der tilføres i alt 6,2 kg P/år til Lyngsø fra afløbssystemet, Tabel 5.1.2. Udløbspunkterne fremgår af Figur 5.1.3.

Tabel 5.1.2: Tilførsel af fosfor fra kloaksystemet til Lyngsø. (Kilde: Silkeborg Spildevand i mail af 9. maj 2018).

Udløbsnr.	Type	Total-P, kg/år
SA0107U	Separatkloakeret, ingen rensning	0,2
SA0108U	Fællesoverløb	0,2
SA0353U	Separatkloakeret, 60 % fjernelse	2,4
SA0413U	Separatkloakeret, 60 % fjernelse	3,2
SA0105U	Separatkloakeret, ingen rensning	0,2
<b>Total</b>		<b>6,2</b>



Figur 5.1.3: Udløbspunkter for fællesoverløb og regnbetingede udløb i Lyngsø. Udløb nr. A19104H indgår ikke i listen i tabel 5.1.2. Det er et udløb af regnvand fra ca. 2 ejendomme og bidrager med skønsmæssigt 0,1 kg P/år.

Silkeborg Spildevand A/S planlægger at separatkloakere oplandet til fællesoverløb SA0108U, som lige nu bidrager med ca. 0,2 kg P/år til Lyngsø. Det separatkloakerede opland kan ledes til bassin 163B og dermed opnå 60% rensning uden behov for udvi-

delse af bassinet. Separatkloakeringen af oplandet vil medføre en forøgelse i udledningen af fosfor til Lyngsø på ca. 0,9 kg P/år, så den samlede belastning fra afløbssystemet til Lyngsø kan stige fra 6,2 kg P/år til 7,1 kg.

Silkeborg Spildevand oplyser, at der om nødvendigt kan foretages en indsats på udløb SA0108U, SA0353U og SA0413U. Disse tre udløb bidrager i alt med 5,8 kg P/år under de nuværende forhold.

Orbicon vurderer, at den nuværende tilførsel af fosfor til Lyngsø er 12-13 kg P/år, hvis der regnes med en fosforkoncentration i vandet fra det åbne land (diffust bidrag og grundvand) på 50 µg P/l og en tilførsel på 6,2 kg P/år fra regnbetingede udledninger. Hvis fosfortilførslen skal reduceres til 9 kg P/år som anbefalet, skal tilførslen fra regnbetingede udledninger således reduceres med ca. 3,5 kg P/år, hvilket kan ske ved at afskære tilledningen fra SA0413U og SA0108U og forebygge øgede udledninger i forbindelse med planlagt separatkloakering i oplandet.



## 6. FOSFORPULJE I SEDIMENTET

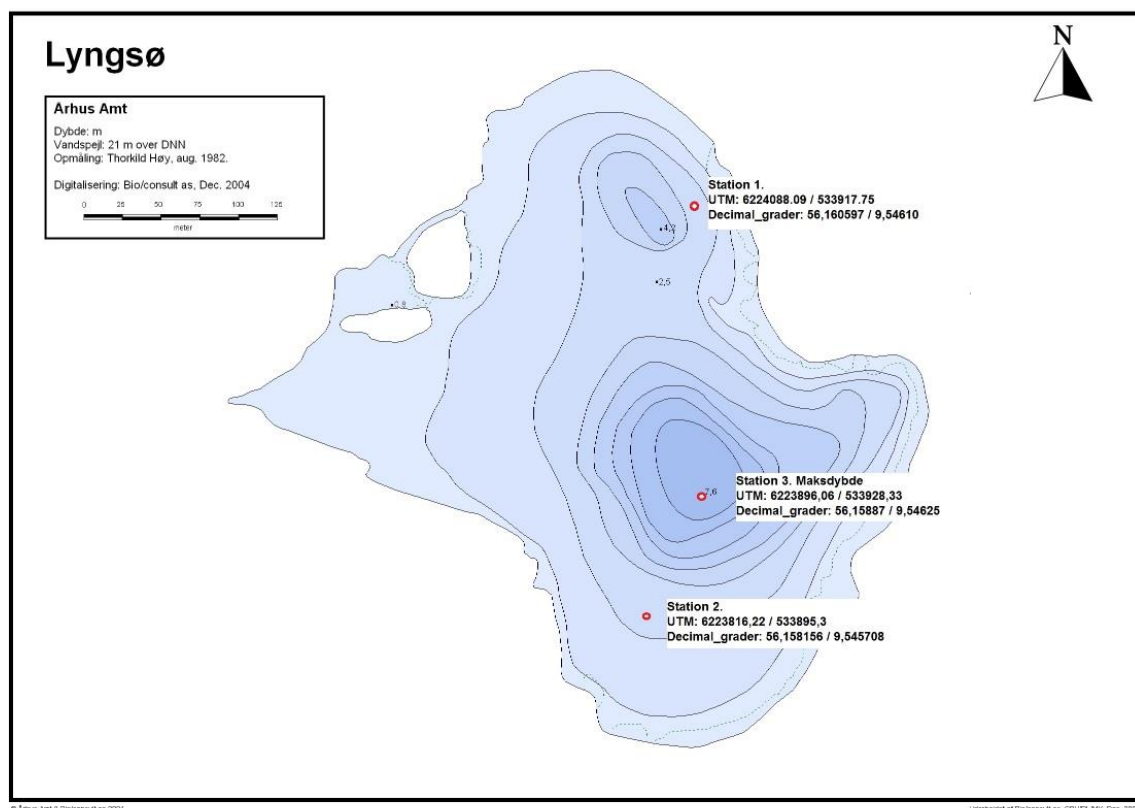
Det afgørende i vurderingen af sedimentets betydning for miljøtilstanden i lavvandede søer er størrelsen af den potentielt mobile fosforpulje og den faktiske udveksling af fosfor mellem sediment og de øvre vandmasser. Udvekslingen er styret af mange faktorer, hvor temperatur, pH og især iltkoncentration i bundvandet har betydning. I perioder med høj temperatur og lave iltkoncentrationer er der en forøget mineralisering af organisk stof og frigivelse af jernbundet fosfor, idet jern under reducerede forhold reduceres fra ferri jern ( $\text{Fe}^{3+}$ ) til ferro jern ( $\text{Fe}^{2+}$ ), som medfører en opløsning af  $\text{FePO}_4$  forbindelser og frigivelse ved diffusion og bioturbation af den frigivne uorganiske (opløste) fosfor til bundvandet.

Ud over størrelsen af frigivelsen af opløst fosfor til bundvandet har det også betydning for miljøtilstanden i søen, om den frigivne fosfor efterfølgende bliver til rådighed for planktonalger. I dybe søer med stabil lagdeling som Lyngsø vil sedimentfrigivet fosfor i bundvandet i ringere grad være til rådighed for fytoplankton i den fotiske zone over springlaget, men temperaturspringlagets placering i vandsøjlen har en betydning. Et overfladenært springlag som i Lyngsø vil lettere kunne brydes midlertidigt ved kraftig blæst, ligesom der kan ske en diffusion af opløst fosfor fra bundvandet til overfladevandet over springlaget eller aktiv optagelse af fosfor fra arter af planktonalger, der aktivt kan bevæge sig vertikalt i vandsøjlen.

### 6.1. Sedimentet i Lyngsø

I de følgende afsnit gennemgås resultaterne af prøvetagningen af sediment i Lyngsø i 2018. Undersøgelsen er udført efter forskrifterne i Vejledning for gennemførelse af sørestaurering (Søndergaard m.fl., 2015).

Der blev udtaget sedimentprøver på 3 stationer (1 på søens dybeste sted og 2 stationer på middeldybden). På hver station blev der i november udtaget tre sedimentsøjler af en længde på hver 40-50 cm, som efterfølgende blev opskåret i 6 intervaller (0-2 cm, 2-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm og 30-50 cm) og puljet for hvert dybdeinterval. Prøverne blev analyseret hos et akkrediteret laboratorium (Eurofins) for tørstof, glødetab, total-P og total-Fe.



Figur 6.1: Dybdekort af Lyngsø (en meter dybdekurver) med placering af prøvetagningsstationer 1, 2 og 3 (maksdybde) til sedimentanalyse. Koordinater er vist i længde-/ breddegrad (EPSG 4326) og UTM.

### 6.1.1 Sedimentkarakteristik

Resultaterne af sedimentanalyserne fremgår af Tabel 6.1.1.

Generelt er sedimentet i Lyngsø i de øverste 20 cm tyndtflydende med et lavt indhold af tørstof (stort vandindhold) og et højt indhold af organisk stof (stort glødetab). Fra 20-30 cm dybde og nedefter bliver sedimentet mere fast, men stadig med et højt indhold af organisk stof. På station 1 er der i dybdeintervallet 30-50 cm et mere mineralsk sediment (sand) med et markant lavere indhold af organisk stof.

Jernindholdet i sedimentet er relativt højt med et vægtet gennemsnit fra de 3 stationer på 29 mg Fe/g ts i de øverste 10 cm.

Fosforindholdet i sedimentet er relativt højt med et vægtet gennemsnit på 3,39 mg P/g ts for de tre stationer. Fosforindholdet er aftagende med dybden på station 1 og 2, som det typisk ses i danske eutrofierede søer. Station 1 og 2 udviser samme niveauer med hensyn til jern- og fosforindholdet, mens station 3 har et væsentligt højere indhold af både jern og fosfor i alle sedimentdybder, Figur 6.1.1. De specielle forhold på

station 3, som er det dybeste sted i søen, skyldes formentlig, at sedimentationen af organisk stof er særlig stor her.

Tablet 6.1.1: Resultater af sedimentanalyser på 3 stationer i Lyngsø i forskellige dybdeintervaller.

	<b>Tørstof, %</b>	<b>Glødetab, % af tørstof</b>	<b>Total-Fe, mg Fe/g ts</b>	<b>Total-P, mg P/g ts</b>
<b>Lyngsø, st. 1</b>				
0-2 cm	4,8	39	27,0	2,40
2-5 cm	14	32	14,0	1,40
5-10 cm	11	56	12,0	1,10
10-20 cm	10	68	7,2	0,63
20-30 cm	20	35	5,8	0,40
30- 50 cm	54	8,2	7,3	0,38
<b>Lyngsø, st. 2</b>				
0-2 cm	2,8	56	29,0	2,70
2-5 cm	5,3	54	31,0	2,50
5-10 cm	6,6	51	25,0	2,10
10-20 cm	8,3	53	19,0	1,80
20-30 cm	8,6	62	11,0	1,10
30-50 cm	9,9	65	12,0	0,90
<b>Lyngsø, st. 3</b>				
0-2 cm	1,1	61	42,0	6,10
2-5 cm	3,4	61	43,0	6,30
5-10 cm	4,7	63	43,0	6,40
10-20 cm	5,0	63	48,0	7,30
20-30 cm	5,9	63	47,0	7,90
30-50 cm	6,8	60	49,0	7,00

Fosforindholdet i de øverste 10 cm af sedimentet på station 1 og 2 er typisk for danske søer. Gennemsnittet for danske søer er således ca. 2,0 mg P g/ts i de øverste lag og 1,0 mg P/g ts i lag dybere end 20-30 cm (Søndergaard m.fl., 1996). I senere analyser af sedimentdata fra 216 danske søer er der fundet et gennemsnitligt fosforindhold på 2,1 mg P/g tv med en medianværdi på 1,6 mg P/g tv i de øverste 0-2 cm (Søndergaard m.fl., 2007). Derimod er fosforindholdet i sedimentet på station 3 i den høje ende med et indhold på 6-7 mg P/g ts helt ned til 50 cm, endda med en stigende tendens i dybden. Det er atypisk, at en sedimentstation adskiller sig så meget fra de øvrige stationer, men det skyldes formentlig, at søens dybeste sted er et lille afgrænset område, hvor organisk stof med et højt fosforindhold gennem årene er sedimenteret

med særlig stor intensitet. Det kulturpåvirkede sedimentlag er således tykkere end 50 cm, og man når med den anvendte prøvetagning ikke ned i upåvirkede sedimentlag.

En undersøgelse af 15 søer viser, at hvis vægtforholdet mellem jern og fosfor, Fe:P, er større end 15 i sedimentet, vil der under normale iltede forhold i sedimentoverfladen være en meget lille frigivelse af fosfor fra sedimentet til søvandet (Jensen m.fl., 1992). Jern-fosfor forholdet (Fe:P) i sedimentet (øverste 10 cm) i Lyngsø er kun ca. 9 (gns. af 3 stationer). Det indikerer en ringe kapacitet til jernbinding af fosfor i sedimentet i Lyngsø generelt, og når store dele af bundvandet samtidig bliver iltfrit om sommeren, frigives en stor del af den jernbundne fosforpulje fra de øvre sedimentlag.

#### 6.1.2 Mobil fosforpulje i sedimentet

Ifølge vejledningen til sørestauration (Søndergaard m.fl., 2015) skal den potentielle mobile fosforpulje i sedimentet fastlægges, inden en eventuel kemisk fældning af fosfor kan tages i brug, og for at fældningskemikaliet kan doseres i den rette mængde. Den potentielt mobile P-pulje er summen af total-P i vandfasen og mobilt P i sedimentet. Puljen i sedimentet udregnes ifølge vejledningen ud fra mindst 3 stationer i søen. Doseringen af aluminium eller Phoslock beregnes efter puljen i sedimentet ned til mindst 10 cm's dybde.

En metode fremgår af vejledningens bilag 1, hvor puljede delprøver af sediment undersøges for porevands-P, jernbundet P, og NaOH-ekstraherbart organisk P (metode 1). Denne type analyser er dog ikke foretaget på sedimentprøverne i 2018 eller tidligere.

Ifølge vejledningen kan man alternativt bruge  $TP_{sed}$ -profilen (metode 2) til en simpel bestemmelse af potentielt mobilt P, idet forskellen på gennemsnittet af TP (totalfosfor) i de øverste 10 cm, og gennemsnittet af TP i de dybere, mere stabile lag med et naturligt lavere fosforindhold repræsenterer den potentielt mobile fosforpulje i sedimentet.

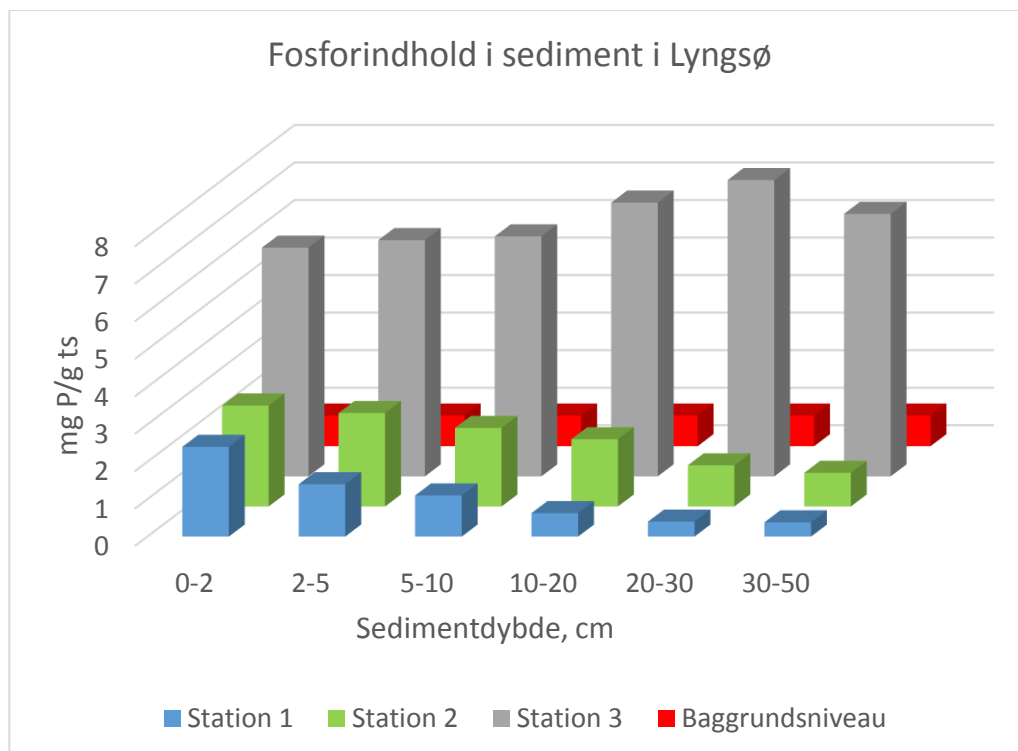
Ligeledes giver  $TP_{sed}$  et godt estimat af puljestørrelsen for mobilt P ud fra ligningen:  $Mobilt\ P = -26,108 + 0,877 * TP_{sed}$ , hvor  $TP_{sed}$  angives i  $\mu\text{mol P/g}$  tørstof (metode 3).

TP metoden (metode 2 og 3) anvendes i beregningen af den mobile fosforpulje i Lyngsø i denne undersøgelse og sammenlignes med tidligere resultater baseret på metode 1.

#### Metode 2:

For hver station antages det, at fosforindholdet i den dybeste fraktion (20-50 cm) repræsenterer den ikke mobile P-pulje, mens indholdet over denne basisværdi i hver fraktion svarer til en mobil P-pulje. Figur 6.1.1 viser således fosforindholdet for TP på de 3 stationer i hvert dybdeinterval. De røde søjler viser gennemsnittet for den nederste fraktion (tilnærmelsesvist baggrundsværdien) på station 1 og 2, idet der ikke er nået en baggrundsværdi i sedimentet indenfor 50 cm på station 3.

Gennemsnittet (vægtet) for de øverste 10 cm på de tre stationer er 3,39 mg P/g ts, som fratrækkes baggrundsværdien på 0,82 mg P/g ts. Det giver en mobil P-pulje på 80 µmol P/g ts svarende til 2,57 mg P/g ts i de øverste 10 cm af sedimentet. Det vurderes, at den mobile P-pulje på sedimentdybder større end 10 cm er tæt på 0 på station 1 og 2, men kan være betydelig på station 3.



Figur 6.1.2: Fosforpuljer i sedimentlag i Lyngsø på 3 stationer. Røde søjler viser gennemsnit af fosforpulje i dybere sedimentlag (20-50 cm) på station 1 og 2 svarende til baggrundsværdien.

### Metode 3:

Mobilt P =  $-24,690 + 0,830 \cdot TP_{sed}$  ( $TP_{sed}$  i µmol P/g tørstof).

$TP_{sed}$  i de øverste 10 cm af sedimentet på gennemsnitligt 3,39 mg P/g ts omregnes til 105 µmol P/g ts. Ved anvendelse af ovenstående model fås en mobil P-pulje på 63 µmol P/g ts svarende til 2,02 mg P/g ts i de øverste 10 cm af sedimentet, dvs. lidt lavere end beregnet med model 2.

Som udgangspunkt for de videre beregninger af den mobile fosforpulje anvendes et gennemsnit af de to metoder på 2,30 mg P/g ts. Det skal her nævnes, at gennemsnittet trækkes meget op af station 3. Hvis man kun bruger data fra station 1 og 2, vil man ved metode 2 få en mobil fosforpulje på 1,08 mg P/g ts.

Ud fra den målte tørstofprocent i hver fraktion og under antagelse af, at volumen/vægt relationen i sedimentet er 1:1,05 og med et vægtet gennemsnitligt tørstofindhold i de øverste 10 cm af sedimentet på ca. 6,5 %, kan der herefter beregnes en arealbaseret mobil P-pulje ud fra den mobile P-pulje i sedimentet på baggrund af gennemsnittet på de tre stationer på 15,7 g P/m<sup>2</sup> sedimentoverflade.

Under antagelse af, at de tre sedimentstationer repræsenterer søarealet med dybder på mere end 2 meter (ca. 40.000 m<sup>2</sup>), hvor sedimentpuljen af fosfor og risikoen for frigivelse af denne er størst, kan der med en mobil P-pulje på 15,7 g P/m<sup>2</sup> beregnes en mobil fosforpulje i Lyngsø på i alt 628 kg P.

Andelen af fosfor i vandfasen, der stammer fra den mobile fosforpulje i sedimentet (og som ikke er medregnet i ovenstående beregning), antages at være 0, da koncentrationerne af fosfor i vandfasen i vinterhalvåret historisk set har været lavere end om sommeren. Sedimentprøverne er som tidligere nævnt udtaget i en vintermåned.

## 6.2. **Vurdering af størrelsen af den interne belastning**

I en vurdering af søens egnethed til sørestaurering ved kemisk fosforfældning er det ikke tilstrækkeligt kun at betragte størrelsen af den potentielt mobile fosforpulje i sedimentet. Der bør også indgå en vurdering af den reelle frigivelse af fosfor i søen på grundlag af en analyse af stigninger i fosforkoncentrationer i søvandet om sommeren fratrukket den eksterne tilførsel i samme periode. Denne fremgangsmåde er dog ikke mulig at anvende i Lyngsø på grund af manglende data om månedlig tilførsel og fratrækelse af fosfor og mangel på vandkemidata siden 2010 uden for sommermånederne.

Som alternativ kan der anvendes en modelberegning af frigivelse af fosfor fra søsedimenter, der er opstillet på baggrund af laboratorieforsøg med måling af frigivelse af fosfor fra intakte sedimentkerner fra 30 danske søer og sedimentets indhold (i de øverste 10 cm) af Fe:P forholdet (vægtbasis) (Flindt m.fl., 2015).

I søsediment med et jernindhold <12 som i Lyngsø er der fundet følgende sammenhæng:

$$Fe/P \leq 12: Flux = 19,501 + 0,714 * TP - 0,00788 * org. materiale$$

Indhold af fosfor i de øverste 10 cm (TP): Beregnet til 24,3 g/m<sup>2</sup>

Indhold af organisk materiale i de øverste 10 cm: Beregnet til ca. 3.600 g/m<sup>2</sup>

Med dette datagrundlag kan der ved brug af modellen beregnes en flux (bruttofrigivelse) af fosfor fra sedimentet på 8,5 mg P/m<sup>2</sup>/d. Det ligger indenfor det niveau, som Flindt m.fl. (2015) har fundet ved laboratiormålinger af fosforflux fra en lang række danske søsedimenter. Frigivelsen fra et bundareal på ca. 40.000 m<sup>2</sup> svarer til 340 g P/d og ca. 52 kg P i sommerperioden maj-september. Hvis denne mængde frigives til

hele søens vandvolumen (som i en lukket beholder) vil det kunne hæve søkoncentrationen af fosfor (ved fuld opblanding af vandmasserne) med 225 µg P/l, hvilket ikke er urealistisk.

Den modelberegnete frigivelse af fosfor er imidlertid forbundet med en betydelig usikkerhed i den enkelte sø. Modellen har den ulempe, at den er baseret på en brutto frigivelse af fosfor fra sedimentet, da et *in vitro* laboratorieforsøg med intakte sedimentsøjler ikke tager højde for sedimentation og anden optagelse af fosfor fra søvandet til sedimentet. Dermed kan ske en overvurdering af fosforfrigivelsen *in situ*. En beregning af netto frigivelsen af fosfor kræver derfor en mere kompleks modelopstilling, hvor sedimentationsraten indgår sammen med sedimentdata, tilførsel og fraførsel af vand og fosfor til søen, søvolumen, dybdeforhold, temperatur m.m. Med de meget høje fosfor-koncentrationer, der måles i bundvandet i Lyngsø, er det ikke usandsynligt, at der frigives 52 kg P i sommermånederne, når man også tager i betragtning, at vandudskiftningen i Lyngsø om sommeren er lille.

Den samlede konklusion er, at sedimentet i Lyngsø indeholder en betydelig mængde mobilt fosfor, og en del af denne pulje frigives til bundvandet om sommeren. Frigivelsen af fosfor fra sedimentet fremmes af iltfrie forhold under temperaturspringlaget på dybder større end ca. 2-3 meter om sommeren. Frigivelsen forstærkes yderligere af periodisk høje pH-værdier, ligesom mineralisering af organisk bundet fosfor og re-suspension af næringsrigt overfladesediment fra f.eks. fødesøgende fisk (især brasen) ved bunden kan øge frigivelsen.

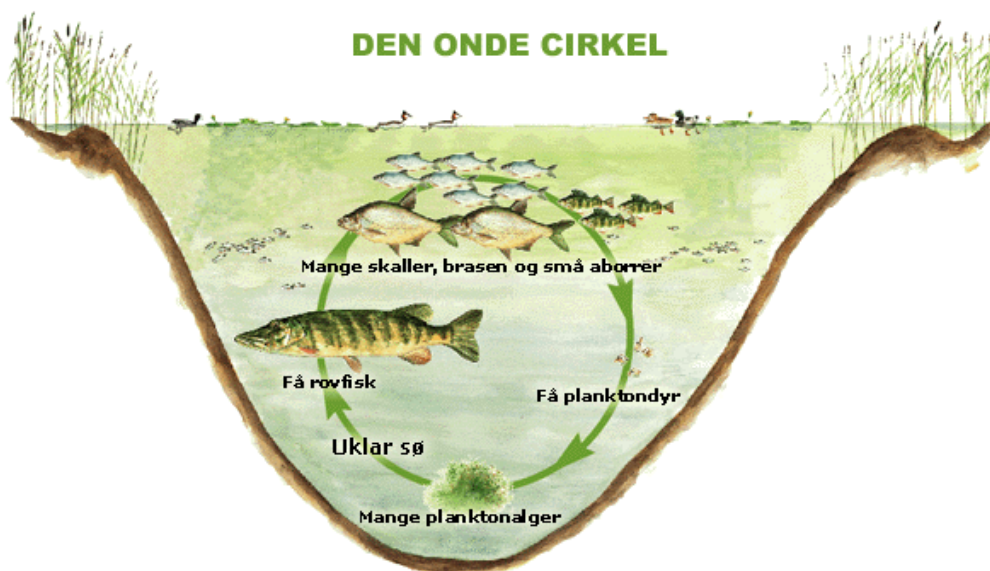
Da temperaturspringlaget ofte kun ligger ca. 2 meter under vandoverfladen, vil der kunne ske en opblanding af overfladevandet med det meget næringsrige bundvand i perioder med blæst og ved diffusion. Frigivelse af fosfor fra sedimentet er således en medvirkende årsag til, at søens målsætning ikke kan opfyldes på kort sigt uden indgreb over for den interne belastning, idet der vil gå mange årtier, før denne store pulje med vandets lange opholdstid i søen om sommeren være aflastet via søens afløb.

## 7. MULIGHEDER FOR SØRESTAURERING

Da Miljøstyrelsen ikke har taget endelig stilling til den mest hensigtsmæssige type sørestaurering i Lyngsø, gennemgås i det følgende muligheder og begrænsninger i de to mulige metoder, biomanipulation ved opfiskning af fredfisk og kemisk fosforfældning i søsedimentet.

### 7.1. Egnethed til sørestaurering ved opfiskning af fredfisk

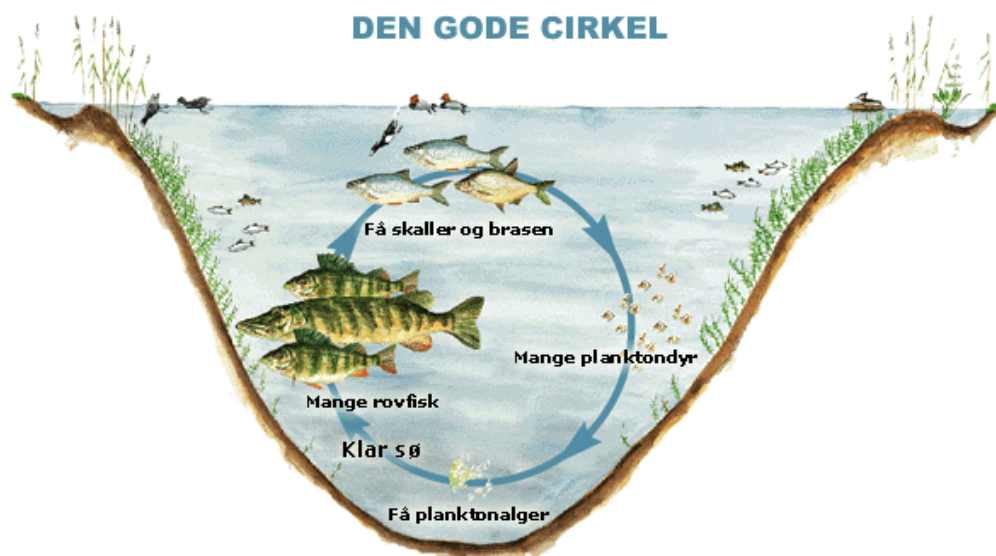
I en omfattende analyse af danske søer, hvor der er gennemført indgreb i fiskebestanden, konkluderes det, at der kan opnås positive effekter ved opfiskning af fredfisk (Liboriussen m.fl., 2007). Generelt anbefales det, at op til 80% af fredfiskenes biomasse fjernes inden for 1-2 år. Opfiskningsmængden øges, jo mere næringsrig søen er og for mange søer svarer det til opfiskning af 200-300 kg fredfisk per ha (Liboriussen m.fl., 2007). Formålet med opfiskningen er at fjerne skaller, brasen og andre fredfisk, der æder det dyreplankton, som ellers skulle nedgræsse planteplankton. Denne situation betegnes den "onde cirkel", Figur 7.1.1.



Figur 7.1.1: Den "onde cirkel" i en uklar sø. Skitse Henrik Skovgaard.

Ved en massiv opfiskning af fredfisk øges dyreplanktons græsning på planteplankton, søen bliver mere klar, og en væsentlig del af primærproduktionen flyttes til vækst af vandplanter og benthiske alger. Det forbedrer iltforholdene ved sedimentoverfladen på lavt vand, og næringsstofindholdet falder betragteligt. Der bliver føde til opvækst af rovfisk som aborre og mere klart vand er en fordel for rovfisk som gedder, der jager ved hjælp af synet. Den situation betegnes som den "gode cirkel", jf. Figur 7.1.2.





Figur 7.1.2: Den "gode cirkel" i en klarvandet sø. Skitse Henrik Skovgaard

En analyse af 27 danske søer, hvor der er foretaget en massiv opfiskning af fredfisk inden for få år viser, at sigtedybden bliver fordoblet ved en opfiskning, mængden af blågrønalger halveres, koncentrationen af klorofyl falder 40 % og koncentrationen af fosfor falder 25 % (Liboriussen m.fl., 2007), Tabel 7.1.1. Effekten har været tidsbegrænset for de fleste af de undersøgte søer (typisk-5-10 år), fordi opfiskningen ikke har været tilstrækkelig omfattende og/eller tilførslen og fosforkoncentrationen i søen i udgangspunktet har været for høj til en stabil tilstand efter indgrebet. I søer med relativt lav fosforkoncentration er der dog eksempler på mere varige forbedringer efter opfiskningen. Det skal dog her nævnes, at erfaringer med restaurering ved indgreb i fiskebestanden hovedsageligt er fra lavvandede søer.

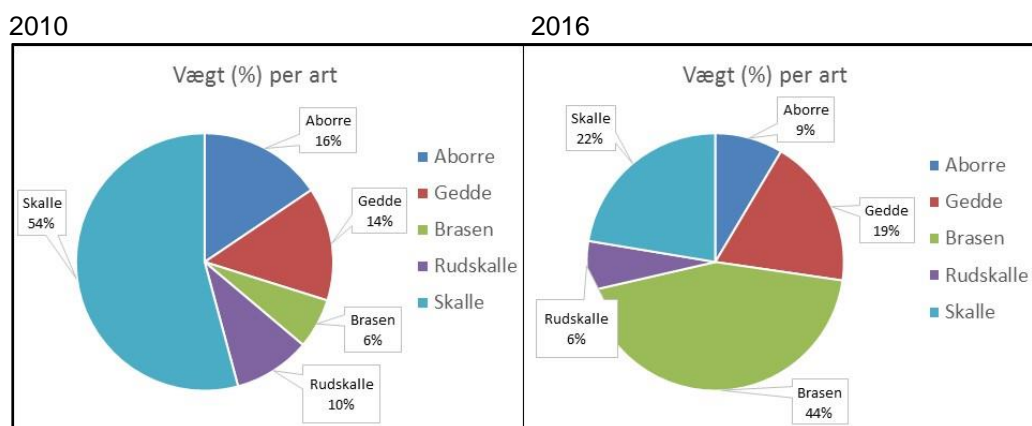
Tabel 7.1.1: Samlet fremstilling af opfiskningens effekt i 27 danske søer på fysisk/kemiske kvalitetselementer og biomassen af planteplankton (baseret på Liboriussen m.fl., 2007).

Parameter	Sigte- dybde	Suspen- deret stof	Klorofyl a	Total-P	Total-N	Algebio- masse	Biomasse af blågrønalger
Ændring efter opfiskning	+100%	-40%	-40%	-25%	-25%	-40%	-50%
Effekt, antal år	10-12 år	10-12 år	6-8 år	ca. 4 år	8-10 år	5-6 år	ca. 5 år

På baggrund af erfaringerne fra tidligere projekter har Søndergaard m.fl. (2015) i vejledningen til sørestaurering opstillet kriterier for at gennemføre en effektiv biomanipulation (opfiskning). Følgende forhold bør iagttages:

- 1) At næringsstofftilførslen til søen er reduceret eller begrænset, og at fosforindholdet i søen er forholdsvis lav.
- 2) At der er en dominans af fredfisk (typisk karpfisk skalle, brasen, rudskalle, sunder mm). Opfiskning af fredfisk kan være relevant, hvis biomassen af fredfisk udgør ca. 60% eller mere af den samlede fiskebestand.
- 3) At der er en vurdering af, hvorvidt der er risiko for genindvandring af andre fredfisk fra vandløb og andre søer i det samme vandsystem.

I kriterier for biomanipulation vurderes det, at opfiskning af fredfisk er relevant, hvis der er dominans af fredfisk og den biomassebaserede fredfiskebestand er over ca. 60 % af den samlede fiskebestand. Både fiskeundersøgelser udført i 2010 og 2016 viser, at Lyngsø vægtmæssigt er domineret af fredfiskene skaller og brasen, som tilsammen udgjorde 60 % af fangsten i 2010 og 66 % af fangsten i 2016.



Der er tidligere foretaget udsætning af geddeyngel i Lyngsø som et biomanipulationsredskab for at forøge top-down kontrollen af fredfiskebestanden, men med begrænset succes. Udsætningen foregik i begyndelsen af 1990'erne, og medførte en betydelig reduktion af karpfiskeyngelen i Lyngsø og denne reduktion kunne afspejles i forbedret vandkvalitet (Prejs et al., 1994; Berg et al., 1997). På dette tidspunkt var udsætninger af geddeyngel i Lyngsø dog betragtet som et videnskabeligt eksperiment, hvor søen var blevet valgt på grund af den meget tætte bestand af karpfisk og søens størrelse og beliggenhed. Allerede ved forsøgets start var der ikke forventninger til at søen ville kunne fastholde sin forbedrede miljøtilstand, med mindre der også blev iværksat andre tiltag såsom begrænsning af næringsstofftilførslen til søen.

Det vurderes, at der kan skabes en fiskebestand i bedre balance i Lyngsø ved at genskabe en top-down kontrol af fredfiskebestanden gennem fjernelse af fredfisk (primært skalle og brasen) således, at rovfiskene (gedde og især rovaborre  $\geq 15$  cm) får mulighed for at kontrollere den tilbageværende fredfiskebestand. Flere rovaborrer og færre fredfisk giver bedre betingelser for dyreplanktonet, som dermed lettere kan holde mængden af planteplankton nede.

Opfiskning af større brasen, som bl.a. er fødesøgende på bunden, vil også har en positiv effekt på aborrenes vækst, da brasen konkurrer med små aborrer om føden i form af invertebrater på søbunden. En stor bestand af brasen i en sø kan således forårsage, at væksten hos mindre aborrer går i stå før aborren når en størrelse, hvor den bliver en effektiv rovfisk. Denne type bestande af aborrer udviser dværgvækst, populært betegnet som "tusindebrødre". Størrelsessammensætningen af aborrer i Lyngsø i 2016 viser tegn på et "tusindebrødre" samfund, da bestanden af aborrer udelukkende består af individer under 20 cm, og mere end 80% af bestanden har en længde under 10 cm.

Opfiskning af store brasen vil desuden reducere den fysiske ophvirvling af sedimentet, som mange store brasen forårsager. Det giver mere klart vand og forbedrede vilkår for først bentiske alger og senere etablering af undervandsvegetation på søbunden.

Tilstedeværelse af gedde og bestanden af forholdsvis mange små og mellemstore aborrer (10-20 cm) i Lyngsø viser, at søen har potentiale for dominans af rovfisk (gedder og flere større "rovaborrer") i forhold til fredfisk ved hjælp af en opfiskning af fredfiskene. En reduktion af især skallebestanden vil mindske prædationstrykket på dyreplankton fra fisk og øge ratioen mellem biomassen af dyreplankton og planteplankton, som i sidste ende vil hjælpe med at reducere biomassen af planteplankton i søen, forbedre sigtddybden og dermed forholdene for undervandsvegetation.

Lyngsø er en del af Gudenå sø system, men sø afløbet til Pøtsø og Ørnsø er rørlagt og der er ikke egentlige vandløb til Lyngsø. Lyngsø er således et forholdsvis isoleret vandområde, og sandsynligheden for genindvandring af fredfisk fra vandløb og andre søer i det samme vandsystem vil være minimal.

Det vurderes, at man med det nuværende fosforniveau kan opnå en forbedring af miljøtilstanden ved opfiskning, selvom søen ikke er lavvandet. En opfiskning vil bidrage til, at fiskestanden kan opnå "god økologisk tilstand" og forbedre vandkvaliteten gennem top-down kontrol i fødekæden og mindre oprodning af bundmateriale fra brasen. På grund af den relativt høje fosforkoncentration for søtypen er der imidlertid også behov for fosforreducerende tiltag, hvis der skal være mere markante og holdbare effekter. Opfiskning kan således ikke stå alene som restaureringsmetode men kan suppleres en restaurering ved kemisk fosforfældning.

## 7.2. **Egnethed til sørestaurering ved kemisk fosforfældning**

Ifølge vejledningen i sørestaurering fra 2015 (Søndergaard m.fl., 2015) bør restaurering ved kemisk fosforfældning i søer kun gennemføres, når en række kriterier er opfyldt, og forudsætningerne for fosforfældning skal derfor godtgøres og verificeres i forundersøgelsen. Kemisk fosforfældning kan foretages ved anvendelse af to fældnings-

midler; aluminiumsalte eller det modificerede lerprodukt Phoslock. I det følgende gennemgås kriterierne for kemisk fældning, og efterfølgende gives der en vurdering af hvert punkt markeret med kursiv skrift

a) Søens P-dynamik er præget af intern P-belastning og søens P-pulje udvaskes ikke eller kun meget langsomt med det afstrømmende vand. Typisk sker der kun en ringe transport af P ud af søen om sommeren pga. ringe vandføring. Aluminiumbehandling af søer bør kun bruges til at immobilisere overskud af fosfor i søvandet og af den pulje af fosfor i sedimentet, som kan frigives til søvandet. Aluminium bør altså ikke bruges i søer for at skabe et fældningsbassin for fosfor tilført fra oplandet. *Lyngsø opfylder kriterium a, idet overvågningsdata viser meget høje fosforkoncentrationer under temperaturspringlaget om sommeren, betinget af frigivelse af fosfor fra sedimentet under iltfrie forhold. Temperaturspringlaget ligger så højt i vandsøjlen, at det i perioder giver anledning til forhøjede fosforkoncentrationer i overfladevandet og adgang til letoptageligt opløst fosfor for planktonalgerne i den fotiske zone.*

b) Det skal være sandsynligt, at fosfor-niveauet efter behandlingen kan overholde de til målopfyldelse svarende fosfor-niveauer angivet i vandområdeplanen. *Miljøstyrelsens beregning af fosfortilførslen er usikker, da den er baseret på typetal for arealafstrømning af fosfor og ikke konkrete data fra tilløbene. Fosfor-niveauet på 31 µg P/l som forudsat i Vandområdeplanen er derfor tilsvarende behæftet med usikkerhed. Det er sandsynligt, at søen efter fosforfældning vil kunne opfylde Vandområdeplanens målsætning, herunder fosfor-niveauet på 31 µg P/l, dog forudsat, at den beregnede fosfortilførsel er retvisende.*

c) En sø kan også behandles, hvis behandlingen kan føre til målopfyldelse i nedstrøms beliggende søer, og så behøver kravet om målopfyldelse ikke nødvendigvis at være opfyldt i den behandlede sø. Der kan således forekomme en situation, hvor en behandling ikke medfører målopfyldelse i den behandlede sø; men hvor behandlingen betyder, at søen ophører med at afgive fosfor til en nedstrøms beliggende sø, som derved bliver i stand til at opfylde målsætningerne. *Den nærmeste målsatte sø umiddelbart nedstrøms er Ørnsø, som vil komme nærmere målopfyldelse ved kemisk fosforfældning i Lyngsø, men målsætningen for Ørnsø kan ikke forventes opfyldt alene af den grund.*

d) Søens alkalinitet er højere end 1 meqv/l. Polyaluminiumklorid er opløst i saltsyre og dannelsen af  $\text{Al}(\text{OH})_3$  ud fra  $\text{Al}^{3+}$  er yderligere en syredannende proces. Fældning af  $\text{Al}(\text{OH})_3$  sker bedst i pH-intervallet 6-6,5. I søer med en lavere alkalinitet end 1 meqv/l er der risiko for, at bufferevnen er for lav, og at pH-værdien efter tilsætning bliver lavere end optimum. I så fald vil man have en høj restkoncentration af  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$  og  $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$ , som alle er særdeles toksiske ioner. Phoslock virker også ved lav alkalinitet, men hvis alkaliniteten er lavere end 0,8 mekv/l anbefales det på det foreliggende grundlag, at der udføres en test af fældningsegenskaberne i det pågældende vand for

at se, hvor hurtigt La (Lanthan) i suspension falder til <10 µg/l. Søens alkalinitet i overfladevandet er ca. 0,7 meqv/l (gns. 2010-2016) og varierer mellem ca. 0,5-0,8 meqv/l. Alkaliniteten er således lavere end 1 meqv/l, og søens bufferevne er derfor begrænset. Det betyder dog ikke nødvendigvis, at fosforfældning ikke kan ske med aluminium, men der bør foretages nogle tilpasninger for at undgå toksiske effekter under udbringning. Det anbefales at anvende den mest neutrale poly-aluminiumklorid på markedet, samt at udbringningen sker i takt med hvad søen kan bufre og i en periode med pH under 7,5-8,0 i søvandet.

e) Søer med lagdeling eller med forholdsvis lille bølgepåvirkning af sedimentet (relativt stor dybde til trods for manglende lagdeling eller lille påvirkning af vind) er egnede til aluminiumbehandling, hvis kriterium f også er opfyldt. Målet er at undgå resuspension af Al-flokken og evt. efterfølgende omflytning. Både Phoslock og Al er følsomme overfor høj turbulens i udbringningssituationen og i op til to uger efter for Phoslock og to måneder efter for Al. Phoslock synker langsomt og kan derfor transporteres med vandstrømme i overfladen (termiske og vinddrevne), mens Al-hydroxid danner en flok, som meget let resuspenderes, indtil den kondenserer i løbet af de første måneder. Lyngsø er en dyb og vindbeskyttet sø med temperaturlagdeling. Risikoen for vindinduceret resuspension af sediment og aluminiums/Phoslock flok er lav. Søens betydelige bestand af brasen (44 % af den vægtbaserede fangst i 2016) kan medvirke til oprodning af sediment og aluminiums/Phoslock flok. Problemet kan reduceres ved en forudgående opfiskning af brasen.

f) Søer, hvor der ikke vurderes at være risiko for, at pH i vandet over den aluminiumbehandlede søbund overstiger 8,5 i de første år efter behandling (hvilket kan føre til genopløsning af udfældet Al), er velegnede. Ved Al-behandling af lavvandede søer kan der være risiko for, at udfældet Al genopløses ved høj pH i forbindelse med resuspension af sedimentet. Det skal vurderes, om et indgreb i fiskebestanden forud for Al-behandling kan afværge risikoen, så Al-behandlingen kan gennemføres alligevel. Søens pH er ca. 7,5 (gns. 2010-2016), men varierer mellem ca. 6,5 og 9,5 med de højeste værdier om sommeren i forbindelse med stor algevækst. Der er således risiko for genopløsning af udfældet Al i Lyngsø ved udbringning om sommeren. pH vil dog være under 7,5-8,0, hvis væksten af fytoplankton begrænses ved forudgående opfiskning af fredfisk. Udbringningen foretages i sidste halvdel af september, hvor pH er faldet tilstrækkeligt og der stadigvæk er meget høje fosfatkoncentrationer i bundvandet. Desuden skal det tilføjes, at de høje kritiske pH værdier kun er registreret i overfladevandet og ikke i bundvandet.

På baggrund af gennemgangen af kriterier for fosforfældning i søer er det vurderingen, at kriterierne for at anvende aluminium til fosforfældning i Lyngsø er opfyldt, dog med behov for visse afværgeforanstaltninger for at afbøde risikoen for toksiske effekter. Desuden bør det sikres, at den eksterne tilførsel af fosfor er nedbragt tilstrækkeligt inden eller senest i forbindelse med restaureringen (se afsnit 5.1).

## 8. SKITSEPROJEKTERING AF SØRESTAURERING

I det følgende gives forslag til projektering af restaureringsforslagene. Det bemærkes, at der ikke er tale om detailprojektering men projektskitser med tilhørende prisoverslag baseret på Miljøstyrelsens standardpriser (SVANA, 2016), der kan danne grundlag for Silkeborg Kommunes eventuelle udbud af opgaverne

Sørestaureringen i Lyngsø retter sig mod en kombination af opfiskning og kemisk fældning af fosfor, med opfiskning som det første tiltag. Det skal dog her nævnes, at restaureringens største effekt opnås gennem kemisk fosforfældning, hvorfor opfiskningen skal betragtes som en form for udyndingsfiskeri med henblik på at nedbringe især bestanden af brasen og sikre målopfyldelse for fiskebestanden.

Hvis det viser sig ikke at være muligt eller omkostningseffektivt at gennemføre begge restaureringstiltag kan kemisk fosforfældning stå alene som restaureringsmetode, men målopfyldelse må forventes at blive forsinket for så vidt angår fiskebestanden, da den først skal tilpasse sig de nye forhold med et lavere fosforniveau efter kemisk fosforfældning.

Erfaringen fra den igangværende restaurering af Dystrup-Ramten søerne i Norddjurs Kommune er, at Miljøstyrelsen skal ansøges om opfiskning og kemisk fosforfældning i separate ansøgninger (Flemming Holmslykke Nielsen, Norddjurs Kommune, pers. meddelelse). Disse forhold bør Silkeborg Kommune afklare med Miljøstyrelsen, inden en eventuel ansøgning indsendes på baggrund af forundersøgelsen.

### 8.1. Restaurering ved opfiskning af fredfisk

Metoder der tidligere er brugt til opfiskning i danske søer med succes, og som vil kunne tages i brug i Lyngsø er:

- **Voddragning** (vod med forholdsvis lille maskestørrelse) for at fange brasen og skalle i alle størrelse.

I princippet kan voddragning foregå hele året, men i mange søer har de største fangster med vodtrækning været i kolde perioder med stille vejr, hvor både brasen og skalle samle sig i store stimer, typisk over de dybere del af søen. I nogle søer (især lavvandede søer) ses de største fangster i varme perioder med stille vejr.

- **Ruser og gællenet** (rødspættegarn og sildegarn), primært til større fisk såsom større brasen og skalle. Fordelagtig metode i søer/områder med vegetation langs bredden i gydeperioden.

Når opfiskning sker med garn og ruser, sker de største fangster ofte i gydeperioden om foråret, hvor karpefisk og specielt brasen bevæger sig ind i rørskoven på lavt vand, hvor de kan fanges med faststående redskaber.

- **Elfiskeri** med store elektroder i bredzonen/rørskoven og lavvandede områder, typisk når fisk stimer sammen i gydeperioden.
- **Pæleruser/bundgarn** for at fange brasen og skalle løbende gennem en periode. Disse passive fiskeredskaber fungerer som store ruser til fangst af fredfisk, når de er mest aktive (f. eks. om foråret). Disse redskaber er ressourcekrævende, da de skal tømmes regelmæssigt.

For at skåne den nuværende sparsomme undervandsvegetation, kan der anvendes stående redskaber (ruser, bundgarn/pæleruser, gællenet) i visse områder. Dog vil det også være effektivt med voddragning i søen efter skalle og især de store brasen.

Kombinationen af voddragning, pæleruser/bundgarn og gællenet vurderes at være den mest omkostningseffektive metode.

#### *Tidsplan - sæsonen*

Erfaringer fra tidligere opfiskninger kan bruges til at optimere indsatsen (Liboriussen m.fl., 2007, Del II, Eksempelsamling). En opfiskning bør gennemføres og tilendebringes inden for en periode på 1-2 år for at mindske risikoen for, at den tilbageværende fiskebestand kompenserer for den opfiskede mængde gennem naturlig reproduktion. Det skal dog her nævnes, at restaureringen af Lyngsø ikke primært sker ved opfiskning, men ved kemisk fosforfældning, hvorfor opfiskningen kan begrænses til 1 års udtyndingsfiskeri.

Et godt tidspunkt at påbegynde opfiskning i Lyngsø er vinter og det tidlige forår. Her er voddragning det mest effektive redskab til at fange skaller og brasen på åbent vand, hvor fiskene ofte samler sig i større stimer.

Skaller og brasen samler sig i større mængder i og langs rørskoven i gydesæsonen i maj og juni, hvor stående redskaber (garn, kasteruser og pæleruser) kan være effektive og fjerne en del moderfisk, før de når at gyde.

Herefter kan man fortsætte med at fokusere indsatsen med de redskaber, som har vist sig at være mest effektive.

Tidsplan og indsatsen for opfiskningsopgaven tager udgangspunkt i et opfiskningsforløb over 1 år.

Hvis erfaringerne viser det er mere fordelagtig at forøge indsatsen i bestemte perioder, hvor det går godt med opfiskning, kan indsatsen i de enkelte perioder justeres derefter.

*Mulige lokaliteter i Lyngsø, hvor det praktiske arbejde vil kunne gennemføres.*

Der er muligt at køre til og fra søen med udstyr og båd på den sydøstlige del af Lyngsø. Man bør også indgå aftaler med lodsejerne og Naturstyrelsen om brug af deres arealer samt afklare, om de selv kan anbefale opfiskningssteder og metoder.

*Mængden af fredfisk som skal fjernes for at opnå et positiv effekt.*

Generelt anbefales det, at op til 80 % af fredfiskenes biomasse fjernes, hvilket i næringsrige søer kan betyde, at 200 til 300 kg fisk pr. hektar skal opfiskes (Liboriussen m.fl., 2007). Det gælder dog især lavvandede søer, hvor fiskene normalt har adgang til hele søvoluminet og søbunden. I Lyngsø er store dele af søvoluminet og søbunden utilgængelig for fisk om sommeren på grund af iltfrie forhold under temperaturspringlaget. Det forventes derfor, at der kun skal opfiskes 150-200 kg fredfisk (brasen, skaller og rudskaller) pr. ha.

Lyngsø er ca. 10 ha. Der skal således opfiskes 1,5-2,0 ton fredfisk inden for maksimalt 2 år for at teoretisk set opnå en positiv effekt på søen. Da fokus især er på udtynningsfiskeri af brasen, kan den opfiskede mængde formentlig reduceres.

*Monitering efter opfiskning - fiskeundersøgelse*

I følge vejledningen for gennemførelse af sørestaurering (opfiskning af fredfisk) skal fiskebestanden monitoreres mindst 1 gang efter at opfiskningen er afsluttet for at kunne vurdere effektiviteten af opfiskningen. Den obligatoriske monitering skal foretages året efter opfiskningen og under anvendelse af metoden i NOVANA programmet, jf. [TA nr. 05](#), Fiskeundersøgelser i søer. Supplerende monitering kan foretages efterfølgende år for at kunne vurdere den eventuelle genetablering af bestanden.

### 8.1.1 Omkostninger til restaurering ved opfiskning

I vejledningen om tilskud til kommunale projekter til sørestaurering (SVANA, 2016 er der angivet vejledende omkostninger til sørestaurering ved opfiskning (biomanipulation).

Økonomioverslaget er baseret på data fra et større antal danske projekter, hvor der er gennemført opfiskning.

For søer på 10 ha som Lyngsø er der angivet en vejledende pris for restaurering ved opfiskning på 21.000 kr. pr. ha søoverflade. Det svarer til 210.000 kr. (ekskl. moms) for et års opfiskning. Der påregnes 1 års opfiskning. Hertil kommer et års monitering af vandkemi og en opfølgende fiskeundersøgelse, som er prissat til i alt 84.000 kr. ekskl. moms. Den samlede pris for opfiskning er ifølge de vejledende referenceværdier 294.000 kr. ekskl. moms.



Udover udgifter til selve opfiskningen skal der påregnes udgifter til rådgivning og Silkeborg Kommunes eget personale på skønsmæssigt 80.000 kr. ekskl. moms, hvilket giver et samlet prisoverslag på 374.000 kr. ekskl. moms. Det er højere end de vejledende referenceværdier, men lavere end maksimum for omkostningseffektivitet på 1,3 gange de vejledende referenceværdier (382.200 kr.). Orbicon vurderer, at opfiskning som beskrevet kan udføres for det nævnte beløb, men den endelige pris vil afhænge af resultatet af et udbud af opgaven.

I prissætningen er det forudsat, at den eksterne tilførsel af fosfor nedbringes i overensstemmelse med reduktionsbehovet, og at opfiskningen følges op med kemisk fosforfældning, så der ikke skal ske en fornyet opfiskning.

## 8.2. **Kemisk fældning af fosfor med aluminium**

### 8.2.1 Fremgangsmåde

Ved kemisk fældning af fosfor (P) i søer er det vigtigt, at doseringen er så stor, at alt tilgængeligt P og mobilt P bliver bundet, idet en underdosering i forhold til P-puljen i søen vil betyde, at den positive effekt af behandlingen kun bliver kortvarig (få år). Omvendt skal man af økonomiske såvel som etiske grunde ikke tilsætte mere aluminium, end der er behov for. Behovet opgøres i forhold til puljen af potentielt mobilt P i sedimentet. Al skal doseres i en molar ratio på 10:1 i forhold til den potentielt mobile P-pulje i søen. Da molvægten for Al og P er hhv. 27 og 31 svarer denne doseringsratio til en vægt-ratio på 8,7. Hvis der skal immobiliseres 628 kg P i Lyngsø skal der således tilsættes 5,5 ton Al til hele søen svarende til 56 g Al/m<sup>2</sup> (hele søarealet) eller 138 g Al/m<sup>2</sup> på arealet med en dybde større end 2,0 meter. Det svarer til en dosering på 0,024 g Al/l i hele søvoluminet eller 0,032 g Al/l i hypolimnion (vandvolumen under ca. 2 meters dybde).

Tilsætning af aluminium kan ske i vandoverfladen fra båd i sidste halvdel af september over den del af søarealet, som har dybder større end ca. 2 meter, når søvandets pH er under ca. 7,5-8,0. Med en alkalinitet omkring 0,7 mækv/l tilsættes en mængde, som søvandet kan bufre uden at komme under ca. 0,4 mækv/l. Hvis det viser sig nødvendigt, må næste dosering afvente, at alkaliniteten på 0,7 er genskabt (Henning Jensen, SDU, pers. meddelelse).

Der skal anvendes det mest neutrale Al-produkt (poly-aluminiumklorid) på markedet, formentlig Kemiras Pax XL60 (Henning Jensen, SDU, pers. meddelelse). pH i søvandet skal måles kontinuerligt i udbringningsperioden. Udbringningen standses, hvis søvandets pH falder til under 6,5. Behandlingen kan fortsættes i en anden del af søen eller genoptages, når pH igen er steget til over 7 og alkaliniteten ikke er under ca. 0,4 mækv/l.

Da frisk Al-flok meget let resuspenderes og transporteres med vandstrømme, skal udbringningen foregå i roligt vejr (let vind eller derunder). Målet er, at opnå den korrekte

arealmæssige dosering. Fisk skal også have mulighed for at flygte fra Al-flokken i forbindelse med udbringning. Man skal derfor ikke dække hele søen på samme dag; men fordele udbringningen over flere dage. Der skal anvendes GPS-sporing eller lignende for at sikre, at Al udbringes på det ønskede areal. For at opnå optimale resultater og mindske muligheden for fejl, bør behandlingen kun foretages af firmaer eller personer med et dokumenteret erfaring med at anvende metoden.

Selve doseringen og detaljer omkring udbringningen vil skulle fastlægges i en detailprojektering, ligesom der kan ske justeringer af tilsætningen på basis af den samtidige overvågning af søens vandkvalitet.

### 8.2.2 Overvågningsprogram

Der skal gennemføres monitoring i henhold til teknisk anvisning for feltmålinger og udtagning af prøver til analyse af vandkemiske parametre i søer, TA nr. S01 under og efter behandling. Hvis de seneste vandkvalitetsmålinger i søen er over 5 år gamle, bør der også foretages monitoring i mindst én sommer forud for behandlingen. For Lyngsø er de seneste prøver fra 2016. Monitorings-programmet skal dokumentere effekterne af behandlingen og sikre, at der ikke sker fejl.

### 8.2.3 Omkostninger

I vejledningen om tilskud til kommunale projekter til sørestaurering (SVANA, 2016) er der angivet vejledende omkostninger til fosforfældning med aluminium.

Økonomioverslaget er baseret på et begrænset antal danske projekter, hvor fældning er foregået med aluminium. Der kan forekomme prisafvigelser i begge retninger, afhængigt af markedsprisen på aluminium. Små søer vil have højere pris pr. ha end større søer.

For søer på 10 ha som Lyngsø er der angivet en vejledende pris for en behandling med aluminium på 20.000 kr. pr. ha søoverflade. Det svarer til 200.000 kr. En supplerende behandling er prissat til yderligere 60.000 kr. Hertil kommer et års monitoring af vandkemi, som er prissat til 42.000 kr. Den samlede pris for kemisk fosforfældning med aluminium er ifølge de vejledende referenceværdier således 302.000 kr. ekskl. moms.

Udover udgifter til selve behandlingen skal der påregnes udgifter til rådgivning og Silkeborg Kommunes eget personale på skønsmæssigt 80.000 kr. ekskl. moms, hvilket giver et samlet prisoverslag på 382.000 kr. ekskl. moms. Det er højere end de vejledende referenceværdier, men lavere end maksimum for omkostningseffektivitet på 1,3 gange de vejledende referenceværdier (392.600 kr.).

I Søndergaard m.fl. (2015) er de anslåede omkostninger for en 30 ha sø med en mobil fosforpulje på 5,75 g P/m<sup>2</sup> søbund angivet at koste 609.000 kr. for en engangsbe-

handling med aluminium. Overføres disse værdier til arealer med dybder over 2,0 meter i Lyngsø (7,5 gange mindre areal og 2,7 gange mere mobilt fosfor pr. m<sup>2</sup>) bliver den anslåede pris ved dosering af aluminium på omkring 220.000 kr. i Lyngsø. Det ligger tæt på de 200.000 kr., som er den vejledende referencepris for én behandling.

Orbicon vurderer derfor, at kemisk fosforfældning i Lyngsø som beskrevet kan udføres for 382.000 kr. ekskl. moms, men den endelige pris vil afhænge af resultatet af et udbud af opgaven.

I prissætningen forudsættes, at den eksterne tilførsel af fosfor er nedbragt i overensstemmelse med målbelastningen, så der ikke skal ske en fornyet behandling.

## 9. MYNDIGHEDSBEHANDLING

Forud for gennemførelse af en sørestaurering ved opfiskning og/eller kemisk fældning af fosfor med aluminium skal kommunen opnå de fornødne tilladelser og dispensationer efter lovgivningen, herunder miljøbeskyttelsesloven og naturbeskyttelsesloven. Desuden skal adgangsforhold m.m. afklares med lodsejerne.

Det vurderes, at projektet opfylder de faglige kriterier for sørestaurering og er nødvendigt for at opfylde statens miljømålsætning for søen inden 2027. Da sørestaurering i Lyngsø samtidig vurderes at være omkostningseffektivt, øger den rekreative værdi af en bynær sø og gavner nedstrøms søer, og er det Orbicons vurdering, at der bør kunne meddeles de nødvendige tilladelser fra myndighederne. Med hensyn til brug af aluminium i en sø skal det tages i betragtning, at Lyngsø gennem mange årtier har modtaget betydelige mængder spildevand, og sedimentet i dag er forurenet af tungmetaller og miljøfremmede stoffer.

### 9.1. Restaurering ved opfiskning af fredfisk

Opfiskning af fredfisk vil kræve følgende tilladelser fra myndighederne:

- Dispensation fra naturbeskyttelseslovens § 3, da opfiskningen vil medføre en ændring af tilstanden i søen. Silkeborg Kommune er selv myndighed.
- Ferskvandsfiskeriloven

Ifølge Danmarks Tekniske Universitet (DTU Aqua) gælder følgende regulering i forbindelse med biomanipulation ved opfiskning <http://www.fiskepleje.dk/Vandloeb/fiskeriregulering>:

*Før en offentlig myndighed, privat person eller organisation eller lignende foretager et sådant indgreb i fiskebestanden i en sø, skal følgende give tilladelse og/eller høres:*

- Alle grundejere (lodsejere), som fiskeriet direkte påvirker, dvs. hvis der skal udføres fiskeri på vedkommendes søpart.
- *Hvis fiskeretten er lejet ud, skal lodsejeren afklare det kontraktlige forhold til lejeren, medmindre andet aftales mellem myndighed og lodsejer.*

*Som udgangspunkt skal der ikke søges om tilladelse til opfiskning efter ferskvandsfiskeriloven, medmindre:*

- *3a. Der fiskes med særlige redskaber, der kræver dispensation, herunder: Nedgarn i april og maj måned, nedgarn med masker mindre end 60 mm (knude til knude) hele året, trawl spilet med skovle, store vod/bundgarn, der spænder over mere end 1/3 af søens bredde, elektricitet, eksploderende, giftige eller bedøvende stoffer, eller fiskeri ved tørlægning.*

- *3b. Der direkte fiskes efter fisk med mindstemål eller fredningstid. Normalt er der ingen hindring i fangst af ovennævnte fisk under fiskeri efter andre arter, når blot de fredede fisk straks genudsættes.*
- *3c. Der er planer om at fiske med ruser eller bundgarn uden stoprist (odder-rist).*

*En dispensation til fiskeri med ovennævnte redskaber kan indeholde bestemmelser om, hvornår og hvor der må fiskes, røgning af redskaberne, hvem der skal forestå fiskeriet, hvilke arter der er det primære bytte, særlig skånsom behandling af enkelte andre arter samt oplysningspligt for resultatet om fiskeriet.*

*Kommunen bør altid høres eller tages med på råd. Kommunen er ansvarlig myndighed og arbejder med at opfylde målsætningerne for de forskellige søer. Kommunen kender til status og udvikling over en årrække i søerne, og ved, hvilke søer der er særlig følsomme over for påvirkninger, og hvilke områder i eller omkring den enkelte sø, der er særlig bevaringsværdige (evt. fredede), og som derfor ikke bør udsættes for slid fra fiskeredskaber og færdsel.*

Det er Orbicons vurdering, at der skal søges tilladelse til opfiskning efter Ferskvandsfiskeriloven, da der skal anvendes redskaber og opfiskningstidspunkter, der falder ind under punkt 3a og muligvis ruser eller pælegarn uden stoprist for at effektivisere fangst af større brasen, jf. punkt 3c. Alle fisk ud over fredfisk genudsættes, og derfor er der ikke konflikter med punkt 3b.

## 9.2. Restaurering ved kemisk fosforfældning med aluminium

Kemisk fældning af fosfor med aluminium vil kræve følgende tilladelser fra myndighederne:

- Dispensation fra naturbeskyttelseslovens § 3, da kemisk fosforfældning vil medføre en ændring af tilstanden i søen. Silkeborg Kommune er selv myndighed.
- Tilladelse fra Miljøstyrelsen efter Miljøbeskyttelseslovens § 27 stk. 3 og Bekendtgørelse nr. 921 om miljøkvalitetskrav for vandområder og krav til udledning af forurenende stoffer til vandløb, søer eller havet. Ansøgningen skal indeholde en redegørelse for søens nuværende tilstand, herunder resultater fra monitoring før behandlingen, dokumentation for, at kriterierne for anvendelse af fosforfælningsprodukter er opfyldt, dosering, monitoring under og efter behandlingen m.m. Kravene til dokumentation i ansøgningen er specificeret i Vejledningen for gennemførelse af sørestaurering (Søndergaard m.fl., 2015)

afsnit 4.6. Forundersøgelsen vurderes at dække de oplysninger, der er nødvendige for en ansøgning.

## 10. TIDS- OG AKTIVITETSPLAN

Det er ikke muligt at angive en detaljeret tids- og aktivitetsplan på nuværende tidspunkt, men nedenstående tentative plan kan anvendes, Tabel 10.1. Hvis det besluttes ikke at gennemføre opfiskning kan kemisk fosforfældning påbegyndes i år 2, andet halvår (september) efter tilskud er bevilget og de nødvendige tilladelser er indhentet.

Tabel 10.1: Forslag til tids- og aktivitetsplan for sørestaurering i Lyngsø.

	<b>Sørestaurering i Lyngsø. Aktiviteter</b>
År 1: Andet halvår	<p>Ansøgning om tilskud til gennemførelse hos Miljøstyrelsen (næste ansøgningsrunde vil være åben fra 1. september til 31. oktober 2018.)</p> <p>Ansøgning om tilladelse og myndighedsbehandling til opfiskning og efterfølgende kemisk fosforfældning. Udbud og indgåelse af kontrakt om opfiskning.</p>
År 2: Første halvår	Opfiskning starter. Udbud og indgåelse af kontrakt om kemisk fosforfældning
År 2: Andet halvår	<p>Opfiskning fortsætter. Monitering af vandkemi fra maj-september (ekstensiv 1 program) samt fiskeundersøgelse efter Teknisk anvisning. Evt. supplerende opfiskning i august til medio september.</p> <p>Kemisk fosforfældning med aluminium i sidste halvdel af september med samtidig monitering.</p>
År 3:	<p>Monitering af vandkemi maj til september (ekstensiv 1 program).</p> <p>Evaluerings/afrapportering af indsats og effekter.</p> <p>Eventuelt supplerende behandling med aluminium.</p>

## 11. REFERENCER

Afsar, A. & Groves S. 2009: Eco-toxicity Assessment of Phoslock. PWS report number: TR 022/09

Andersen F.Ø., Reitzel K., Dubke M. & Lotter S. 2010 Effects of Chironomids on sediment – water fluxes of nutrients in Phoslock treated sediments.

By- og Landskabsstyrelsen, Miljøstyrelsen, 2010: Test af det fosfat-bindende lerprodukt "Phoslock®" i laboratorieskala. Forfatter: Kasper Reitzel & Henning S. Jensen, Syddansk Universitet.

Danmarks Miljøundersøgelser (2000): Afstrømningsforhold i danske vandløb. Faglig rapport fra DMU nr. 340.

Flindt, M., Egemose, S., Reitzel K. & Andersen, F. Ø. 2010: Kemisk sørestaurering 2: Undersøgelse af aluminiums, Phoslocks og bentonits betydning for sedimenters fysiske egenskaber. Vand & Jord 17: 35-38

Flindt, M, C. Jørgensen & H.S. Jensen 2015: Den interne fosforbelastning i danske søer og indsvingningstiden efter reduktion af ekstern fosfortilførsel. Naturstyrelsen. [http://naturstyrelsen.dk/media/168843/model\\_notat\\_-\\_intern-belastning-af-soeer-sdu\\_d-07102015.pdf](http://naturstyrelsen.dk/media/168843/model_notat_-_intern-belastning-af-soeer-sdu_d-07102015.pdf)

Hansen, K., 2012: Restaurering af Lyngsø. Kim Hansen. Silkeborg Kommune. December 2012.

Jensen, H.S., Kristensen, P., Jeppesen E. & Skytthe, A. (1992): Iron:phosphorus ratio in surface sediment as an indicator of phosphate release from aerobic sediments in shallow lakes. Hydrobiologia 235/236: 731-743.

Jensen, J.P., Søndergaard M., Jeppesen, E., Lauridsen, T.L. & Sortkjær L. (1997): Ferske Vandområder, søer. Faglig rapport fra DMU, nr. 211. 106 s.

Liboriussen, L., Søndergaard, M. & Jeppesen, E. (red.) 2007: Sørestaurering i Danmark. Del I: Tværgående analyser. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. 88 s. – Faglig rapport fra DMU nr. 636.

Olsen S., Søndergaard, M., Jeppesen, E. Suting Zhou og Wei Li (2016). Spiller kvælstof en rolle for tilstanden i søerne? Vand og Jord. 23. Årgang nr. 2, maj 2016.



Robb, M., Greenop B., Goss, Z., Douglas, G. & Adeny, J. 2003. Applikation of Phoslock, an innovative phosphorus binding clay, to two Western Australian waterways: preliminary findings. *Hydrobiologia* 494: 237-243.

Ross, G., Haghsereht, F. & Cloete, T. 2007. The effect of pH and anoxia on the performance of Phoslock, a phosphorus binding clay. *Harmful algae* 7: 545-550.

SVANA, 2016: Sørestaurering. Vejledning om tilskud til kommunale projekter til restaurering af søer under vandområdeplanerne 2015-2021. Styrelsen for Vand- og Naturforvaltning.

Miljøstyrelsen, 2017: Belastningsopgørelse for Lyngsø.

Søndergaard, M., Jeppesen, E. & Jensen, J.P. (2000): Hypolimnetic nitrate treatment to reduce internal phosphorus loading in a stratified lake. *Lake and Reservoir Management* 16: 195-204.

Søndergaard, M., Jensen, J.P., Liboriussen, L. & Nielsen, K. 2003: Danske søer – fosfortilførsel og opfyldelse af målsætninger. VMP III, Fase II. Danmarks Miljøundersøgelser 40 s. - Faglig rapport fra DMU nr. 480. <http://faglige-rapporter.dmu.dk>

Søndergaard, M. (2007): Næringsstoffdynamik i søer – med fokus på fosfor, sedimentet og restaurering af søer. Doktordisputats. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet.

Søndergaard, M., Lauridsen, T.L., Kristensen, E.A, Baattrup-Pedersen, A., Wiberg-Larsen, P., Bjerring, R. & Friberg, N. 2013. Biologiske indikatorer til vurdering af økologisk kvalitet i danske søer og vandløb. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 78 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 59 <http://www.dmu.dk/Pub/SR59.pdf>

Søndergaard, M., Lauridsen, T.L., Jensen, H., Egemose, S. & Reitzel, K. 2015. Vejledning for gennemførelse af sørestaurering. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 42 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 149 <http://dce2.au.dk/pub/SR149.pdf>

Søndergaard, M., Trolle, D., Larsen, S.E. & Bjerring, R. 2015. Sikkerhed på tilstandsvurderingen i danske søer. År-til-år variationer i biologiske kvalitetselementer. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 40 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 137 <http://dce2.au.dk/pub/SR137.pdf>

Thodsen, H., Windolf, J., Rasmussen, J., Bøgestrand, J., Larsen, S.E., Tornbjerg, H., Ovesen, N.B., Kjeldgaard, A. & Wiberg-Larsen, P. 2016. Vandløb 2015. NOVANA.

Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 68 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 206  
<http://dce2.au.dk/pub/SR206.pdf>

Trolle, D., Søndergaard, M. & Bjerring, R. 2015. Sammenhænge mellem næringsstofftilførsel og søkoncentrationer i danske søer. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 34 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 138 <http://dce2.au.dk/pub/SR138.pdf>

## 12. BILAG

### 12.1. Bilag 1: Belastningsopgørelse for Lyngsø (Miljøstyrelsen, 2017)

Miljøstyrelsen - 29-9-2017

#### Belastningsopgørelse for Lyngsø

I Vandområdeplan 2015-2021 er beregnet en årlig middelbelastning af en lang række søer, herunder Lyngsø. Standardberegningemetoden er beskrevet i <http://svana.dk/media/202543/retningslinjer-vandomraadeplaner-for-anden-planperiode.pdf>, og er benyttet ved beregningen.

For Lyngsø byggede belastningsberegningerne primært på modelberegninger, da der ikke – så vidt det er MST bekendt – forelå målinger i tilløb til søen.

Anvendt belastning fra punktkilder og åbent land aktuelt (2010-2014) og den ændring i kilderne, der forventes frem imod 2021 (Baseline 2021):

	Fosfor, kg/år	
	Aktuelt 2010-14	Baseline-effekt
Renseanlæg	0	0
Regnbetingede udledninger	10,1	0
Industri	0	0
Dambrug	0	0
Sprede bebyggelse		0
Åbent land incl. spredt bebyggelse	9,5	

#### Samlet massebalance anvendt i Vandområdeplan 2015-2021

Den beregnede gennemsnitlige tilførsel af vand (for normalperioden 1990-2014) og fosfor i status (2010-2014) og Baseline (2021) fremgår af nedenstående tabel. Forskellen mellem den aktuelle belastning i tabellen ovenfor og den nedenfor angivne statusbelastning skyldes, at den aktuelle belastning i perioden 2010-2014 er "normeret" til middelvandføringen gennem hele perioden 1990-2014.

Tilførsel til sø	Vand, 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>		Fosfor, kg/år	
	Status	Baseline	Statusbelastning	Baselinebelastning
<b>Lyngsø</b>	167,8	167,8	12,2	12,2

På basis af ovenstående data samt data for søen beregnes indløbskoncentration og fosforkoncentration i søen i baseline 2021, dvs. uden yderligere indgreb i forhold til de allerede planlagte. Resultatet fremgår af nedenstående tabel:

Sø	Qtilløb, 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /år	Ptilløb kg	Søvolumen, 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	Opholdstid, år	P-indløbs- koncentration, mg/l	Beregnet P År, mg/l (OECD)	Beregnet P Sommer, mg/l (OECD)	P sommer ved målopfyldelse, mg/l	Indsatsbehov overfor ekstern P tilførsel
Lyngsø	167,8	12,2	231,8	1,38	0,073	0,060	0,042	0,031	Ja (2 kg)

Der er med den foreliggende metode beregnet et indsatsbehov på 2 kg P. Belastningen er imidlertid beregnet på baggrund af generelle modeller, og på baggrund af MST's kendskab til oplandets sammensætning og arealanvendelse har MST vurderet, at belastningen er lav nok til, at målopfyldelse kan opnås. Kommunen har ved forundersøgelsen mulighed for at efterprøve denne vurdering.

Ved beregning af sammenhængen mellem fosfortilførsel og fosforkoncentration i søen benyttes som udgangspunkt formelen:

$$TP_{sp} = 1,095 * TP_{indløb} * 1,043 / (1 + vt_w)^{0,229}, \text{ OECD modellen jf. Vejledning for gennemførelse af sørestaurering og Trolle et al., 2015.}$$

Hvor  $TP_{sp}$  er årsmiddelkoncentrationen i søen (mg/l)

$TP_{indløb}$  er årsmiddelkoncentrationen i indløbet (mg/l), bestemt som den samlede fosfortilførsel til søen divideret med den samlede vandtilførsel.

$tw$  er vandets opholdstid (år).

Denne formel har vist sig generelt at passe bedst på de danske søer (Trolle et al., 2015).

Da fosforkravet sættes til sommermiddelkoncentrationen og ikke til årsmiddelkoncentrationen, er der endvidere behov for omregning fra år til sommerkoncentration. Omregningen afhænger af, om søen er dyb eller lavvandet, og foretages vha. formler i Trolle et al., 2015.

#### Referencer:

Trolle, D., Søndergaard, M. & Bjerring, R., 2015: Sammenhænge mellem næringsstoftilførsel og søkoncentrationer i danske søer. Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 138.

14. september 2018

## Bilag til rapport over forundersøgelse af Lyngsø med justering af belastningsopgørelsen

Efter endt udarbejdelse af Orbicon's rapportering af forundersøgelsen af restaurering af Lyngsø er der kommet nye oplysninger, som har ført til en mindre korrektion af belastningsopgørelsen, som præsenteres her. Korrektionen er gennemført af rådgiver på projektet Henrik Skovgaard, Orbicon og stillet til rådighed for Silkeborg Kommune.

Silkeborg Forsyning har 19. juni 2018 oplyst en estimeret vandtilførsel fra regnbetingede udløb (RBU) ved Lyngsø på 23.000 m<sup>3</sup> pr. år. Det er lidt lavere end antaget på baggrund af de 6,2 kg P pr. år fra RBU. Det betyder, at der kommer mere vand fra diffus tilførsel, hvilket øger den samlede tilførsel af fosfor til Lyngsø til ca. 14 kg P pr. år. I rapporten er regnet med 12-13 kg P pr. år. Som et resultat øges indsatsbehovet for fjernelse af fosfor fra den eksterne tilførsel fra 3,5 kg P pr. år oplyst i rapporten til ca. 5,4 kg P pr. år. Udgangspunktet er stadig en samlet vandtilførsel på 167.800 m<sup>3</sup> pr. år, som stammer fra opgørelsen i Vandområdeplan 2015-2021 for Jylland og Fyn.

Det skal nævnes, at estimatet af massebalancen for Lyngsø er behæftet med betydelig usikkerhed, fordi der ikke er målte data i hverken tilløb eller afløb. I tabellen nedenfor er angivet bedste bud på en massebalance på baggrund af de nye tal fra Silkeborg Forsyning.

<i>Lyng Sø massebalance og indsatsbehov</i>			
	Tilførsel vand, m <sup>3</sup> /år	Fosforkoncentration, mg P/l	Tilførsel fosfor, kg P/år
Diffust bidrag fra opland (skov, grundvand m.m.)	144.800	0,05	7,2
Bidrag fra atmosfæren på søoverfladen (10 ha) (netto)			1,0
Bidrag fra RBU	23.000	0,270	6,2
<b>Samlet tilførsel til sø</b>	<b>167.800</b>		<b>14,4</b>
<b>Beregnet maxtilførsel ved målopfyldelse (25 mikrog P/l)</b>			<b>9,0</b>
<b>Beregnet indsatsbehov for målopfyldelse</b>			<b>5,4</b>

Silkeborg Forsyning har oplyst, at det er muligt at fjerne 5,8 kg fosfor pr. år fra tilførslen til Lyngsø ved at pumpe regnvandet til Remstrup Å efter gennemløb af de to eksisterende regnvandsbassiner. Dette fordrer et større ledningsprojekt, der både berører kloaklandet til Lyngsø og et meget større område mellem denne og Remstrup Å. Indsatsen er et led i et større projekt og vil tage ca. 2 år at gennemføre.

Silkeborg Kommunes spildevandsplan er under revision og forventes vedtaget i 2019. Reduktion af fosfortilførslen til Lyngsø fra regnvand vil indgå som en prioriteret indsats ved revision af spildevandsplanen og på den måde understøtte, at grundlaget for en restaurering af Lyngsø er til stede.