



INTERKALIBRERING AF MARINE MÅLEMETODER 2025

Teknisk rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 403

2026



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

INTERKALIBRERING AF MARINE MÅLEMETODER 2025

Teknisk rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 403

2026

Teis Boderskov
Jens Würgler Hansen

Aarhus Universitet, Institut for Ecoscience



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Datablad

Serietitel og nummer:	Teknisk rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 403
Kategori:	Rådgivningsrapporter
Titel:	Interkalibrering af marine målemetoder 2025
Forfattere:	Teis Boderskov og Jens Würgler Hansen
Institution:	Aarhus Universitet, Institut for Ecoscience
Udgiver:	Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi ©
URL:	https://dce.au.dk
Udgivelsesår:	Juni 2026
Redaktion afsluttet:	10. september 2026
Faglig kommentering:	Signe Høgslund
Kvalitetssikring, DCE:	Anja Skjoldborg Hansen
Ekstern kommentering:	Kommentarerne findes her:
Finansiell støtte:	Styrelsen for Grøn Arealomlægning og Vandmiljø
Bedes citeret:	Boderskov, T. og Hansen, J.W. 2026. Interkalibrering af marine målemetoder 2025. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 36 s. - Teknisk rapport nr. 403
	Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse
Sammenfatning:	Interkalibreringsøvelsen i september 2025 ved Svendborg Havn og Ringgårdsbassinet havde til formål at kvalitetssikre den pelagiske del af det nationale marine overvågningsprogram. Syv hold deltog og udførte målinger med CTD-sonder og tilknyttede sensorer. Resultaterne viste høj præcision og overholdelse af krav for temperatur, salinitet og tryk, men potentielle fejl i dybdeberegningen på baggrund af vandets densitet. Profiler for temperatur, salinitet, ilt og andre parametre var generelt ensartede mellem holdene. Iltmålinger viste systematiske afvigelser for nogle sensorer ved høje koncentrationer, hvilket kan pege på behov for kalibrering. Vandprøver viste overordnet god overensstemmelse, men med enkelte store afvigelser. Næringsstoffer, klorofyl og silicium blev målt konsistent i overfladen, men med større variation i bunden. Variation i vandprøver skyldes formentlig fejl i prøveudtagningsdybden. Samlet set bekræfter øvelsen en høj datakvalitet, der lever op til kravene, men identificerer forbedringsmuligheder i dybdeberegning, prøvetagning og kalibrering af ilt-sensorer.
Emneord:	Interkalibrering, marine målemetoder, CTD-sonder, vandkemi
Foto forside:	Teis Boderskov
ISBN:	978-87-7648-087-5
ISSN (elektronisk):	2244-999X
Sideantal:	36

Indhold

Forord	5
Sammenfatning	6
Summary	8
1 Indledning	10
1.1 Baggrund og formål	10
1.2 Program	10
1.3 Deltagere	10
2 Test af CTD-sonder	11
2.1 Planlægning og målemetode	11
2.2 Resultater	12
3 Miljøskibsaktiviteter	18
3.1 Planlægning og målemetode	18
3.2 Resultater	19
4 Sammenligning med resultater fra sidste interkalibrering i 2022	34
5 Konklusion	35
6 Litteratur	36

Forord

Denne rapport omhandler interkalibrering af marine målemetoder anvendt af Styrelsen for Grøn Arealomlægning og Vandmiljø (SGAV). Interkalibreringsøvelsen har til formål at samle det personale og det måleudstyr, der til daglig anvendes i SGAV's overvågning af vandkemi og lysforhold i danske farvande. Rapporten præsenterer resultaterne af øvelsen og vurderer, om måleudstyret opfylder de gældende krav i de tekniske anvisninger, samt om de deltagende enheder foretager indbyrdes sammenlignelige målinger.

Sammenfatning

For at kvalitetssikre den pelagiske del af det nationale marine overvågningsprogram, blev der i september 2025 foretaget en interkalibreringsøvelse i Svendborg Havn og i Ringgårdsbassinet i et samarbejde mellem Aarhus Universitet og Styrelsen for Grøn Arealomlægning og Vandmiljø (SGAV). Ved interkalibreringen deltog medarbejdere fra SGAV med skibe og udstyr, der til dagligt anvendes i det nationale marine overvågningsprogram. Deltagerne blev under øvelsen inddelt i de hold, som varetager overvågningen til daglig. Der deltog syv hold, og alle SGAVs enheder var repræsenteret, men miljøskib Sif og udstyr, var ikke repræsenteret grundet et defekt ankerspil. I interkalibreringen var der særlig fokus på målinger med CTD-sonder.

På dag 1 blev karkontroller for CTD-målinger af temperatur, salinitet og dybde udført på kajen ved Svendborg industrihavn. Alle hold bestemte temperatur og salinitet med en præcision og korrekthed, der overholdt kravene. Alle sonder overholdt også krav til måling af tryk, der bruges til at beregne dybden, når sonden sænkes ned i vandsøjlen. Ved sondens omregning af tryk til dybde anvendes en standardiseret omregningsfaktor baseret på en fastsat densitet. Det medfører, at dybden beregnes forkert, når densiteten afviger fra den fastsatte densitet. Afvigelsen mellem den beregnede dybde og den reelle dybde stiger med faldene salinitet. Det kan derfor konkluderes, at SGAVs CTD-sonder overholder fastsatte krav, hvad angår temperatur, salinitet og tryk, men at omregningen fra tryk til dybde bør justeres, så den varierer med densiteten af havvandet.

For at sammenligne resultater fra måleaktiviteter foretaget under realistiske forhold blev der på andendagen gennemført et måleprogram for vandkemi og fysiske parametre i Ringgårdbassinet tæt ved Svendborg. Der var solskin og ikke ret meget vind på måledagen.

Salinitet, temperatur-, lys-, ilt og fluorescensprofiler målt med CTD-sonder og tilknyttede sensorer viste ens forløb for alle hold. Salinitet- og temperaturprofiler indikerede en lagdeling fra omkring 10 meters dybde. Der var generelt lav variation mellem målingerne. Sammenligning af holdenes værdier i diskrete dybder viste dog, at der i springlaget, hvor ændringen i en given parameter er høj, opstår større variation i målingerne end i resten af profilet, hvilket understreger vigtigheden af at overholde nedsænkningshastigheden i springlaget på 0,1 - 0,2 m/s, som dog også blev anvendt af SGAV under interkalibreringsøvelsen. I alle de målte profiler varierede iltkoncentrationen fra > 8 mg/l i toppen af vandsøjlen til < 2 mg/l og dermed kraftigt iltvind ved bunden. Samlet set gav profilerne et ensartet billede af vandsøjleens temperatur, salinitet, iltkoncentration, lyssvækkelse og fluorescens.

Som led i måleaktiviteterne blev der udtaget vandprøver i 1 og 17,5 meters dybde (henholdsvis overflade og under springlaget) til bestemmelse af salinitet, næringsstoffer, ilt- og klorofylindhold i disse dybder (klorofyl dog kun i 1 m dybde). Saliniteten blev bestemt ens i 1 m dybde, men for nogle hold afvigende i 17,5 m dybde. Sammenligning med signalet fra CTD-sonderne salinitetsprofiler indikerede, at enkelte hold havde taget den nederste vandprøve i en for lav dybde.

Iltindholdet i vandsøjlen blev bestemt ved Winkler-titrering, hvor alle hold målte ens i 1 meters dybde ($8,8 \pm 0,04$ mg/l) og under detektionsgrænsen i 17,5 meters dybde ($0,03$ mg/l). Dog var målingen for holdet med markant forkert udtagningsdybde markant højere end de andre holds målinger ved bunden. Præcisionskravet for dobbelt Winkler-bestemmelse var overholdt for alle hold. En sammenligning af iltindholdet bestemt ved henholdsvis Winkler-titrering og sensormålinger i 1 og 17,5 meters dybde viste, at flere sensorer ikke overholdt kravet for korrekthed i overfladen ved høje iltkoncentrationer. Sensorerne målte generelt lavere end koncentrationen fra Winkler-analyserne, og ifølge den tekniske anvisning for ilt skulle de afvigende sensormålinger derfor korrigeres. Dette indikerer, at der kan være behov for en generel kalibrering af iltensensorerne med fokus på måling ved højere iltkoncentrationer.

Indholdet af total N og P, samt nitrat-nitrit-N, ammonium-N og orthofosfat blev også bestemt i vandprøverne. Koncentrationerne blev generelt ens bestemt i 1 meters dybde, bortset fra en relativt høj måling af nitrat-nitrit-N for ét hold. I 17,5 meters dybde var der generelt et højt indhold af næringsstoffer givetvis grundet mineralisering og iltvind. I bundvandet var variationen større for alle målinger, hvor specielt et hold skilte sig ud ved afvigende målinger formodentlig grundet en for lav prøvetagningsdybde.

Vandprøverne blev også analyseret, for indholdet af klorofyl i 1 meters dybde og for silicium (DSi) i 1 og 17,5 meters dybde. Der var god overensstemmelse mellem holdene for både klorofyl og silicium i 1 meters dybde, men igen afvigelser ved bunden, der højst sandsynligt skyldes afvigelser i udtagningsdybden.

Bestemmelse af secchidybde og lyssvækkelseskvotienter gav relativt ens værdier mellem holdene med en secchidybde på $5,9 \pm 0,4$ m og en lyssvækkelseskvotient fra lysprofilerne på $0,36 \pm 0,03$ m⁻¹ svarende til en secchidybde på $6,4 \pm 0,4$ m.

Overordnet viste interkalibreringsøvelsen god overensstemmelse mellem de forskellige målehold for målinger foretaget med CTD-sonder og tilknyttede sensorer. Sonderne overholdt krav til præcision og korrekthed for temperatur, salinitet og tryk. Dog udregnes dybden med en fast konstant, som kan medføre forkerte dybdeangivelser, hvilket bør udbedres. Sonderne og de tilknyttede sensorer målte også ensartede profiler, med sammenlignelige resultater for alle parametre i felten. Sensormålingerne af ilt var dog generelt for lave ved høje koncentrationer, hvilket bør håndteres og derved undgå Winkler korrigerings. Målinger af salinitet, næringsstoffer, klorofyl og silicium blev generelt bestemt med god overensstemmelse mellem holdene, dog med afvigelser for enkelte hold, hvilket formentlig skyldes forkert udtagningsdybde. Det er derfor vigtigt, at metode til validering af udtagningsdybde forbedres.

Summary

In order to ensure the quality of the pelagic part of the national marine monitoring programme, an inter-calibration exercise was carried out in September 2025 in the Port of Svendborg and in the Ringgård Basin in a collaboration between Aarhus University and The Danish Agency for Green Transition and Aquatic Environment (SGAV). At the inter-calibration, employees from SGAV participated with ships and equipment used in the national marine surveillance program. During the exercise, the participants were divided into the teams that deal with the monitoring on a daily basis. Seven teams participated, and all of SGAV's units were represented, but the environmental vessel Sif and its equipment were not represented due to a defective windlass. In the inter-calibration, there was a special focus on measurements with CTD probes.

On day 1, vessel controls for CTD measurements of temperature, salinity and depth were carried out on the quay at Svendborg Industrial Port. All maintained the specific temperatures and salinities with a precision and accuracy that complied with the requirements. All probes also complied with requirements for measuring pressure, which is used to calculate the depth when the probe is lowered into the water column. When the probe converts pressure to depth, a standardized conversion factor based on a fixed density is used. This means that the depth is calculated incorrectly when the density deviates from the specified density. The deviation between the calculated depth and the actual depth increases with decreasing salinity. It can therefore be concluded that SGAV's CTD probes comply with set requirements in terms of temperature, salinity and pressure, but that the conversion from pressure to depth should be adjusted so that it varies with the density of the seawater.

In order to compare results from measurement-activities carried out under realistic conditions, a measurement program for water chemistry and physical parameters was carried out on the second day in the Ringgård Basin near Svendborg. The weather was sunny and there was not much wind on the measurement day.

Salinity, temperature, light, oxygen and fluorescence profiles measured with CTD probes and associated sensors showed the same process for all teams. Salinity and temperature samples indicated a stratification from a depth of about 10 metres. Generally, the variation between measurements was low. However, a comparison of the teams' values at discrete depths showed that in the thermocline, where the change in a given parameter is high, there is greater variation in the measurements than in the rest of the profile, which emphasizes the importance of adhering to the immersion velocity in the thermocline of 0.1 - 0.2 m/s, which was also used by SGAV during the inter-calibration exercise. In all the measured profiles, the oxygen concentration varied from > 8 mg/l at the top of the water column to < 2 mg/l, indicating severe oxygen depletion at the bottom. Overall, the profiles provided a uniform picture of the water column's temperature, salinity, oxygen concentration, light attenuation and fluorescence.

As part of the measurement activities, water samples were taken at depths of 1 and 17.5 metres (surface and below the thermocline, respectively) to determine the salinity, nutrients, oxygen and chlorophyll content at these depths (chlorophyll only at a depth of 1 m). The salinity was determined to be the

same at 1 m, but for some teams it differed at 17.5 m. Comparison with the signal from the salinity profiles of the CTD probes indicated that some teams had taken the lower water sample at a depth that was too low.

The oxygen content in the water column was determined by Winkler titration, where all teams measured the same at a depth of 1 meter (8.8 ± 0.04 mg/l) and below the detection limit at a depth of 17.5 meters (0.03 mg/l). However, the measurement for the team with a significantly incorrect sampling depth was significantly higher than the other teams' measurements at the bottom. The precision requirement for double Winkler determination was met for all teams. A comparison of the oxygen content determined by Winkler titration and sensor measurements at depths of 1 and 17.5 metres, respectively, showed that several sensors did not comply with the requirement for surface correctness at high oxygen concentrations. The sensors generally measured below the concentration from the Winkler analyses and, according to the technical instructions for oxygen, the deviating sensor measurements therefore had to be corrected. This indicates that there may be a need for a general calibration of the oxygen sensors with a focus on measurements at higher oxygen concentrations.

The content of total N and P, as well as nitrate-nitrite-N, ammonium-N and orthophosphate were also determined in the water samples. The concentrations were generally determined in the same manner at a depth of 1 meter, except for a relatively high measurement of nitrate-nitrite-N for one team. At a depth of 17.5 meters, there was generally a high content of nutrients, probably due to mineralization and oxygen depletion. In the benthic water, the variation was greater for all measurements, where one team particularly stood out for deviating measurements, presumably due to a too low sampling depth.

The water samples were also analysed for the content of chlorophyll at a depth of 1 metre and for dissolved silicium (DSi) at depths of 1 and 17.5 metres. There was good agreement between the teams for both chlorophyll and silicium at a depth of 1 metre, but again, deviations occurred at the bottom, which are most likely due to deviations in the sampling depth.

Determination of Secchi depth and light attenuation quotients showed relatively similar values between the teams, with a Secchi depth of 5.9 ± 0.4 m and a light attenuation quotient from the light profiles of 0.36 ± 0.03 m⁻¹, corresponding to a Secchi depth of 6.4 ± 0.4 m.

Overall, the inter-calibration exercise showed good agreement between the different measurement teams for measurements made with CTD probes and the associated sensors. The probes complied with requirements for precision and correctness for temperature, salinity and pressure. However, the depth is calculated with a fixed constant, which can lead to incorrect depth indications, which should be corrected. The probes and associated sensors also measured uniform profiles, with comparable results for all parameters in the field. However, the sensor measurements of oxygen were generally too low at high concentrations, which should be handled in order to avoid Winkler correction. Measurements of salinity, nutrients, chlorophyll and silicium were generally determined with good agreement between the teams, although with deviations for a few teams, which is probably due to incorrect sampling depth. It is therefore important that the method for validating the sampling depth is improved.

1 Indledning

1.1 Baggrund og formål

Interkalibrering er et vigtigt element i kvalitetssikringen af den nationale overvågning af havmiljøet. Formålet er at sammenligne og ensrette metoder og beskrivelser samt teste det udstyr, som anvendes ved prøvetagninger og målinger. Interkalibreringen skal dermed bidrage til at sikre, at den nationale overvågning foregår i overensstemmelse med de tekniske anvisninger og i øvrigt på en måde, så kvaliteten af data er høj og sammenlignelig på tværs af landet.

Interkalibreringen afholdes med jævne mellemrum for at opretholde kvaliteten af overvågningen af det danske havmiljø. Der har således været afholdt interkalibreringer med miljøskibene i 1990, 1994, 1998, 2002, 2006, 2015, 2022 og nu i 2025.

1.2 Program

Interkalibreringen foregik i Svendborg havn (dag 1) og i Ringgårdbassinet i Det Sydfynske Øhav (dag 2). Programmet var:

Dag 1, 8. september 2025:

Karkontroller og test af trykmålere

- Karmålinger af temperatur og salinitet med CTD-sonder og sideløbende test af trykmåling, dvs. CTD-sondernes dybdemåling

Dag 2, 9. september 2025:

Målinger og prøvetagning i felten

- CTD-profiler
- Prøvetagning ved overflade og bund med vandhenter
- Sigtdybde (Secchi-dybde)

1.3 Deltagere

Der deltog hold fra syv enheder i Styrelsens for Grøn Arealomlægning og Vandmiljø (SGAV):

Nordjylland, Østjylland, Sydjylland, Fyn, Sjælland, Midtjylland og Miljøskibsenheden med miljøskibet Frigg.

Miljøskibet Sif deltog ikke pga. et defekt ankerspil.

2 Test af CTD-sonder

2.1 Planlægning og målemetode

Som beskrevet i den tekniske anvisning (TA) "M03" (Vang, 2014), skal Miljøstyrelsens CTD-sonder leve op til specifikke krav for korrekthed og præcision for målinger af salinitet og temperatur. For at teste om CTD-sonderne lever op til disse krav, blev der udført kontroller i kar ved to forskellige saliniteter.

På kajen ved Svendborg havn blev der opstillet to firkantede plastkar med vand fra havnen. Det ene kar var iblandet ferskvand for at opnå en lav salinitet på ca. 8 PSU og det andet kar var iblandet salt for at opnå en relativt høj salinitet på ca. 27 PSU.

Figur 2.1. Måling af salinitet og temperatur med CTD-sonder på kajen ved Svendborg d. 8/9-2025. Foto: Teis Boderskov



SGAVs målehold/enheder skiftedes til at nedsænke deres CTD-sonder i de to kar, hvor luftpumper sørgede for omrøring af vandsøjlen (Figur 2.1). Under målingerne var pumperne slukket for at undgå elektriske forstyrrelser af sonderne, og omrøring blev foretaget med en plast-pagaj. For hver måling (salinitet og temperatur) med CTD-sonde udtog hvert hold én vandprøve til salinitetsbestemmelse i laboratorie samt en kontrolmåling af temperaturen med enhedens egen præcisionstermometer (SiS). Hvert hold lavede tre gentagne målinger i hvert kar for både salinitet og temperatur.

Målingerne blev foretaget mellem kl. 10 og 13:00 d. 8/9-2025.

Ved siden af karopsætningen blev CTD-sondens trykmåling testet (Figur 2.2). CTD-sonden blev koblet direkte sammen med et trykmanometer, hvor måltryk kunne indlæses og dermed testes mod sondens trykmåling. Måltrykket reguleredes ved stigende tryk fra 0-10 bar, og derefter faldende fra 10-0 bar. Efter måling blev referencetryk i bar omregnet til referencetryk i "meter vandsøjle" (mVS) og sammenlignes med sondens tryk i mVS. Ved omregning bruges ligningen: $Dybde (mVS) = (Tryk (dbar) / 0.0001) / (densitet * g)$, hvor

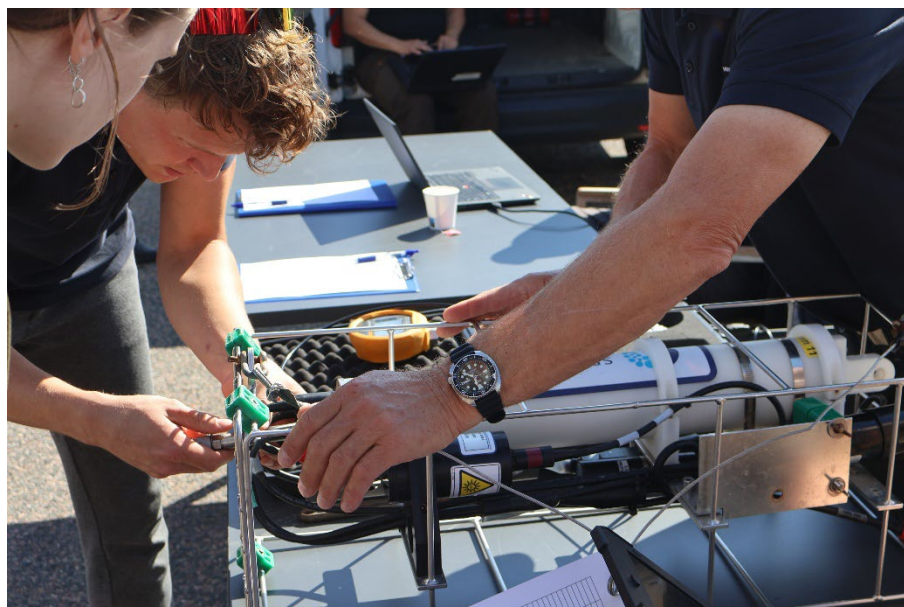
Tryk (dbar) = Tryk i decibar,

densitet = Vandets densitet (her anvendes densiteten $1023,6 \text{ kg/m}^3$) og

$g=9,80665$; tyngdeacceleration med enheden m/s^2 .

Trykket i decibar divideres med 0.0001 for at omregne til Pascal med enheden $\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-2}$.

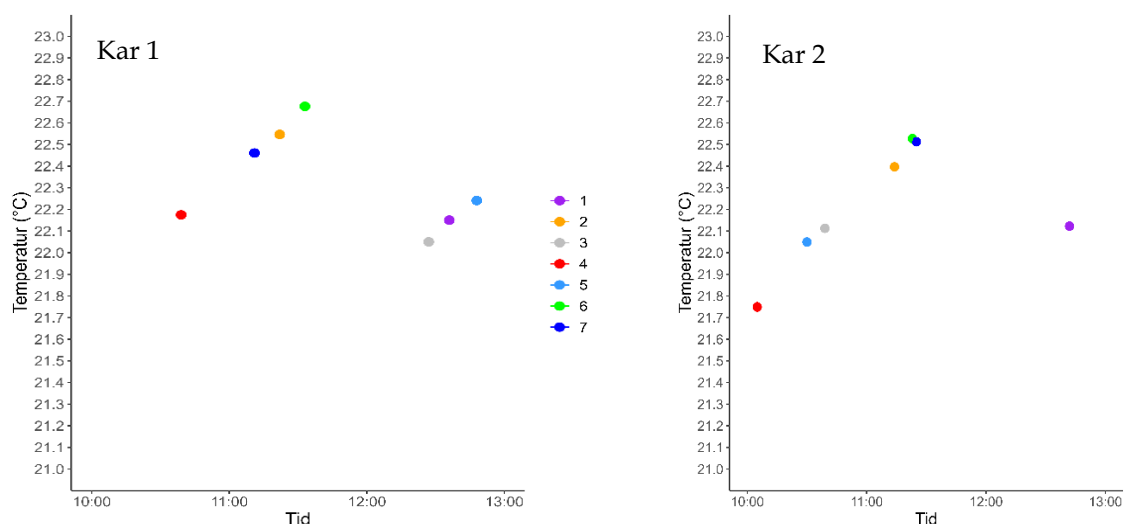
Figur 2.2. Tryktest af CTD-sonder på kajen ved Svendborg d. 8/9-2025. Foto: Teis Boderskov



2.2 Resultater

Temperatur

Temperaturen blev målt til at være imellem 22 og 23 °C i begge kar, med et tydeligt mønster, hvor temperaturen steg under de første målinger, for derefter at falde lidt over middag og stige igen, sikkert grundet skiftende solindstråling (Figur 2.3).

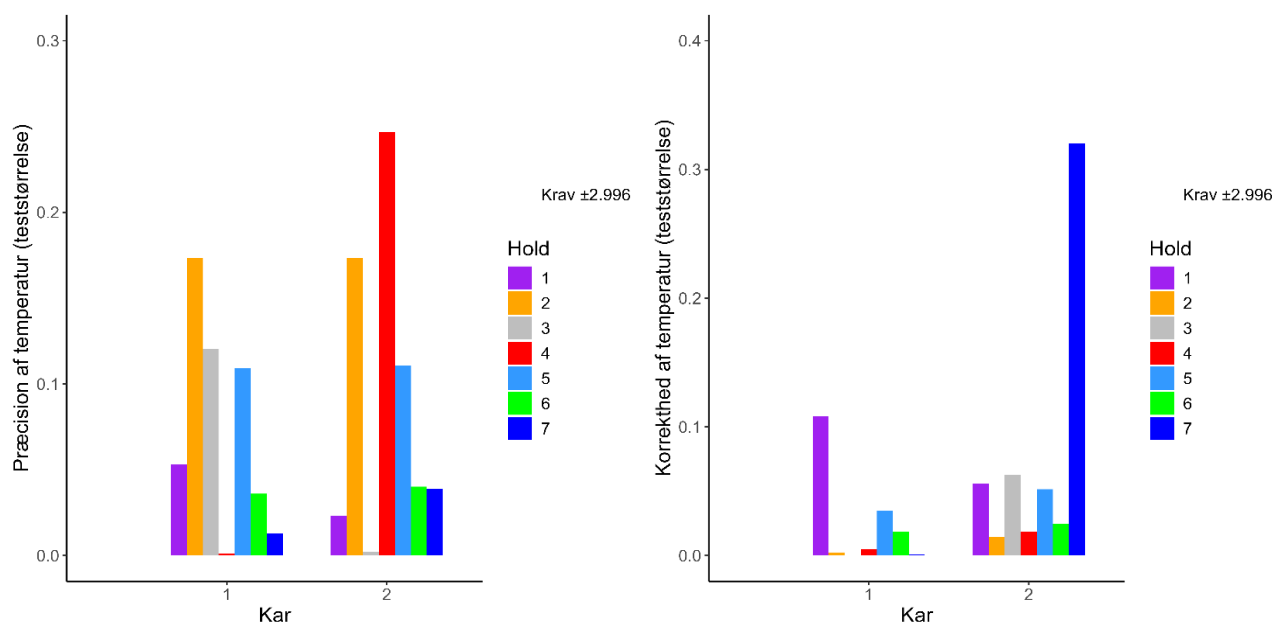


Figur 2.3. Temperatur (°C) målt af målehold i kar 1 og 2 under karkontroller. Tallene er angivet som gennemsnit $\pm$ standardafvigelse ($n=3$). Standardafvigelse er så små, at de ikke strækker sig uden for cirklerne.

Ved at udregne spredningen af temperaturmålingerne jf. bilag 6 i TA M03 blev præcision og korrekthed for målingerne bestemt.

Præcisionen indikerer, hvor præcist CTD-sonden bestemmer den samme værdi ved gentagne målinger, og korrektheden sammenholder CTD-sondens værdi med den 'sande' værdi, som i dette tilfælde er SiS-termometerets måling. Som mål for præcision og korrekthed angives "teststørrelsen" (bilag 6 i TA M03). Teststørrelsen skal for både præcision og korrekthed være $< 2,996$ ved tre gentagne målinger, hvis CTD-sonden skal opfylde kravet til præcision og korrekthed.

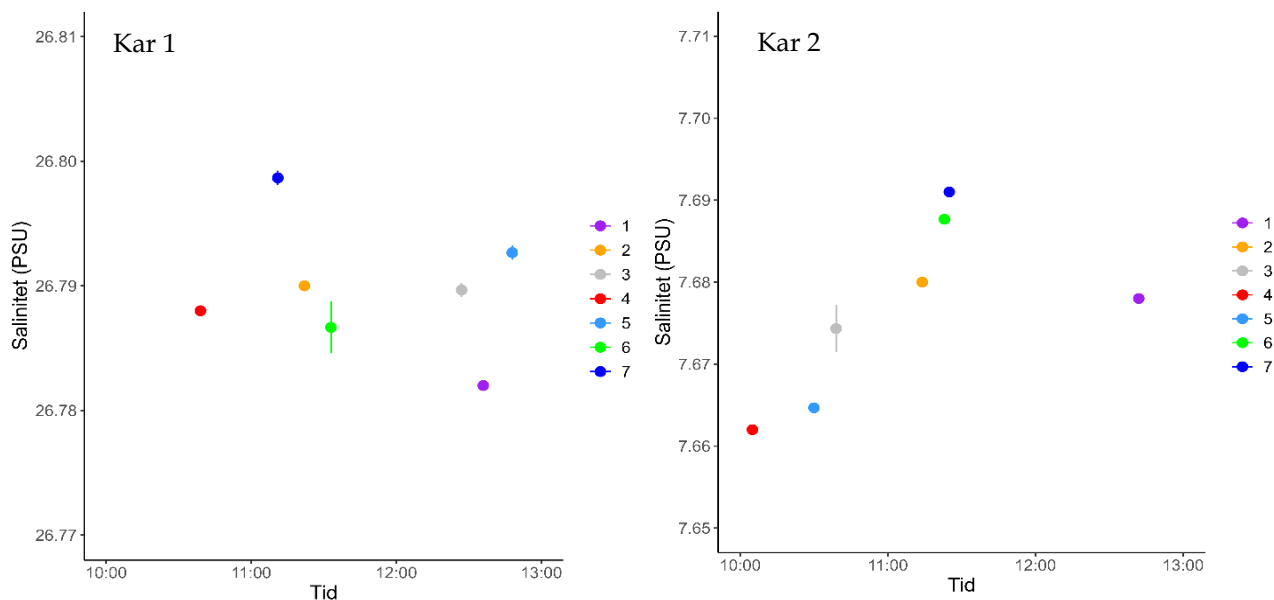
Som det fremgår af Figur 2.4 er både præcision og korrekthed for temperaturmålinger fra alle sonder tilfredsstillende med en teststørrelse langt under 2,996.



Figur 2.4. Præcision og korrekthed for temperaturbestemmelse med CTD-sonde angivet som teststørrelsen, udregnet som foreskrevet i TA M03 (Vang, 2014). Teststørrelsen skal være $< 2,996$ for at opfylde kravet til sonden.

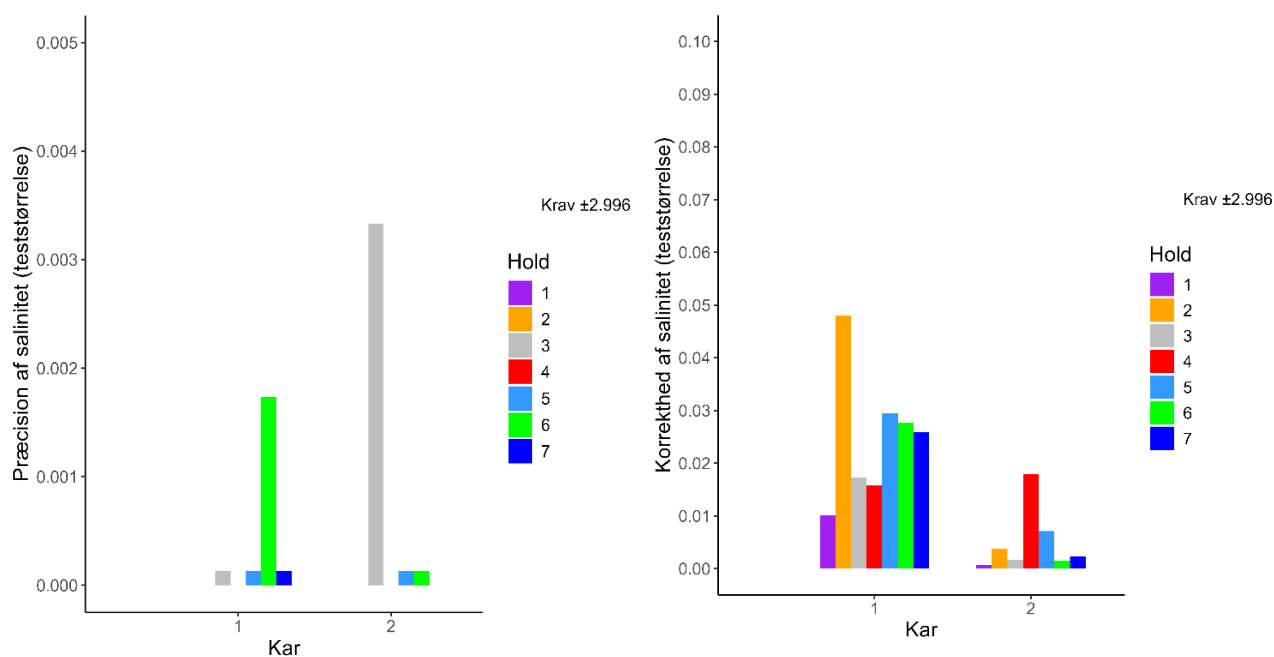
Salinitet

Saliniteten blev målt til at være i intervallet 26,78 - 26,80 PSU i kar 1 og 7,66 - 7,70 PSU i kar 2 (Figur 2.5).



Figur 2.5. Saliniteten (PSU) målt af målehold i kar 1 og 2 under karkontroller. Tallene er angivet som gennemsnit $\pm$ standardafvigelsen ($n=3$).

Alle CTD-sonder, havde en teststørrelse $< 2,996$ for præcision og korrekthed for målingerne af salinitet i kar 1 og 2 (Figur 2.6).

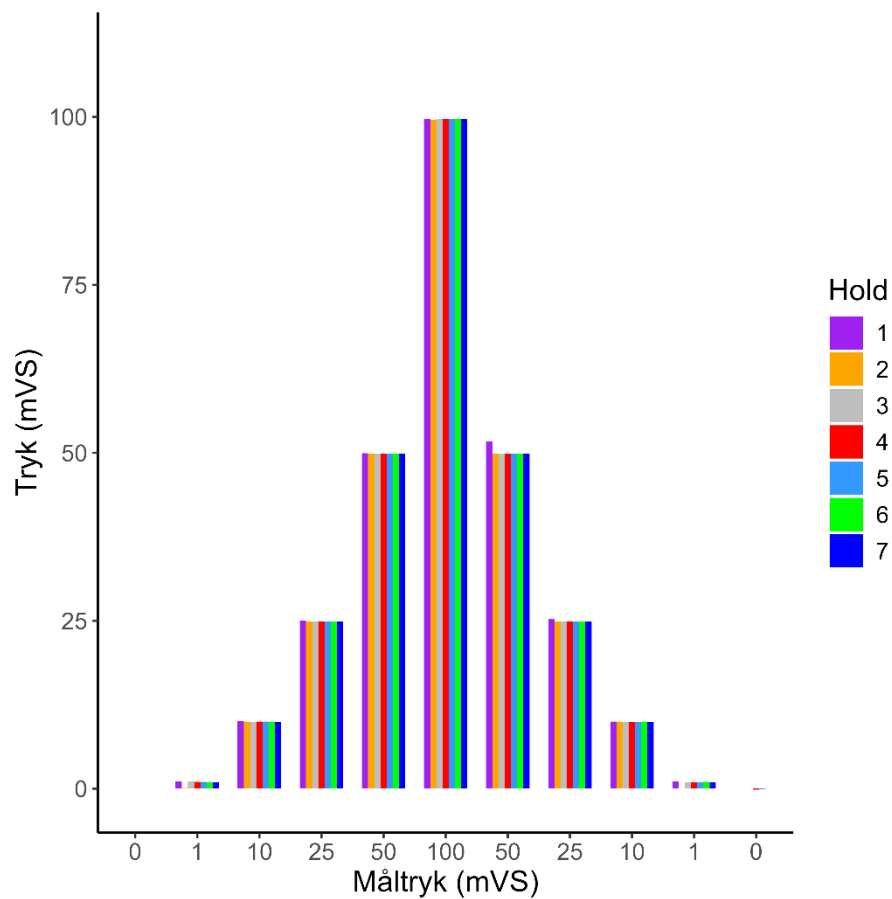


Figur 2.6. Præcision for salinitetsbestemmelse med CTD-sonde, angivet som teststørrelsen, udregnet som foreskrevet i TA M03 (Vang, 2014). Teststørrelsen skal være $< 2,996$ for at opfylde kravet til sonden.

Tryk

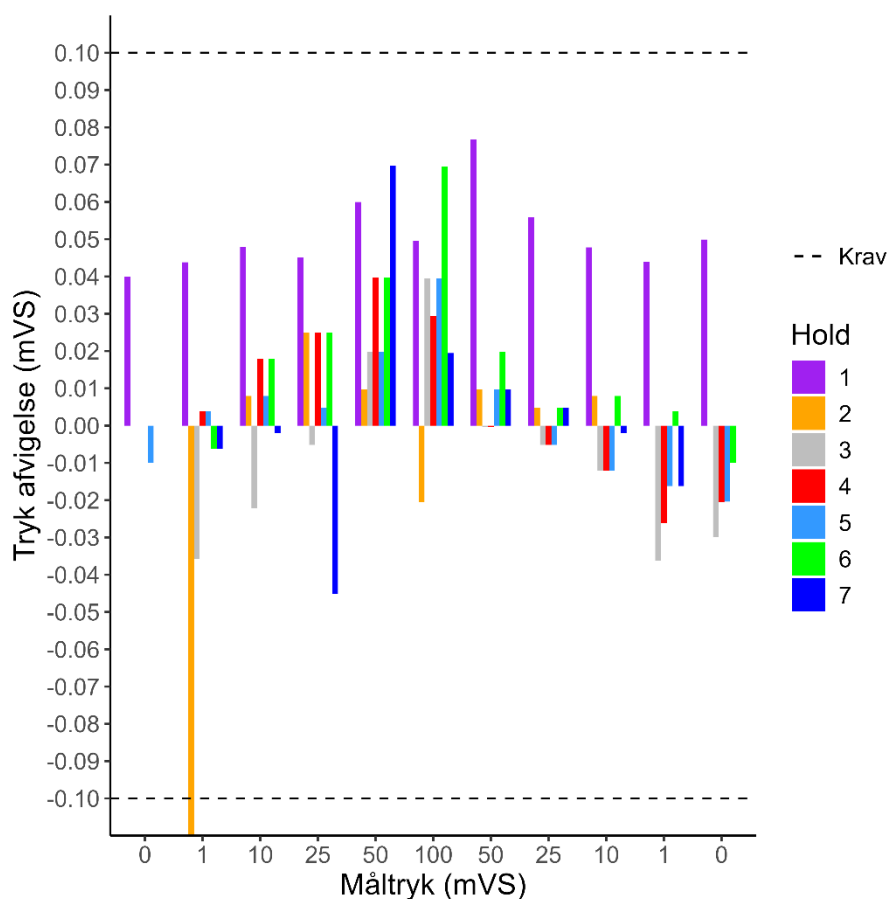
CTD-sonderne bruger trykmålinger som udtryk for dybden. Sonderne blev testet ved måling af trinvis stigende og trinvis faldende tryk (0-100 mVS), som det fremgår af Figur 2.7.

Figur 2.7. Resultater fra måling af tryk med CTD-sonder på kajen ved Svendborg d. 8/9-2025.



Kravet til trykmålinger er, at sonderne maksimalt må afvige med et tryk på 0,1 mVS ved alle trykmålinger. Som det fremgår af Figur 2.8 overholdt sonderne disse krav på nær én måling fra hold 2, som ligner en målefejl, idet holdets resterende målinger overholder kravet.

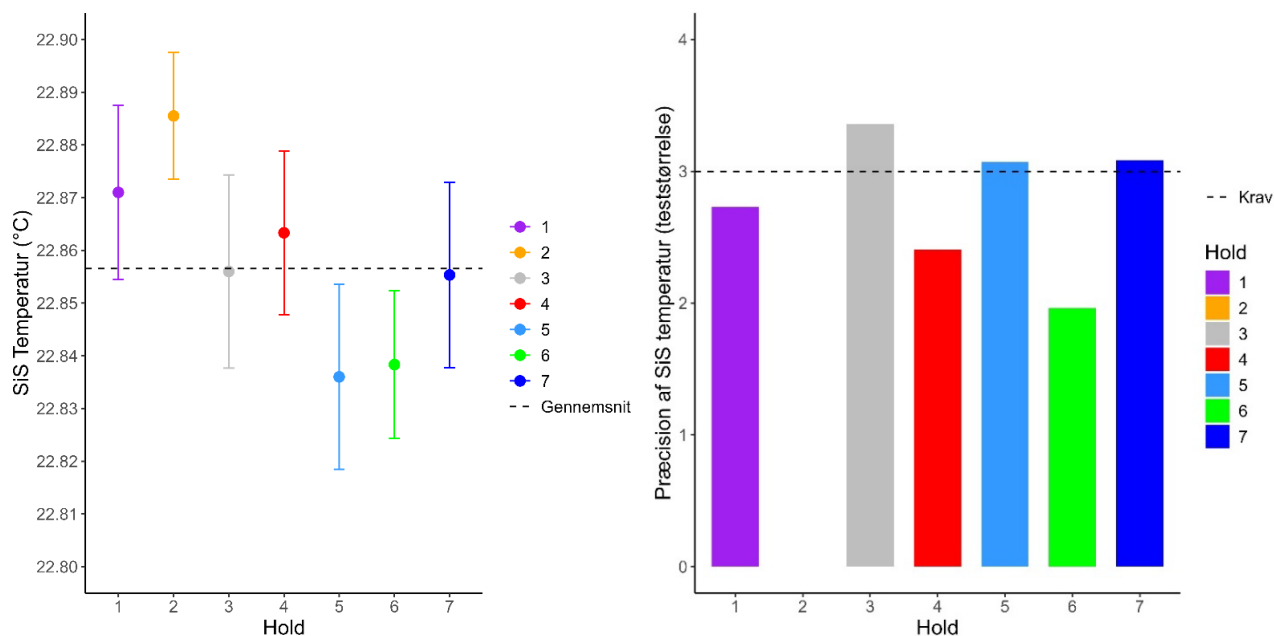
Figur 2.8. Trykafvigelse udregnet efter måling af tryk med CTD-sonder på kajen ved Svendborg d. 8/9-2025.



En vigtig ting at bemærke er, at trykket måles i bar for sonden, hvorefter trykket omregnes til mVS i WinArop. I WinArop anvendes densiteten 1023.6 kg/m³ (svarende til ca. 30 PSU ved 20 °C) uafhængigt af saliniteten og temperaturen ved målingen. Derfor passer tryk-/dybdemålingen ikke, hvis sonden anvendes ved andre densiteter. Dybden underestimeres potentielt med omkring 1 meter på 50 meters dybde ved f.eks. 5 PSU og 20 °C (1004.7 kg/m³).

Overordnet kan det ud fra data for karkontroller konstateres, at alle CTD-sonder overholdt krav til både præcision og korrekthed for bestemmelse af temperatur, salinitet og tryk. Dog er det vigtigt, at der foretages en ændring af densitetsudregningen i WinArop, således at dybden beregnes korrekt ved de forskellige salinitets- og temperaturforhold.

Som tillæg til test af CTD-sensorerne blev der også udført en kontrol af alle deltagende holds SiS-termometre. SiS-termometrene blev brugt som reference ved interkalibreringen for hvert hold og anvendes ved holdenes interne løbende kalibreringer af CTD-sondernes temperaturmåler. Testen viste, at tre af de seks holds SiS-termometre overholdt kravet for teststørrelsen, hvilket kræver, at termometret måler den korrekte temperatur med en præcision på $\pm 0,01$ °C (Figur 2.9). De tre andre holds SiS-termometre var tæt på at overholde kravet. Det syvende hold lavede kun to målinger, og derfor kunne kravet ikke evalueres for deres SiS-termometer. Det skal nævnes, at denne test ikke er fuldt retvisende for termometrenes performance, da en gyldig test af termometrene bør udføres ved helt stabil temperatur, hvilket ikke var tilfældet her. Tilmed skal det nævnes, at variationen for termometrene var meget ens i testen. Dog kan testen indikere, at en udførlig test af termometrene med fordel kunne udføres under laboratorieforhold.



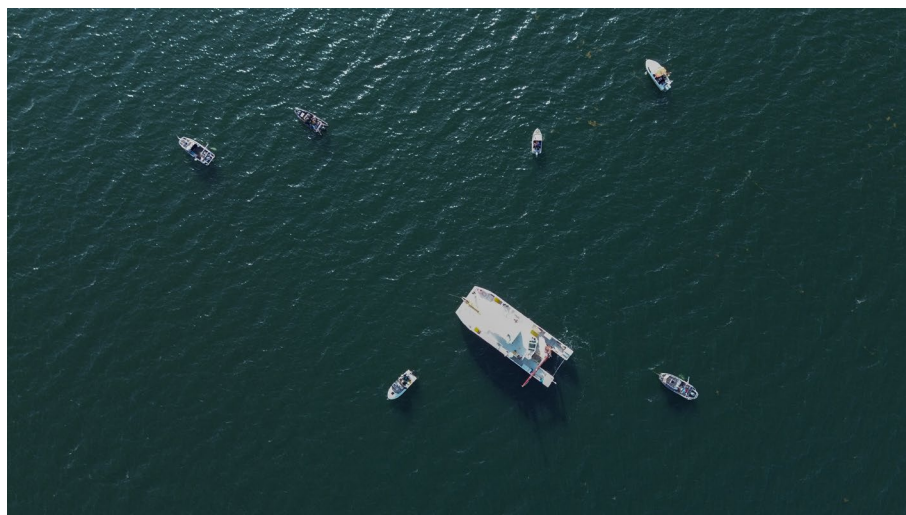
Figur 2.9. Resultater fra målinger med SiS-termometre. Grafen tv viser målinger og afvigelse på tre på hinanden følgende målinger (hold 2 kun to målinger). Gennemsnittet for alle målingerne er angivet med en stiplede linje. Grafen th viser præcision for SiS-termometrene udregnet ved teststørrelsen, hvor den stiplede linje angiver kravet. Målingerne blev udført på kajen ved Svendborg d. 8/9-2025.

3 Miljøskibsaktiviteter

3.1 Planlægning og målemetode

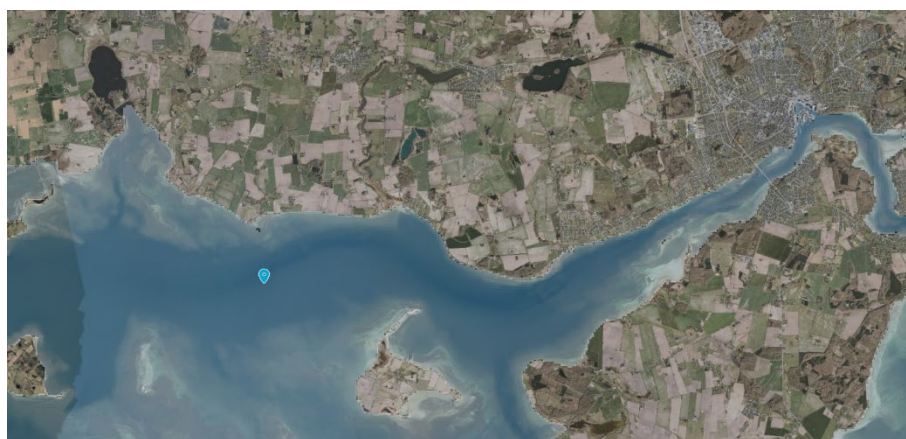
Interkalibreringsøvelsen går ud på at sammenligne miljøskibet og de mindre bådes målinger under realistiske forhold. Derfor blev der d. 9-9-2025 lavet en måleaktivitet, der svarer til den miljøskibe og mindre både laver til daglig i forbindelse med overvågningen (Figur 3.1).

Figur 3.1. Overbliksbillede af de syv deltagende hold, der laver måleaktiviteter i Ringgårdbassinet d. 9-9-2025. Foto: Hans Kristian Hannibal-Bach, SGAV



Alle målinger blev udført ved station 96510015 i vandområde "Ringgård Bassin, åbne del" (Figur 3.2).

Figur 3.2. Kort med angivelse af placeringen af station 96510015 i vandområde "Ringgård Bassin, åbne del" i Det Sydfynske Øhav med koordinat x:5501,762 og y: 1025,224 anvendt til feltaktiviteterne ved interkalibreringen d. 9-9-2025.



Alle både sejlede ud og lagde for anker med tæt afstand på stationen, hvor dybden var mellem 18,9 og 25,0 meter for alle hold (Tabel 3.1).

Tabel 3.1. Holdnummer og bunddybde $\pm$ sd for hvert hold under CTD-profilering og vandprøvetagning.

Hold	Dybde (m)	Standard afvigelse (sd)	Antal målinger
1	19,9	0,12	3
2	25,0	0,00	3
3	21,3	1,15	3
4	25,0	0,00	3
5	19,9	0,058	3
6	20,1	0,00	3
7	18,9	0,35	3

Efter holdene var ankret op, blev der simultant udført tre på hinanden følgende CTD-profiler på lokaliteten. Dette blev gjort for at få et indblik i variationen for hver enkelt sonde, med den antagelse at vandkemiparametrene ikke varierede imellem hver enkelt profilering.

Profilerne blev lavet ved nedenstående tidspunkter:

1. profil kl. 10:35

2. profil kl. 10:53

3. profil kl. 11:07

1. vandprøve kl. 11:23

2. vandprøve kl. 11:36

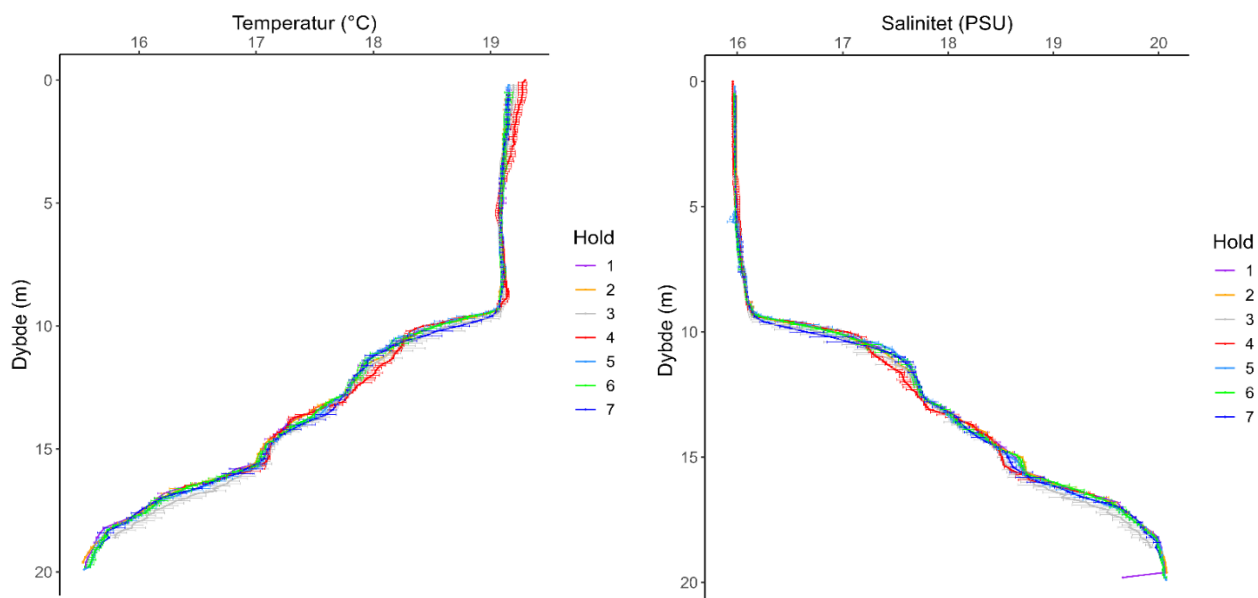
Hold 3 lavede to af deres CTD-profiler og hold 4 alle deres CTD-profiler kort efter kl. 11.36, idet de havde problemer med sonderne under de fælles profileringer. Desuden lavede hold 4 ikke deres profil hele vejen til bunden, idet deres tov var for kort.

3.2 Resultater

CTD-målinger

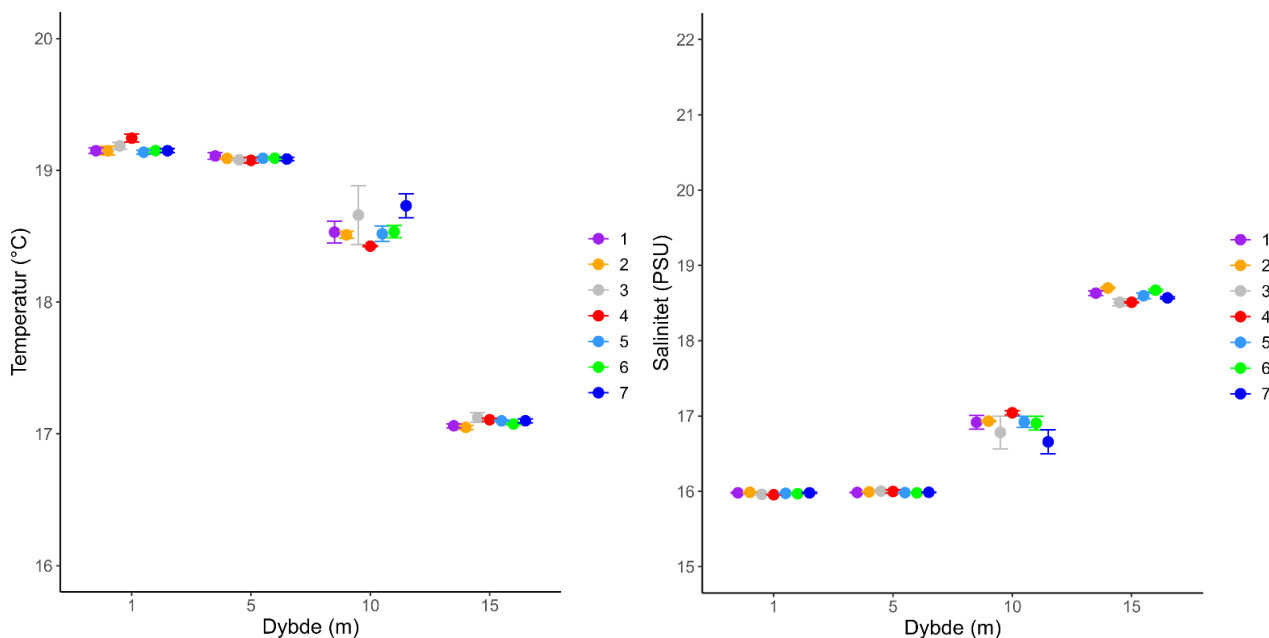
Der blev målt profiler af temperatur, salinitet, iltindhold, lysdæmpning og fluorescens. Forudsætningen for nedenstående sammenstilling af holdenes profilmålinger er, at vandmassen er den samme i det område miljøskibet og de mindre både er opankret, og at vandmassen ikke ændrer sig i tidsrummet for profileringen. Resultaterne indikerer, at forholdene i vandsøjlen var meget ens inden for området og stabile under øvelsen.

Når man sammenholder temperatur- og saltprofilerne, fremgår det, at der var et tydeligt springlag i ca. 10 meters dybde, hvorunder vandet havde en højere salinitet og en lavere temperatur (Figur 3.3). Profilerne viste generelt den samme ændring med dybden for alle tre profiler for alle syv hold.



Figur 3.3. Profiler af temperatur (°C) og salinitet (PSU) $\pm$ sd i vandsøjlen på stationen i Ringgård bassinet målt af alle hold d. 9-9-2025. Hvert hold har målt en profil ved hvert af de tre tidspunkter.

Sammenligning af værdier fra CTD-profilerne på diskrete dybder (1, 5, 10 og 15 m) for de tre profiler viser, at målingerne var meget ens for både temperatur og salinitet (Figur 3.4). Ved statistisk sammenligning af værdierne for de forskellige hold var det dog kun i 5 meters dybde, der ikke var forskel mellem holdene ($p < 0,05$, ANOVA). Det er tydeligt, at variationen stiger i springlaget omkring 10 meters dybde, hvilket understreger vigtigheden af fokus på nedsænkningshastigheden specielt i dybder, hvor forholdene ændrer sig relativt meget.

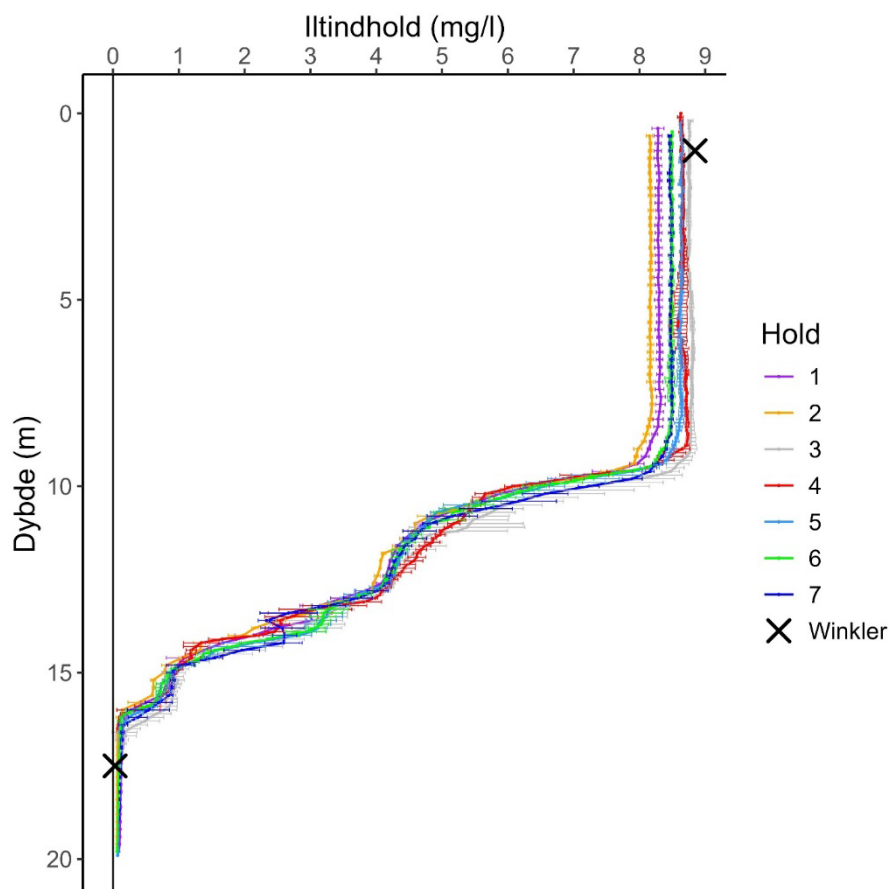


Figur 3.4. Temperatur (°C) og salinitet (PSU) $\pm$ sd i vandsøjlen på diskrete dybder (1, 5, 10 og 15 m dybde) fra tre CTD-profiler fra hvert hold målt d. 9-9-2025.

Iltkoncentrationen i vandsøjlen var > 8 mg/l i det øverste vandlag (0-10 m). Under springlaget faldt iltindholdet gradvist til 16 meters dybde (Figur 3.5). Ved dybder over 16 m var iltindholdet < 2 mg/l, hvilket karakteriseres som kraftigt iltsvind. Sonderne viste et ensartet profil for ændringen i

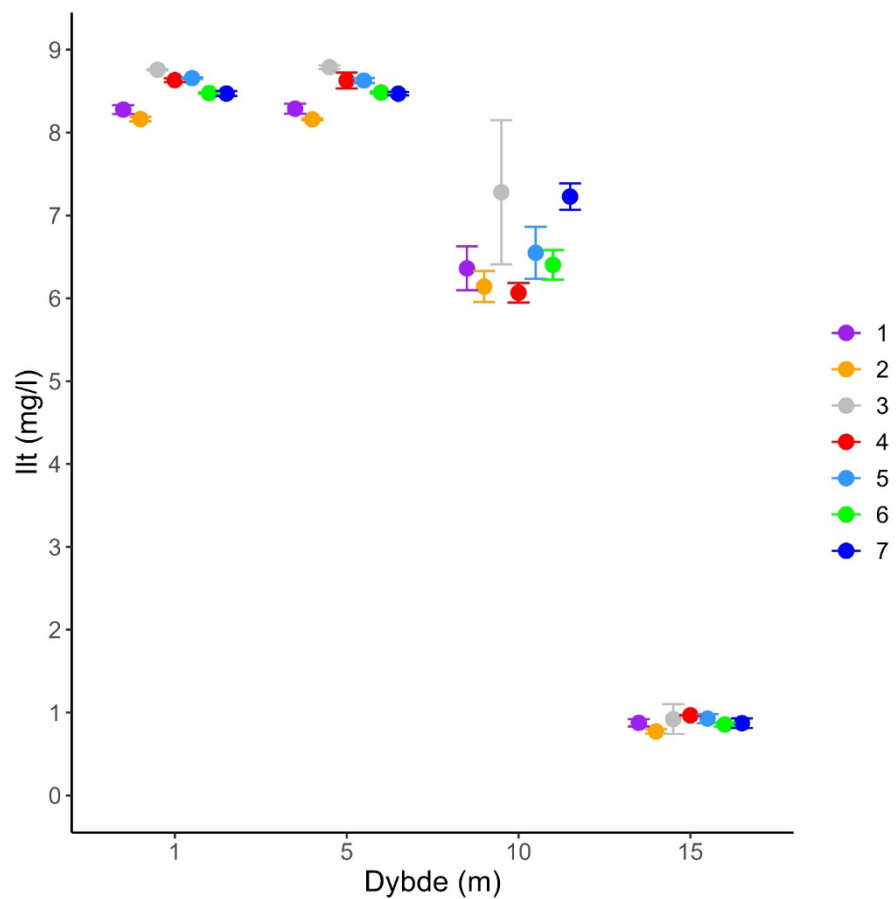
iltkoncentrationen ned gennem vandsøjlen. Men sonderne målte markant forskelligt øverst i vandsøjlen, hvor iltkoncentrationen var størst.

Figur 3.5. Iltprofiler (mg/l) $\pm$ sd i vandsøjlen på stationen d. 9-9-2025. De sorte kryds viser resultater fra winklerprøver taget i 1 og 17,5 m dybde målt på vandprøver taget umiddelbart efter sensormålingerne var udført. Hvert hold har målt tre profiler.



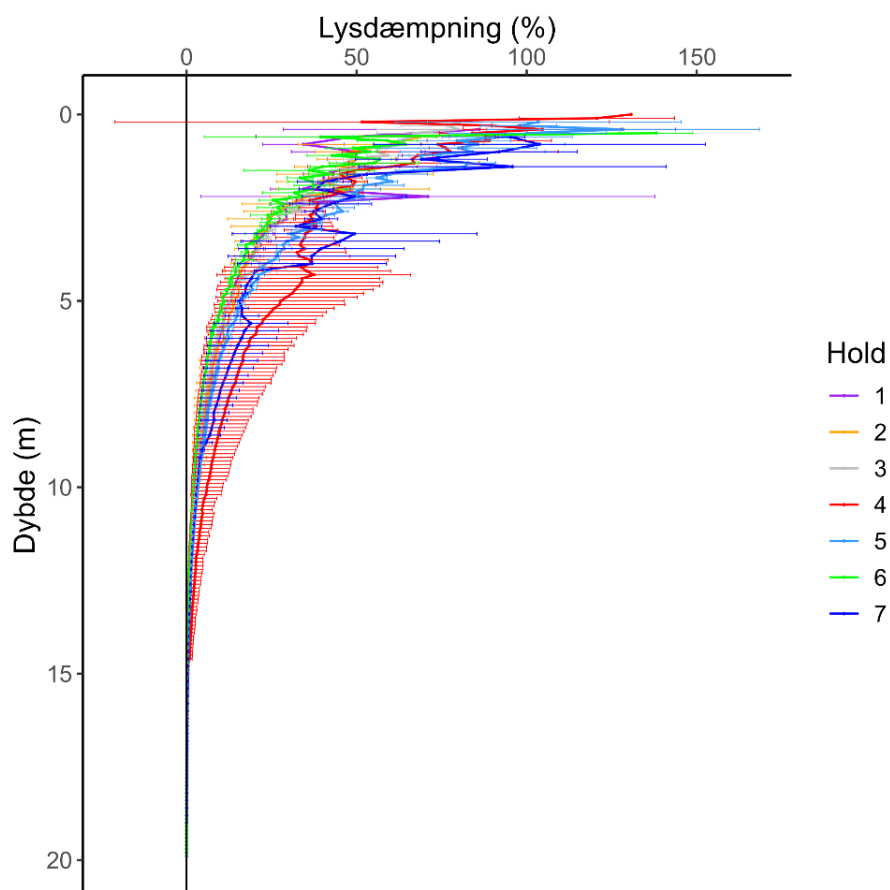
Ved sammenligning af iltmålinger på diskrete dybder (1, 5, 10 og 15 m) for de tre profiler fra hvert hold var der signifikant forskel ($p < 0,05$, ANOVA) mellem holdene på 1, 5 og 10 meters dybde (Figur 3.6). Som for temperatur og saliniteten er det også tydeligt, at der er størst variation i springlaget omkring 10 meters dybde. Specielt sonderne fra hold 1 og 2 måler konsekvent lavere iltkoncentration end de andre hold over springlaget.

Figur 3.6. Iltindhold (mg/l) $\pm$ sd i vandsøjlen på diskrete dybder (1, 5, 10 og 15 m dybde) fra tre CTD-profiler målt d. 9-9-2025.



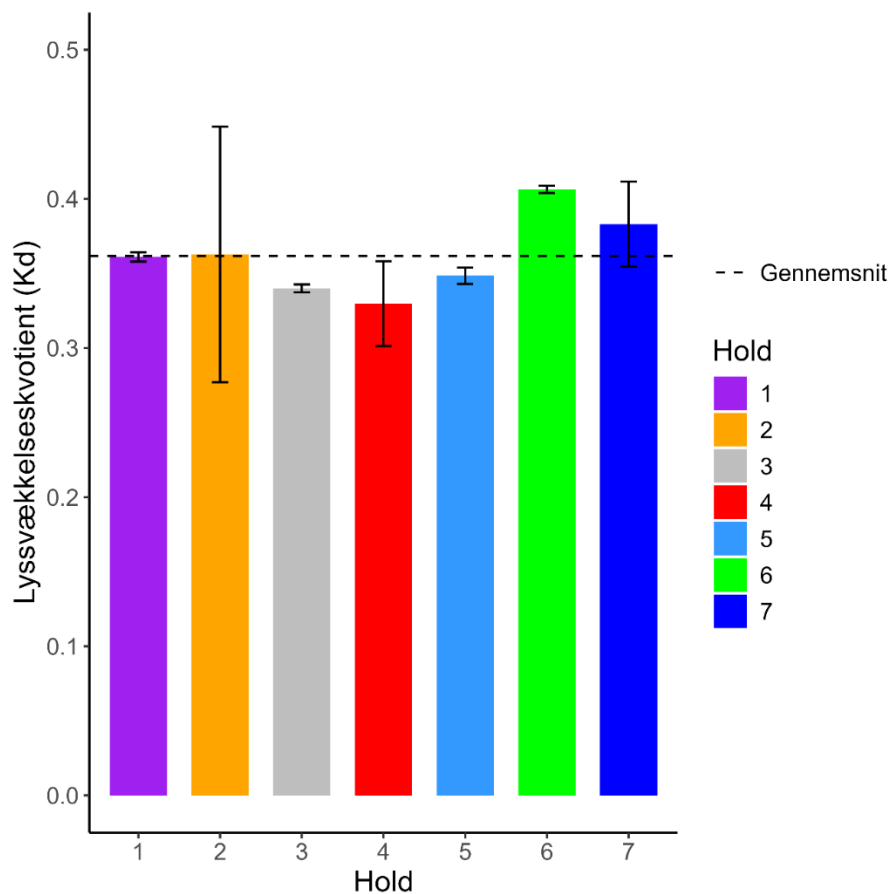
De målte profiler af lysdæmpningen var ensartet holdene imellem undtagen for hold 4, hvilket formodentlig skyldes, at de målte deres profil lidt senere end de andre hold (Figur 3.7). Der var en del støj for lysdæmpningen i toppen af vandsøjlen, hvilket er typisk og formodentlig skyldes skyggepåvirkning fra båden eller bølgegang.

Figur 3.7. Profiler af lysdæmpning (% af overfladelys) $\pm$ sd i vandsøjlen på stationen i Ringgård bassinet målt d. 9-9-2025. Hvert hold har målt tre profiler.



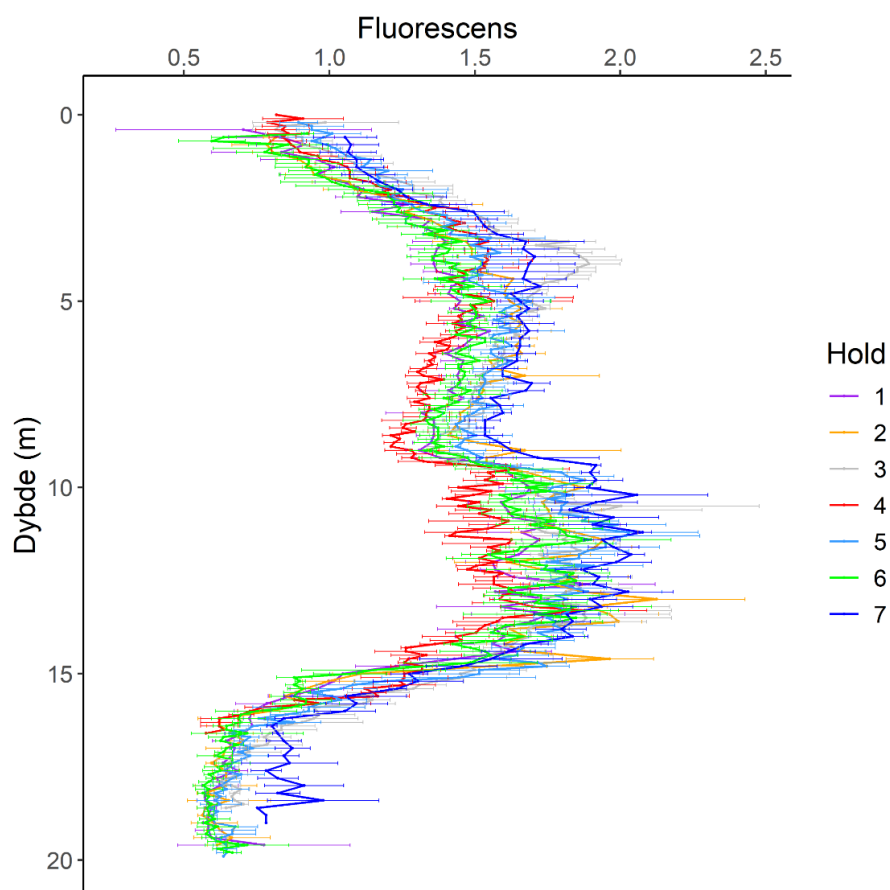
Ud fra CTD-profilen for lysdæmpning kan vandets lysdæmpningskoefficient (K_d ; m^{-1}) udregnes som foreskrevet i "TA M06" (Markager & Fossing, 2015). Ved at afbilde $-\ln(\text{lys i dybden}/\text{lys i overfladen})$ mod dybden ved lineær regression vil hældningen for linjen være lig med K_d . Lysdæmpningskoefficienten blev bestemt til et gennemsnit på $0,36 \pm 0,03 \text{ m}^{-1}$ (Figur 3.8). Trods variation imellem holdene var der ikke signifikant forskel på målingerne imellem holdene (KruskalWallis, $p = 0,0668$), og bestemmelserne må derfor betegnes som ensartet.

Figur 3.8. Lyisdæmpningskoefficienten (K_d ; m^{-1}) $\pm$ sd på stationen i Ringgård bassinet udregnet på baggrund af lysdæmpningsprofiler. Den stiplede linje angiver gennemsnittet for alle målinger. Hvert hold har udregnet tre lyisdæmpningskvotienter.



Profilerne for fluorescens gav et forløb med en top i og under springlaget fra 10-15 meters dybde (Figur 3.9). Profilerne viste et relativt ens forløb. Hold 7 målte dog generelt en lidt højere fluorescens end de andre hold.

Figur 3.9. Profiler for fluorescens $\pm$ sd i vandsøjlen på stationen i Ringgård bassinet d. 9-9-2025. Hvert hold har målt tre profiler.

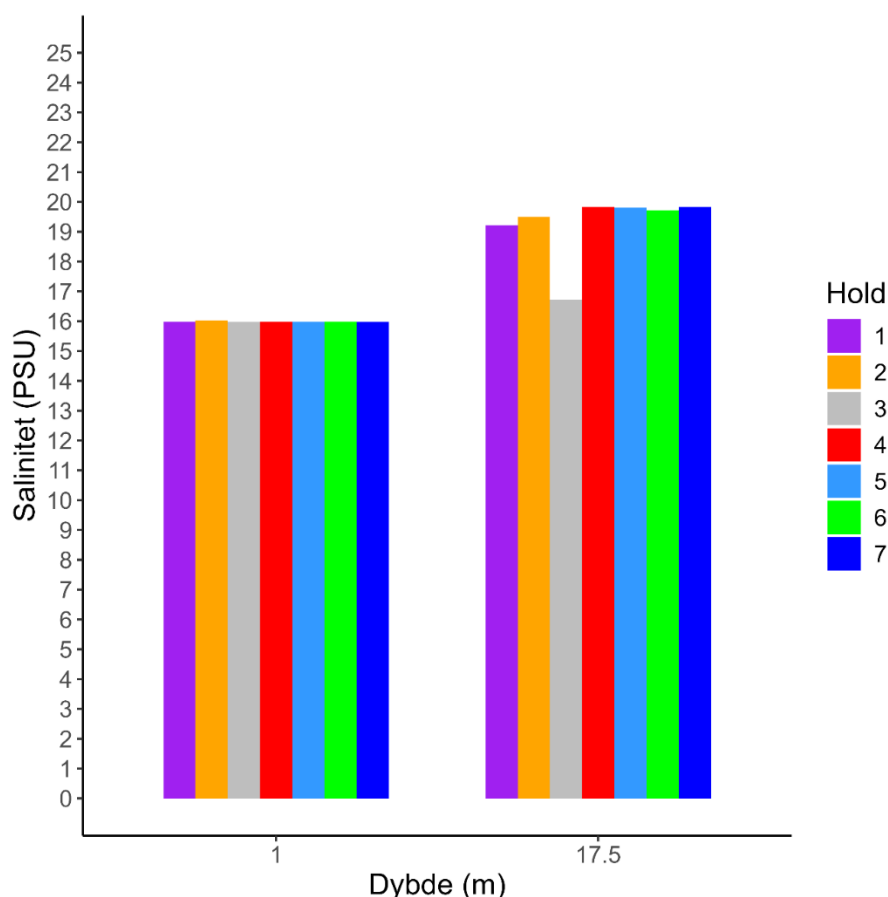


Vandprøver

Som en del af SGAVs overvågning udtages der vandprøver sideløbende med måling af CTD-profiler, hvilket der ligeledes blev gjort som en del af interkalibreringen.

Som det fremgår af figur 3.10, blev saliniteten i de udtagne vandprøver bestemt til $16,52 \pm 0,017$ PSU i 1 meters dybde og $19,2 \pm 1,1$ PSU i 17,5 meters dybde. Målingerne af saliniteten var dermed ens mellem holdene i 1 meters dybde, men ikke i 17,5 meters dybde, hvor hold 1, 2 og især 3 skiller sig ud fra andre hold med lavere værdier end de andre hold.

Figur 3.10. Salinitet (PSU) i 1 og 17,5 m dybde målt i laboratoriet på vandprøver indsamlet d. 9-9-2025.



I forbindelse med vandprøvetagning fra miljøskibet og de mindre både kan der være flere fejlkilder, der kan føre til, at prøven tages i en anden dybde end den planlagte. Vandhenteren kan lukkes i forkert dybde eller bølgepåvirkning ved overfladen kan gøre det vanskeligt at bestemme dybden. Specielt i springlaget kan en lille ændring i prøvetagningsdybden have en væsentlig effekt på resultatet. For at estimere, hvilken dybde prøven formodentlig er taget i, kan saliniteten i vandprøven sammenlignes med saliniteten fra CTD-profilen og dybden udlæses fra CTD-profilen. I tabel 3.2 er estimater for den reelle vandprøve-udtagningsdybde beregnet ud fra saliniteten i vandprøven sammenstillet med CTD-profilen for saliniteten.

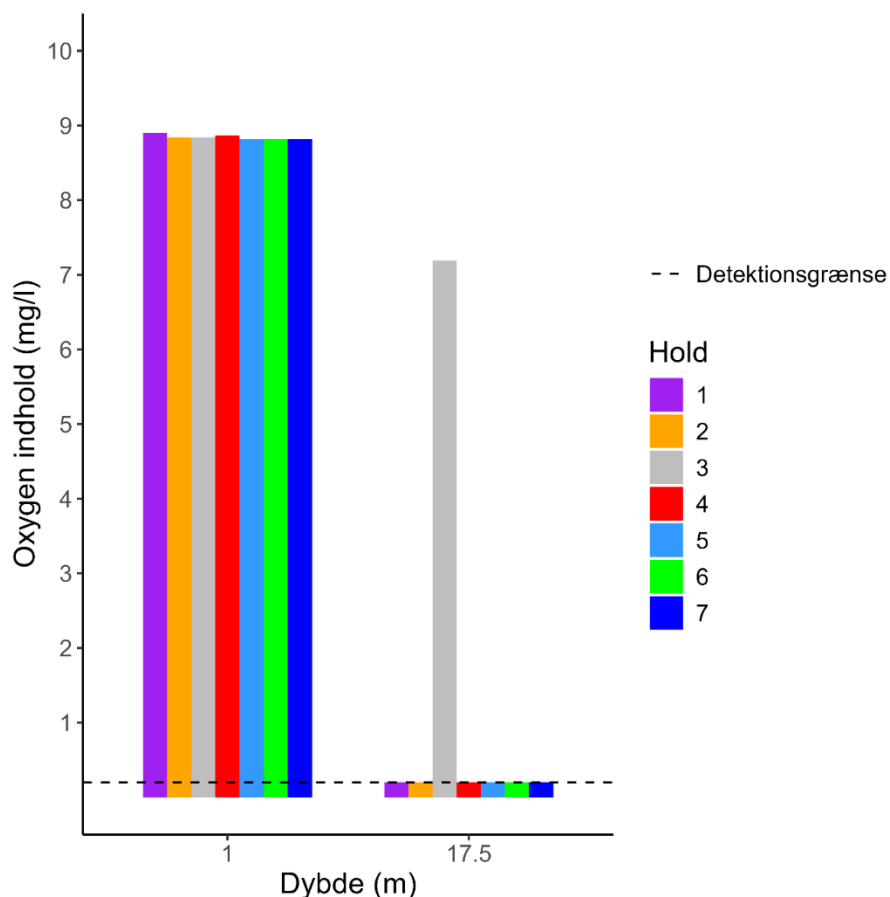
Tabel 3.2. Prøveudtagningsdybde estimeret ved at sammenligne saliniteten i vandprøven med saliniteten fra CTD-profilen for de respektive hold d. 9-9-2025. Parentesen angiver afvigelsen i forhold til måldybden på 17,5 m dybde.

Hold	Estimeret prøveudtagningsdybde (m)
1	16,4 (-1,1)
2	16,6 (-0,9)
3	9,8 (-7,7)
4	(sonde ikke dybt nok)
5	17,7 (+0,2)
6	17,4 (-0,1)
7	17,8 (+0,3)

Den estimerede prøveudtagningsdybde var derfor ca. 1 meter lavere end måldybden for hold 1 og 2 og 7,7 meter lavere for hold 3. Årsagen er ukendt, men det kan tyde på, at hold 1 og 2 har fejlestimeret dybden for vandhenteren, mens vandhenteren for hold 3 har lukket i for lav en dybde.

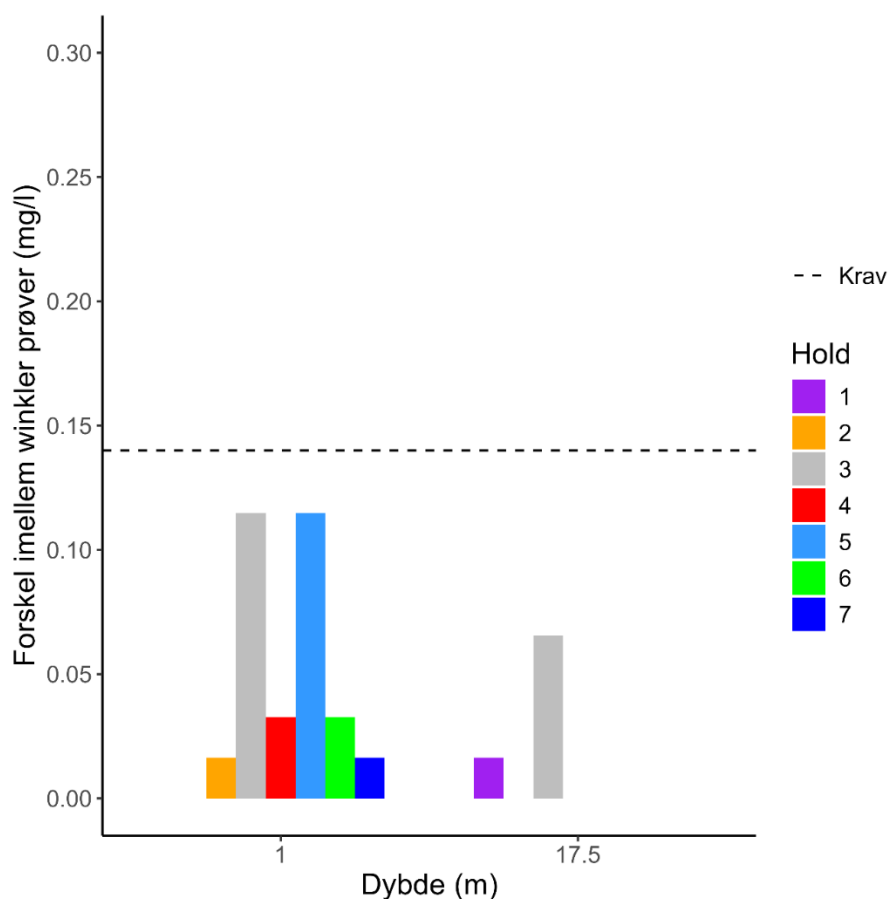
Resultater for Winkler-målinger på vandprøver viste, at iltkoncentrationen var $8,8 \pm 0,04$ mg/l i 1 meters dybde og under detektionsgrænsen i 17,5 meters dybde (0,03 mg/l) (Figur 3.11). Dog var målingen for hold 3 på 7,2 mg/l i prøven der skulle udtages i 17,5 meters dybde. Det er langt højere end de andre holds målinger, og skyldes sandsynligvis, at prøven er udtaget i en lavere vanddybde. Iltkoncentrationen i prøven svarer da også til iltindholdet fra hold 3's sonde i 9,8-9,9 meters dybde.

Figur 3.11. Koncentrationen af ilt (mg/l) i 1 og 17,5 meters dybde målt ved Winkleranalyse af vandprøve udtaget d. 9-9-2025. Den sorte stiplede linie angiver detektionsgrænsen på 0,03 mg ilt/l.



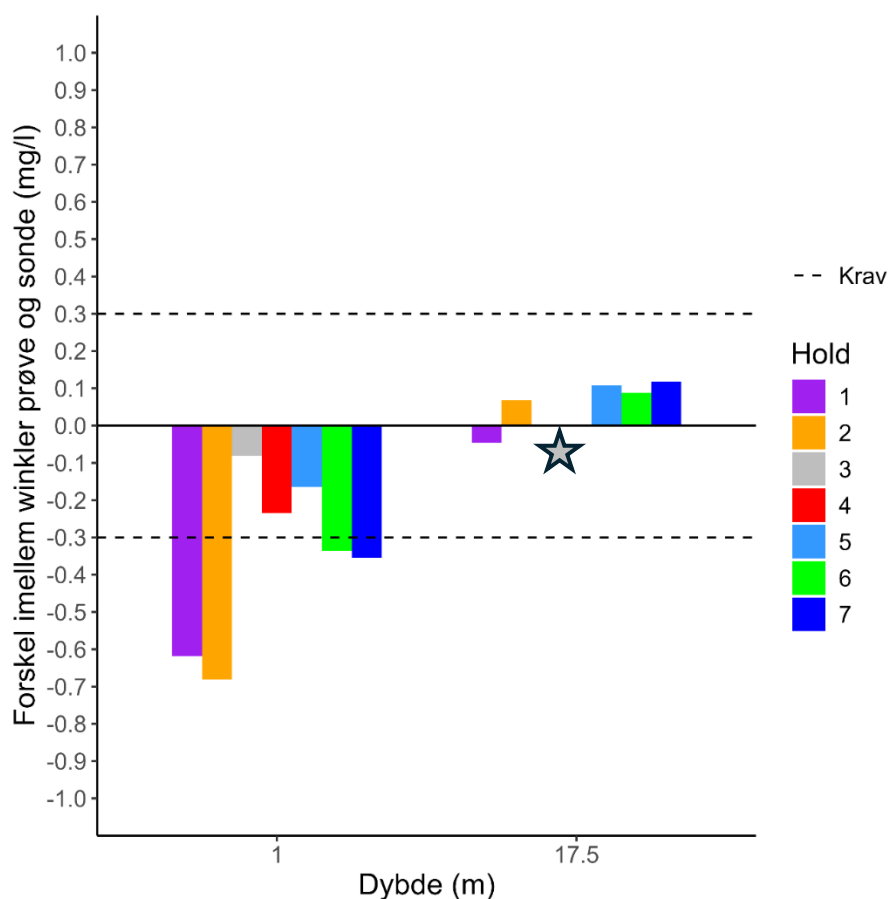
Som led i overvågningsprogrammet udtages to winklerprøver til dobbeltbestemmelse og verifikation af målingen af iltkoncentrationen. Forskellen imellem Winklerprøverne skal være $< 0,14$ mg ilt/l. Hvis forskellen er $> 0,14$ mg ilt/l bliver den laveste værdi brugt til eventuel korrigerende af sensormålingen af iltkoncentrationen i stedet for gennemsnittet af de to målinger. Prøverne fra alle hold overholdt kravet på 0,14 mg ilt/l (Figur 3.12).

Figur 3.12. Koncentrationen af ilt (mg/l) i 1 og 17,5 meters dybde målt på vandprøve udtaget d. 9-9-2025. Den sorte stiplede linie angiver den øvre grænse for forskellen i iltkoncentration (0,14 mg/l) mellem de to vandprøver.

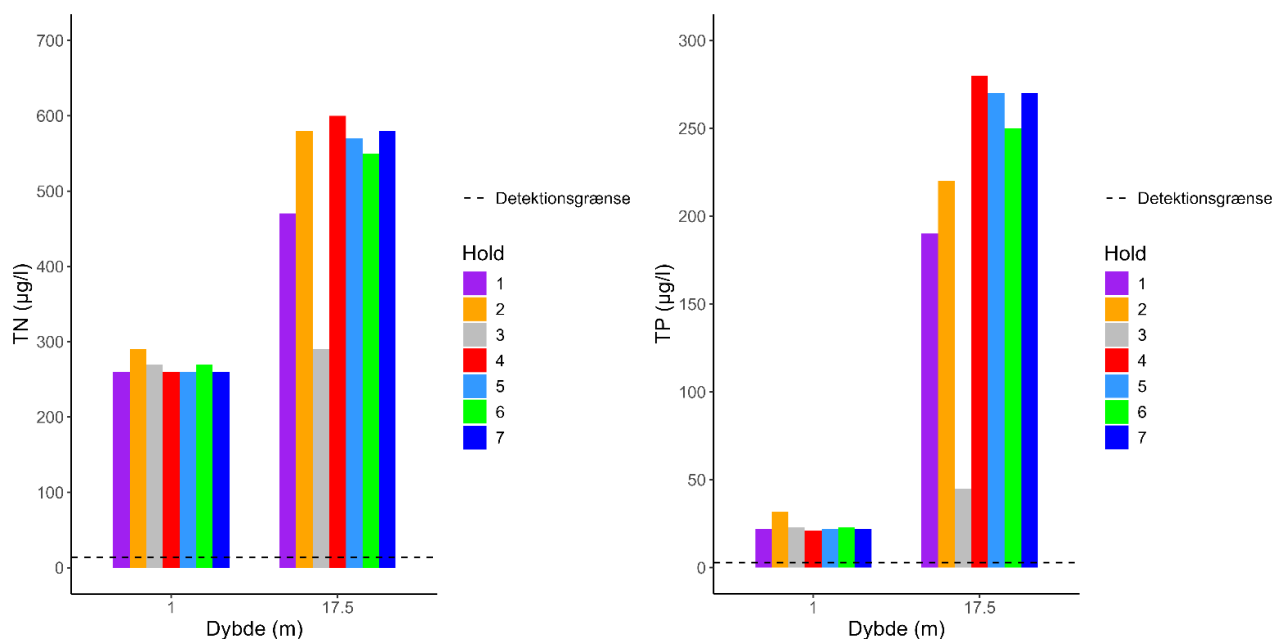


Hvis forskellen på Winklerprøven og sensormålingen af iltkoncentrationen overstiger $\pm 0,3$ mg/l kræves en korrigerende af sondeprofilen (Vang et al., 2017). Som det fremgår af figur 3.13, var sensormåling mere end 0,3 mg/l lavere end Winklermålingen for fire af de syv sonder i 1 meters dybde. Forskellen i 17,5 meters dybde overholdt kravet for alle sonder på nær hold 3, hvis sonde målte 7,19 mg højere for sonden end winkler målingen, hvilket formentlig skyldes den forkerte udtagningsdybde. Resultatet indikerer, at sonderne generelt måler en for lav iltkoncentration. Dog gør den lave iltspænding ved bunden, at det reelt er svært at sammenligne winkler prøver og sonde ved denne dybde.

Figur 3.13. Forskellen i iltindhold (mg/l) mellem Winklerprøve og sensormåling fra profil i 1 og 17,5 meters dybde d. 9-9-2025. Den sorte stiplede linie angiver kravet på $\pm 0,3$ mg ilt/l. Stjernen angiver at resultatet i 17,5 meters dybde er fjernet for hold 3 idet deres prøve afvigede uproportionalt meget, grundet den forkerte prøveudtagningsdybde.

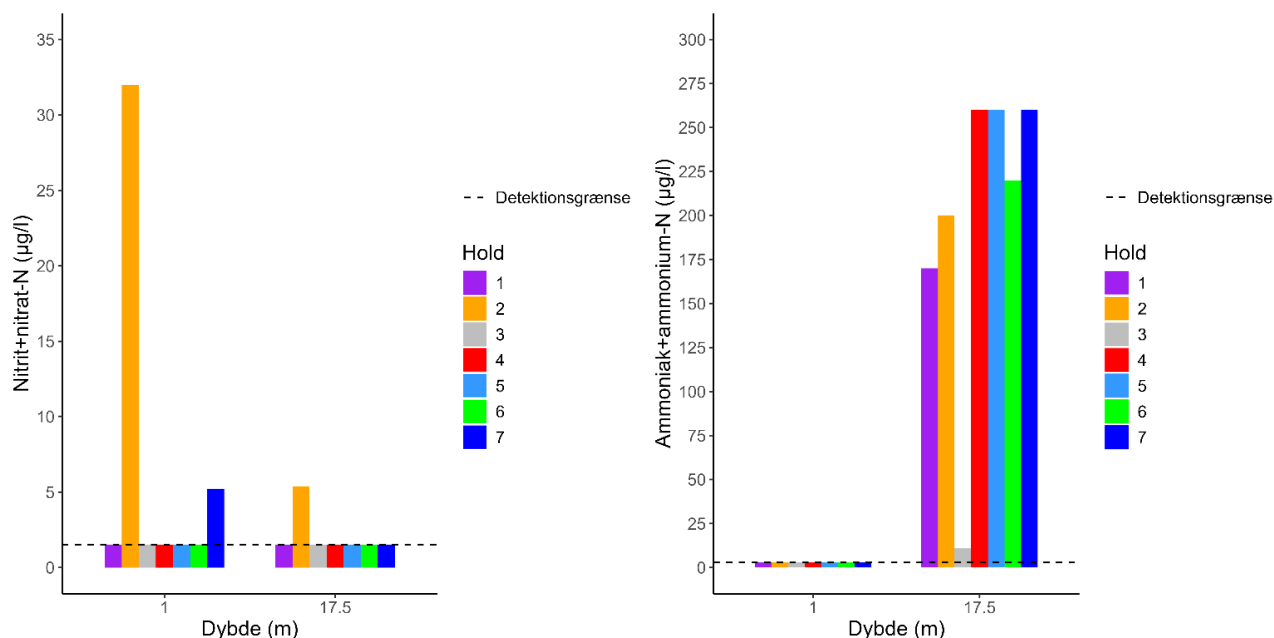


Koncentrationen af total nitrogen (TN) blev målt til 267 ± 11 $\mu\text{g/l}$ i 1 meters dybde og 520 ± 110 $\mu\text{g/l}$ i 17,5 meters dybde (Figur 3.14). Koncentrationen af total fosfor (TP) blev målt til $23,6 \pm 3,8$ $\mu\text{g/l}$ i 1 meters dybde og $218 \pm 82,7$ $\mu\text{g/l}$ i 17,5 meters dybde. De højere koncentrationer ved bunden skyldes, at mineraliseringen er markant større i sedimentet end i vandsøjlen, samt at der frigives N og især P til bundvandet under iltsvind. Målingerne var relativt ens i toppen, men varierede markant i bunden, hvor hold 1 og 3 målte lavere koncentration end andre hold for TN, og hold 1, 2 og 3 målte lavere end andre hold for TP, hvilket højst sandsynligt skyldes den forkerte udtagningsdybde.



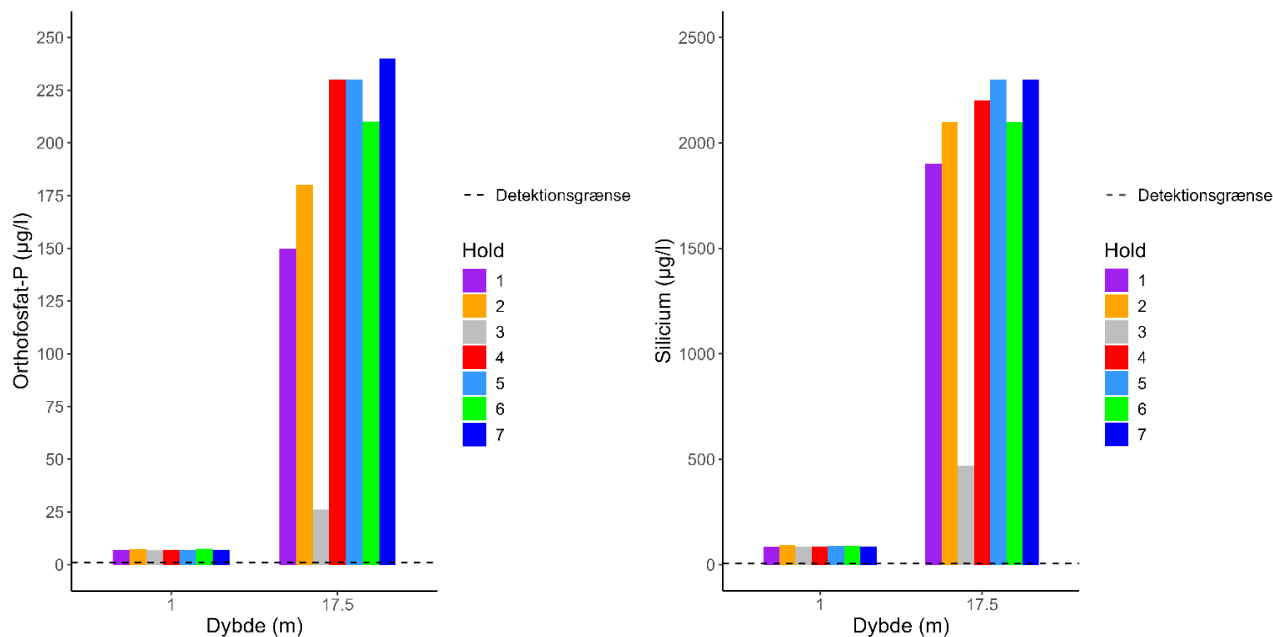
Figur 3.14. Koncentrationen af total nitrogen og total fosfor (µg/l) i 1 og 17,5 meters dybde målt på vandprøver udtaget d. 9-9-2025. Den sorte stiplede linie angiver detektionsgrænsen for begge parametre.

Koncentrationen af opløst nitrat-nitrit-N blev målt til under detektionsgrænsen på de fleste prøver i både 1 og 17,5 meters dybde (Figur 3.15). Dog var prøven udtaget af hold 2 i 1 meters dybde markant højere, end hvad der var blevet målt af andre hold, hvilket tyder på en forurening af denne prøve. Ammoniak-ammonium-N var under detektionsgrænsen for alle hold i 1 meters dybde, men $197 \pm 89,2$ µg/l i 17,5 meters dybde. Den høje koncentration i bundvandet skyldes formodentlig mineralisering og det markante iltsvind i området. Her målte hold 1,2 og især 3 lavere end de andre hold, sandsynligvis forårsaget af forkert udtagningsdybde.



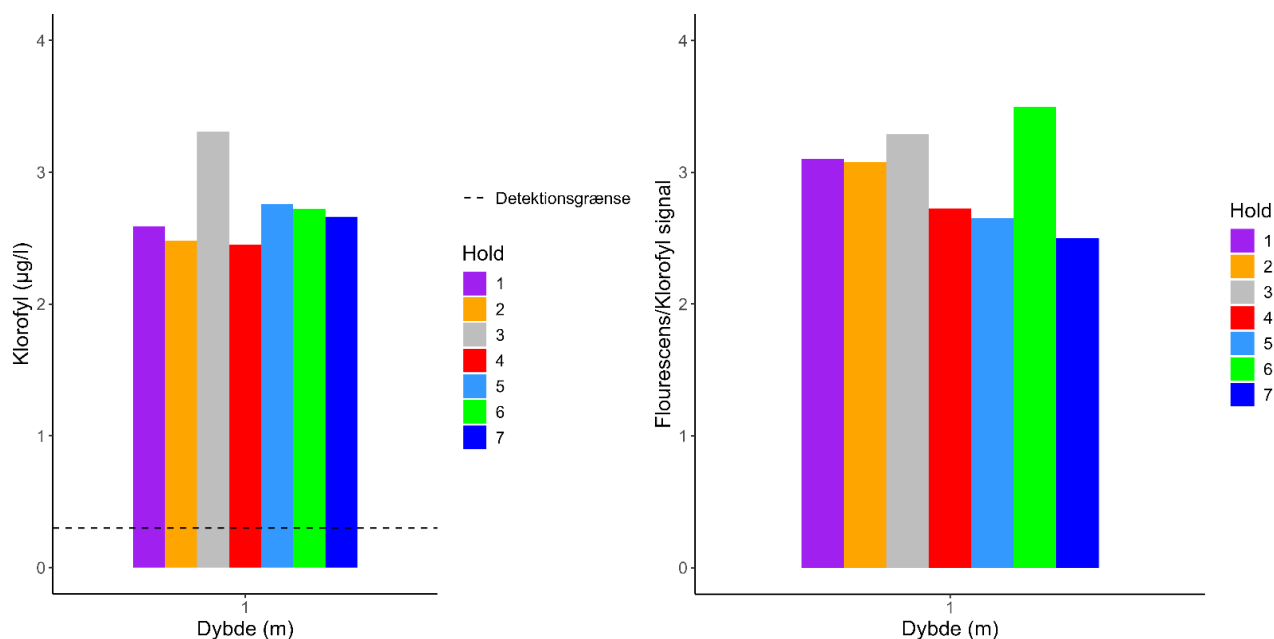
Figur 3.15. Koncentrationen af nitrat-nitrit-N og ammoniak-ammonium-N (µg/l) i 1 og 17,5 meters dybde målt på vandprøver udtaget d. 9-9-2025. Den sorte stiplede linie angiver detektionsgrænsen for begge parametre.

Indholdet af orthofosfat-P blev målt til $7,13 \pm 0,25 \mu\text{g/l}$ i 1 meters dybde og $181 \pm 75 \mu\text{g/L}$ i 17,5 meters dybde (Figur 3.16). Variationen var lav i 1 meters dybde, men høj nær bunden, hvor den høje koncentration formentlig skyldes mineralisering og især frigivelse af fosfat grundet iltsvind i området. Hold 1, 2 og især 3 måler lavere end de andre hold i bundvandet, formentlig grundet forkert udtagningsdybde. Indholdet af Silicium (DSi) blev målt til $87,9 \pm 2,4 \mu\text{g/l}$ i 1 meters dybde og $1.910 \pm 650 \mu\text{g/l}$ i 17,5 meters dybde. Den høje koncentration i bundvandet skyldes formodentlig mineralisering og det markante iltsvind i området. Igen med en lille variation mellem de målte koncentrationer i overfladevandet og en stor variation i bundvandet. Den store variation i bundvandet skyldes hovedsageligt vandprøven udtaget af hold 3, formentlig grundet forkert udtagningsdybde.



Figur 3.16. Koncentrationen af orthofosfat-P og Silicium (DSi) ($\mu\text{g/l}$) i 1 og 17,5 meters dybde målt på vandprøver udtaget d. 9-9-2025. Den sorte stiplede linie angiver detektionsgrænsen for begge parametre.

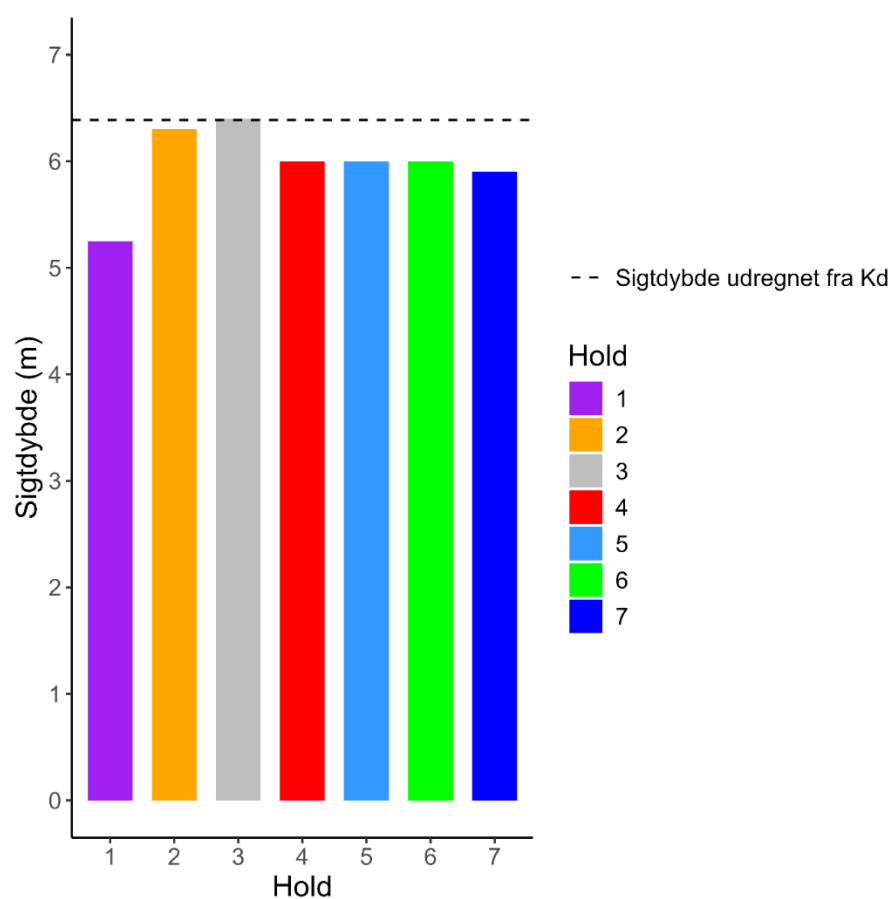
Indholdet af klorofyl blev målt til $2,71 \pm 0,3 \mu\text{g/l}$ i 1 meters dybde med relativt lille variation imellem holdene (Figur 3.17). Hold 3 målte dog lidt højere end de andre hold. Forhold mellem fluorescens- og klorofyl-signalet blev målt til $2,98 \pm 0,36$. Forholdet var ens imellem hold.



Figur 3.17. Indhold af klorofyl (µg/l) og forholdet mellem flourescens og klorofylsignalet målt på vandprøver udtaget d. 9-9-2025. Den sorte stiplede linie angiver detektionsgrænsen for klorofyl.

Som led i det nationale overvågningsprogram bestemmes også sigtddybden, hvilket også indgik som en del af interkalibreringsøvelsen (Figur 3.18). Sigtdybden blev bestemt til $5,9 \pm 0,4$ m. Sigtdybden kan også udregnes ud fra lyssvækkelseskoefficienten (K_d), som blev bestemt på baggrund af sensormålinger af lysprofilet i vandsøjlen (sigtdybde (m) = $2,3/K_d$; jf "TA M06"). Sigtdybden blev på baggrund af K_d -målinger bestemt til $6,4 \pm 0,4$ m, altså 0,5 m højere end målt med Secchi-skive. Der var således relativ god overensstemmelse mellem sigtdybden bestemt ved de to forskellige metoder.

Figur 3.18. Sigtdybde (m) bestemt med Secchi-skive d. 9-9-2025. Den grå stiplede linie angiver sigtdybden udregnet på basis af lyssvækkelseskvotienten "Kd".



4 Sammenligning med resultater fra sidste interkalibrering i 2022

Både ved karkontrollerne i 2022 og 2025 viste resultaterne, at CTD-sonderne måler meget præcist og overholder kravene (tryk blev ikke rapporteret ved interkalibreringen i 2022). CTD-profilerne var også meget ensartede mellem holdene ved begge interkalibreringer. Ved interkalibreringen i 2022 var der, ligesom ved interkalibreringen i 2025, problemer med, at sonderne generelt målte lavere iltkoncentration end bestemt med Winkleranalyse – specielt i toppen af vandsøjlen, hvor iltkoncentrationen er størst. Ved begge interkalibreringer var der generelt en god bestemmelse af vandkemi fra vandprøver bortset fra, at der ved begge interkalibreringer var enkelte forureninger. Ved begge interkalibreringer var der for nogle hold problemer med at udtage vandprøven i den korrekte dybde. Sigtdybde og lyssvækkelseskvotient blev bestemt med tilfredsstillende overensstemmelse mellem holdene ved begge interkalibreringer.

5 Konklusion

Interkalibreringen viste, at CTD-sonder anvendt i den nationale overvågning lever op til målkraevne for måling af salinitet, temperatur og tryk. Dog bør beregning af dybde fra tryk redigeres, idet den nuværende udregningsmetode medfører fejlestimat af dybden, når vandets densitet afviger fra den faste værdi, som bruges i omregningen fra tryk til dybde. Målingerne med CTD-sonder og tilhørende instrumenter, viste også god overensstemmelse ved anvendelse i felten, hvor de viste ens profiler for salinitet, temperatur, lyssvækkelse og fluorescens. Iltprofilerne målt med sensor havde et rimelig ensartet forløb ned gennem vandsøjlen. Sensormålinger af ilt i overfladevandet var lavere end Winklermålingerne, hvorfor der i de fleste tilfælde var krav om korrektion af iltmålingerne. Dette tyder på et generelt problem med sensormålinger af ilt ved høj iltkoncentration.

Vandprøverne viste god overensstemmelse imellem hold for målinger af salinitet, næringssalte, klorofyl og silicium på feltlokaliteten. Dog var der afvigelser i prøveudtagningsdybden, der for især et enkelt hold resulterede i forkerte målinger ved bunden for stort set alle parametre. Derfor bør prøveudtagningsdybde være et fokus i den fremadrettede overvågning, så det sikres, at vandprøver tages i korrekt/forventet dybde.

Sigtdybde og lyssvækkelseskvotienter blev bestemt med en relativ lille variation mellem holdene.

6 Litteratur

Fossing, Henrik, Hansen, Jens W. og Balsby, Thorsten J. S. 2017. "Interkalibrering af marine målemetoder 2015." Teknisk rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi.

Markager, Stiig og Fossing, Henrik 2015. "Teknisk Anvisning M06 - Lyssvækelse".

Vang, Torben 2014. "Teknisk Anvisning M03 - CTD-måling".

Vang, Torben og Hansen, Jens W. 2017. "Teknisk Anvisning M04 - Ilt i vandsøjlen".

INTERKALIBRERING AF MARINE MÅLEMETODER 2025

Interkalibreringsøvelsen i september 2025 ved Svendborg Havn og Ringgårds-bassinet havde til formål at kvalitets-sikre den pelagiske del af det nationale marine overvågningsprogram. Syv hold deltog og udførte målinger med CTD-sonder og tilknyttede sensorer. Resultaterne viste høj præcision og overholdelse af krav for temperatur, salinitet og tryk, men potentielle fejl i dybdeberegningen på baggrund af vandets densitet. Profiler for temperatur, salinitet, ilt og andre parametre var generelt ensartede mellem holdene. Iltmålinger viste systematiske afvigelser for nogle sensorer ved høje koncentrationer, hvilket kan pege på behov for kalibrering. Vandprøver viste overordnet god overensstemmelse, men med enkelte store afvigelser. Næringsstoffer, klorofyl og silicium blev målt konsistent i overfladen, men med større variation i bunden. Variation i vandprøver skyldes formentlig fejl i prøveudtagningsdybden. Samlet set bekræfter øvelsen en høj datakvalitet, der lever op til kravene, men identificerer forbedringsmuligheder i dybdeberegning, prøvetagning og kalibrering af ilt-sensorer.