

Ilt- og temperaturforhold i Vejle Fjord

24. september til 10. oktober 2024



Antonie Svensson

8. december 2024

Specialkursus ved DTU Aqua

Indhold

Abstract	1
Resumé	2
Forord	3
1 Indledning	1
2 Ilt i havvand	2
3 Ålegræs	3
4 Vejle Fjord	4
5 Feltlokationer	4
6 Metode	5
6.1 Måling af opløst ilt og temperatur med miniDOT Logger	5
6.2 Udsætning af BRUV's og RUV's, ruser, samt sigtbarhed og dybdemåling	6
6.3 Behandling af ilt- og temperaturdata	7
6.4 Omregning fra mg/L til procentvis iltmætning	7
7 Resultater og diskussion	9
7.1 Overordnede tendenser	9
7.2 Sammenligning af mikrohabitater	12
7.3 Lave iltkoncentrationer	13
7.4 Perspektivering	14
8 Vejledning til brug af miniDOT Logger	15
9 Konklusion	16

10	Referencer	18
11	Bilag	21
11.1	Bilag 1: Skema over målestationer	21
11.2	Bilag 2: Konstanter til udregning af opløselighed	23

Abstract

The environmental conditions in Vejle Fjord are bad and several episodes of oxygen depletion have occurred. To improve this, eelgrass has been planted and a stone reef has been made in the fjord. Based on measurements from 24/9-10/10 2024, this report investigates the temperature- and oxygen conditions in four different micro habitats in the fjord: Natural eelgrass, transplanted eelgrass, stone reef, and sand bottom. In this period, three miniDOT Loggers were put out in the microhabitats to measure temperature and dissolved oxygen concentration with a 10 min interval. Afterwards, the oxygen concentration was converted to oxygen saturation, and the data was visualized using figures. Additionally, linear regression between temperature and oxygen saturation has been computed for each measurement period, and the correlation coefficient and coefficient of determination has been calculated. This is to explore the correlation between temperature and oxygen saturation. Lastly, a short instruction to the miniDOT Loggers has been written.

The overall trend for the period is a rise in oxygen saturation and oxygen concentration and a decline in temperature. Since oxygen has a higher solubility in cold water, an explanation for this could be the temperature decrease. This is supported by the measurement periods with a negative correlation coefficient between temperature and oxygen saturation, and a significant coefficient of determination. However, some measurement periods have a positive correlation coefficient, indicating a positive correlation between temperature and saturation. As this is not possible, other factors are affecting oxygen saturation as well. Oxygen depletion is measured two times, once in the transplanted eelgrass, and once by the stone reef. These last for approx. 4-4,5 hours and are likely caused by heavy rain. Generally, the oxygen saturation varies throughout the day in the eelgrass and is more stable by the stone reef. This is evident from the 4/10-6/10, where the oxygen saturation is approx. 140% in natural- and transplanted eelgrass several times, while it is more stable around 80% by the stone reef. This can be due to temperature differences but can also depend on the mass of primary producers, and thereby the magnitude of photosynthesis, in each micro habitat. Likely, there are more primary producers in the eelgrass and less by the stone reef, as the depth is 3,7-4,6 m, which gives poor light conditions. At the sand bottom, daily variations are measured as well from 8/10-10/10, where the oxygen saturation reaches 110%. The depth at the sand bottom is 1,5 m, making conditions for phytoplankton better and possibly explaining the daily changes. However, oxygenation from wind and currents also have significant influence on oxygen saturation.

Resumé

I Vejle Fjord vurderes miljøtilstanden som dårlig og der har været flere episoder med iltsvind. For at forbedre den økologiske tilstand er der derfor bl.a. plantet ålegræsbede og udsat stenrev. I denne rapport undersøges ilt- og temperaturforholdene i sensommeren for fire udvalgte mikrohabitater i fjorden, hhv. naturligt ålegræs, transplanteret ålegræs, stenrev og sandbund. Desuden analyseres eventuelle tendenser og årsagerne til iltforholdene diskuteres. Dette gøres på baggrund af feltarbejde udført i perioden 24/9-10/10-2024. Her blev tre miniDOT Loggere placeret i mikrohabitaterne i måleperioder af forskellig varighed, hvor de har målt temperatur og iltkoncentration med 10 minutters interval. Efterfølgende er iltkoncentrationerne omregnet til procentvis iltmætning og dataene er visualiseret med figurer. Derudover er der udført lineær regression mellem temperatur og iltmætning for hver måleperiode, og der er beregnet forklaringsgrad og Pearsons korrelationsfaktor. Dette er gjort i forsøg på at undersøge sammenhængen mellem ændring i temperatur og iltmætning. Endelig er der lavet en kort vejledning til miniDOT Loggerne.

Generelt stiger iltkoncentrationen og iltmætningen i perioden mens temperaturen falder. Da ilt har en højere opløselighed i koldt vand, kan en af årsagerne være temperaturfaldet. Dette understøttes af de måleperioder, hvor korrelationskoefficienten mellem temperatur og iltmætning er negativ og forklaringsgraden er høj. Dog er der også måleperioder med positiv korrelationskoefficient, hvilket indikerer, at iltmætningen er positivt korrelerende med temperaturen. Dette er imidlertid ikke muligt og således må også andre faktorer påvirke iltmætningen. Der måles iltsvind to gange i perioden, hhv. i transplanteret ålegræs og ved stenrevet. Dette varer 4-4,5 timer og kan sandsynligvis tilskrives et regnskyl. Generelt har iltmætningen størst daglige udsving i ålegræsbedene, mens den er mere stabil ved stenrevet. Dette er tydeligt i dagene 4/10-6/10, hvor iltmætningen flere gange når op på ca. 140% i naturligt- og transplanteret ålegræs, mens den ligger mere stabilt omkring 80% ved stenrevet. Disse forskelle kan dels skyldes temperaturforskelle, men kan også være relateret til massen af primærproducenter i mikrohabitaterne og derved omfanget af fotosyntese. Sandsynligvis er der størst masse af primærproducenter i ålegræsbedene og lavest ved stenrevet, da dybden er 3,7-4,8 m, hvilket giver dårlige lysforhold. På sandbunden måles også daglige variationer fra d. 8/10-10/10, hvor iltmætningen når op på ca. 110%. Dybden ved sandbunden er ca. 1,5 m og således er der bedre lysforhold for alger i vandsøjlen, hvilket potentielt kan forklare de daglige udsving. Dog har også iltning fra vinden og strøm væsentlig indflydelse på iltmætningen.

Forord

Denne rapport er udarbejdet som del af et specialkursus på DTU Aqua (15 ECTS). Rapporten er skrevet af Antonie Svensson (bachelorstuderende) og vejleder har været Ole Henriksen. Projektet er lavet i samarbejde med Kysthælperprojektet og Danmarks Sportsfiskerforbund. Til udarbejdelse af Python kode til databehandling er brugt ChatGPT.

Der skal lyde en tak til vejleder Ole Henriksen for god vejledning gennem hele forløbet. Ydermere takkes også Mikael van Deurs for supplerende vejledning og Daniel Rooth for vejledning under feltarbejdet. Desuden takkes Colin Stedmon for hjælp til omregning af enheder for iltkoncentrationen. Endelig takkes Freja Willumsen og Valentina Kolic for hjælp med udførelsen af feltarbejdet og Thomas Christian Barslund Møller og Dennis Andersen for at sejle båden under feltturen.

1 Indledning

Iltforholdene i de danske fjorde er et meget omdiskuteret emne i den offentlige debat. Så sent som i november 2024 udkom et notat fra Nationalt Center for Miljø og Energi der viste, at iltsvindets udbredelse i de danske farvande i september 2024 var det næststørste der nogensinde er målt, med et areal på 11.000 km². Det var især høje temperaturer og svag vind, der var udslagsgivende for iltsvindet, men udbredt iltsvind opstår som følge af eutrofiering (Hansen & Rytter, 2024).

Også iltforholdene i Vejle Fjord har fået en del opmærksomhed. I april 2024 blev fjorden 'begravet' af Greenpeace og Danmarks Sportsfiskerforbund grundet den fiskedød, der er forårsaget af episoderne med iltsvind i fjorden (Munksgaard, 2024). Miljøtilstanden i fjorden er dårlig, grundet en stor tilførsel af næringsstoffer fra de omkringliggende områder. Særligt stammer næringsstofferne fra landbrug, men også spildevand og dambrug er kilder til næringsstoffer i fjorden (Lees et al., 2022). Som reaktion på den dårlige miljøtilstand er projekt 'Sund Vejle Fjord' iværksat. Dette er et tiltag, der laver marin naturgenopretning i form af bl.a. ålegræsudplantning, etablering af stenrev og muslingebanker, samt opfiskning af krabber (Center for Marin Naturgenopretning, n.d.). Det har der særligt været succes med i de ydre dele af fjorden, hvor miljøtilstanden er lidt bedre end i den indre del (Damborg, 2024).

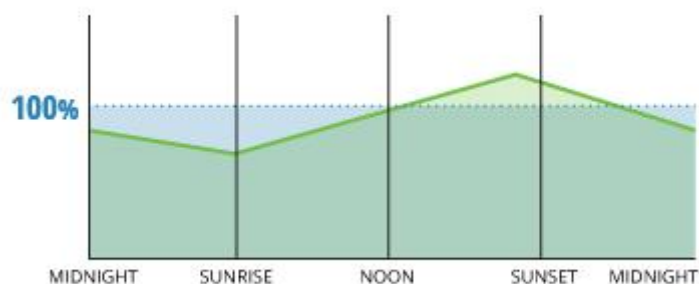
På denne baggrund er det interessant at undersøge ilt- og temperaturforholdene i Vejle Fjord. Gennem feltarbejde udført ultimo september og primo oktober 2024 udforskes temperatur- og iltforholdene på udvalgte lokaliteter i fjorden ved brug af miniDOT Loggere. Lokationerne er valgt så de dækker habitattyperne naturligt ålegræs, transplanteret ålegræs, sandbund og stenrev. I denne rapport analyseres måleresultaterne, eventuelle tendenser belyses og de bagvedliggende årsager til måleresultaterne diskuteres. Da feltarbejdet er udført i sensommeren/tidligt efterår, omfatter rapporten kun ilt- og temperaturforholdene i fjorden på denne årstid.

2 Ilt i havvand

Indholdet af ilt i havvand kommer bl.a. fra opløsning af ilt fra atmosfæren, samt fotosyntese fra vandets primærproducenter. Typisk er koncentrationen af ilt højest ved overfladen og falder med dybden. Dette skyldes, at det er ved overfladen ilten fra atmosfæren opløses i vandet, samt at fytoplankton, der laver fotosyntese, lever i overfladevandet (Webb, 2023). Bundvandet bliver iltet af vind og havstrømme. Dette er med til at sikre opblanding af vandsøjlen og dermed udskiftning af vand ved bunden. Svag vind og strøm kan således resultere i lagdeling af vandsøjlen og derved mangelfuld iltning af bundvandet (Hansen et al., 2023). Også temperaturen kan spille ind, da varmt vand har en lavere densitet end koldt vand og således kan der, særligt om sommeren, opstå en lagdeling mellem varmere vand øverst og koldere eller mere salt vand på bunden (Ærtebjerg et al., 2007; Thomas & Bowers, 2021). Sker det, kan organismene på bunden bruge ilten i det nederste lag hurtigere end der tilføres ny ilt. Iltsvind i lavvandede kystområder varer dog typisk ikke så længe, idet vinden ikke behøver at være særlig kraftig for at blande vandsøjlen (Ærtebjerg et al., 2007). Ved gode iltforhold, er indholdet af ilt i havvand ca. 8 mg/L (Webb, 2023). I Danmark kategoriseres koncentrationer på 2-4 mg/L som moderat iltsvind, mens koncentrationer under 2 mg/L kategoriseres som kraftigt iltsvind (Hansen et al., 2023).

Iltindholdet i vand kan også måles i procentvis iltmætning, dvs. hvor meget ilt der er i vandet i forhold til hvor meget det maksimalt kan indeholde. Hvis iltmætningen er 100% er vandet fuldt mættet og der er ligevægt mellem ilten i luften og i vandet. Er den under 100% er det undermættet og er det over 100% er det overmættet (Fondriest Environmental Inc., 2013; Jensen, 2015). Hvor meget ilt vandet kan indeholde, kaldet opløseligheden, afhænger af tryk, temperatur og indholdet af ionholdige salte. Ved stigende partialtryk stiger opløseligheden, ved stigende temperatur og salinitet, falder opløseligheden (Xing et al., 2014). Der er forskellige faktorer, der påvirker iltmætningen. Respiration og nedbrydelse af døde organismer sænker iltindholdet, idet disse processer forbruger ilt. Samtidig kan fotosyntese og iltning, der forårsages af eksempelvis vind, være med til at øge iltmætningen og potentielt bringe den over 100% (Fondriest Environmental Inc., 2013; Webb, 2023). Desuden er ligevægtsprocessen mellem vand og luft en langsom proces, medmindre der er tale om vand, der bevæger sig meget hurtigt. Det vil sige, at temperaturen nogle gange kan ændre sig hurtigere end der kan opnås ligevægt, hvilket kan forårsage overmætning. Hvis eksempelvis temperaturen stiger og vandet dermed har et lavere mætningspunkt, falder iltniveauet måske ikke tilsvarende i samme tempo, hvilket altså forårsager overmætning. Daglige svingninger i iltniveauet forekommer (figur 1) og

tilskrives primært fotosyntese, men hastigheden for ligevægtsprocessen kan også spille ind (YSI, 2019).



Figur 1 Ændringer i iltmætningen over et døgn i vand, hvor der foregår fotosyntese (Fondriest Environmental Inc., 2013)

3 Ålegræs

Ålegræs vokser i kystnære områder i Danmark og er vigtig for kystlige økosystemer af flere forskellige årsager. Planten er produktiv og kan få en høj biomasse, hvilket betyder at den kan være en del af reguleringen af næringsstoftransport fra kysten til åbent hav (Den Hartog, 1970; Krause-Jensen & Rasmussen, 2009). Derudover er ålegræsbede vigtige habitater for mange arter, heriblandt hundestejle, kutling, nålefisk og krebsdyr (Stubgaard, 2021). Ålegræs bruges af mange dyr som yngel- og opvæksthabitat og der lever desuden flere epifytiske arter (Krause-Jensen & Rasmussen, 2009). Dybdeudbredelsen af ålegræs afhænger af lysforholdene (Duarte, 1991). Disse påvirkes af eutrofieringsgraden, idet en høj koncentration af næringsstoffer leder til en større produktion af fytoplankton, der hæmmer lystilførslen for bundplanter (Thomas & Bowers, 2021). Således har tilførslen af næringsstoffer altså indflydelse på ålegræsudbredelsen. I danske farvande er dybden for hovedudbredelsen af ålegræs, dvs. den dybde hvor 10% af havbunden er dækket af ålegræs, mellem 2,3-4 meter i fjordene, mens den er 3,9-5,9 meter ved åbne kyster. Ålegræssets dybdegrænse bruges som mål for den økologiske tilstand ved kysten, bl.a. fordi det spiller en vigtig rolle for økosystemet ved kysten og fordi dybdegrænsen er betinget af menneskelig indflydelse (Hansen et al., 2023; Krause-Jensen & Rasmussen, 2009).

4 Vejle Fjord

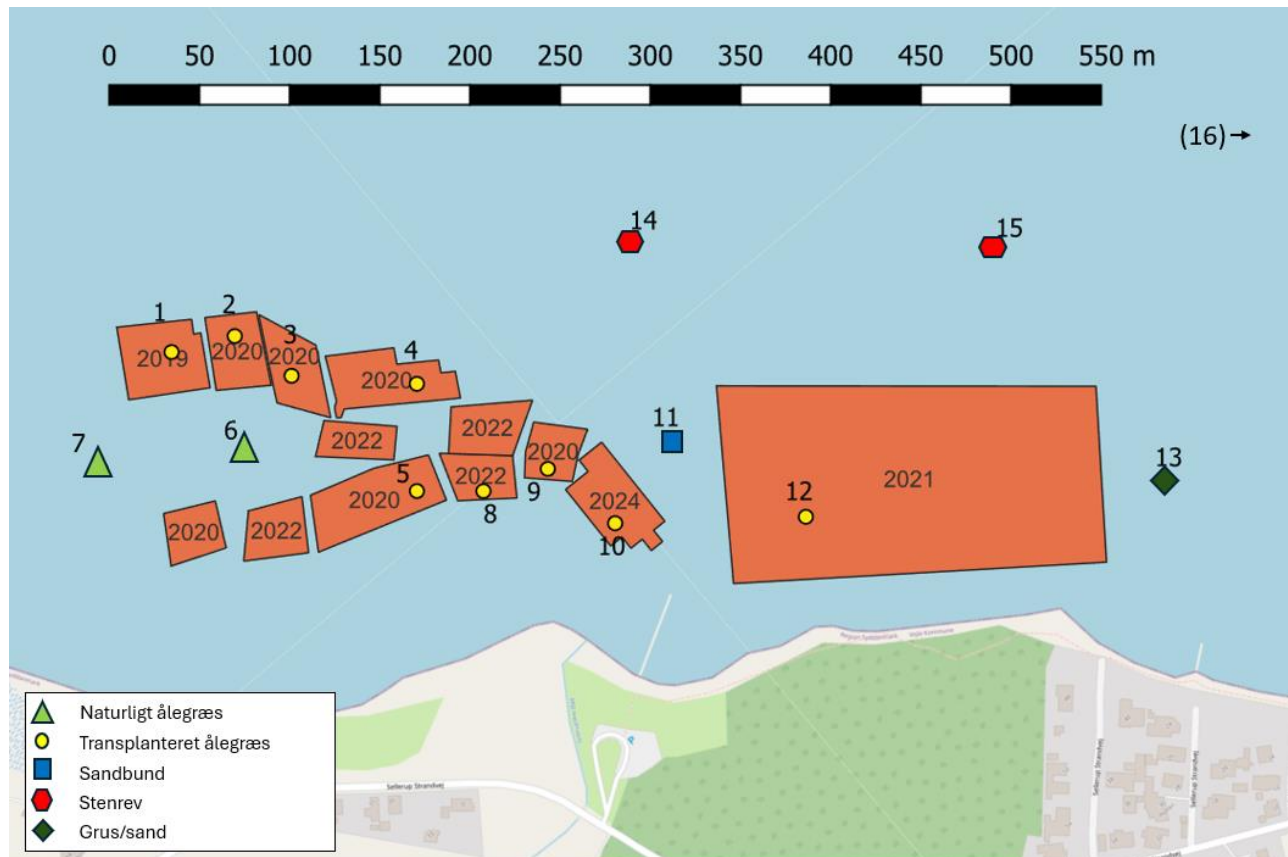
Vejle Fjord ligger nær Vejle i den sydøstlige del af Jylland (Meesenburg, 2014). De indre dele af fjorden har en dybde på maksimalt 5 meter, mens dybden i de ydre dele ligger mellem 10-21 m. Saliniteten i fjorden ligger typisk på 17-18 ‰ (Pedersen et al., 2023). Økosystemet i Vejle Fjord er præget af fjordens miljøtilstand. Denne kan kategoriseres som dårlig, grundet tilførsel af næringsstoffer fra oplandet i den indre del af fjorden. Næringsstofferne stammer fra landbrug, spildevand og dambrug, og strømmer ud i fjorden via vandløb (Lees et al., 2022). Således har mængden af nedbør også indflydelse på omfanget af udledningen (Hansen et al., 2023).

Udslippet af næringsstoffer har resulteret i en opblomstring af plankton og makroalger, særligt i inderfjorden (Lees et al., 2022). Herved indskrænkes udbredelsen af ålegræshabitater, og eutrofieringen kan desuden forårsage lave niveauer af ilt ved bunden, grundet iltforbruget ved nedbrydning af plankton (Thomas & Bowers, 2021). Dybden for hovedudbredelsen af ålegræs er mellem 1,9-2,6 meter, hvilket er lavere end målet i de danske vandområdeplaner på 5,7-7,3 meter (Lees et al., 2021). Af Miljøstyrelsen vurderes den økologiske tilstand for bundplanter i fjorden som ringe, mens den vurderes moderat for bentiske dyr (Miljøstyrelsen, 2023). I et forsøg på at forbedre den økologiske tilstand i fjorden, er der iværksat et naturgenopretningsprojekt, Sund Vejle Fjord, der siden 2018 har plantet ålegræs, udsat muslingebanker, anlagt stenrev og fisket krabber op (Center for Marin Naturgenopretning, n.d.). Krabber kan beskadige ålegræsbede når de graver i bunden efter mad og ly og derfor kan et højt antal krabber være ødelæggende for ålegræshabitater (Matheson et al., 2016). Gennemslagskraften af projektet er dog afhængigt af, at næringsstofftilførslen til fjorden reduceres (Center for Marin Naturgenopretning, n.d.).

5 Feltlokationer

Feltarbejdet er udført på udvalgte målestationer i Vejle Fjord, henholdsvis ved Sellerup Strand, Bybæk og Træskohage. På disse stationer er der enten naturligt ålegræs, transplanteret ålegræs, sandbund, stenrev eller muslingebanke. Et skema med alle stationer, koordinater, habitattype, dybde og alder på transplanteret ålegræs ses i bilag 1. Nedenstående kort viser den omtrentlige placering af stationerne i Sellerup. Muslingebanken (station 16) ligger til højre udenfor kanten af kortet. De orange firkanter markerer udbredelsen af de transplanterede ålegræsbede og årstallene er udplantningsårene. Der haves flest ilt- og temperaturmålinger fra naturligt- og transplanteret ålegræs, sandbund og

stenrev, og der fokuseres derfor i rapporten på disse mikrohabitater. Da der desuden ikke haves nogle iltmålinger fra Træskohage og der kun er en iltmåling fra Bybæk, der ikke er fra nogle af de overordnede habitattyper, fokuseres der på målingerne fra Sellerup Strand.



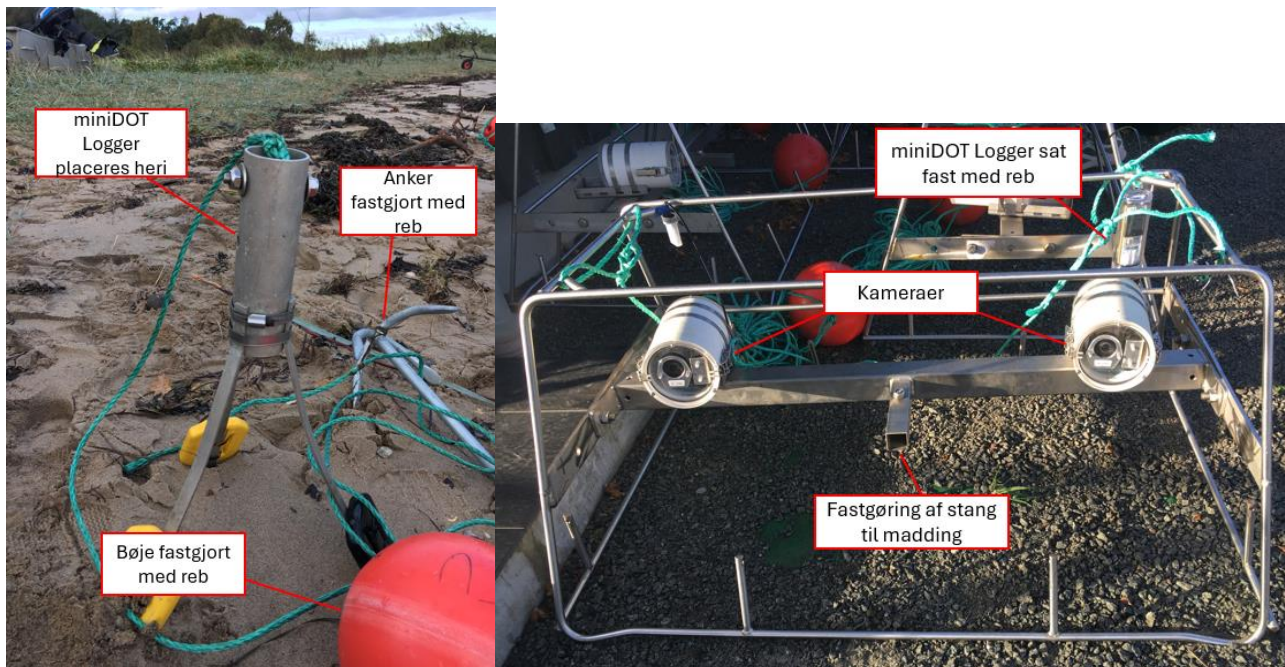
Figur 2 Kort over målestationer ved Sellerup Strand (kort modificeret fra (Rooth, 2024)).

6 Metode

6.1 Måling af opløst ilt og temperatur med miniDOT Logger

Indholdet af opløst ilt i vandet blev målt med tre miniDOT Loggere. To af dem blev placeret på hver sin BRUV/RUV, mens den sidste blev placeret i det dertil egnede stativ (figur 3a). Det var nødvendigt at sætte et anker fast til stativet for, at det ikke skulle flytte sig når det blev sat ud i vandet. Desuden blev der for både stativet og BRUV's/RUV's, bundet en bøjle med reb fast for at markere, hvor de stod i vandet. Disse blev da sat ud på stationerne i fjorden via båd, hvor de stod i et givent tidsinterval. Her målte de temperatur og iltkoncentration hvert 10. minut og målingerne blev gemt på miniDOT Loggerens SD kort. Tidspunktet for, hvornår de blev sat ud og taget op, blev noteret hver gang. Længden af intervallet afhang bl.a. af vejret og hvornår det var muligt at tage ud og flytte

instrumenterne. Således stod miniDOT Loggerne nogle gange flere dage på den samme station, mens de andre gange blev flyttet dagligt. Tiden fra de blev sat i vandet et sted til de blev taget op igen, kategoriseres i rapporten som en måleperiode.



Figur 3 a) Stativ til miniDOT Logger

b) RUV med miniDOT Logger monteret

6.2 Udsætning af BRUV's og RUV's, ruser, samt sigtbarhed og dybdemåling

Under feltarbejdet blev der også udsat stativer med undervandskameraer både med og uden madding, kaldet hhv. BRUV's og RUV's. Dette var stativer udstyret med to kameraer, samt en stang, hvortil madding kunne monteres (figur 3b). Disse blev ligeledes placeret på de forskellige stationer i fjorden fra en båd. Desuden blev der i den sidste uge af feltarbejdet udsat ruser ved udvalgte stationer, med det formål at undersøge, hvad og hvor meget der blev fanget. Ved hver station blev der derudover målt både sigtbarhed og dybde. Sigtheden blev målt vha. en secchi-disk, en hvid disk, der kan nedsænkes i vandet med et reb. Secchi-dybden er da den dybde, hvor disken ikke længere kan ses fra overfladen (Thomas & Bowers, 2021). Dybden blev ligeledes målt, enten med secchi-disken, elektronisk dybdemåler på skibet, eller en manuel dybdemåler. Den manuelle dybdemåler var et reb der havde længder markeret og som havde en vægt for enden.

6.3 Behandling af ilt- og temperaturdata

Efter feltturen blev data fra miniDOT loggerne behandlet i Python (bilag 3a-d). Det har på den måde været muligt at illustrere dataene med figurer. Ved databehandlingen har det ikke altid været muligt præcist at fastslå, hvornår iltmålerne er blevet tændt, da det ikke er blevet noteret efter hver gang de har været slukkede. Dette er vigtigt, da iltloggerne begynder at logge når de bliver tændt, men da det kun er målingerne i vandet der er relevante, vurderes de første målinger usikre og ikke nødvendigvis retvisende for miljøforholdene under vandoverfladen. I nogle tilfælde viser iltmålerne negativ iltkoncentration når de er i luft, hvorfor det på den måde har været muligt at fastslå hvornår de blev sat i vandet og dermed, hvornår de blev tændt. I et enkelt tilfælde, er temperaturmålingerne blevet brugt til at indikere, hvornår de kom i vandet ud fra, hvornår de første målinger bliver mere stabile. Dette er dog naturligvis en kilde til usikkerhed. Efter denne første filtrering af data, er der derfor foretaget en yderligere filtrering ved at fjerne de seks første og sidste målinger fra hver måleperiode, for at øge sikkerheden for, at dataene kun består af målinger, fra da iltmålerne har været i vandet. I enkelte tilfælde er det vurderet nødvendigt at fjerne lidt flere målinger, hvis eksempelvis iltmåleren har logget, når BRUV'en den har været monteret på, har været oppe af vandet for at få lys på. Hvilke tilfælde det er, står noteret ved figurerne i bilag 4 (bilag 4, figur 29, 74 og 78).

6.4 Omregning fra mg/L til procentvis iltmætning

Da miniDOT Loggeren måler iltkoncentrationen i mg/L, har det været nødvendigt at omregne koncentrationen til procentvis iltmætning. Dette er ligeledes gjort i Python (bilag 3a). Nedenfor gennemgås et eksempel, der viser metoden, der er blevet brugt. Der tages udgangspunkt i en måling, hvor temperaturen, t , er 11,015 °C og iltkoncentrationen, c , er 10,879 mg/L.

Først er det nødvendigt at kende vandets densitet. Den findes med formel (1), hvor densiteten er i kg/m³ (Millero & Poisson, 1981):

$$(1) \rho = \rho_0 + A \cdot S + B \cdot S^{\frac{3}{2}} + C \cdot S$$

Her er S saliniteten. Den sættes til 0, idet miniDOT Loggeren måler koncentrationen som hvis den er i ferskvand (pers. komm. Stedmon, 2024). ρ_0 , A , B og C er givet ved hhv. udtryk (2), (3), (4) og (5), der ved indsættelse af t giver:

$$(2) \rho_0 = 999,842594 + 6,793952 \cdot 10^{-2} \cdot t - 9,095290 \cdot 10^{-3} \cdot t^2 + 1,001685 \cdot 10^{-4} \cdot t^3 - 1,120083 \cdot 10^{-6} \cdot t^4 + 6,536336 \cdot 10^{-9} \cdot t^5 = 999,61$$

$$(3) A = 8,24493 \cdot 10^{-1} - 4,0899 \cdot 10^{-3} \cdot t + 7,6438 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 - 8,2467 \cdot 10^{-7} \cdot t^3 + 5,3875 \cdot 10^{-9} \cdot t^4 = 0,78769$$

$$(4) B = -5,72466 \cdot 10^{-3} + 1,0227 \cdot 10^{-4} \cdot t - 1,6546 \cdot 10^{-6} \cdot t^2 = -0,0047989$$

$$(5) C = 4,8314 \cdot 10^{-4}$$

Når ρ_0 , A og B er fundet på ovenstående vis, fås densiteten til følgende efter den omregnes til kg/L:

$$\rho = \frac{\rho_0 + A \cdot S + B \cdot S^2 + C \cdot S^3}{10^3 \text{ L/m}^3} = 0,99961 \frac{\text{kg}}{\text{L}}$$

Nu skal opløseligheden af ilt i vandet findes. Til dette bruges formel (6), der giver opløseligheden, C_0^* , i $\mu\text{mol/kg}$ (Garcia & Gordon, 1992; pers. komm. Stedmon, 2024):

$$(6) \ln(C_0^*) = A_0 + A_1 \cdot T_s + A_2 \cdot T_s^2 + A_3 \cdot T_s^3 + A_4 \cdot T_s^4 + A_5 \cdot T_s^5 + S \cdot (B_0 + B_1 \cdot T_s + B_2 \cdot T_s^2 + B_3 \cdot T_s^3) + C_0 \cdot S^2$$

T_s er den skalerede temperatur, S er saliniteten og de resterende koefficienter er konstanter, der er listet i bilag 2. Den skalerede temperatur findes på flg. vis med (7) (Garcia & Gordon, 1992):

$$(7) T_s = \ln\left(\frac{298,15-t}{273,15-t}\right) = 0,010397$$

T_s indsættes i (6) og C_0^* bliver derved:

$$C_0^* = e^{\ln(C_0^*)} = e^{5,8424} = 344,63 \frac{\mu\text{mol}}{\text{kg}}$$

Nu omregnes den målte koncentration i mg/L til $\mu\text{mol/L}$ ved at dividere med molarvægten for O_2 (pers. komm. Stedmon, 2024):

$$\frac{10,879 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}{32 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} \cdot 10^3 \frac{\mu\text{mol}}{\text{mol}} = 339,97 \frac{\mu\text{mol}}{\text{L}}$$

Dette omregnes til $\mu\text{mol/kg}$ ved at dividere med densiteten:

$$\frac{339,97 \frac{\mu\text{mol}}{\text{L}}}{0,9996 \frac{\text{kg}}{\text{L}}} = 340,10 \frac{\mu\text{mol}}{\text{kg}}$$

Da nu iltindholdet haves i samme enhed som opløseligheden, kan den procentvise iltmætning findes:

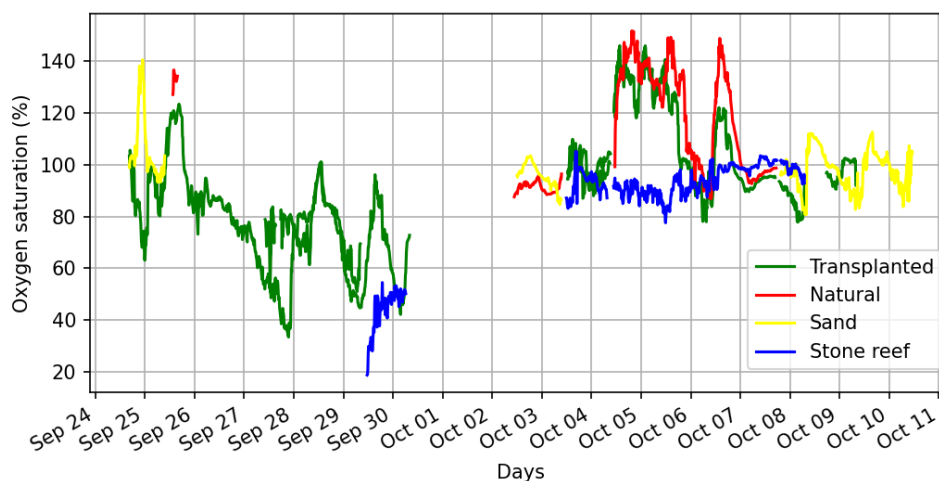
$$\frac{340,10 \frac{\mu\text{mol}}{\text{kg}}}{344,63 \frac{\mu\text{mol}}{\text{kg}}} \cdot 100 = 98,7\%$$

Iltmætningen er altså 98,7% når iltkoncentrationen er 10,879 mg/L og temperaturen er 11,015 °C.

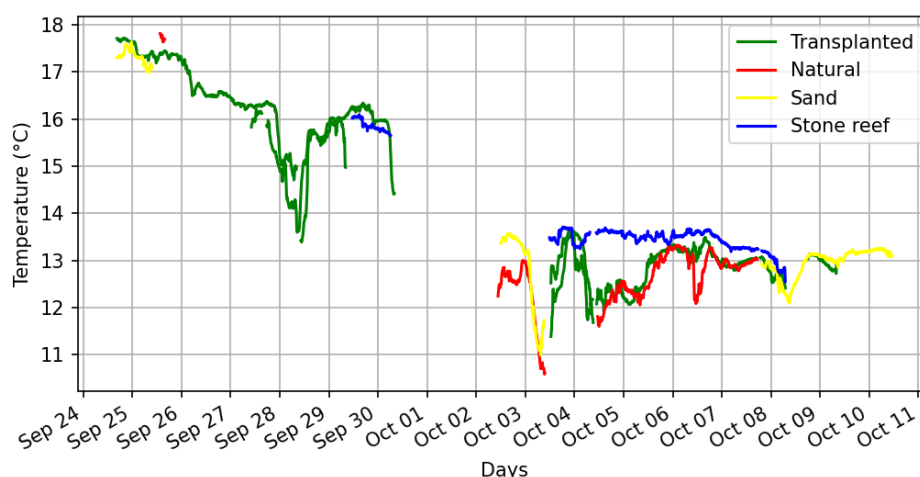
7 Resultater og diskussion

7.1 Overordnede tendenser

Generelt falder temperaturen i løbet af måleperioden mens iltmætningen stiger (figur 4 og figur 5). Temperaturen starter med at være omkring 18 °C, men falder i løbet af de tre uger til ca. 12-14 °C. Derudover er iltmætningen flere gange under 80% fra d. 25/9-30/9, mens den fra d. 2/10 og frem ligger mere stabilt mellem 80% og 100% og endda fra d. 4/10-7/10 flere gange når op over 140%. Udover disse overordnede tendenser, ses der også daglige svingninger i iltmætningen. Den begynder ofte at falde om eftermiddagen eller aftenen og stiger så igen om formiddagen, som det eksempelvis ses ved iltmætningen for transplanteret ålegræs d. 29/9-1/10 (figur 4). Dette gør sig særligt gældende ved målingerne i ålegræsbedene og på sandbund, mens tendensen ikke er lige så tydelig ved stenrevet.



Figur 4 Iltmætning i de 4 overordnede habitattyper gennem hele perioden.



Figur 5 Temperatur i de 4 overordnede habitattyper gennem hele perioden.

Det er nærliggende at tænke, at den stigende iltmætning i perioden skyldes temperaturfaldet. Da iltmætningen angiver forholdet imellem den maksimale opløselighed og iltkoncentrationen, er det dog ikke nok at kigge på iltmætningen for at konkludere dette. Ilt har nemlig højere opløselighed i koldt vand (Xing et al., 2014) og således er det ikke givet, at iltmætningen stiger ved temperaturfald. Det ses imidlertid, at iltkoncentrationen i enheden mg/L følger iltmætningen rimelig præcist i perioden og derved tiltager det absolutte indhold af ilt i vandet altså (bilag 4, figur 3). Det er derfor sandsynligt, at en årsag til den stigende iltmætning er temperaturfaldet.

I et forsøg på at undersøge, hvor stor en del af ændringen i iltmætning, der kan forklares af temperaturændringen, er der for hver måleperiode lavet lineær regression mellem temperatur og hhv. iltkoncentration og iltmætning med forklaringsgrad, R^2 , og Pearsons korrelationskoefficient, r (bilag

4, tabel 1 og 2). Forklaringsgraden beskriver, hvor tæt punkterne ligger på linjen i den lineære regression. Korrelationskoefficienten kan ligeledes indikere, hvor stor sammenhæng der er mellem to variable. Den kan være i intervallet -1 til 1, hvor positive værdier angiver en stigende tendens og negative værdier angiver en faldende tendens (Larsen, 2005). Her er det meget forskelligt for hver måleperiode, hvor meget af ændringen i iltmætningen, der kan tilskrives temperaturen ud fra forklaringsgraden og korrelationskoefficienten, og der ses ikke noget mønster ud fra de forskellige mikrohabitater eller datoer (tabel 1 og bilag 4, tabel 1 og 2). Således varierer R^2 -værdien for måleperioderne mellem 0,01-0,68 og den lineære regression viser endda i nogle tilfælde, at iltmætningen stiger med temperaturen (bilag 4). Ligeledes veksler værdien af korrelationskoefficienten meget og optræder både positiv og negativ, hvilket vil sige, at der også ud fra korrelationskoefficienten er måleperioder med positiv korrelation mellem temperatur og iltmætning (tabel 1 og bilag 4, tabel 1 og 2). Da det imidlertid forholder sig omvendt, og ilt har lavere opløselighed i varmt vand (Xing et al., 2014), betyder det at også andre faktorer end temperatur spiller en betydelig rolle for iltmætningen.

Habitat	Transplanteret ålegræs	Naturligt ålegræs	Sandbund	Stenrev
Total antal måleperioder	10	3	3	4
Måleperioder m. $0 < R^2 < 0,30$	5	2	1	2
Måleperioder m. $0,30 \leq R^2 \leq 0,50$	4	1	0	1
Måleperioder m. $R^2 > 0,50$	1	0	2	1
Måleperioder m. $r < -0,5$	5	1	0	1
Måleperioder m. $-0,5 < r < 0,0$	2	1	1	1
Måleperioder m. $0,0 < r < 0,5$	2	1	0	1
Måleperioder m. $0,5 < r$	1	0	2	1

Tabel 1 Antal måleperioder indenfor forskellige intervaller af R^2 og r i de fire udvalgte mikrohabitater.

En anden faktor der kan påvirke ændringen i iltmætningen, er fotosyntese. Den kan forklare de daglige svingninger som beskrevet i afsnit 2. Primærproducenterne laver fotosyntese om dagen, hvorfor iltniveauet stiger og efter solnedgang, når der ikke laves fotosyntese, forbruger organismene

i vandet mere ilt end der dannes. Skiftene kan sandsynligvis også til dels tilskrives de daglige temperaturændringers effekt på ligevægtsprocessen mellem vand og luft, idet temperaturændringerne potentielt kan ske hurtigere end der opstår ligevægt mellem vand og luft (YSI, 2019). Også vind, strøm og tilførsel af nyt vand kan spille ind (Hansen & Rytter, 2024). Hvis der eksempelvis strømmer veliltet vand ud fra et vandløb, kan det få iltmætningen til at stige, og kraftig vind kan ilte vandet. Ligeledes kan dybden have betydning for mængden af primærproducenter og opblanding i vandsøjlen fra vind (Hansen & Rytter, 2024; Webb, 2023). Altså er der mange lokale forhold, der kan påvirke iltmætningen.

7.2 Sammenligning af mikrohabitater

Da der var tre miniDOT loggere til feltarbejdet, er der ikke nogen dage med målinger fra alle fire mikrohabitater på samme tid. Dette gør det udfordrende at sammenligne alle habitaterne med hinanden samtidig. Det er dog mest sigende at kigge på perioden fra d. 3/10-8/10, da det er i denne periode der er indsamlet målinger fra flest mikrohabitater samtidig. Overordnet set er både ilt- og temperaturniveauet ved stenrevet rimelig stabilt, mens disse har større udsving på sandbund og i naturligt- og transplanteret ålegræs (figur 4 og figur 5). Særligt i dagene fra d. 4/10-6/10 er der væsentlig forskel på målingerne fra naturligt- og transplanteret ålegræs og på målingerne fra stenrev. Her er iltmætningen ved stenrevet ca. 80%-100% og temperaturen ligger stabilt omkring 13,5 °C (figur 4 og figur 5). I samme periode er iltmætningen i ålegræsbedene over 140% flere gange og når kun ned på ca. 90% natten til den 6/10. Desuden ses det, at temperaturen i transplanteret ålegræs falder brat fra ca. 13,5-11,8 °C d. 4/10. Der haves kun temperaturmålinger fra naturligt ålegræs efter dette fald, men temperaturen i de to mikrohabitater følger stort set hinanden.

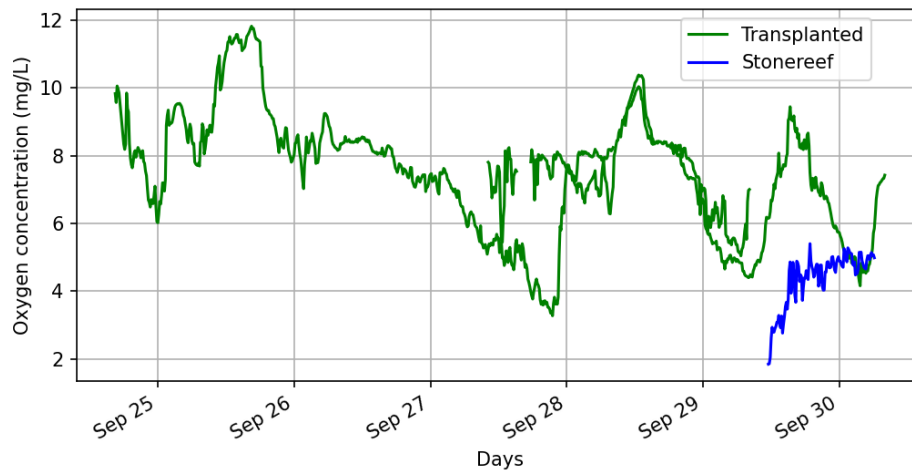
Det er muligt, at forskellen i iltmætningen ved stenrevet og i naturligt- og transplanteret ålegræs fra d. 4/10-6/10 skyldes temperaturforskellen mellem ålegræshabitaterne og stenrevet. Korrelationskoefficienten for sammenhængen mellem temperatur og iltmætning hos naturligt- og transplanteret ålegræs i den gældende måleperiode d. 4/10-7/10 er på hhv. -0,57 og -0,72 og således er der altså en vis sammenhæng mellem temperatur og iltmætning (bilag 4, tabel 2). Det samme gør sig gældende ved stenrevet, hvor korrelationskoefficienten er -0,48 i måleperioden. Dette forklarer dog ikke overmætningen og det er derfor ikke plausibelt, at det alene skyldes temperaturforskellen. Ser man på vejret disse dage, var det forholdsvist vindstille med en middelvind på 0,9-2,4 m/s, og der var hver dag 5,6-7 solskinstimer (DMI, 2024). Den svage vind gør det usandsynligt, at overmætningen er forårsaget af iltning fra vinden, men solskinstimerne muliggør fotosyntese. Der er

en væsentlig masse af primærproducenter i ålegræsbedene, mens den sandsynligvis er mindre ved stenrevet, grundet den forholdsvis høje dybde på 3,7-4,8 meter, der forringer lysforholdene (bilag 1). En potentiel kilde til forskellen på iltmætningen i habitaterne i denne periode kan altså være, at der har været mere fotosyntese i ålegræsbedene sammenlignet med stenrevet.

Der er ikke iltmålinger fra sandbund i dagene 4/10-6/10 og det er således ikke muligt at sammenligne dette habitat med de andre i denne periode. Dog ses det, at iltmætningen i dagene efter (d. 8/10-10/10) når op på ca. 110% og har større daglige udsving end der var ved stenrevet d. 4/10-6/10, om end iltmætningen ikke er lige så høj som i ålegræsbedene d. 4/10-6/10 (figur 4). At iltmætningen er højere på sandbund end ved stenrevet, kan skyldes forskellen på mængden af primærproducenter, hvilket hænger sammen med dybdeforskellen for de to målestationer. Ved station 11, hvor sandbundsmålingerne er lavet, er dybden målt til ca. 1,5 meter og er altså noget lavere end dybden ved stenrevet (bilag 1). Det er derfor sandsynligt, at der har været flere alger i vandsøjlen på sandbunden, hvilket øger omfanget af fotosyntese. Dog skal det huskes, at målingerne ikke er fra samme tidspunkt og således kan også forskellige vejrforhold spille en rolle. Endelig kan også varierende strømningsforhold skabe forskelle på iltmætningen i alle mikrohabitaterne.

7.3 Lave iltkoncentrationer

Ud fra figur 4 viser hovedparten af målingerne en iltmætning på 80%-100% og der er i de fleste tilfælde ikke tegn på iltsvind. Dog ses der d. 27/9 i transplanteret ålegræs en iltkoncentration, der når under 4 mg/L, svarende til en iltmætning på mindre end 40%, hvilket karakteriseres som moderat iltsvind (figur 4 og figur 6) (Hansen et al., 2023). Iltkoncentrationen er faldende fra sidst på dagen d. 26/9, men er kun under 4 mg/L i ca. 4 timer d. 27/9 (bilag 4, figur 33). Ydermere ses ved stenrevet d. 29/9 en iltkoncentration på under 2 mg/L eller mindre end ca. 20% iltmætning (figur 4 og figur 6). Dette svarer til kritisk iltsvind, der defineres som en iltkoncentration på <2 mg/L (Hansen et al., 2023). Iltkoncentrationen er stigende i perioden efter og når op over 4 mg/L efter ca. 4,5 timer, hvor det altså ikke længere kan kategoriseres som iltsvind (bilag 4, figur 74).



Figur 6 Iltkonzentration på stenrev og i transplanteret ålegræs fra d. 24/9-30/9

Den 27/9 2024 var der et kraftigt regnskyl i Jylland, hvor særligt Vejle blev hårdt ramt (Oien et al., 2024). Dette kan muligvis forklare de lave iltkonzentrationer, der måles i dagene omkring skybruddet. Grundet den voldsomme nedbør, er større mængder vand fra tilstødende vandløb strømmet ud i fjorden og dermed er tilførslen af næringsstoffer og organisk materiale fra land steget (Hansen & Rytter, 2024). Dette kan have øget eutrofieringsgraden, hvilket forårsager en større nedbrydelse af organisk stof. Da nedbrydelsesprocessen forbruger ilt, kan det altså resultere i de lave iltkonzentrationer, der måles (Thomas & Bowers, 2021). Når iltkonzentrationen desuden er lavere ved stenrevet end i transplanteret ålegræs kan det skyldes dybdeforskellen. Stenrevet er dybere end ålegræsbedene og udover en mindre masse af primærproducenter, iltet vandet ikke lige så hurtigt, hvis det eksempelvis blæser. Derved kan der nemmere opstå lagdeling, hvilket kan betyde at mindre ilt er tilgængeligt ved bunden (Ærtebjerg et al., 2007; Thomas & Bowers, 2021). Desuden kan også strømningsforhold spille en rolle (Hansen & Rytter, 2024). Hvis der tilføres mere nyt vand ved ålegræsbedene end ved stenrevet, kan det have betydning for iltkonzentrationen.

7.4 Perspektivering

Skal lignende undersøgelser udføres igen, kan det være en fordel at have minimum en iltmåler pr. mikrohabitat, da det herved bliver muligt at sammenligne alle mikrohabitater med hinanden indenfor samme tidsperiode. På den måde kan det udelukkes, at forskelle skyldes ændrede forhold i solskinstimer, vind etc. Det kan også gøre målingerne mere sammenlignelige, hvis der indsamles lige mange målinger fra hvert mikrohabitat. Der er flere målinger fra transplanteret ålegræs end de andre habitater (bilag 4, tabel 1) og sammenligningsgrundlaget ville være større, hvis der var flere målinger i de andre habitater. Derudover mindskes usikkerheden ved målingerne, hvis tidspunktet bliver

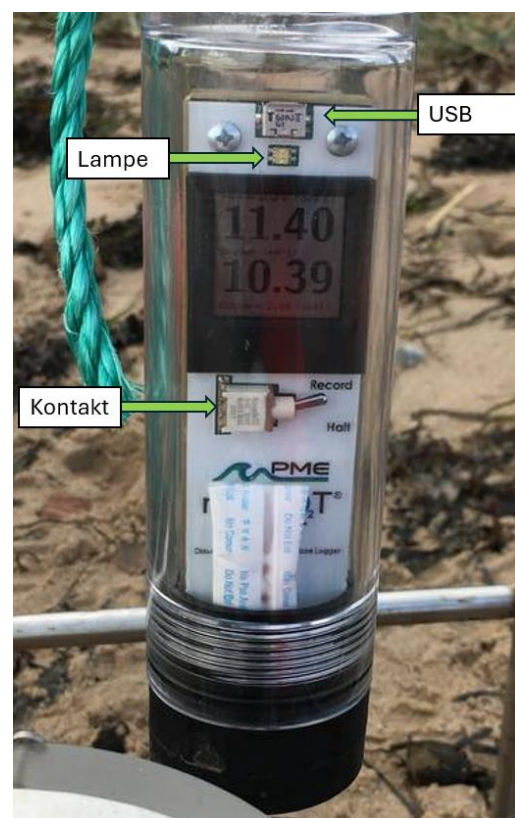
noteret når miniDOT Loggeren tændes. Herved vides det præcis, hvor lang tid den har været over vand og dermed, hvor mange målinger, der skal ses bort fra.

De bagvedliggende årsager til iltmætningen kan undersøges grundigere ved at bestemme massen af primærproducenter ved hver målestation. Dette kan indikere, hvor stor indflydelse fotosyntese har på iltindholdet i vandet. Desuden kan havstrømme i området undersøges for derved at kortlægge, hvor stor indflydelse strømningsforhold kan have i de enkelte habitater. Endelig kan det give et bedre overblik over ilt- og temperaturforholdene i fjorden, hvis undersøgelserne udføres på flere forskellige årstider, da forholdene for ilt og temperatur ændrer sig i løbet af året.

8 Vejledning til brug af miniDOT Logger

Nedenstående er en vejledning til hvordan man benytter en miniDOT Logger til at måle temperatur- og iltkoncentration i vand.

1. Åben miniDOT Loggeren ved at skrue plasticlåget af. Tænd den ved at skubbe kontakten fra 'halt' til 'record' (figur 7) og noter det præcise tidspunkt den bliver tændt. Lampen på loggeren blinker grønt 5 gange (PME, 2021). Sørg for at låget skrues ordentligt på igen, så der ikke trænger vand ind under låget.
2. Fjern det sorte låg på bunden af loggeren. Hvis stativ til iltlogger haves, nedsættes miniDOT Loggeren i det. Ellers fastgøres den til det ønskede redskab. Det er vigtigt, at den ikke flytter sig fra stedet hvor den udsættes, så sørg for at stativet/redskabet bliver samme sted, evt. ved brug af et anker. Det er også en god idé at fastgøre en bøjle til stativet/redskabet, så det nemt kan findes igen.
3. miniDOT Loggeren kan nu sættes ud i vandet. Det præcise tidspunkt for udsættelsen noteres.
4. Når miniDOT Loggeren tages op af vandet, skal dette tidspunkt ligeledes noteres. miniDOT Loggeren tørres af, bortset fra selve sensoren, og



Figur 7 miniDOT Logger

- slukkes derefter ved at skubbe kontakten til 'halt' igen (PME, 2021). Tidspunktet for slukning skal også noteres. Det sorte låg sættes fast på bunden igen for at beskytte sensoren.
5. Når data skal overføres, tilsluttes miniDOT Loggeren en computer via USB-stikket (figur 7). Den vises nu som en ekstern harddisk på computeren. Den åbnes og der ses en mappe navngivet med serienummeret for miniDOT Loggeren, eksempelvis '003954'.
 6. Mappen kopieres til computeren og derved er dataene overført.

Bemærk:

miniDOT Loggeren gemmer data i den samme fil i 24 timer, startende fra når den tændes. Filen er navngivet med datoen for den dag iltloggeren tændes. Tændes den eksempelvis d. 9/10 kl. 9, logges dataene i en fil navngivet med denne dato frem til d. 10/10 kl. 9, hvorefter der logges i en ny fil med den nye dato. Således kan data fra en dag godt ligge i en fil navngivet med datoen for dagen før. Det er derfor vigtigt at kende de præcise tidspunkter den tændes og slukkes, så det kan identificeres, hvilke data der stammer fra hvilke dage.

9 Konklusion

Den overordnede tendens for iltmætningen i perioden er stigende mens den for temperaturen er faldende. Der ses daglige udsving i iltmætningen ved sandbund samt i naturligt- og transplanteret ålegræs, mens disse er mindre tydelige ved stenrevet. Særligt ses forskellen i dagene d. 4/10-6/10, hvor iltmætningen er ca. 140% i naturligt- og transplanteret ålegræs, mens den er stabil omkring 80% ved stenrevet. På sandbunden når den i dagene efter op på ca. 110%. Størstedelen af målingerne har en iltmætning på >80%. En enkelt gang måles der hhv. moderat og kritisk iltsvind i et transplanteret ålegræsbed og ved stenrevet. Dette er dog kortvarigt i 4-4,5 timer og skyldes højst sandsynligt et voldsomt regnskyl i Vejle d. 27/9, hvor øgede mængder af næringsstoffer og organisk materiale er skyllet ud i fjorden.

Det er sandsynligt, at temperaturfaldet i perioden er en af årsagerne til stigningen i iltmætningen, da iltkoncentrationen følger iltmætningen temmelig præcist i perioden. Dette understøttes af de måleperioder der har en negativ korrelationskoefficient og betydelig forklaringsgrad mellem temperatur og iltmætning. Dog er der også måleperioder der indikerer, at iltmætningen stiger med temperaturen ud fra den lineære regression og positiv korrelationsfaktor. Da dette ikke kan lade sig gøre alene ud fra temperaturen må det betyde, at også andre elementer påvirker iltmætningen.

Når der måles størst udsving i iltmætningen i ålegræsbedene, kan det skyldes, at massen af primærproducenter er højest her. Disse producerer ilt ved fotosyntese om dagen, hvor iltmætningen stiger og om natten forbruges ilten, hvorfor iltmætningen falder. Dette kan også forklare, hvorfor iltmætningen på sandbunden bliver højere end ved stenrevet. På sandbunden er dybden 1,5 m mens den ved stenrevet er 3,7-4,8 m, hvilket skaber bedst forhold for primærproducenter ved sandbundsstationen. Ligeledes kan den høje dybde ved stenrevet betyde, at der nemmere opstår lagdeling og vinden ikke skaber lige så meget bevægelse i vandet som ved lavere dybder, hvilket kan gøre iltmætningen lavere. Endelig kan havstrømme, der tilfører nyt vand også påvirke iltmætningen. Der er altså mange lokale faktorer, der styrer iltmætningen i mikrohabitaterne.

10 Referencer

- Ærtebjerg, G., Carstensen, J., & Christensen, P. B. (2007). Varmere klima giver mere iltsvind. *Aktuel Naturvidenskab*.
- Center for Marin Naturgenopretning. (n.d.). *Sund Vejle Fjord*. Retrieved November 23, 2024, from <https://marinnatur.dk/projekter/sund-vejle-fjord/>
- Damborg, M. R. (2024). Vejle Fjord blev begravet af flere hundrede mennesker. *Danmarks Radio*. <https://www.dr.dk/nyheder/indland/vejle-fjord-blev-begravet-af-flere-hundrede-mennesker>
- Den Hartog, C. (1970). *THE SEA-GRASSES OF THE WORLD*.
- DMI. (2024). *Vejrarkiv*. <https://www.dmi.dk/vejrarkiv>
- Duarte, C. M. (1991). SEAGRASS DEPTH LIMITS. *Aquatic Botany*, 40(4), 363–377. [https://doi.org/10.1016/0304-3770\(91\)90081-F](https://doi.org/10.1016/0304-3770(91)90081-F)
- Fondriest Environmental Inc. (2013, November 19). *Dissolved Oxygen*. <https://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/water-quality/dissolved-oxygen/>
- Garcia, H. E., & Gordon, L. I. (1992). OXYGEN SOLUBILITY IN SEAWATER - BETTER FITTING EQUATIONS. *Limnology and Oceanography*, 37(6), 1307–1312. <https://doi.org/10.4319/lo.1992.37.6.1307>
- Hansen, J. W., Høgslund, S., Bruhn, A., Buur, H., Carstensen, J., Dahl, K., Galatius, A., Göke, C., Hansen, J. L. S., Kyhn, L. A., Larsen, M. M., Markager, S., Mohn, C., Nielsen, R. D., Petersen, I. K., Strand, J., Stæhr, P. A., Sveegaard, S., Tairova, Z., ... Tougaard, J. (2023). *Marine områder 2021: NOVANA*. Århus Universitet.
- Hansen, J. W., & Rytter, D. (2024). *Iltsvind i danske farvande 29. august – 25. september 2024*.
- Jensen, K. S. (2015). *Ilt - i søer i Naturen i Danmark*. https://naturenidanmark.lex.dk/Ilt_-_i_s%C3%B8er

- Krause-Jensen, D., & Rasmussen, M. B. (2009). *Historisk udbredelse af ålegræs i danske kystområder*.
- Larsen, M. O. (2005). *VIDEREGÅENDE STATISTIK II Regressionsanalyse (TI-89 og Statgraphics)*. www.larsen-net.dk
- Lees, M. K., Flindt, M. R., & Canal-Vergés, P. (2021). *Environmental status and modelling effort in Vejle Fjord*.
- Lees, M. K., Flindt, M. R., & Canal-Vergés, P. (2022). *Modelaktivitet i projekt Sund Vejle Fjord*.
- Matheson, K., McKenzie, C. H., Gregory, R. S., Robichaud, D. A., Bradbury, I. R., Snelgrove, P. V. R., & Rose, G. A. (2016). Linking eelgrass decline and impacts on associated fish communities to European green crab *Carcinus maenas* invasion. *Marine Ecology Progress Series*, 548, 31–45. <https://doi.org/10.3354/meps11674>
- Meesenburg, H. (2014). *Den Store Danske: Vejle Fjord*. https://lex.dk/Vejle_Fjord
- Miljøstyrelsen. (2023). *MiljøGIS for høring af vandområdeplaner 2021-2027*. <https://miljoegis.mim.dk/spatialmap?profile=vandrammedirektiv3hoering2021>
- Millero, F. J., & Poisson, A. (1981). INTERNATIONAL ONE-ATMOSPHERE EQUATION OF STATE OF SEAWATER. *Deep-Sea Research Part A-Oceanographic Research Papers*, 28(6), 625–629. [https://doi.org/10.1016/0198-0149\(81\)90122-9](https://doi.org/10.1016/0198-0149(81)90122-9)
- Munksgaard, M. M. (2024). Den blev symbolet på iltsvind i danske farvande: Nu åbner regeringen for at slække på indsatsen ved Vejle Fjord. *Altinget*. <https://www.altinget.dk/artikel/den-blev-symbolet-paa-iltsvind-i-danske-farvande-nu-aabner-central-rapport-for-at-slaekke-paa-indsatsen-ved-vejle-fjord>
- Oien, M., Mørck, A. H., Zeitzen, R., Stephensen, E. K., Nyholm, A., Damsbo, J., Mouritzen, J., & Ørbæk, K. S. (2024). *Enorme regnmængder sætter nye vejrrrekorder*. TV2. <https://vejrv2.dk/live/2024-09-27-enorme-regnmaengder-saetter-nye-vejrrrekorder>

- Pedersen, E. M., Schiønning, M. K., Kokkalis, A., van Deurs, M., Pedersen, M. I., Brown, E. J., Olsen, J., & Støttrup, J. G. (2023). *Registrering af fangster med standardredskaber i de danske kystområder: Nøglefiskerrapport for 2020-2022*. DTU Aqua.
- pers. komm. Stedmon, C. (2024). *E-mail korrespondance*.
- PME. (2021). *miniDOT Logger User's manual*.
- Rooth, D. (2024). *Kort over målestationer*.
- Stubgaard, K. (2021). *Kystbiologi*. DTU. <https://www.fiskepleje.dk/kyster/kystbiologi>
- Thomas, D. N., & Bowers, D. G. (2021). *Introducing Oceanography*. Dunedin Academic Press,.
- Webb, P. (2023). *Introduction to Oceanography*. Pressbooks. <http://rwu.pressbooks.pub/webboceanography>
- Xing, W., Yin, M., Lv, Q., Hu, Y., Liu, C., & Zhang, J. (2014). 1 - Oxygen Solubility, Diffusion Coefficient, and Solution Viscosity. In W. Xing, G. Yin, & J. Zhang (Eds.), *Rotating Electrode Methods and Oxygen Reduction Electrocatalysts* (pp. 1–31). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63278-4.00001-X>
- YSI. (2019). *Environmental Dissolved Oxygen*.

11 Bilag

11.1 Bilag 1: Skema over målestationer

Station	Lokation	Habitattype	Højest målte dybde [m]	Lavest målte dybde [m]	Udplantnings-år	Koordinater
1	Sellerup	Transplanteret	1,5	1,35	2019	N55° 41.319' E9° 40.707'
2	Sellerup	Transplanteret	1,75	1	2020	N55° 41.303' E9° 40.736'
3	Sellerup	Transplanteret	1,6	1,2	2020	N55° 41.287' E9° 40.752'
4	Sellerup	Transplanteret	1,6	1,35	2020	N55° 41.275' E9° 40.787'
5	Sellerup	Transplanteret	1,35	1,3	2020	N55° 41.233' E9° 40.762'
6	Sellerup	Naturligt	1,5	1,25		N55° 41.281' E9° 40.718'
7	Sellerup	Naturligt	1,3	0,4		N55° 41.310' E9° 40.646'
8	Sellerup	Transplanteret	1,6	1,3	2022	N55° 41.229' E9° 40.785'
9	Sellerup	Transplanteret	1,5	1,45	2020	N55° 41.218' E9° 40.827'

10	Sellerup	Transplanteret		1,4	2024	N55° 41.193' E9° 40.835'
11	Sellerup	Sand	1,5	1,45		N55° 41.194' E9° 40.877'
12	Sellerup	Transplanteret	2,4	1,75	2021	N55° 41.160' E9° 40.917'
13	Sellerup	Grus/sand	2,2	1,75		N55° 41.091' E9° 41.067'
14	Sellerup	Stenrev		5		N55° 41.262' E9° 40.930'
15	Sellerup	Stenrev	4,75	3,7		N55° 41.186' E9° 41.028'
16	Sellerup	Muslinge- banke				N55° 41.097' E9° 41.182'
BB (sand)	Bybæk	Sand		2,1		
BB (0070)	Bybæk	Transplanteret		1,15	2020	N55° 42.319' E9° 35.278'
BB (0022)	Bybæk	Blandet vegetation				N55° 42.328' E9° 35.273'
TH (0072)	Træsko- hage	Kontrol		3		N55° 40.739' E9° 45.538'
TH (0071)	Træsko- hage	Transplanteret		5,1	2024	N55° 40.787' E9° 45.653'

TH (0073)	Træskoha ge	Transplanteret		5,5	2024	N55° 40.725' E9° 45.532'
--------------	----------------	----------------	--	-----	------	-----------------------------

11.2 Bilag 2: Konstanter til udregning af opløselighed

Konstantnavn	Værdi
A0	5,80871
A1	3,20291
A2	4,17887
A3	5,10006
A4	-0,0986643
A5	3,80369
B0	-0,00701577
B1	-0,00770028
B2	-0,0113864
B3	-0,00951519
C	-0,000000275915

Konstanter haves fra (Garcia & Gordon, 1992).