

The background image shows a body of water with a greenish tint, likely due to algae. Several wooden pilings are visible, some of which are part of a pier or dock structure. A blue sensor or probe is attached to one of the pilings, extending into the water. The water surface is slightly rippled, and the overall scene suggests a monitoring station in a coastal or estuarine environment.

OVERVÅGNING AF PLANTEPLANKTON I FORHOLD TIL BADEVANDSKVALITET SILKEBORG LANGSØ 2025

Abundans og biomasse af planteplankton, klorofyl og sigtdybde samt sensorbaserede målinger af klorofyl- og phycocyanin fluorescens

Teknisk rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 377

2026



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

OVERVÅGNING AF PLANTEPLANKTON I FORHOLD TIL BADEVANDSKVALITET SILKEBORG LANGSØ 2025

Abundans og biomasse af planteplankton, klorofyl og sigtdybde samt
sensorbaserede målinger af klorofyl- og phycocyanin fluorescens

Teknisk rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 377

2026

Per Andersen¹
Dennis Trolle²
Anders Nielsen²

¹Aarhus Universitet, Institut for Ecoscience

²WateriTech



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Datablad

Serietitel og nummer:	Teknisk rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 377
Kategori:	Rådgivningsrapporter
Titel:	Overvågning af planteplankton i forhold til badevandskvalitet i Silkeborg Langsø 2025
Undertitel:	Abundans og biomasse af planteplankton, klorofyl og sigtddybde samt sensorbaserede målinger af klorofyl- og phycocyanin fluorescens
Forfattere:	Per Andersen ¹ , Dennis Trolle ² og Anders Nielsen ²
Institutioner:	¹ Aarhus Universitet, Institut for Ecoscience, ² WateriTech
Udgiver:	Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi ©
URL:	https://dce.au.dk
Udgivelsesår:	Marts 2026
Redaktion afsluttet:	24. marts 2026
Faglig kommentering:	Nicklas Bisbo/Martin Søndergaard
Kvalitetssikring, DCE:	Anja Skjoldborg Hansen
Ekstern kommentering:	Kommentarerne findes her
Rekvirent:	Silkeborg Kommune
Bedes citeret:	Andersen, P., Trolle D., & Nielsen, A. 2026. Overvågning af planteplankton i forhold til badevandskvalitet i Silkeborg Langsø – 2025. Abundans og biomasse af planteplankton, klorofyl og sigtddybde samt sensorbaserede målinger af klorofyl- og phycocyanin fluorescens. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 38 s. - Teknisk rapport nr. 377
	Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse
Sammenfatning:	Der er i 2025 overvåget for alger ved Silkeborg Langsø blevet overvåget for alger med fokus på potentielt giftige cyanobakterier (blågrønalger), som har betydning for badevandskvaliteten. Formålet med undersøgelsen har været at undersøge, i hvor høj grad kontinuerlig sensorbaserede målinger kan understøtte og forbedre overvågningen og risikovurderingen ved at give kontinuerlige informationer om forekomsten af alger også i perioderne mellem de manuelle prøvetagninger.
Emneord:	Planktonalger, potentielt giftige cyanobakterier, vurdering af badevandskvalitet, sondemålinger
Foto forside:	WateriTech
ISBN:	978-87-7648-044-8
ISSN (elektronisk):	2244-999X
Sideantal:	38

Indhold

Forord	5
Sammenfatning	6
Summary	8
1 Introduktion	10
2 Alger og risikovurdering i forhold til badevandskvalitet	11
2.1 Materialer og metoder	11
2.2 Klorofyl-a, alger og vurdering af badevandskvalitet	12
2.3 Forholdet mellem kvantitativ forekomst af alger og klorofyl og sigtdybde	17
3 Sondemålinger og alger	20
3.1 Teknisk målesetup	21
3.2 Dataprocessering	22
3.3 Relationer	25
3.4 Sensorestimeret vandkvalitet	30
3.5 Opsamling	32
4 Referencer	34
5 Bilag	35

Forord

Denne rapport er baseret på data fra en undersøgelse af forekomsten af planktonalger i Silkeborg Langsø, ved Søsportens Hus i sommerperioden 2025 med fokus på potentielt giftige cyanobakterier som har betydning for badevandskvaliteten.

Undersøgelsen er igangsat af Silkeborg Kommune for at kunne vurdere badevandskvaliteten løbende baseret på undersøgelse af forekomsten af potentielt giftige cyanobakterier ved anvendelse af "klassisk mikroskopi" samt at undersøge om anvendelse af målesonder til overvågning af planteplankton ved måling af klorofyl fluorescens, phycocyanin fluorescens og turbiditet kan anvendes ved løbende vurdering af badevandskvaliteten.

Undersøgelsen af planktonalger ved anvendelse af "klassisk mikroskopi" samt løbende vurdering af badevandskvaliteten baseret på de officielle retningslinjer er udført af Per Andersen, AU, mens sondemålingerne er udført af Anders Nielsen & Dennis Troll, WaterItech.

Efter undersøgelsens gennemførsel blev det besluttet at samle information i form af denne rapport som er sammenskrevet i et samarbejde mellem AU (kapitel 1) og WaterItech (kapitel 2).

Det har været muligt for Silkeborg kommune at kommentere et udkast til rapporten. Kommunens kommentarer og responsen fra forfatterne til rapporten er tilgængelig via linket på databladet.

Sammenfatning

I sommerperioden (maj-oktober) 2025 er der på lokaliteten ved Søsportens Hus ved Silkeborg Langsø blevet overvåget for alger med fokus på potentielt giftige cyanobakterier (blågrønalger), som har betydning for badevandskvaliteten. Overvågningen har omfattet rutinemæssig manuel prøvetagning (prøvetagning hver anden uge) og efterfølgende analyse af den kvantitative arts-sammensætning af alger ved "klassisk" mikroskopanalyse, analyse af klorofyl *a*, som er en proxy for algebiomassen samt måling af sigtdybde. Parallelt er der gennemført kontinuerte sensorbaserede målinger af klorofyl fluorescens, phycocyanin fluorescens og turbiditet med multisonde samt iltkoncentration og vandtemperatur med en metabolismestation.

Formålet med undersøgelsen har, udover at kunne lave løbende risikovurderinger af badevandskvaliteten i forhold til forekomsten af alger, været at undersøge i hvor høj grad kontinuerte sensorbaserede målinger kan understøtte og forbedre overvågningen og risikovurderingen ved at give kontinuerte informationer om forekomsten af alger også i perioderne mellem de manuelle prøvetagninger.

I hele undersøgelsesperioden blev der registreret høje koncentrationer af planktonalger – med uklart vand og relativt lave sigtdybder på lokaliteten.

I det meste af undersøgelsesperioden var algesamfundet domineret af høje koncentrationer af potentielt giftige cyanobakterier især fra slægten *Pseudanabaena*. Der blev også registreret perioder med høje koncentrationer af potentielt giftige cyanobakterier fra slægterne *Aphanizomenon* og *Dolichospermum* (= *Anabaena*). Udenfor den manuelle prøvetagning registrerede Silkeborg Kommune en kortvarig egentlig "vandblomst" med akkumulering af alger i selve vandoverfladen lokalt ved søbredden i slutningen af august. I forbindelse med "vandblomsten" blev badning frarådet med skiltning ved Søsportens hus.

En risikovurdering af badevandskvaliteten på lokaliteten i forhold til WHO's guidelines på baggrund af de registrerede koncentrationer af cyanobakterier konkluderer, at der var gode badevandsforhold i forhold til alger i perioden maj-juli. I den efterfølgende periode august-oktober blev der registreret dominans og høje koncentrationer (> 100 mio. celler/L) af potentielt toksiske cyanobakterier med "moderat risiko" for skadevirkning ved badning og en enkelt prøvetagning (i slutningen af august) med så høj koncentration af potentielt toksiske cyanobakterier at der var "høj risiko" for skadelige effekter.

Analysen af resultaterne af sondemålingerne op mod data fra den manuelle prøvetagning viser, at data fra multisonden og metabolismestationen generelt hænger godt sammen med data fra de manuelle prøvetagninger. Forklaringsgraderne mellem de sondebaserede målinger af klorofyl-*a*, cyanobakteriemængde og sigtdybde og data fra den manuelle prøvetagning er relativt høje (R^2 : 0,68 – 0,98). Relationen mellem laboratoriebaserede analyser af cyanobakteriemængder alene ud fra multisondens phycocyanin-fluorescens (sonde-Phy-RFU) var relativt ringe (R^2 : $< 0,30$), men med inklusion af sondens klorofyl-*a* fluorescens (sonde-Chl-RFU) steg forklaringsgraden til et væsentligt bedre niveau (R^2 : 0,68). Relationerne for klorofyl-*a* koncentration og sigtdybde var begge høje for multisonden (R^2 : 0,75 og 0,89). Metabolismestationen kombineret med machine learning gav de højeste forklaringsgrader for

klorofyllniveauerne (R^2 : 0,98) og er således en lovende teknologi til løbende overvågning af algeniveauerne.

Med de udledte relationer kan der estimeres robuste daglige niveauer af klorofyll-a, cyanobakteriemængde og sigtddybde på baggrund af sondemålinger. Sondemålingerne gør det således muligt at "kigge" imellem de manuelle prøvetagninger så udviklingen mellem de manuelle prøvetagninger kan detekteres.

Ved anvendelse af en kombination af løbende sondebaserede målinger (multisonde eller metabolismestation) og manuel prøvetagning fås en helt ny og forbedret mulighed for at være på forkant med algernes udvikling og dermed badevandskvaliteten i søen. Det bliver således muligt at få en tidlig advarsel om opbygning af algeopblomstringer, som kan bruges til at igangsætte yderligere strategiske laboratorieanalyser, som kan give mere detaljerede oplysninger om hvilke typer af alger, der er tale om som basis for en god risikovurdering af badevandskvaliteten.

Summary

During the summer period (May–October) 2025, algae were monitored at the site near *Søsportens Hus* at Silkeborg Langsø, with a focus on potentially toxic blue-green algae/cyanobacteria relevant for monitoring of bathing water quality. The monitoring included routine manual sampling (every two weeks) followed by analysis of the quantitative species composition of algae using traditional microscopy, chlorophyll-a analysis as a proxy for algal biomass, and measurements of Secchi depth. In parallel, continuous sensor-based measurements of chlorophyll fluorescence, phycocyanin fluorescence, and turbidity were performed using a multi-probe, along with oxygen concentration and water temperature measured by a metabolism station.

The purpose of the study—besides enabling ongoing risk assessments of bathing water quality in relation to algal occurrence—was to examine the extent to which continuous sensor-based measurements can support and improve monitoring and risk assessment by providing continuous information about algal levels between the manual sampling dates.

Throughout the entire study period, high concentrations of planktonic algae were recorded, resulting in turbid water and relatively low Secchi depths at the site.

For most of the study period, the algal community was dominated by high concentrations of potentially toxic blue-green algae/cyanobacteria, especially from the genus *Pseudanabaena*. Periods with high concentrations of potentially toxic cyanobacteria from the genera *Aphanizomenon* and *Dolichospermum* (= *Anabaena*) were also observed. Outside the manual sampling schedule, Silkeborg Municipality registered a brief “algal-bloom,” with accumulation of algae at the water surface along the shoreline in late August. In connection with this bloom, bathing was discouraged, and warning signs were posted at *Søsportens Hus*.

A risk assessment of bathing water quality at the site based on WHO’s guidelines and the recorded cyanobacterial concentrations concluded that bathing conditions in relation to algae were good during May–July. In the subsequent period, August–October, dominance and high concentrations (>100 million cells/L) of potentially toxic cyanobacteria were recorded, presenting a “moderate risk” for negative health effects from bathing. One sampling event (late August) showed such a high concentration of potentially toxic cyanobacteria that it represented a “high risk.”

Analysis of the sensor measurement results compared to the manual sampling data showed that data from the multiprobe and the metabolism station generally corresponded well with the manual sampling data. The explanatory power (R^2) between sensor-based measurements of chlorophyll-a, cyanobacteria levels, and Secchi depth and the manual sampling data was relatively high (R^2 : 0.68–0.98). The relationship between laboratory-based measurements of cyanobacteria levels and multiprobe phycocyanin fluorescence alone (Phy-RFU) was relatively weak ($R^2 < 0.30$), but when chlorophyll-a fluorescence from the probe (Chl-RFU) was included, the explanatory power increased significantly (R^2 : 0.68). The relationships for chlorophyll-a concentration and Secchi depth were both high for the multiprobe (R^2 : 0.75 and 0.89). The metabolism station combined with machine learning produced the highest explanatory power for chlorophyll levels (R^2 : 0.98), indicating it is a promising technology for continuous algal monitoring.

Using the derived relationships, robust daily estimates of chlorophyll-a, cyanobacteria levels, and Secchi depth can be calculated. Sensor measurements therefore make it possible to “see between” the manual sampling events and predict developments occurring between them.

Using a combination of continuous sensor-based measurements (multiprobe or metabolism station) and manual sampling offers a completely new and improved opportunity to stay ahead of algal development and thereby bathing water quality in the lake. This approach makes it possible to obtain early warnings of emerging algal blooms, which can be used to initiate additional strategic laboratory analyses that provide more detailed information about the types of algae present, forming the basis for a well-founded assessment of bathing water quality risks.

1 Introduktion

I sommerperioden (maj-oktober) 2025 er der på lokaliteten ved Søsportens Hus ved Silkeborg Langsø blevet overvåget for alger med fokus på potentielt giftige cyanobakterier (blågrønalger) som har betydning for badevandskvaliteten. Aarhus Universitet har rutinemæssigt indsamlet prøver (prøvetagning hver anden uge) og efterfølgende analyse af den kvantitative artssammensætning af alger ved "klassisk" mikroskopanalyse, analyse af klorofyl-a, som er en proxy for algebiomassen samt måling af sigtddybde og vandtemperatur. På samme lokalitet og parallelt med prøveindsamlingen, har Wateri-Tech for Silkeborg Kommune haft opsat en multisonde, som måler optisk på forskellige indirekte vandkvalitetsrelaterede parametre (klorofyl fluorescens, phycocyanin fluorescens og turbiditet) i realtid, samt en metabolismestation, der måler iltkoncentration og vandtemperatur, og derudfra estimerer primærproduktion og respiration på lokaliteten.

Formålet med den samlede undersøgelse har, udover at kunne lave løbende risikovurderinger af badevandskvaliteten i forhold til forekomsten af alger, været at undersøge i hvor høj grad kontinueret sensorbaserede målinger inkl. metabolismestationens målinger (høj/lav vækst af alger) kan understøtte og forbedre overvågningen ved at give kontinuerede informationer om forekomsten af alger også i perioderne mellem de manuelle prøvetagninger.

Rapporten er opbygget så der først gives en kortfattet præsentation af resultaterne fra den "klassiske" manuelle prøvetagning. Efterfølgende præsenteres de indsamlede sondebaserede målinger, herunder også den sensor-baserede primærproduktion og respiration fra metabolismestationen og det vurderes om denne type undersøgelse kan være et godt grundlag for, at der kan "ses" mellem de rutinemæssige manuelle inspektioner og prøvetagninger, hvilket kan understøtte kommunens myndighedsopgave i form af løbende risikovurdering af badevandet i forhold til forekomst af giftige alger.

2 Alger og risikovurdering i forhold til badevandskvalitet

(Per Andersen, AU)

2.1 Materialer og metoder

Prøvetagning: Vandprøver til analyse for forekomst af toksiske og potentielt toksiske cyanobakterier samt til bestemmelse af klorofyl-a blev foretaget om eftermiddagen mellem kl. 15:00 og 17:00 i perioden maj-oktober (ca. 1 prøve per anden uge). Prøverne blev udtaget i overfladen (ca. 0,5 m dybde) fra flydebroen på lokaliteten, se figur 2.1. Prøverne blev konserveret med sur Lugol umiddelbart efter prøvetagning.

I forbindelse med prøvetagningen blev der målt sigtddybde og vandtemperatur. Vandets farve blev noteret og det blev registreret, om der var synlig vandblomst/tegn på vandblomst i overfladen og langs søbredden. Desuden blev de meteorologiske forhold noteret.

Figur 2.1. Søsportens Hus på nord-vestsiden af Silkeborg Langsø. Prøvetagningsstedet/placeringen af målesonden er afmærket med rød cirkel på fotoet (Foto: Silkeborg Kommune)



Analyse i laboratoriet: Den kvalitative og kvantitative sammensætning af toksiske og potentielt toksiske cyanobakterier blev analyseret vha. lysmikroskopi ved anvendelse af omvendt lysmikroskop og et tællekammervolumen på 10 ml.

Koncentrationen af toksiske og potentielt toksiske cyanobakterier og andre alger blev beregnet ved at optælle enkeltceller eller de trådformede kolonier (tråde og "klumper") og estimere antallet af celler per koloni. Koncentrationen af kolonier blev efterfølgende omregnet til antal celler/L ved at multiplicere den beregnede koncentration af kolonier med estimer af celler per koloni.

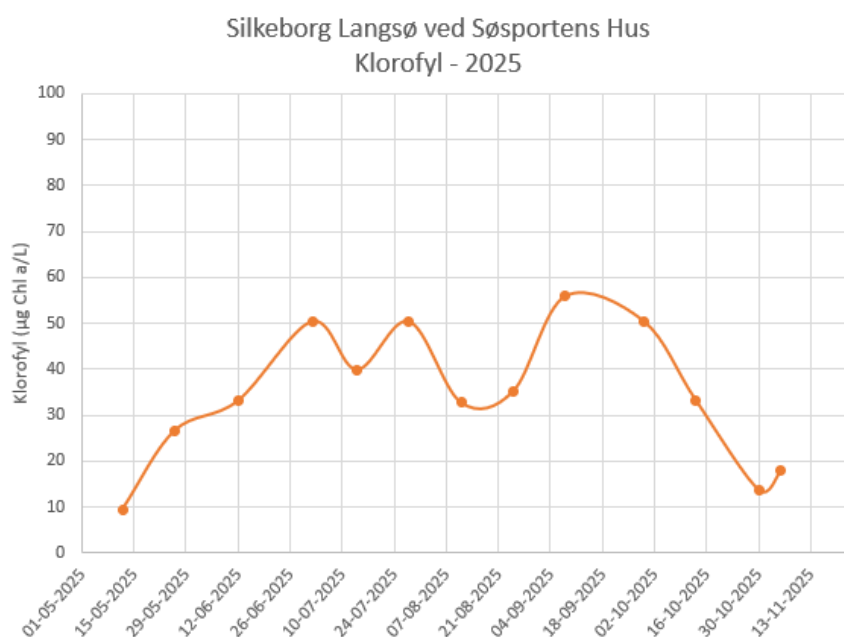
Biomassen (mm^3/L) af cyanobakterier og andre alger blev beregnet ud fra opmåling af lineære dimensioner og passende geometriske formler.

Alle rådata blev gemt og efterfølgende behandlet og præsenteret i regneark, se bilag 1.

2.2 Klorofyl-a, alger og vurdering af badevandskvalitet

Der blev registreret stigende algemængder, målt som klorofyl-a fra begyndelsen af undersøgelsesperioden i maj til et højt niveau på ca. 50 $\mu\text{g Chl-a/L}$ i slutningen af juli. Klorofyl-a koncentrationen forblev på et højt niveau i hele juli for derefter at falde til et sommerminimum på ca. 30 $\mu\text{g Chl-a/L}$ i midten af august. Efterfølgende blev der igen opbygget en ny opblomstring med $>50 \mu\text{g Chl-a/L}$, som toppede i begyndelsen af september og varede måneden ud, figur 2.2.

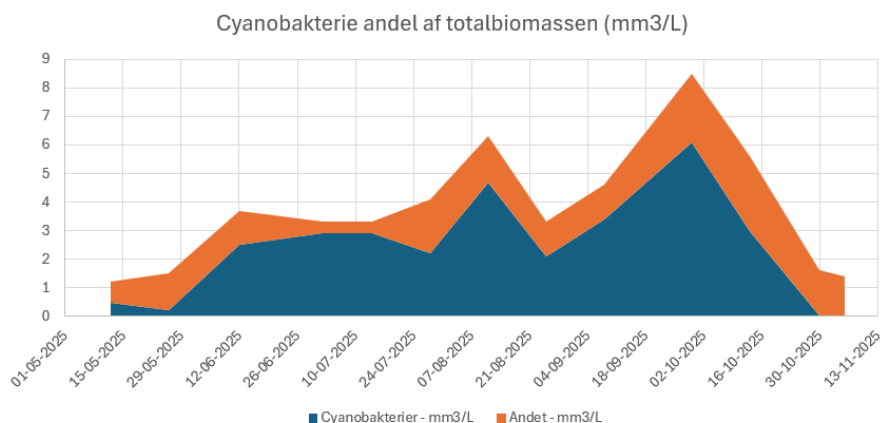
Figur 2.2. Klorofyl-a koncentration målt ved prøvetagningerne i undersøgelsesperioden maj-oktober 2025 i Silkeborg Langsø ved Søsportens Hus.



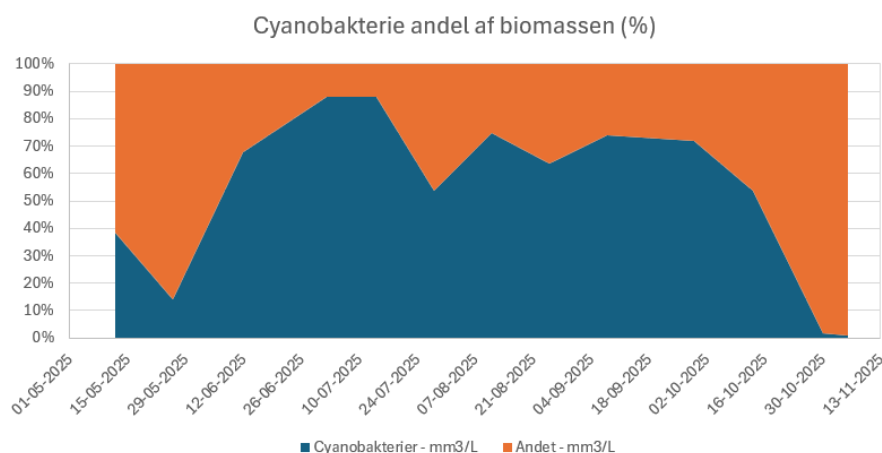
Den maksimale koncentration af klorofyl-a var på 56 $\mu\text{g Chl-a/L}$ og blev registreret i forbindelse med høje koncentrationer af arter fra slægten *Dolichospermum*, som har relativt store celler i forhold til de andre cyanobakterier og som derfor bidrager til den store biomasse i begyndelsen af september.

I hele perioden fra juni til og med oktober var biomassen domineret af cyanobakterier og biomasseniveauet af cyanobakterier var stigende gennem sommeren, figur 2.3. a og b.

Figur 2.3. a) Den tidsmæssige udvikling i biomassen af /cyanobakterier og andre alger i undersøgelsesperioden i 2025 i Silkeborg Langsø ved Søsportens Hus.



b) Den tidsmæssige udvikling i den relative betydning af /cyanobakterier i forhold til andre alger i undersøgelsesperioden i 2025 i Silkeborg Langsø ved Søsportens Hus.

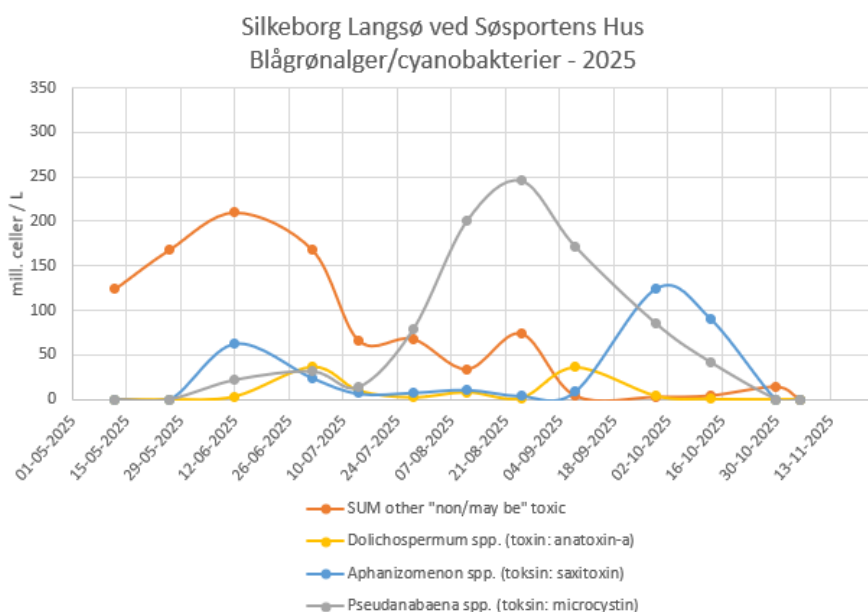


Arter fra de toksiske slægter *Aphanizomenon* og *Dolichospermum* blev registreret med maksimale koncentrationer i starten af sommerperioden efterfulgt af lave koncentrationer i juli-august. I starten af september blev der igen registreret en kortvarig opblomstring af *Dolichospermum*, som blev efterfulgt af en mere langvarig opblomstring af *Aphanizomenon*, som blev registreret med høje koncentrationer i september-oktober. Arter fra slægten *Pseudoanabaena* blev registreret med meget høje koncentrationer i hele perioden fra juli til oktober. I maj-juni blev der registreret meget høje koncentrationer af en blanding af små enkeltceller og småcellede kolonier af arter, som vurderes at være fra slægten *Aphanothece*, som vurderes at være non-toksisk/lav toksisk, figur 2.4.

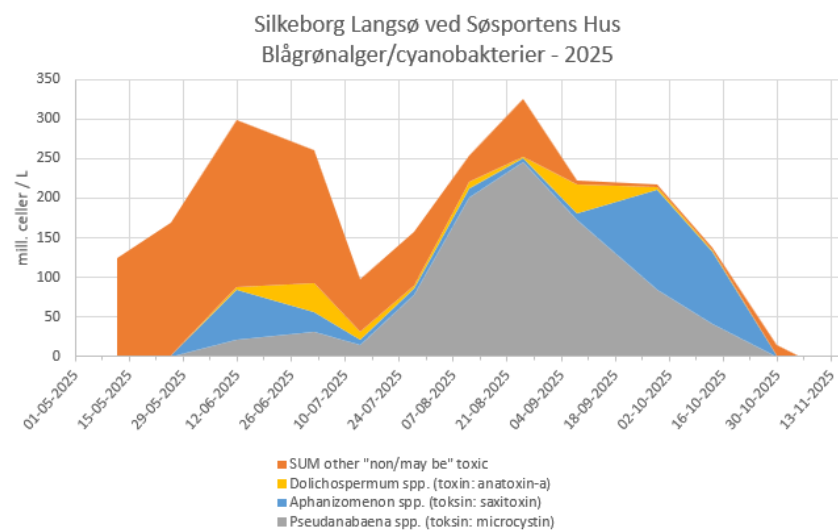
I næsten hele forårs-/sommerperioden var det samlede koncentrationsniveau af cyanobakterier > 100 mio. celler/L. Ved en enkelt prøvetagning i slutningen af august blev der registreret > 300 mio. celler/L, figur 2.5.

Det kan bemærkes, at cellekoncentrationerne af specielt arter fra slægten *Pseudoanabaena*, som dominerer i august september (> 200 mio. celler/L), også blev registreret ved en tidligere undersøgelse ved Jyske Bank Broen i 2020, men at der på den lokalitet blev registreret markant højere maksimale koncentrationer (> 1.400 mio. celler/L), se Andersen (2020).

Figur 2.4. Den tidsmæssige udvikling i abundansen af de forskellige grupper af /cyanobakterier i Silkeborg Langsø ved Søsportens Hus i undersøgelsesperioden i 2025



Figur 2.5. Den tidsmæssige udvikling i den totale abundans af /cyanobakterier i Silkeborg Langsø ved Søsportens Hus i undersøgelsesperioden i 2025 med angivelse af bidraget fra de forskellige grupper af cyanobakterier.



Tabel 2.1. Oversigt over de registrerede arter/slægter af cyanobakterier registreret ved undersøgelsen i Silkeborg Langsø i perioden juni-september 2020 med angivelse af hvilke typer af toksiner, de kan producere (Cronberg & Annadotter 2006).

Art/slægt	Toxin-type
Dolichospermum spp.	Anatoxin-a, microcystiner
Aphanizomenon spp.	Saxitoxin
Aphanothece spp.	Potentielt toksisk – fx lipopolysaccharider (LPS)
Pseudanabaena spp.	Microcystiner

Risikovurdering af badevandskvaliteten i forbindelse med algeopblomstring kan foretages ud fra WHO’s retningslinjer (Kaas & Gaarde 2002), (Tabel 2.2) og baseres på en kombination af cellekoncentration, relativ betydning af cyanobakterier i forhold til andre alger samt algemængden målt som klorofyl-a.

Tabel 2.2. Opsummering af WHO’s retningslinjer, som kan anvendes ved risikovurdering af risikoen for skadevirkninger ved badning/eksponering til opblomstringer af toksiske/potentielt toksiske cyanobakterier (Kaas & Gaarde 2002).

Ved cyanobakteriedominans af planktonsamfundet angiver WHO’s retningslinjer, at risikoen for skadevirkninger er:

Lille	ved koncentrationer af cyanobakterier mellem 20.000 - 100.000 celler/ml. (ca. 10 µg Chl-a/L)
Moderat til forhøjet	ved koncentrationer af cyanobakterier > 100.000 og mindre end ca. 300.000 celler/ml (> 50 µg Chl-a/L)
Høj	ved koncentrationer af cyanobakterier (vandbloms/skumdannelse/uklart vand) >300.000 celler/ml (> 150 µg Chl-a/L)

Da cyanobakterier dominerer algebiomassen i hele sommerperioden er der baggrund for at gå videre med risikovurderingen baseret på algekoncentrationer og klorofyl.

I det meste af undersøgelsesperioden medfører koncentrationen af cyanobakterier alene, at risikovurderingen i forhold til badevand ligger på ”moderat til forhøjet risiko” for skadevirkninger. Ved en enkelt prøvetagning i slutningen af august (med solrigt, varmt og vindstille vejr) overstiger cellekoncentrationen af cyanobakterier 300 mio. celler/L hvilket betyder at der kan være ”høj

risiko" for skadevirkninger, tabel 2.3. Tidspunktet falder sammen med registreringen af opblomstringen af arter fra den toksiske slægt *Dolichospermum*, som falder sammen med, at der ses en kortvarig stigning i vandtemperaturen pga. af det solrige og stille vejr, figur 2.6. Det er også det tidspunkt på sommeren, hvor Silkeborg kommune observerer "algeblomst" ved Søsportens Hus og sætter skilt op med "badning frarådes" i nogle dage

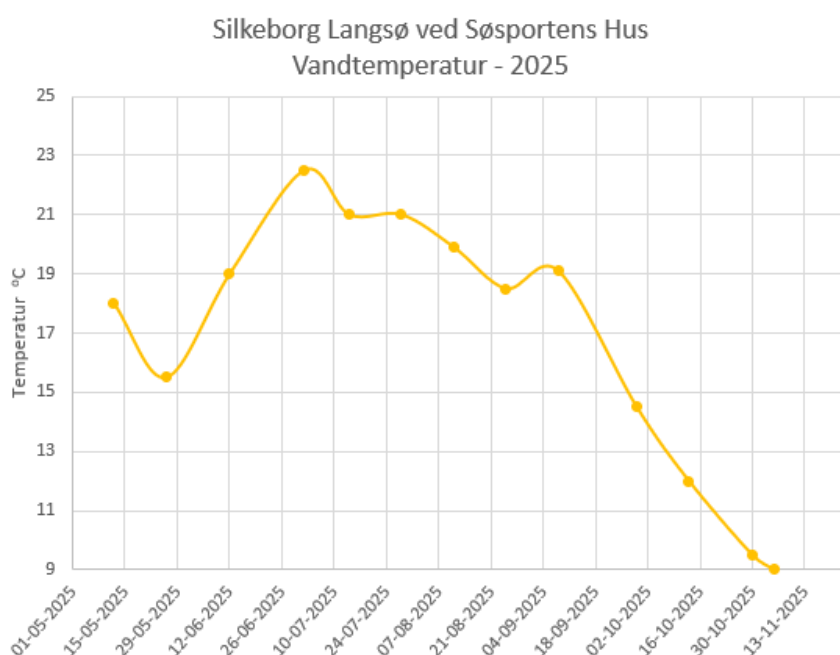
Klorofyl-a niveauet overskrider desuden grænsen på 50 µg Chl-a/L ved ca. halvdelen af prøvetagningerne i sommerperioden, hvilket understøtter risikovurderingen baseret på cellekoncentrationerne.

Tabel 2.3. Opsamling af data fra badevandsundersøgelsen i 2025 i Silkeborg Langsø ved Søsportens Hus med afmærkning af de enkelte registreringer af klorofyl og alger i forhold til risikovurderingen gennemført ifølge WHO's retningslinjer for vurdering af risiko for skadevirkninger ved badning.

Silkeborg Langsø - Søsportens Hus, overvågning af blågrønalger og risikovurdering													WHO	celler/L	chl-a (µg Chl-a/L)
PEAN														>20 - 100 mil	10-50
April-Oktober 2025														>100-300 mil	50-150
														>300 mil	> 150
															lav risiko
															moderat risiko
															høj risiko
17-6-25 (Chl a)															
	12-05-2025	26-05-2025	12-06-2025	02-07-2025	14-07-2025	28-07-2025	11-08-2025	25-08-2025	08-09-2025	29-09-2025	13-10-2025	30-10-2025	05-11-2025		
prøvetager	pean/ktu	pean/ktu	pean/ktu	pean	KTU	KTU	pean/ktu	pean/ktu	pean/ktu	pean/ktu	pean/ktu	pean/ktu	pean/ktu		
tidspunkt	15:45	15:54	16:05	08:05	16:00	17:00	15:08	16:00	16:00	16:00	15:30	15:49	11:00!		
Vind	vindstille	blæst fra ve	blæst fra S/	vind fra sø	NØ	SV	SV	V	SØ	SØ	SV	SV			
Sol	solskin	sol/sky	sol	sol/sky	Solskin	sol/sky	delvist sky	sol/sky	sol/sol/sky	Skyet	Skyet				
Vandtemperatur	18	15,5	19	22,5	21	21	19,9	18,5	19,1	14,5	12	9,5	9		
Sigtdybde (m)	1,51	1,12	0,98	0,76	0,84	0,87	1,06	1,02	0,86	1	1,2	1,4	1,45		
Sigtdybde/klorofyl	0,16	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02					
Farve	uklar/oliver	uklar/oliver	uklar/oliver	grønligt	brunligt/grø	mørkegrøn/	brunligt	brunligt	brunligt/olive	brunligt-mø	brunligt-mør	brunligt	brunligt		
Klorofyl (µgChl a/L)	9,5	26,6	33,1	50,4	39,9	50,4	32,7	35,2	55,9	50,5	33,3	13,7	17,9		
Klorofyl Fluorescens															
Arter	mill. celler/	mill. celler/	mill. celler/	mill. celler/L	mill. celler/L	mill. celler/L	mill. celler/	mill. celler/	mill. celler/L	mill. celler/	mill. celler/L	mill. celler/L	mill. celler/L		
BLÅGRØNALGER															
<i>Pseudanabaena</i> spp. (toksin: microcystin)	0,3	0,2	22	31,5	13,9	78,3	201	246	172	85	42	0,4	0,03		
<i>Aphanizomenon cf. gracile</i> (toksin: saxitoxin)	0	0,3	63	24,5	7	8	11,3	4,3	9,3	125	91	0,4	0,03		
<i>Dolichospermum cf. flos-aquae</i> (toksin: anatoxin-a)	0,2	0,1	3,5	36,8	10	2,4	8,3	1,7	36,2	3,9	0,6	0,1	0,2		
SUM tox-cyano	0,5	0,6	88,5	92,8	30,9	88,7	220,6	252	217,5	213,9	133,6	0,9	0,26		
<i>Aphanothece</i> spp. (potentielt toksisk)	2	21	2,1												
Solitary single cells of cyanobacteria (non-toxic?)	122	147	208	168	66	68	34	74	4	2,8	4,3	14,2	0,07		
SUM other "non/may be" toxic	124	168	210	168	66	68	34	74	4	2,8	4,3	14,2	0,07		
SUM Blågrønalger	124,5	169	299	260,8	96,9	156,7	254,6	328	221,5	216,7	137,9	15,1	0,33		

Trods de høje koncentrationer af alger, registreres der ikke på noget tidspunkt sigtdybder < 0,75 m ved Søsportens Hus, figur 2.7, så badning kan ikke frarådes alene pga. uklart vand – hvor "tommelfingerreglen" er, at man ikke bør bade/gå i vandet, hvis man ikke kan se sine fødder når man står i vand til knæene, svarende til ca. 0,5 m.

Figur 2.6. Vandtemperaturer målt ved prøvetagningerne i undersøgelsesperioden maj-oktober 2025 i Silkeborg Langsø ved Søsportens Hus.



Figur 2.7. Sigtdybder i undersøgelsesperioden maj-oktober 2025 i Silkeborg Langsø ved Søsportens Hus.



Konklusion: risikovurderingen af badevandskvaliteten ved Søsportens Hus i Silkeborg Langsø i sommeren 2025 viser, at badevandskvaliteten er udfordret pga. opblomstringer af cyanobakterier, som opnår så høje koncentrationer/biomasser, at der kun ved 1 ud af 9 prøvetagninger vurderes at være "lav risiko" for skadevirkninger mens der ved de resterende henholdsvis 7 og 1 prøvetagninger vurderes at være "moderat risiko" og "høj risiko" for skadevirkninger. I NIRAS (2025) er der givet en mere gennemgående beskrivelse af baggrund og løsningsforslag til at forbedring af badevandskvaliteten.

De store mængder alger i sommerperioden skyldes grundlæggende en kombination af tilgængelighed af uorganiske næringsstoffer (kvælstof og fosfor), som betyder, at algerne kan opbygge de høje biomasser og et græsningstryk fra dyreplanktonet i søen, som ikke er tilstrækkeligt til at holde algebiomasserne nede.

Hvis badevandskvaliteten skal forbedres, skal mængden af alger i sommerperioden reduceres. For at dette kan ske, skal søens belastning med kvælstof og fosfor reduceres eller og den biologiske balance i søen skal oprettes. I følge NIRAS 2025 er den eksterne målbelastning for midterbassinet isoleret set opnået, men ikke for hele søsystemet fra Ørnsø til midterbassinet. Algemængderne kan aftage efterhånden som belastningen falder i takt med, at søen svinger ind i ny ligevægt med det eksterne belastningsniveau.

Mht. at forøge dyreplanktonets græsning på algerne, så er det vigtigt at forbedre forholdene for dyreplanktonet i søen primært ved at reducere græsningen på dyreplanktonet fra de store mængder "fredsfisk", der er registreret i søen, (NIRAS 2025). Dette kan ske ved enten en opfiskning af fredsfisk (biomanipulation), så fiskebestanden af især skaller og brasen reduceres, eller/og ved at forbedre vegetationsforholdene i søen, så dyreplanktonet får flere gemmesteder, hvor de undgår at blive græsset af fiskene. En øget dækningsgrad af vandplantevegetation kan måske også bidrage til en konkurrencefordel for rovfisk i forhold til fredsfisk (bedre skjul og livsbetingelser for rovfiskenes yngel), som også kan bidrage til en regulering af skidtfiskene?

Da Silkeborg Langsø midt er åben i begge ender med forbindelse til både Silkeborg Langsø vest og øst kan indvandring af fisk fra disse dele af søsystemet til Silkeborg Langsø midt betyde, at opfiskning af fredsfisk kun vil have en lille og temporær effekt medmindre der kan indføres tiltag som kan begrænse indvandring af fisk fra andre dele af søsystemet. En forbedring af vegetationsforholdene i Silkeborg Langsø midt vil derimod medføre at tilgængeligheden af føde til fredsfiskene i form af dyreplankton blive reduceret lokalt i Silkeborg Langsø midt. Det kan medføre en reduktion i mængden af fredsfisk, så der opbygges en større mængde dyreplankton, som kan være med til at holde algemængderne nede og forbedre badevandskvaliteten i sommerperioden. En øget dækningsgrad af vegetationen i søen kan måske også bidrage til en konkurrencefordel for rovfisk i forhold til fredsfisk (bedre skjul og livsbetingelser for rovfiskenes yngel), som kan opbygge en større bestand som også kan bidrage til en regulering af skidtfiskene?

2.3 Forholdet mellem kvantitativ forekomst af alger og klorofyl og sigtddybde

Måling af sigtddybde er en hurtig, billig og relativt sikker metode til at give et godt overordnet billede af badevandskvaliteten, fordi den afspejler mængden af biomassen af alger inkl. cyanobakterier som indeholder klorofyl.

Data fra undersøgelsen i Silkeborg Langsø ved Søsportens Hus viser, at der er en god sammenhæng mellem de målte sigtddybder og målingerne af klorofyl-a med en forklaringsprocent på 86%, figur 2.8.

En analyse af en tilsvarende sammenhæng mellem den beregnede biomasse af alger og sigtddybden og den totale abundans af alger inkl. cyanobakterier giver lavere forklaringsprocenter på henholdsvis 37 og 32%. Dette afspejler bl.a., at biomassen og koncentrationen af alger er fordelt på mange forskellige

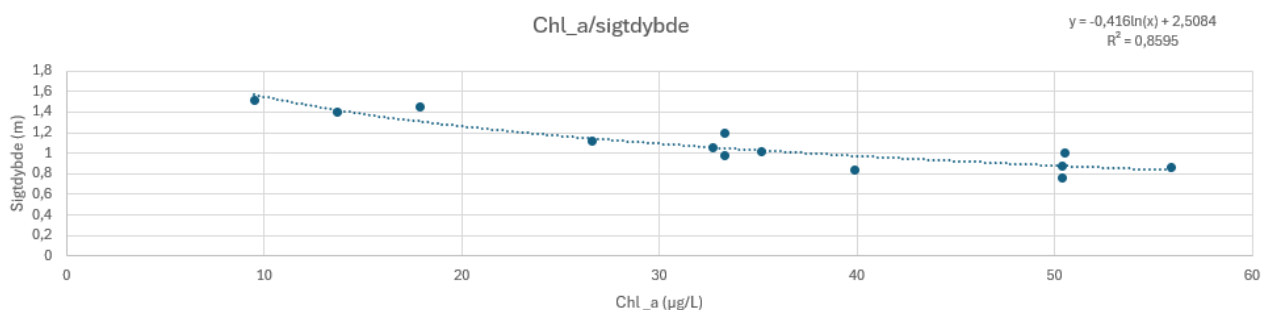
størrelser af alger med forskellige indhold af klorofyl og andre pigmenter, som kan absorbere, skygge/sprede lyset.

Erfaringerne fra nærværende overvågning i Silkeborg Langsø i 2025 viser, at de store biomasser af alger ($> 30 \mu\text{g Chl-a/L}$), som gav anledning til risikovurderinger på "moderat risiko" eller "høj risiko" for skadevirkninger ved badning i sommerperioden, var domineret af potentielt giftige cyanobakterier.

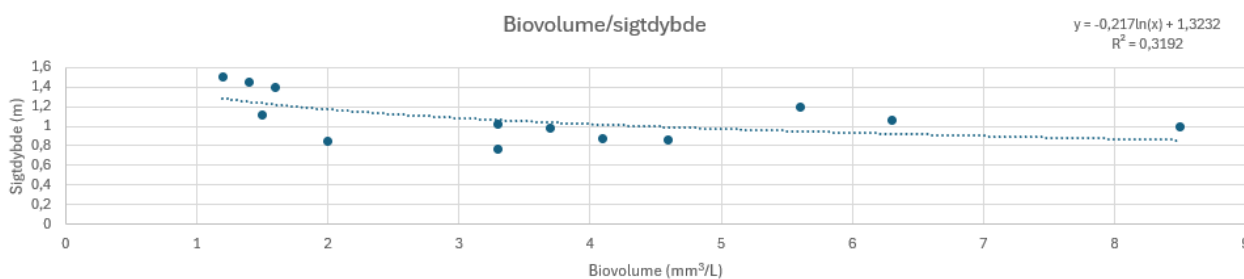
Dette betyder, at sigtdybde målinger på $< 1 \text{ m}$ giver stor risiko for, at mængden af cyanobakterier kan være så høj, at en risikovurdering af badevandskvaliteten i følge WHO's retningslinjer vil være "moderat risiko" for skadevirkninger eller værre, fordi koncentrationen af klorofyl-a kan være tæt på eller $> 50 \mu\text{g Chl-a/L}$ og den totale cellekoncentration kan være $> 100\text{-}200 \text{ mio. celler/L}$, figur 2.9. og 2.10.

Overvågningen viste desuden, at der selv ved sigtdybder $< 1 \text{ m}$ kan forekomme akkumulering af cyanobakterier ("vandblomst") i eftersommerperioden, hvis der er vindstille, svag pålandsvind og solrigt og forekomst af cyanobakterier, som har god evne til at flyde op til vandoverfladen (fx arter fra slægten *Dolichospermum*).

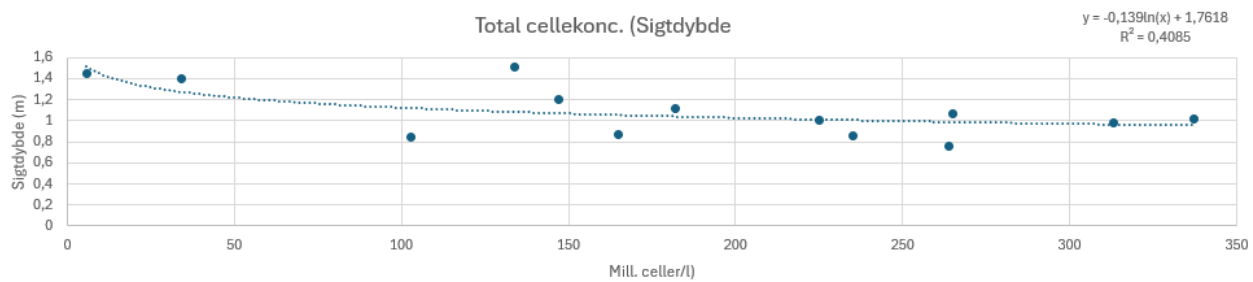
Det kan således konkluderes at måling af sigtdybde er en god metode til at "screen" badevandskvaliteten i Silkeborg Langsø ved Søsportens Hus. Ved sigtdybder på $< 1 \text{ m}$ bør der dog igangsættes yderligere undersøgelser af vandet for at afklare om der er tale om en opblomstring domineret af potentielt giftige cyanobakterier og få fastlagt et mere præcist datagrundlag for at gennemføre en risikovurdering i følge WHO's retningslinjer som baseres på klorofyl-niveau og cellekoncentration af cyanobakterier.



Figur 2.8. Plot af sammenhængen mellem den målte klorofylkoncentration ($\mu\text{g Chl-a/L}$) og sigtdybden i Silkeborg Langsø ved Søsportens Hus 2025.



Figur 2.9. Plot af sammenhængen mellem den beregnede biomasse (mm^3/L) og sigtdybden i Silkeborg Langsø ved Søsportens Hus 2025.



Figur 2.10. Plot af sammenhængen mellem totale koncentration af algeceller (celler/L) og sigtdybden i Silkeborg Langsø ved Søsportens Hus 2025.

3 Sondemålinger og alger

(Anders Nielsen & Dennis Trolle, WateriTech)

Sideløbende med at Aarhus Universitet har indsamlet vandprøver ved Søsportens Hus i Silkeborg Langsø og efterfølgende analyseret prøverne i laboratorium til bestemmelse af forskellige karakteristika, som vedrører algekoncentrationer og algesammensætning, har WateriTech på samme lokalitet for Silkeborg Kommune haft opsat en multisonde, som optisk måler indirekte på forskellige vandkvalitetsrelaterede parametre som vandtemperatur, turbiditet, klorofyl-*a* fluorescens og phycocyanin fluorescens i realtid samt en metabolismestation, der måler iltkoncentration og vandtemperatur, og estimerer primærproduktion og respiration i vandsystemet.

Da alle alger indeholder klorofyl-*a* er klorofyl-*a* fluorescensen en god proxy for den totale algebiomasse. Phycocyanin er en specifik proxy for cyanobakterier, som sammen med rekylalgerne er de eneste algegrupper, som indeholder phycocyanin. I forbindelse med høje biomasser af cyanobakterier i sommerperioden, som kan kompromittere badevandskvaliteten, er biomasserne stort set altid domineret af cyanobakterier mens rekylalgerne er uden betydning for den totale biomasse. Måling af phycocyanin har således et stort potentiale til at overvåge høje biomasser af potentielt toksiske cyanobakterier i forhold til badevandskvalitet.

Dette afsnit redegør for analyserede sammenhænge mellem de laboratorie-baserede bestemmelser og de indsamlede sondebaserede målinger, herunder også den sensor-baserede primærproduktion og respiration fra metabolismestationen. Formålet er at se på, hvorvidt der kan etableres empiriske relationer, som kan anvendes til at oversætte sondernes målinger til estimer af algermængder.

Sondemålinger kræver en lokalitetsspecifik kalibrering op imod laboratorie-baserede analyser. Eksempelvis er oversættelsen af værdierne fra de optiske sensorer til faktiske algemængder påvirket af en række lokale faktorer som algesammensætning, begroning og såkaldt quenching (hvor algerne midt på dagen beskytter sig selv mod kraftigt lys). Med parallelle tidsserier kan der udledes empiriske relationer mellem sondemålinger og algekoncentrationer, og med sådanne relationer opnås et estimeret realtidsindblik i lokalitetens algestatus. Herved kan der "ses" mellem rutinemæssige manuelle inspektioner og prøvetagninger, hvilket dermed kan understøtte kommunens myndighedsopgave relateret til bl.a. badevand.

Foruden relationer mellem de laboratorie-baserede bestemmelser af algemængder og de indsamlede sondebaserede målinger, vurderes også relationen mellem multisondens optiske turbiditetsmålinger og de manuelle indsamlede sigtddybdemålinger, der er foretaget af Aarhus Universitet og Silkeborg Kommune. Formålet er her at etablere en empirisk relation, som muliggør estimering af sigtddybde på daglig basis ud fra sondemålinger, som ligeledes kan understøtte myndighedsopgaver.

3.1 Teknisk målesetup

Både multisonde og metabolismestation er installeret ved Søsportens Hus på flydebroens side (se figur 3.1) mens dataloggerne er monteret på pælekonstruktionen.



Figur 3.1. Billeder af multisonde og metabolismestationsplacering. Til højre ses metabolismestations datalogger, som forsynes med strøm fra solpanel.

Multisonde

Multisonden er en Aqua TROLL 500 fra In-Situ (Fort Collins, Colorado) og er konfigureret med sensorer, der måler hhv. vandtemperatur (sonde-Tw), turbiditet (sonde-Tur), klorofyl-a fluorescens (sonde-Chl-RFU) og phycocyanin fluorescens (sonde-Phy-RFU). Sonde-Tur måles i enheden Nephelometric Turbidity Units (NTU) mens RFU er forkortelsen for Raw Fluorescence Unit. Konceptet bag de optiske algerelaterede sensorer er, at de udsender lys ved specifikke bølgelængder, der matcher for eksempel det spektrum, hvor algers klorofyl-a pigment auto-fluorescerer, og måler på den returnerede lysmængde, som er et udtryk for koncentrationen af klorofyl-a.

Sonden har et beskyttelsesrør i kobber omkring sensorerne og en visker, der samlet har til formål at begrænse begroning og dermed forstyrrelser af de optiske sensorhoveder. Multisonden er tilsluttet en IoT-enhed, som styrer logningsfrekvensen og transmissionen af data via LoRaWAN til kommunens IoT-plattform (OS2iot) og videre til WaterWebTools platformen for visualisering. I forbindelse med rutinemæssige sigtddybdemålinger på lokaliteten, har kommunen foretaget inspektion og rengøring af sensorhovederne i måleperioden.

Metabolisme

Den installerede metabolismestation består af en sensorenhed, der måler ilt-koncentration og vandtemperatur samt en datalogger, som styrer lognings-frekvens og datatransmission via NB-IoT (transmission af data via mobilnet) til WaterWebTools platformen, hvor databehandling, metabolismeberegninger og visualisering foregår. Metabolismen i søer og vandløb beskriver hele økosystemets produktion og omsætning af organisk stof, og udtrykkes via bruttoprimærproduktion (BPP) og økosystemets respiration (R). Fra et forvaltningsperspektiv er økosystemets metabolisme interessant, da BPP og R rater er korreleret med mængden af alger. BPP og R raterne reagerer på miljøændringer og forstyrrelser, og kan derfor bruges som indikatorer for økosystemets overordnede miljøtilstand. Når der kontinuerligt måles iltkoncentrationer og vandtemperatur i høj frekvens, kan dette anvendes til at beregne vandsystemets metabolisme. WateriTech har udviklet en metode til at gøre dette, som integrerer sensordata, en proces-baseret model og daglig machine learning. Metoden er beskrevet nærmere i Trolle og Nielsen (2024).

3.2 Dataprocessering

Multisonden blev idriftsat d. 21. maj 2025 og har målt kontinuerligt med 15 minutters intervaller frem til sidste manuelle prøvetagning d. 5. november 2025. I den periode er der overlap med 12 af de 13 manuelle prøvetagninger og laboratorieanalyser og yderligere en mindre fortyndingsrække, som blev foretaget med det formål at tilføje parallelle datapunkter med lavere koncentrationer end de, der var mulige at få med inden for målekampagnens periode.

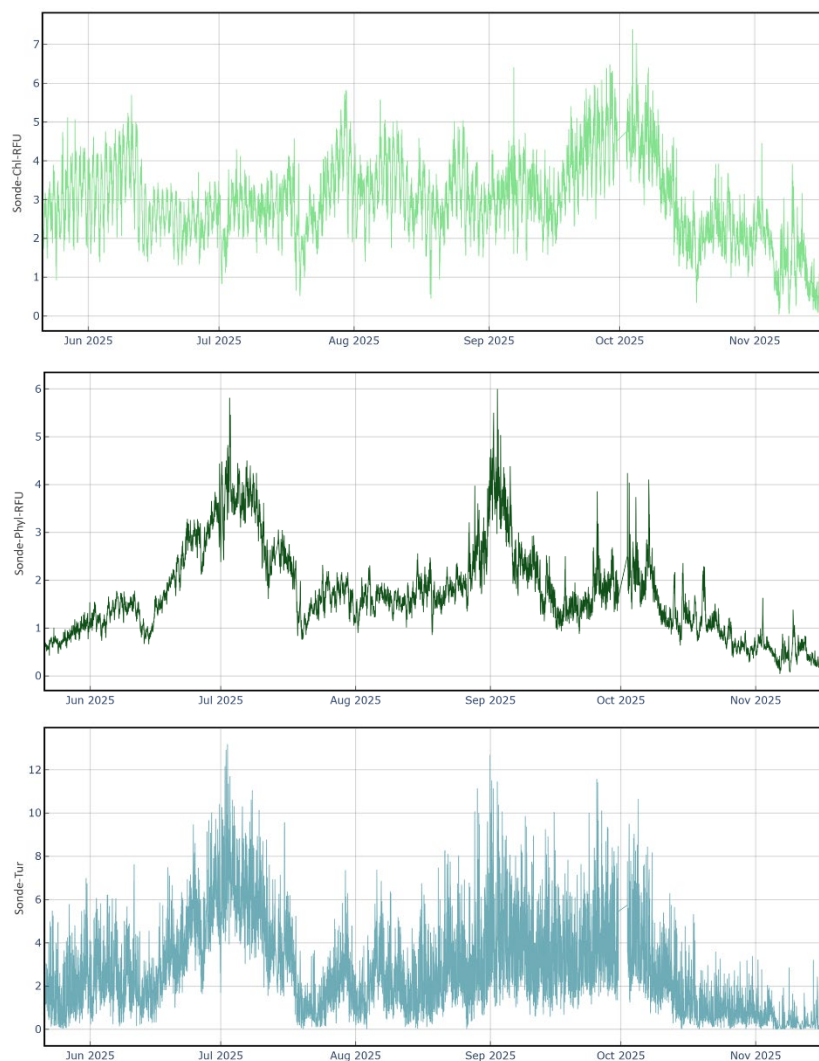
Sigtdybde er målt ved hver prøvetagning og ligeledes når Silkeborg Kommune har foretaget besøg på lokaliteten. Der eksisterer således 28 målinger hvoraf 27 er sammenfaldende med multisondens måleperiode.

Metabolismestationen blev idriftsat d. 6. juni 2025 og har målt kontinuerligt med 15. minutters intervaller frem til sidste manuelle prøvetagning d. 5. november 2025. Med den lidt senere idriftsættelse har perioden overlap med 11 af de 13 manuelle prøvetagninger og laboratorieanalyser.

Multisonde

Multisondens dataserie har for hver parameter (sonde-Tw, sonde-Tur, sonde-Chl-RFU og sonde-Phy-RFU) gennemgået semi-automatiseret kvalitetssikring og detektion af evt. outliers ud fra metodik beskrevet i Van't Veen et al. (2025). De kvalitetssikrede dataserier fremgår af figur 3.2.

Figur 3.2. Tidsserier af sonde-data. Øverst er klorofyl-a fluorescens (sonde-Chl-RFU); i midten er phycocyanin fluorescens (sonde-Phy-RFU) og nederst turbiditet (sonde-Tur).

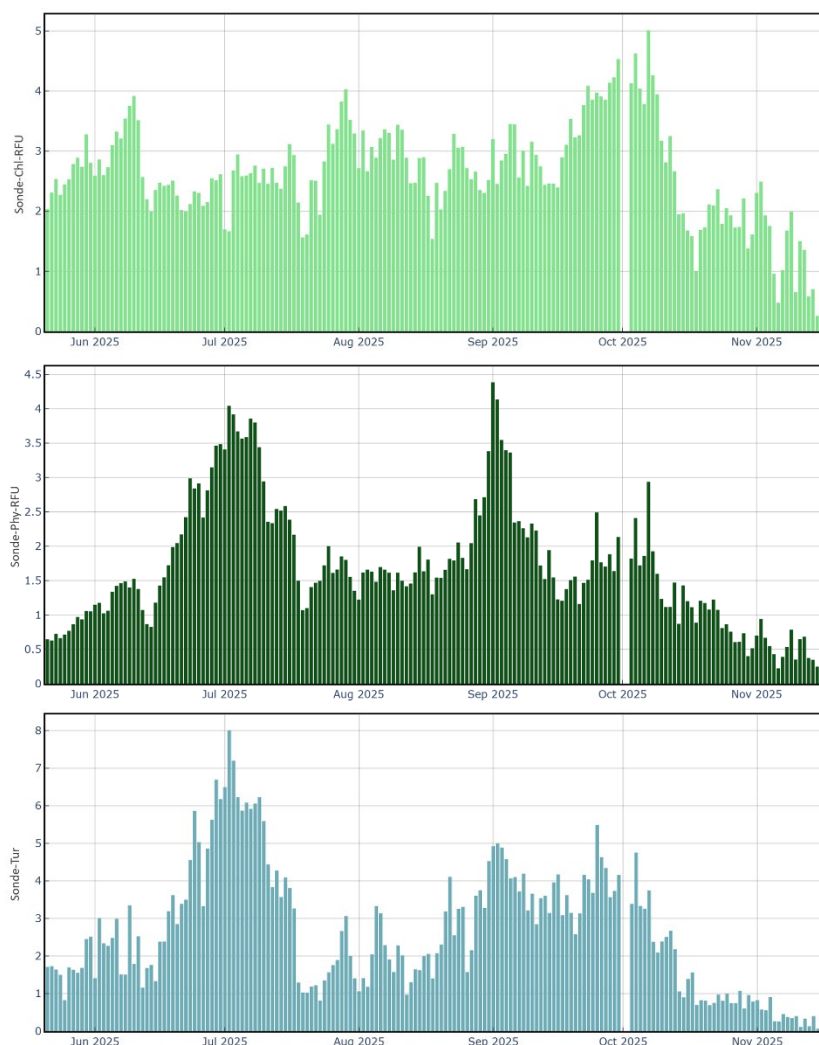


Sondens dataserier er derefter opdelt i målinger hhv. i dagslys og om natten, hvor dagslys er defineret som intervallet fra solopgang + 45 minutter til solnedgang - 45 minutter og nat som intervallet fra solnedgang + 45 minutter til solopgang - 45 minutter. De 45 minutters buffer er for at minimere interferens mellem de to grupperinger. I de to grupperinger er der efterfølgende udregnet følgende aggregeringer, som efterfølgende er brugt i udledningen af de empiriske relationer:

- Dag - maksimumsværdi
- Nat - maksimumsværdi
- Dag - middelværdi
- Nat - middelværdi
- Dag - minimumsværdi
- Nat - minimumsværdi
- Dag - 90 percentilsværdi
- Nat - 90 percentilsværdi

Som eksempel på aggregerede værdier viser figur 3.3. dagslys middelværdier

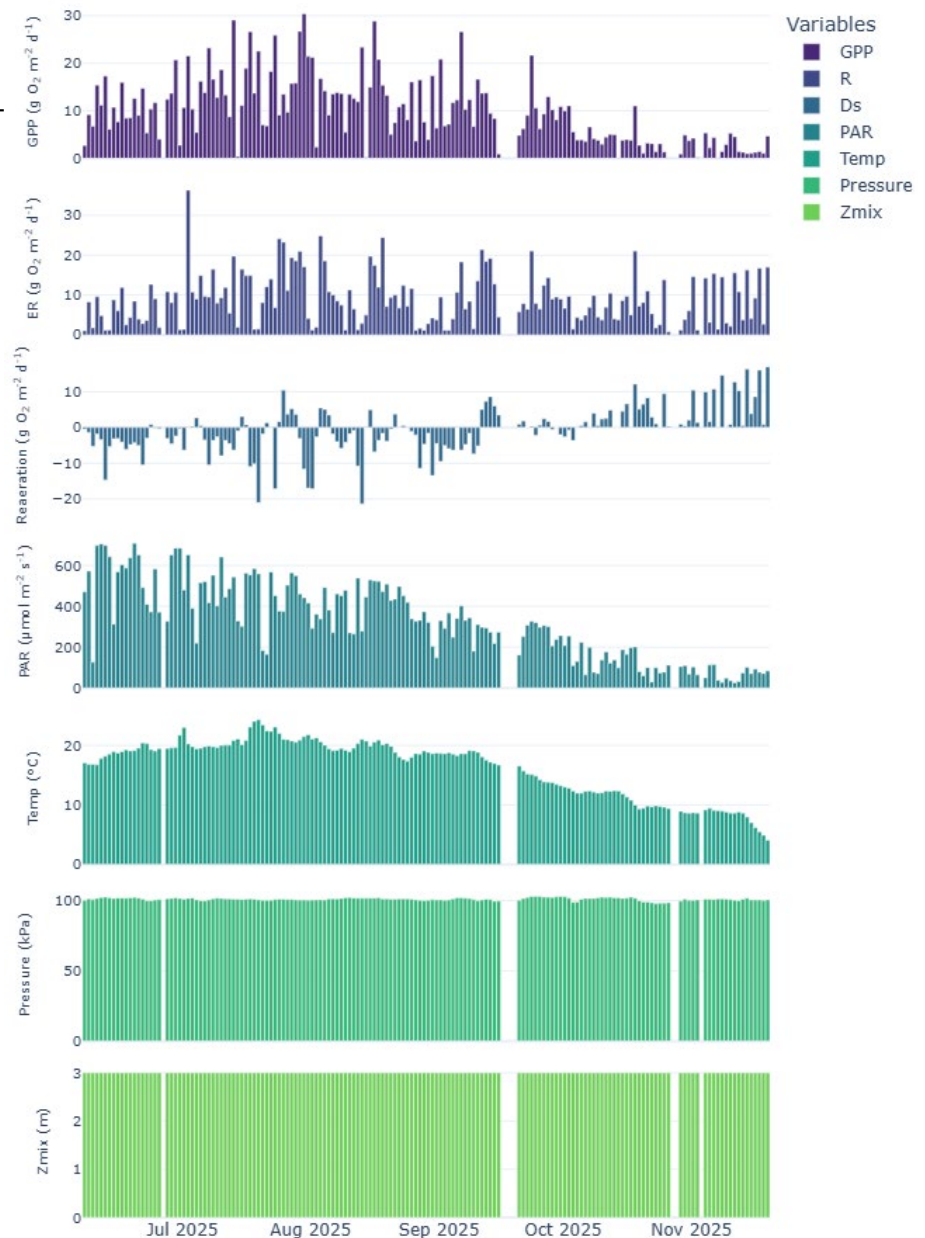
Figur 3.3. Aggregerede tidsreier af sondedata repræsenteret ved daglige middelværdier. Øverst er klorofyl-a fluorescens (sonde-Chl-RFU); i midten er phycocyanin fluorescens (sonde-Phy-RFU) og nederst turbiditet (sonde-Tur).



Metabolisme

Metabolismestationen måler og sender data for vandtemperatur og iltkoncentration hvert 15. minut. Parallelt med dette downloades der løbende lysindstråling samt lufttryk for positionen omkring Søsportens Hus fra vejrtjeneste. Sensor- og klimadata anvendes i metabolismemodellen, hvor der hver dag estimeres fire forskellige modelparametre ved hjælp af machine learning. Dette giver den daglige brutto-primærproduktion samt økosystemets respiration. Disse daglige værdier, se figur 3.4. kan efterfølgende anvendes til at undersøge for sammenhænge med målte algemængder udtrykt ved klorofyl-*a*.

Figur 3.4. Dagligt output fra metabolismestationen (GPP: brutto-primærproduktion, ER: respiration, Reaeration: genluftning, PAR: lysindstråling, Temp: vandtemperatur, Pressure: lufttryk, Zmix: dybde).



3.3 Relationer

De empiriske relationer mellem multisonden og algemængder er udledt med afsæt i hhv. lineær og multipel lineær regression, som er tilgange, der også er anvendt i f.eks. Levi et al. (2025). For metabolismestationen er sammenhænge mellem metabolisme og klorofyl-a udledt ved hjælp af machine learning (Random Forest og XGBoost) og for relationen mellem turbiditetsmålinger fra multisonden og de manuelle sigtddybdemålinger er anvendt en powerfunktion ($\text{sigtddybde (m)} = a \cdot (\text{Sonde-Turb})^b$ jf. koncept beskrevet i USGS (2025)).

Da de manuelt indsamlede prøver og laboratorieanalyser er behæftet med en vis grad af usikkerhed, er disse usikkerheder medtaget visuelt, hvor det er relevant i plots. Der er anvendt en usikkerhed på $\pm 25\%$ på algerelaterede prøver (Andersen et al. 2022) og en usikkerhed på $\pm 10\%$ for sigtddybdemålinger.

Multisonde og klorofyl-a

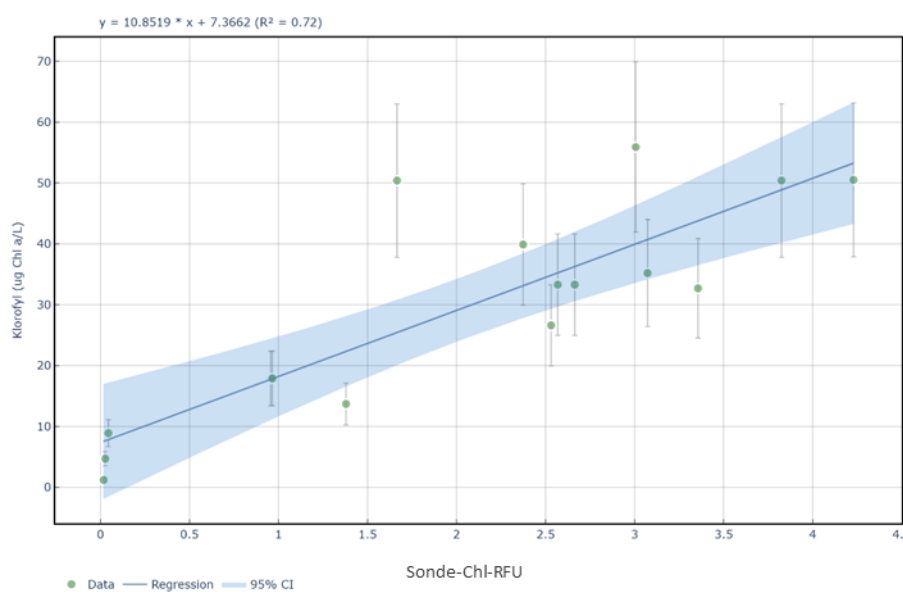
Relationen mellem multisondens målinger, der repræsenterer klorofyl-a (sonde-Chl-RFU) og de laboratoriebaserede analyser, er undersøgt ud fra de forskellige sonde-repræsentationer beskrevet i afsnittet dataprocessering ved hjælp af lineær regression. Tabel 3.1. præsenterer for de enkelte sonde-repræsentationer den empiriske relation og tilhørende forklaringsgrad (R^2).

Tabel 3.1. Oversigt over empiriske relationer mellem aggregerede sonde-repræsentationer og laboratoriebaserede analyser for klorofyl-a.

Sonde-aggregering	R^2	Ligning
Dag-maks	0,67	$\text{chl-a.} = 7,2385 \cdot (\text{sonde-Chl-RFU}) + 8,3990$
Nat-maks	0,60	$\text{chl-a.} = 6,5596 \cdot (\text{sonde-Chl-RFU}) + 8,8633$
Dag-middel	0,72	$\text{chl-a.} = 10,8519 \cdot (\text{sonde-Chl-RFU}) + 7,3662$
Nat-middel	0,64	$\text{chl-a.} = 7,6010 \cdot (\text{sonde-Chl-RFU}) + 8,5300$
Dag-min	0,70	$\text{chl-a.} = 14,0625 \cdot (\text{sonde-Chl-RFU}) + 8,4666$
Nat-min	0,66	$\text{chl-a.} = 8,6129 \cdot (\text{sonde-Chl-RFU}) + 8,2309$
Dag-P90	0,69	$\text{chl-a.} = 8,5204 \cdot (\text{sonde-Chl-RFU}) + 7,7595$
Dag-P90	0,63	$\text{chl-a.} = 6,9772 \cdot (\text{sonde-Chl-RFU}) + 8,7311$

De empiriske relationer har forklaringsgrader, der er forholdsvist sammenlignelige. Den højeste forklaringsgrad opnås ved at repræsentere sondeværdierne med middelværdierne i dagslys. Netop denne relation er afbilledet i figur 3.5.

Figur 3.5. Lineær regression og tilhørende 95% konfidensinterval mellem sondens data repræsenteret ved middelværdierne i dagslys (x-akse) og de laboratoriebaserede analyser (y-akse).



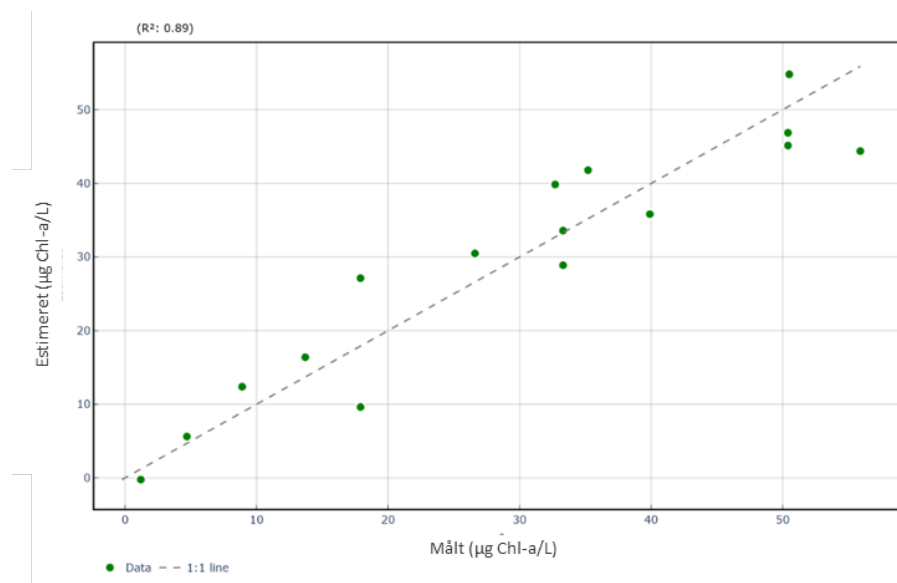
For at undersøge muligheden for at forbedre forklaringsgraden yderligere, blev sondens målte turbiditet (sonde-Tur) også inkluderet via multipel lineær regression. Ved at medtage turbiditet steg forklaringsgraden (R^2) til 0,89 (se tabel 3.2.).

Tabel 3.2. Oversigt over multipel lineær regression mellem aggregerede sonde-repræsentationer og laboratoriebaserede analyser for klorofyl-a.

Sonde-aggregering	R^2	Ligning
Dag-middel	0,89	$\text{chl-a.} = -0,8258 + 9,9113 \cdot (\text{sonde-Chl-RFU}) + 3,6771 \cdot (\text{sonde-Tur})$

Resultatet af den multiple lineære regression ses i figur 3.6., hvor de estimerede klorofyl-a koncentrationer fra ligningen i tabel 3.2. (dvs. ud fra multisondens målinger) er plottet overfor de tilhørende laboratoriebaserede klorofyl-a koncentrationer og den stiplede linje indikerer 1:1 linjen.

Figur 3.6. Plot af laboratoriebaseret klorofyl-a koncentration (x-akse) i forhold til estimeret klorofyl-a koncentration (y-akse) ud fra multipel lineær regression, hvor der indgår middelværdier af sondens målinger i dagslys for klorofyl-a fluorescens (sonde-chl-RFU) og turbiditet (sonde-Tur).



Multisonde og cyanobakterier

Relationen mellem multisondens målinger, der repræsenterer phycocyanin (sonde-Phy-RFU) og de laboratoriebaserede analyser er undersøgt ud fra de forskellige sonde-repræsentationer beskrevet i afsnittet dataproccesering ved hjælp af lineær regression. Tabel 3.3.-3.4. præsenterer for de enkelte sonde-repræsentationer af den empiriske relation og tilhørende forklaringsgrad (R^2). Tabel 3.3. summerer de empiriske relationer for cellekoncentrationen af potentielt toksiske cyanobakterier, som indeholder phycocyanin og her fremgår det, at højeste forklaringsgrad opnås ved at anvende sondens maximumsværdier om natten (R^2 : 0,18) mens den højeste forklaringsgrad for cyanobakteriernes biomasse (mm^3/L) og cyanobakterierne og cryptophyceerne (rekylalger) opnås ved at anvende sondens maksimumsværdier om natten (R^2 : 0,29 – tabel 3.4 og R^2 : 0,27 – tabel 3.5). Dog er forklaringsgraderne for phycocyanin, som opnås ved lineær regression, meget lave og der er i praksis ikke forskel i deres præcision.

Tabel 3.3. Oversigt over empiriske relationer mellem aggregerede sonde-repræsentationer og laboratoriebaserede analyser for cellekoncentrationen af toksiske cyanobakterier.

key	R^2	eq
Dag-maks	0,09	cyano = 23,6554 * (sonde-Phy-RFU) + 63,9712
Nat-maks	0,18	cyano = 37,5521 * (sonde-Phy-RFU) + 35,6489
Dag-middel	0,10	cyano = 29,9657 * (sonde-Phy-RFU) + 62,2792
Nat-middel	0,14	cyano = 34,2967 * (sonde-Phy-RFU) + 49,7161
Dag-min	0,14	cyano = 41,2417 * (sonde-Phy-RFU) + 55,8767
Nat-min	0,10	cyano = 31,2656 * (sonde-Phy-RFU) + 61,0298
Dag-P90	0,10	cyano = 26,4863 * (sonde-Phy-RFU) + 61,5324
Dag-P90	0,17	cyano = 36,6565 * (sonde-Phy-RFU) + 40,5436

Tabel 3.4. Oversigt over empiriske relationer mellem aggregerede sonde-repræsentationer og laboratoriebaserede analyser for cyanobakterier-biomasse (mm³/L).

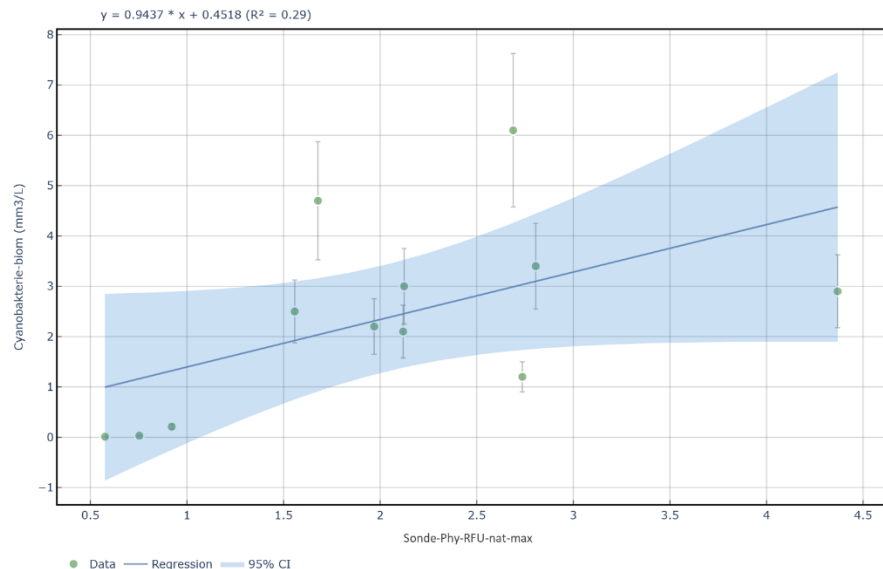
Sonde-aggregering	R ²	Ligning
Dag-maks	0,15	cyano = 0,6252 * (sonde-Phy-RFU) + 1,1014
Nat-maks	0,29	cyano = 0,9437 * (sonde-Phy-RFU) + 0,4518
Dag-middel	0,15	cyano = 0,7102 * (sonde-Phy-RFU) + 1,1916
Nat-middel	0,23	cyano = 0,8643 * (sonde-Phy-RFU) + 0,8010
Dag-min	0,16	cyano = 0,8655 * (sonde-Phy-RFU) + 1,1914
Nat-min	0,18	cyano = 0,7997 * (sonde-Phy-RFU) + 1,0669
Dag-P90	0,17	cyano = 0,6864 * (sonde-Phy-RFU) + 1,0628
Dag-P90	0,27	cyano = 0,9147 * (sonde-Phy-RFU) + 0,5874

Tabel 3.5. Oversigt over empiriske relationer mellem aggregerede sonde-repræsentationer og summen af laboratoriebaserede analyser for cyanobakterier og cryptophyceer-biomasse (mm³/L).

Sonde-aggregering	R ²	Ligning
Dag-maks	0,14	cyano = 0,5966 * (sonde-Phy-RFU) + 1,3132
Nat-maks	0,27	cyano = 0,9075 * (sonde-Phy-RFU) + 0,6791
Dag-middel	0,14	cyano = 0,6772 * (sonde-Phy-RFU) + 1,4000
Nat-middel	0,22	cyano = 0,8249 * (sonde-Phy-RFU) + 1,0262
Dag-min	0,15	cyano = 0,8245 * (sonde-Phy-RFU) + 1,4009
Nat-min	0,16	cyano = 0,7569 * (sonde-Phy-RFU) + 1,2904
Dag-P90	0,16	cyano = 0,6555 * (sonde-Phy-RFU) + 1,2754
Dag-P90	0,26	cyano = 0,8780 * (sonde-Phy-RFU) + 0,8127

Generelt er de empiriske relationer via lineær regression for cyanobakterier væsentligt svagere end for klorofyl-a og dette bør holdes for øje i anvendelsen af relationerne. Som eksempel er plottet den stærkeste relation, som er for cyanobakteriernes biomasse (mm³/L) og sondens maksimumværdier om natten i figur 3.7.

Figur 3.7. Lineær regression og tilhørende 95% konfidensinterval mellem sondens data repræsenteret ved maksimumværdier om natten (x-akse) og de laboratoriebaserede analyser (y-akse).



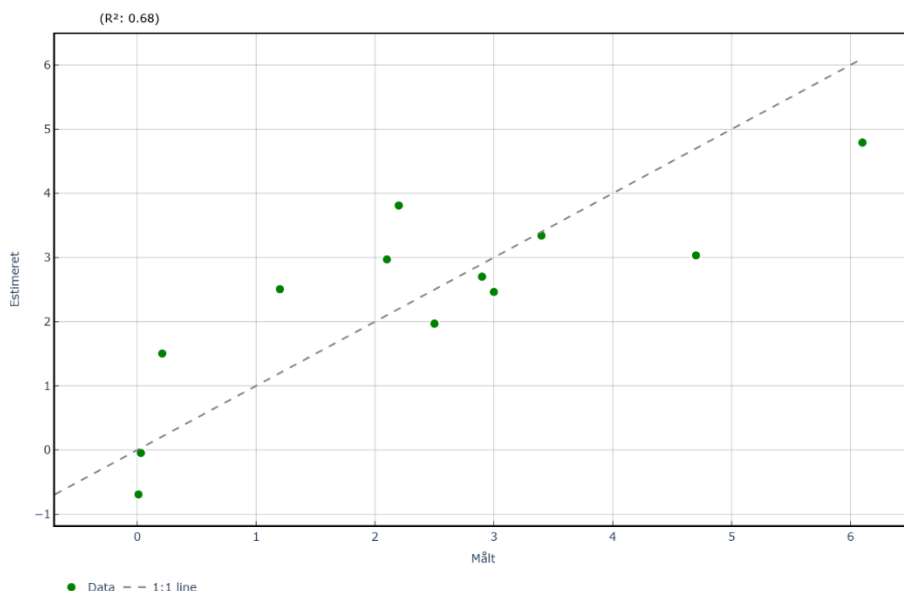
For at undersøge muligheden for om forklaringsgraden kan øges yderligere i den empiriske relation, blev sondens målinger, der repræsenterer klorofyl-a (sonde-Chl-RFU) også inkluderet via multipel lineær regression. Ved at medtage sonde-Chl-RFU repræsenteret ved middelværdier af målinger i dagslys steg forklaringsgraden (R²) til 0,68 (se tabel 3.6.).

Tabel 3.6. Oversigt over multipel lineær regression mellem aggregerede sonde-repræsentationer og laboratoriebaserede analyser af biomassen af cyanobakterier (mm³/L) .

Sonde-aggregering	R ²	Ligning
Nat-maks & Dag-middel	0,68	cyano = -2,2666 + 0,6609·(sonde-Phy-RFU) + 1,2487·(sonde-Chl-RFU)

Resultatet af den multiple lineære regression ses i figur 3.8., hvor de estimerede cyanobakteriekoncentrationer, baseret på ligningen i tabel 3.6. (dvs. ud fra sondens målinger), er plottet overfor de tilhørende laboratoriebaserede cyanobakterie-biomasser og den stiplede linje indikerer 1:1 linjen.

Figur 3.8. Plot af laboratoriebaseret cyanobakteriekoncentration (celler/L) (x-akse) i forhold til estimeret cyanobakteriekoncentration (y-akse) ud fra multipel lineær regression, hvor der indgår maksimumværdier af sondens målinger om natten for phycocyanin fluorescens (sonde-Phy-RFU) og middelværdier af sondens målinger i dagslys for klorofyl a fluorescens (sonde-Chl-RFU).



Multisonde og sigtddybde

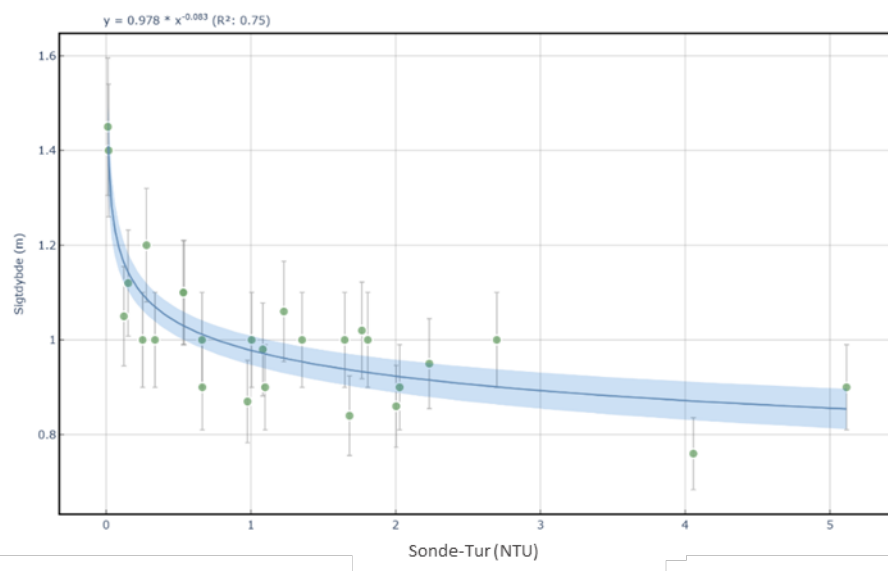
Relationen mellem multisondens målinger, der repræsenterer turbiditet (sonde-Tur) og de manuelle sigtddybdemålinger er undersøgt ud fra de forskellige sonde-repræsentationer beskrevet i afsnittet dataprocessering. Her er alene anvendt kurvefit med brug af et power-funktionsudtryk. Tabel 3.7. præsenterer for de enkelte sonde-repræsentationer, den empiriske relation og tilhørende forklaringsgrad (R²).

Tabel 3.7. Oversigt over empiriske relationer mellem aggregerede sonde-repræsentationer og manuelle sigtddybdemålinger.

Sonde-aggregering	R ²	Ligning
Dag-maks	0,57	SD = 1,343 * (sonde-Tur) ^{-0,175}
Nat-maks	0,28	SD = 1,226 * (sonde-Tur) ^{-0,127}
Dag-middel	0,62	SD = 1,153 * (sonde-Tur) ^{-0,157}
Nat-middel	0,53	SD = 1,146 * (sonde-Tur) ^{-0,158}
Dag-min	0,63	SD = 0,980 * (sonde-Tur) ^{-0,084}
Nat-min	0,75	SD = 0,978 * (sonde-Tur) ^{-0,083}
Dag-P90	0,56	SD = 1,251 * (sonde-Tur) ^{-0,170}
Dag-P90	0,44	SD = 1,207 * (sonde-Tur) ^{-0,145}

De empiriske relationer har forklaringsgrader, der varierer noget og højeste forklaringsgrad opnås ved at repræsentere sondeværdierne med minimumsværdierne om natten. Netop denne relation er afbilledet i figur 3.9.

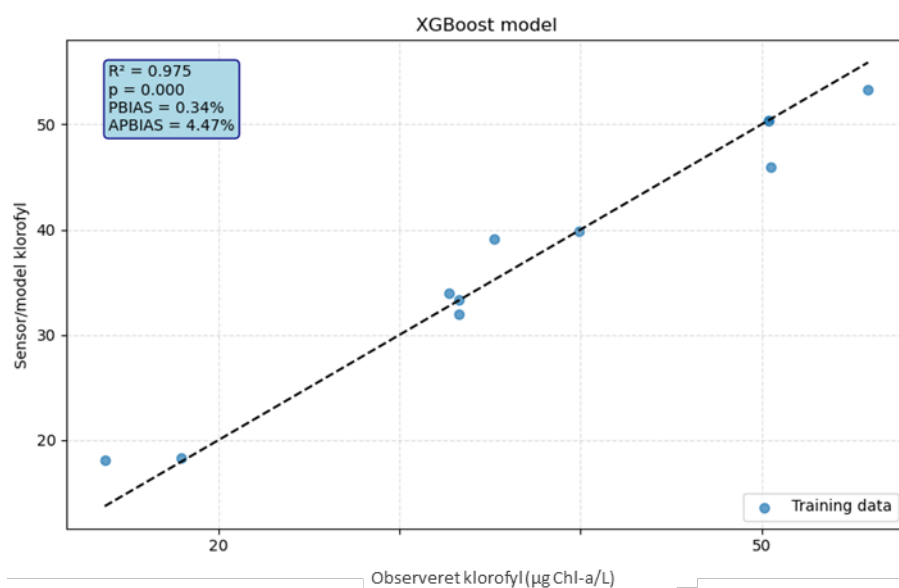
Figur 3.7. Power-funktion kurvefit og tilhørende 95% konfidensinterval mellem sondens data repræsenteret ved minimumværdierne om natten (x-akse) og de manuelle sigtdybde målinger (y-akse).



Metabolisme og klorofyl

Der er undersøgt sammenhænge mellem metabolismedata og klorofyl-a målinger igennem både Random Forest og XGBoost machine learning tilgange. XGBoost gav umiddelbart den højeste forklaringsgrad (R^2 : 0,975).

Figur 3.8. Plot af laboratoriebaseret klorofyl a måling (x-akse) i forhold til estimeret klorofyl-a (y-akse) ud fra metabolismestationens data (BPP, R, iltmætning og temperatur) og XGBoost. Alle observationer er anvendt til modeltræning, således det er sammenligneligt med analyserne for multisonden og klorofyl-a.



3.4 Sensorestimeret vandkvalitet

Ud fra de udledte empiriske relationer for hhv. klorofyl-a, cyanobakteriemængde og turbiditet, samt metabolisme, er de stærkeste relationer anvendt på den kontinuerede tidsserie fra hhv. multisonden og metabolismestationen, og derudfra er udregnet estimerede niveauer af de pågældende vandkvalitetsparametre på et dagligt tidskridt og disse er plottet sammen med de laboratoriebaserede analyseværdier.

Multisonde og klorofyl

Relationen med højeste forklaringsgrad (R^2 : 0,89) fremgår af tabel 3.2. og de sondebaserede klorofyl-a niveauer er præsenteret i figur 3.11. sammen med de laboratoriebaserede analyseværdier.

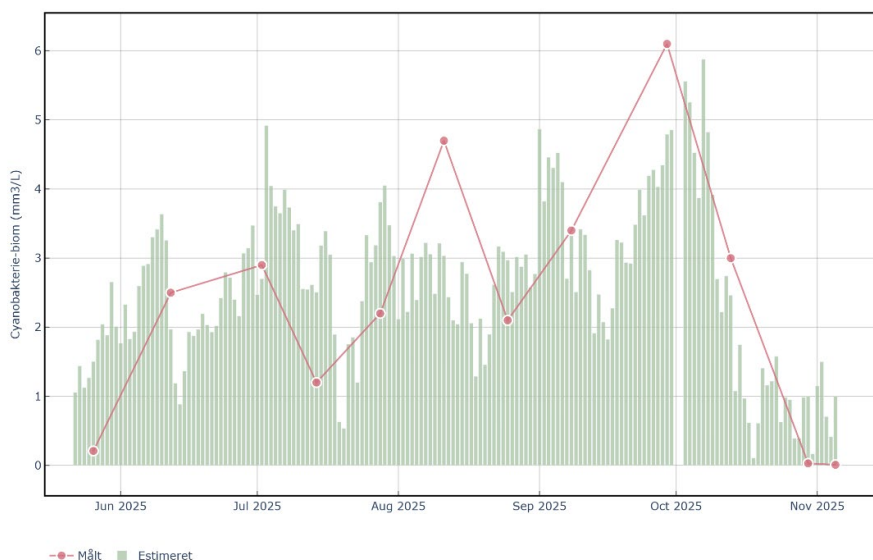
Figur 3.9 Tidsserieplot af sondebaserede klorofyl-a niveauer sammen med de laboratoriebaserede analyseværdier.



Multisonde og cyanobakterier

Relationen med højeste forklaringsgrad (R^2 : 0,68) fremgår af tabel 3.6. og de sondebaserede cyanobakterieniveauer er præsenteret i figur 3.12. sammen med de laboratoriebaserede analyseværdier.

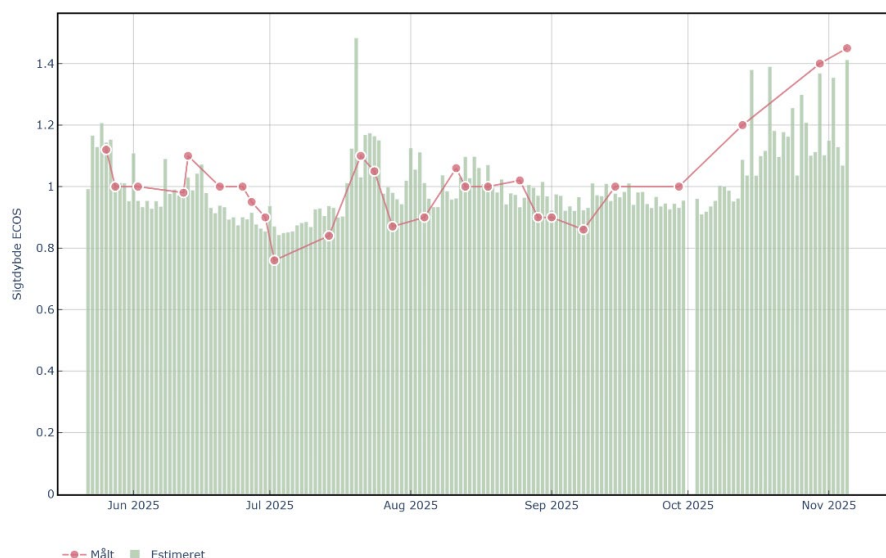
Figur 3.10. Tidsserieplot af sondebaserede cyanobakterieniveauer sammen med de laboratoriebaserede analyseværdier.



Multisonde og sigtddybde

Relationen med højeste forklaringsgrad (R^2 : 0,75) fremgår af tabel 3.7. og de sondebaserede sigtddybniveauer er præsenteret i figur 3.13 sammen med manuelle målinger.

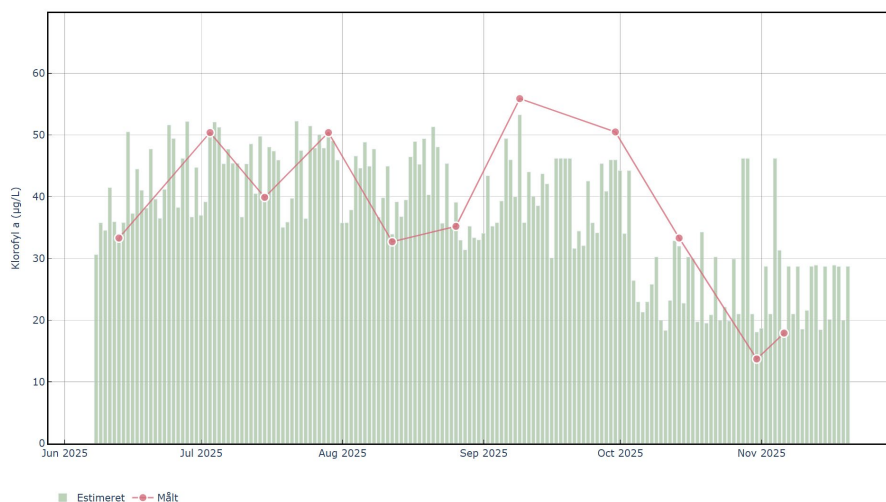
Figur 3.11 Tidsserieplot af sondebaseret sigtgybde sammen med de manuelle målinger.



Metabolisme og klorofyl

Der blev opnået den højeste forklaringsgrad (R^2 : 0,98) mellem metabolisme-data og målt klorofyl-a, baseret på machine learning (XGBoost).

Figur 3.12. Tidsserieplot af metabolisme-baseret daglig klorofyl sammen med de manuelle målinger.



3.5 Opsamling

Med de udledte empiriske relationer, som oversætter de "rå" sondemålinger fra hhv. en multisonde og en metabolimestation, kan der estimeres sondebaserede niveauer af klorofyl-a, cyanobakteriemængde og sigtgybde, som generelt har høje forklaringsgrader (R^2 : 0,68 – 0,98). Relation mellem laboratoriebaserede analyser af cyanobakteriemængder alene ud fra multisondens phycocyanin fluorescens (sonde-Phy-RFU) var relativt ringe (R^2 : < 0,30), men med inklusion af sondens klorofyl-a fluorescens (sonde-Chl-RFU) steg forklaringsgraden til et væsentligt bedre niveau (R^2 : 0,68). Relationerne for klorofyl-a og sigtgybde var begge høje for multisonden (R^2 : 0,75 og 0,89). For metabolimestationens data gav machine learning de højeste forklaringsgrader for klorofylniveauerne (R^2 : 0,98) og er således en lovende teknologi til løbende overvågning af algeniveauerne. Det skal bemærkes, at analysen for relationen mellem metabolisme og klorofyl-a, er foretaget på et relativt beskedent datagrundlag (11 observationer), og at datasættet til machine learning med fordel kunne udvides, og inddeles i hhv. et trænings- og et valideringssæt for at

styrke pålideligheden af modelestimeringen yderligere. Dette gælder i øvrigt for alle de udledte empiriske relationer. Ydermere kan det bemærkes, at brug af machine learning til multisondens data også må forventes, at give højere forklaringsgrader end ved multipel lineær regression, men det er ikke undersøgt yderligere. Flere manuelle prøvetagninger og laboratorie-baseret analyser vil også understøtte evaluering af de estimerede dynamikker som hhv. multisonde og metabolismestation estimerer eksempel for klorofyl-a over sommeren.

Med de udledte relationer kan der estimeres daglige niveauer af klorofyl-a, cyanobakteriemængde og sigtddybde. Det gør det muligt at estimere værdier imellem de manuelle prøvetagninger. I den parallelle prøvetagningsperiode afslører multisondens, metabolismestationens målinger og de daglige vandkvalitetsestimater generelt ikke store udsving i niveauerne mellem de manuelle prøvetagningstidspunkter, men der er perioder, f.eks. i slut august, hvor der afsløres en dynamik ved sondemålingerne i perioden mellem prøvetagningerne som ikke fanges ved traditionel prøvetagning og som er sammenfaldende med den registrerede vandblomst, hvor kommunen frarådede badning. Resultaterne viser således, at sondemålingerne giver god mulighed for at detektere udviklingen i algebiomassen mellem de manuelle prøvetagninger. Sondemålingerne gør det således muligt at se om algebiomassen er stigende, faldende eller mere konstant i perioderne mellem prøvetagningerne.

Sondemålingerne kan dog ikke stå alene og der er brug for lejlighedsvis laboratoriebaserede analyser da de tilvejebringer en række detaljer om hvilke typer af alger der forekommer på lokaliteten, som multisonde og metabolismestationen i sig selv ikke giver. Væsentligst er her arter og specielt artssammensætningen af cyanobakterierne, som har betydning for den potentielle giftighed og også nøgleinformationer til egentlig risikovurdering af badevandskvaliteten ud fra WHO's retningslinjer. Men kombinationen af multisonde/metabolismestation og manuel prøvetagning giver en væsentligt forbedret mulighed for at være på forkant med algernes udvikling i søen og registrere f.eks. opbygning af algeopblomstringer og dermed planlægge strategiske laboratorieanalyser. Det kunne f.eks. være når der estimeres klorofyl-a niveauer over eller sigtddybder under en given tærskelværdi.

Hvis det er muligt, anbefales det at foretage yderligere prøvetagning og laboratoriebestemmelse af algekoncentrationer og sammensætning i næste vækstsæson for at kvalificere og validere de udledte relationer.

4 Referencer

Andersen, P. (2020). Overvågning af blågrønalger/cyanobakterier og risikovurdering af lokaliteten ved Jyske Bank broen i Silkeborg Langsø i forhold til badevandskvalitet – sommerperioden 2020. Notat fra Aarhus Universitet, Institut for Bioscience til Silkeborg kommune.

Cronberg, G. & H. Anadotter (2006). Manual on aquatic cyanobacteria – A photo guide and a synopsis of their toxicology. Rapport fra: IOC of UNESCO & ISSHA

Kaas, H. & K. Gaarde (2002). Håndbog om giftige alger i badevand. Miljøprojekt Nr. 716, Miljøstyrelsen.

Marsalek, B., L. Blaha & P. Babica (2003). Analyses of microcystins in the biomass of *Pseudoanabaena limnetica* collected in Znojmo reservoir. Czech Phycology, vol. 3: 195-197.

NIRAS (2025). Silkeborg Langsø og Ørnsø – Tilstand og muligheder. Rapport til Silkeborg Kommune (udkast november 2025).

Andersen T. A., Nielsen A., Jeppesen, E., Bolding K., Johansson L. S., Søndergaard M., Trolle D. (2022). Simulating shifting ecological states in a restored, shallow lake with multiple single-model ensembles: Lake Arreskov, Denmark. Environmental Modelling & Software. Volume 156, October 2022, 105501

Levi E. E., Jeppesen E., Nejstgaard J. C. and Davidson T. A. (2025). Chlorophyll-a determinations in mesocosms under varying nutrient and temperature treatments: in-situ fluorescence sensors versus in-vitro measurements. Open Res Europe, 4:69 (<https://doi.org/10.12688/openreseurope.17146.3>).

Trolle, D. og Nielsen, A. (2024). Sundhedstjek af søer, vandløb og fjorde via deres metabolisme. Aktuell Naturvidenskab, nr. 5, 2024, s 22-25.

Van't Veen S. G. M., Kronvang B., Audet J., Davidson T. A., Jeppesen E., Kristensen E. A., Larsen S. E., Laugesen J. R., Levi E. E., Nielsen A., Andersen P. M. (2025). SentemQC - A novel and cost-efficient method for quality assurance and quality control of high-resolution frequency sensor data in fresh waters. Open Res Eur. 2025 May 29;4:244 (<https://doi.org/10.12688/openreseurope.18134.2>).

USGS. (2025). Estimation of Secchi Depth from Turbidity Data in the Willamette River at Portland. 2025. (https://or.water.usgs.gov/will_morrison/secchi_depth_model.html).

5 Bilag

Bilag 1. Fytoplanktonkoncentrationer (celler/L) og biovolumen af fytoplankton (mm^3/L) registreret ved undersøgelsen i Silkeborg Langsø ved Søsportens Hus i 2025. X i abundanstabellen angiver at arten er registreret, men ikke kvantificeret.

(celler/L)	12-05-2025	26-05-2025	12-06-2025	02-07-2025	14-07-2025	28-07-2025	11-08-2025	25-08-2025	08-09-2025	29-09-2025	13-10-2025	30-10-2025	05-11-2025
Cyanobakterier													
Aphanizomenon_spp.	X	297348	62689609	24531250	6954609	8009453	11272109	4256172	9321875	125109375	91403438	383580	
Aphanothece_cf.	1724621	21464844	2146484	168039063	66725000	68196875	34343750	73593750	4047656	2821094	4292969	28456250	121399
Cyanophyceae_spp._	122656250	147187500	208515625										
Dolichospermum_spp.	170480	59470	3475260	36886874	9984219	2404063	8352891	1717188	36159063	3900469	613281	X	374796
Lemmermanniella_spp.	X	X											
Microcystis_spp.					X								
Planktothrix_spp.													48800
Pseudanabaena limnetica	321136	178409	22200781	31461328	13872422	78254688	201745000	246845703	172700000	85344219	42929688	368712	52399
Romeria_spp.			X	X	X								
Furealger													
Peridinium cf. Umbonatum			X				X	X	X				
Stilkalger													
Chrysochromulina_spp.	367969												
Gulalger													
Dinobryon_spp.	115966	X	47576	X	X		X		X	147188	X	x	
Uroglena volvox	401420												
Mallomonas_spp.	X	X	X	X	X			245313	196250	X	X	X	360
Synura_spp.								X	2085156		X	X	15200
Kiselalger (centriske)													
Aulacoseira granulata	237879	285455	434129	171719	907656	711406	466094	515156	294375	1655859	2759766	29735	10900
Melosira cf. Lineata	978277	1784091	2010076	269844	527422	1496406	4145781	809531	588750	98125	61328	279508	
Stephanodiscus_spp.		147188											
Urosolenia longiseta	X	X								1103906	1471875	1018047	677063
Kiselalger (pennate)													
Asterionella formosa	X	17841	142727	98125	61328	956719	85859	98125	208516		X	33600	20820
Pinnularia_spp.				X	X								200
Ulnaria cf. Ulna	X	X	X										
Koblingsalger													
Closterium_spp.			107045							X	X	X	920

Grønalger													
Monoraphidium_spp.	1226563		X	X	X	343438							
Pediastrum_spp.		X										X	
Scenedesmus_spp.	118939	47576	41629	X	X		X		X	X	X	X	
Stauridium_tetras						X							
Actinastrum cf. hantzschii			237879				1226563		X	X	X	X	
Crucigenia_tetrapedia			X	X									
Koliella cf. longiseta	23788	3925000	1226563			171719				1103906	X	X	
Oocystis_spp.	X	X	X										
Rekyalger													
Cryptophyceae_spp._2-5 µm						49063			735938				61328
Cryptophyceae_spp._5-10 µm	441563	147188	981250		73594	367969	490625	1103906	1839844	735938	73594	76660	770281
Cryptophyceae_spp._10-15 µm				98125	49063	392500	196250	X	367969	294375	36797	24531	547047
Cryptophyceae_spp._15-20 µm		14867	X	73594	73594	343438	147188	X		24531	73594	73594	466094
Cryptophyceae_spp._20 - 30 µm		11894	X								61328	104258	421938
Cryptophyceae_spp._30 - 40 µm												X	85859
Øjealger													
Trachelomonas_spp.							X		X				
Ubestemte flagellater													
Flagellat_spp._2-5 µm	4906250	6746094	7359375	2085156	4292969	3679688	2698438	7850000	6782891	3078672	3679688	2698438	6554750
Flagellat_spp._5-10 µm	171719	147188	269844										
Biovol (mm3/L)													
Cyanobakterier	0,455	0,205	2,468	2,939	1,161	2,223	4,731	2,104	3,395	6,086	2,979	0,034	0,023
Aphanizomenon_spp.		0,013	1,710	1,040	0,270	0,306	0,430	0,236	0,356	5,303	2,655	0,016	0,000
Aphanothece_spp.	0,001	0,011	0,001	0,088	0,035	0,036	0,018	0,039	0,002	0,001	0,005	0,016	
Cyanophyceae_spp._	0,426	0,173	0,164										
Dolichospermum_spp.	0,010	0,003	0,175	1,447	0,491	0,116	0,403	0,086	1,817	0,289	0,045		0,019
Planktothrix_spp.													0,004
Pseudanabaena_spp.	0,017	0,004	0,418	0,364	0,365	1,766	3,880	1,744	1,220	0,491	0,274	0,002	0,000

Stilikalger	0,012												
Chrysochromulina_spp.	0,012												
Gulalger	0,037		0,003							0,006			
Dinobryon_spp.	0,010		0,003							0,006			
Uroglena volvox	0,027												
Mallomonas_spp.							0,274		0,066				0,001
Synura_spp.									0,157				0,001
Kiselalger (centriske)	0,365	0,761	0,788	0,222	0,556	0,778	1,288	0,485	0,266	2,146	2,368	1,383	0,986
Aulacoseira granulata	0,123	0,136	0,208	0,146	0,410	0,372	0,257	0,284	0,126	0,640	0,961	0,011	0,006
Melosira cf. lineata	0,242	0,551	0,579	0,076	0,146	0,406	1,031	0,201	0,140	0,016	0,022	0,097	
Stephanodiscus_spp.		0,074											
Urosolenia longiseta										1,490	1,384	1,275	0,980
Kiselalger (pennate)		0,006	0,051	0,053	0,059	0,652	0,030	0,040	0,121			0,018	0,021
Asterionella formosa		0,006	0,051	0,053	0,059	0,652	0,030	0,040	0,121			0,018	0,020
Pinnularia_spp.													0,001
Koblingsalger			0,011										
Closterium_spp.			0,011										0,001
Grønalger	0,014	0,002	0,009			0,008	0,021						
Monoraphidium_spp.	0,007					0,008							
Scenedesmus_spp.	0,007	0,002	0,002										
Actinastrum_spp.			0,007				0,021						
Koliella longiseta	0,001	0,013	0,004			0,007				0,006			
Rekylalger	0,031	0,030	0,069	0,056	0,048	0,253	0,137	0,078	0,217	0,125	0,177	0,140	1,198
cryptophyceae_spp._2-5 µm						0,001			0,012				0,001
Cryptophyceae_spp._5-10 µm	0,031	0,010	0,069		0,007	0,026	0,035	0,078	0,130	0,052	0,005	0,005	0,054
cryptophyceae_spp._10-15 µm				0,025	0,010	0,081	0,040		0,075	0,060	0,007	0,005	0,082
cryptophyceae_spp._15-20 µm		0,005		0,031	0,031	0,146	0,062			0,013	0,035	0,034	0,156
cryptophyceae_spp._20 - 30 µm		0,015									0,130	0,096	0,563
cryptophyceae_spp._30 - 40 µm													0,341
Ubestedte flagellater	0,282	0,481	0,277	0,069	0,144	0,182	0,133	0,263	0,335	0,103	0,123	0,070	0,220
Flagellat_spp._2-5 µm	0,236	0,441	0,246	0,069	0,144	0,182	0,133	0,263	0,335	0,103	0,123	0,070	0,220
Flagellat_spp._5-10 µm	0,046	0,039	0,031										

OVERVÅGNING AF PLANTEPLANKTON I FORHOLD TIL BADEVANDSKVALITET SILKEBORG LANGSØ 2025

Abundans og biomasse af planteplankton, klorofyl og sigtddybde samt sensorbaserede målinger af klorofyl- og phycocyanin fluorescens

Der er i 2025 overvåget for alger ved Silkeborg Langsø blevet overvåget for alger med fokus på potentielt giftige cyanobakterier (blågrønalger), som har betydning for badevandskvaliteten. Formålet med undersøgelsen har været at undersøge, i hvor høj grad kontinuerlig sensorbaserede målinger kan understøtte og forbedre overvågningen og risikovurderingen ved at give kontinuerte informationer om forekomsten af alger også i perioderne mellem de manuelle prøvetagninger.