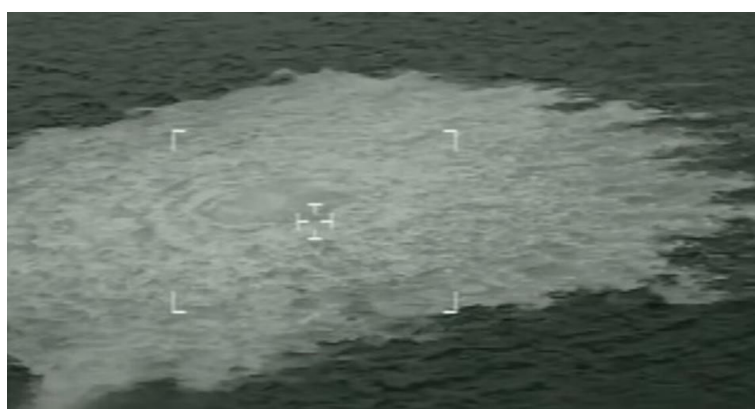


Vurdering af potentielle effekter af gaslækken fra Nord Stream 1 & 2

Analyse af overvågningsdata fra Bornholmsdybet

Fagligt notat fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

Dato: 15. februar 2023 | 11



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Datablad

Fagligt notat fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

Kategori: Rådgivningsnotat

Titel: Vurdering af potentielle effekter af gaslækken fra Nord Stream 1 & 2
Undertitel: Analyse af overvågningsdata fra Bornholmsdybet

Forfatter(e): Jacob Carstensen
Institution(er): Institut for Ecoscience

Faglig kommentering: Jens Würgler Hansen
Kvalitetssikring, DCE: Anja Skjoldborg Hansen
Sproglig kvalitetssikring: Else Vihlborg Staalsen

Ekstern kommentering: Miljøstyrelsen. Kommentarerne findes her:
http://dce2.au.dk/pub/komm/N2023_11_komm.pdf

Rekvirent: Miljøstyrelsen

Bedes citeret: Jacob Carstensen. 2022. Vurdering af potentielle effekter af gaslækken fra Nord Stream 1 & 2. Analyse af overvågningsdata fra Bornholmsdybet. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 14 s. - - Fagligt notat nr. 2023|11
https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notater_2023/N2023_11.pdf

Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse

Foto forside: Forsvaret.dk

Sideantal: 14

Indhold

1	Indledning	4
2	Datagrundlag	5
3	Fysiske forhold	6
4	Kemiske forhold	10
5	Konklusion	13
6	Referencer:	14

1 Indledning

Miljøstyrelsen (MST) har d. 14/11 2022 anmodet DCE om en opfølgning på gaslæk-sagen ved Bornholm på basis af overvågningsdata indsamlet i månederne efter eksplosionerne på rørledningerne Nord Stream 1 og 2. MST ønsker en vurdering af, om hændelsen har givet anledning til effekter på havmiljøet i området. Danske, svenske og tyske myndigheder overvåger en 90 meter dyb station i Bornholmsdybet, som ligger ca. 40 km SSØ for det nordlige gaslæk og ca. 60 km NØ for det sydlige gaslæk. MST overvåger stationen i Bornholmsdybet (BRKBMPK2) seks gange om året, de svenske myndigheder (SMHI) overvåger stationen (med navnet BY5 BORNHOLMSDJ i det svenske overvågningsprogram) ca. hver måned, og de tyske myndigheder overvåger stationen (med navnet TF0213 i det tyske overvågningsprogram) ca. 5 gange årligt. Polske myndigheder overvåger ikke stationen, så vidt det vides. Ved overvågningen indsamles vandprøver til analyse af næringsstofs- og iltkoncentrationer i diskrete dybder, og der foretages karakterisering af vandsøjlen fysiske og kemiske (ilt) struktur.

I dette notat undersøges forholdene omkring de vandkemiske forhold og lagdeling af vandsøjlen på stationen i Bornholmsdybet i perioden efter eksplosionerne på Nordstream 1 og 2 d. 26. september 2022, og disse sammenlignes med forholdene generelt i de seneste 10 år (2012-2022).

2 Datagrundlag

Danske overvågningsdata fra 2012 og frem er trukket fra de nationale databaser. Der blev indsamlet data på overvågningsstationen d. 26. september kl. 16:09, dvs. på selve dagen for eksplosionerne, som fandt sted kl. 2:03 (sydlige eksplosionssted) og 19:03 (nordlige eksplosionssted). Efter eksplosionerne er der foretaget profilmålinger og indsamlet diskrete prøver fra stationen d. 13. oktober 2022. Der er ikke foretaget yderligere indsamling af data fra stationen i den danske overvågning inden udarbejdelsen af dette notat. Siden 2012 er stationen blevet overvåget i alt 62 gange frem til 13. oktober 2022.

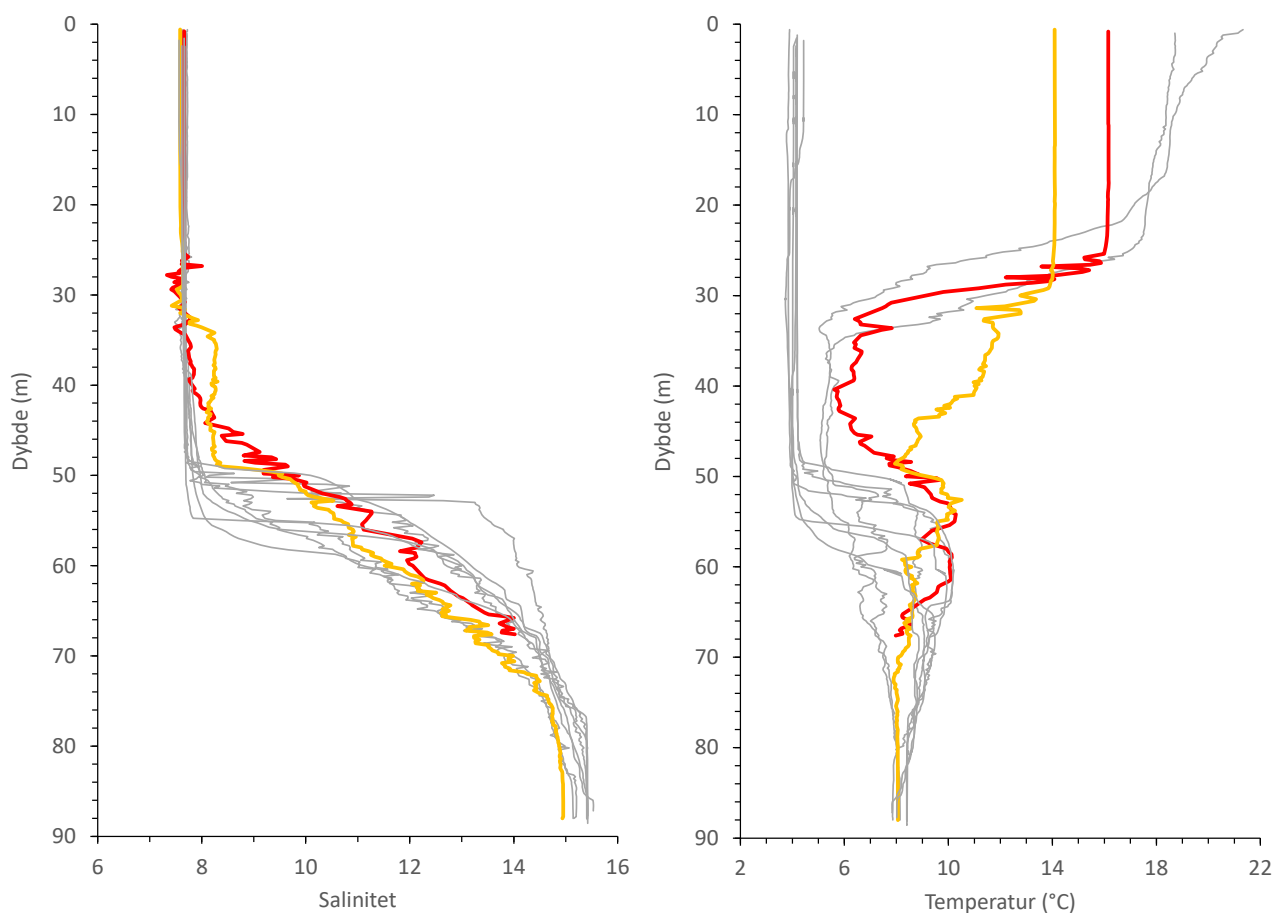
Svenske overvågningsdata er downloadet fra <https://sharkweb.smhi.se>. Siden 2012 er der foretaget 117 svenske overvågninger på stationen, hvoraf de to seneste er foretaget efter eksplosionerne på Nordstream 1 & 2 (21. oktober og 11. november 2022). Disse data indeholder data fra diskrete dybder, dvs. næringsstoffer, klorofyl, salt og temperatur, hvorimod det ikke har været muligt at få analyseret kontinuerte profiler inden for rammerne af dette projekt, da disse data ikke umiddelbart er tilgængelige.

Tyske overvågningsdata er downloadet fra <https://odin2.io-warnemunde.de>. Siden 2012 er der foretaget 100 tyske prøvetagninger på stationen, hvor de senest tilgængelige data er fra 2. april 2022, dvs. før eksplosionerne. Data indeholder både kontinuerte vandsøjleprofiler og analyser af diskrete vandprøver. Derudover er der fremsendt to vandsøjleprofiler fra 7. og 13. august, som også er foretaget før eksplosionerne på Nordstream 1 & 2. Disse to profiler var leveret i et rå dataformat og bidrager ikke med yderligere information til vurdering af potentielle effekter af gaslækken. Derfor er de ikke medtaget i nedenstående analyser.

Samlet er der siden 2012 således data fra 279 prøvetagninger før eksplosionerne og fra tre prøvetagninger efter eksplosionerne.

3 Fysiske forhold

Bornholmsdybet har en maksimal dybde på omkring 90 m og er karakteriseret ved en permanent haloklin (salinitetspringlag) i 55-60 m dybde og en sæsonmæssig termoklin (temperaturspringlag), som ligger i 20-30 m dybde (Figur 1). Haloklinen er meget markant i forbindelse med saltvandsindtrængninger fra Kattegat over tærsklerne ved den sydlige ende af Øresund (Drogden) og den østlige ende af Femern Bælt (Darss), hvor der dannes en meget skarp adskillelse af vandmasserne. Dybden på haloklinen er bestemt af Slupsk-tærsklen (eller Stolpe-kanalen), som forbinder Bornholmsdybet med Gotlandsdybet. Dette betyder, at saltvandsindtrængninger, som ligger over tærskedybden på 63 m, vil fortsætte ind i Gotlandsdybet (Zhurbas et al. 2012). Termoklinen er meget markant i sommermånederne, hvorimod den er fraværende i vintermånederne. Der ses dog en temperaturgradient i forbindelse med haloklinen, hvilket skyldes, at bundvandet generelt er varmere end det sæsonmæssige mellemlag og overfladelaget i vinterhalvåret, hvor der er fuld opblanding ned til ca. 50 m.



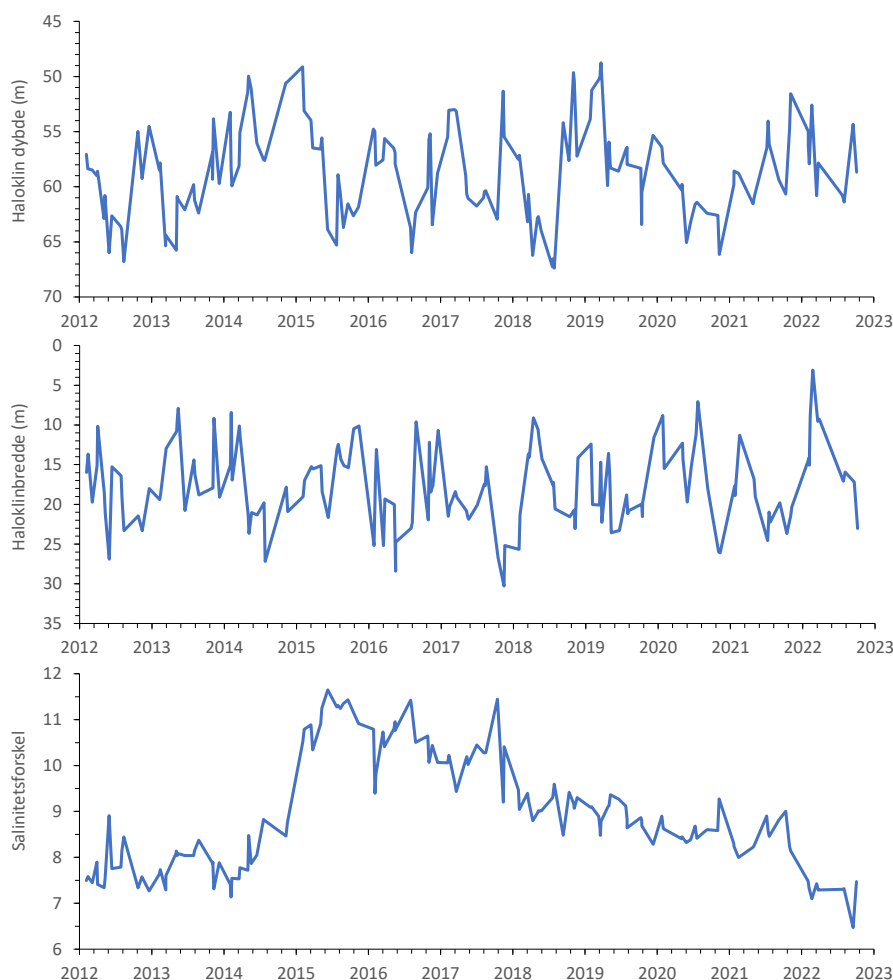
Figur 1. Profiler fra Bornholmsdybet i 2022. De to profiler under og efter eksplosionerne er vist med rød (26. september) og gul (13. oktober).

For at vurdere sæsonmæssige ændringer i lagdelingen er salinitets- og temperaturprofilerne tilpasset med en normalfordelingsfunktion, som tilnærmelsesvis beskriver overgangen mellem to vandmasser (Carstensen et al. 2014).

For hver profil bestemmes tre parametre for henholdsvis haloklinen og termoklinen: 1) dybdepositionen af springlaget (middelværdi i normalfordelingen), 2) bredden af springlaget, hvor gradienten i salinitet/temperatur er størst (to gange spredningen i normalfordelingen), 3) ændringen i salinitet/temperatur over springlaget (faktor for normalfordelingen).

Dybden for haloklinen har ligget relativt stabilt mellem 50 og 65 m siden 2012, hvor størstedelen af ændringen i salinitet sker over et ~20 m vandlag (Figur 2). Forskellen i salinitet over haloklinen var omtrent 8 i starten af tidsserien, men steg kraftigt i starten af 2015 i forbindelse med den store saltvandsindtrængning i december 2014. Efterfølgende er salinitetsforskellen hen over haloklinen gradvist reduceret og er i 2022 på niveau med perioden før den store saltvandsindtrængning. De to seneste observationer af haloklinen i 2022 afviger ikke fra det overordnede mønster og ændringer over tid.

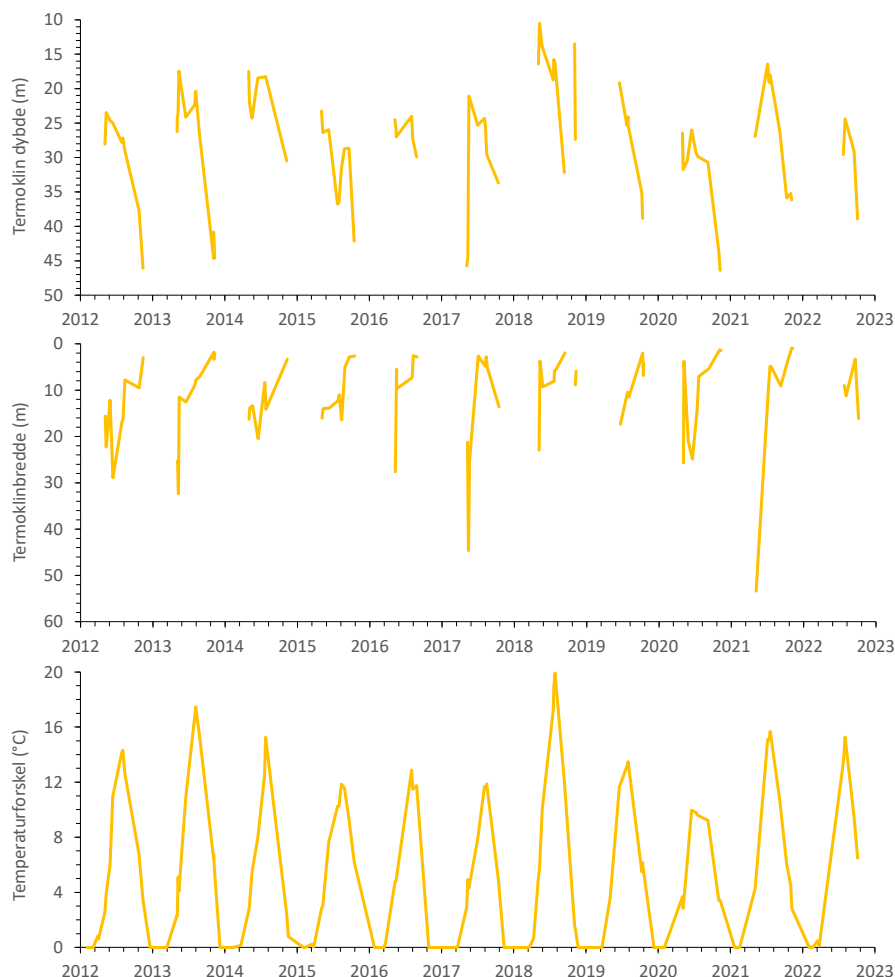
Figur 2. Karakteristika for haloklinen ved overvågningsstationen i Bornholmsbassinet i de seneste 11 år givet ved dybden for og bredden af haloklinen og salinitetsforskellen hen over haloklinen. De to sidste observationer i tidsserien er fra 26. september og 13. oktober 2022, som potentielt kan være påvirket af ændrede hydrografiske forhold i relation til gaslækken fra Nordstream 1 & 2



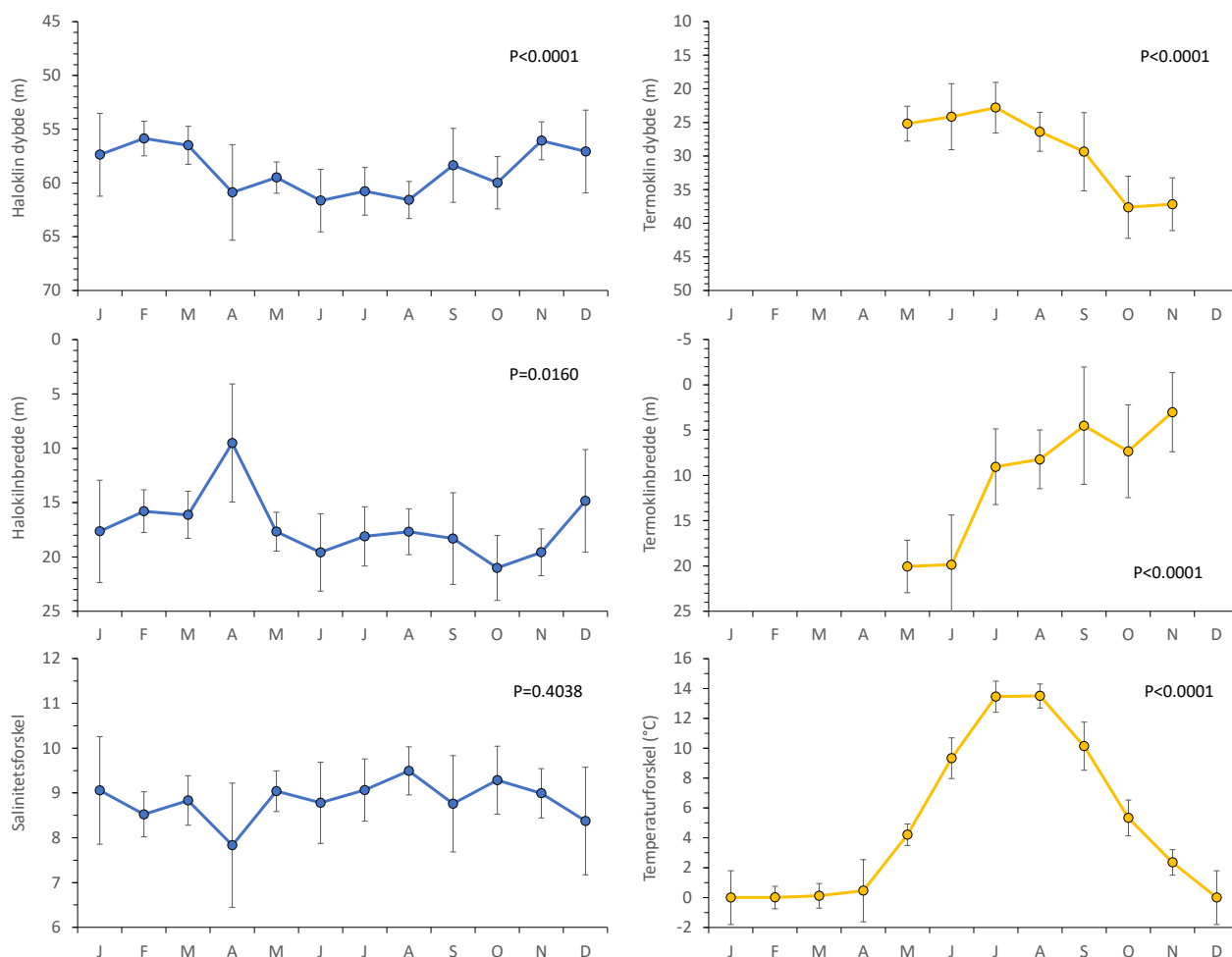
Termoklinen udvikler sig typisk fra starten af maj i en dybde omkring 20 m, hvorefter det varmere overfladelag gradvist udvider sig til dybder omkring 40 m i november (Figur 3). Samtidig ændrer termoklinen form fra en gradvis temperaturændring over 20 m i maj måned til en mere skarp form i efteråret, hvor overgangen mellem overfladen og mellemlaget blev markant mindre. I vintermånederne og det tidlige forår er der ingen termoklin, og temperaturforskellen er forsvindende lille. Opvarmningen af overfladevandet medfører

en markant temperaturforskel fra maj til november med de højeste værdier omkring starten af august. Den maksimale temperaturforskel var typisk 12-16 °C, men kunne nå næsten 20 °C i et varmt år som 2018. De to seneste observationer af termoklinen i 2022 afviger ikke fra det overordnede mønster.

Figur 3. Karakteristika for termoklinen ved overvågningsstationen i Bornholmsbassinet i de seneste 11 år givet ved dybden for og bredden af termoklinen og temperaturforskellen hen over termoklinen. De to sidste observationer i tidsserien er fra 26. september og 13. oktober 2022, som potentielt kan være påvirket af ændrede hydrografiske forhold i relation til gaslækken fra Nordstream 1 & 2.



Sæsonvariationen i parametrene til beskrivelse af haloklinen og termoklinen, undersøgt med en ensidet variansanalyse, viste signifikante variationer mellem måneder for både haloklinen og termoklinen (Figur 4). For haloklinen var det hovedsageligt dybden, som ændrede sig med en ca. 5 m dybere placering i sommermånederne. Derimod var der ingen signifikant sæsonvariation i salinitetsforskellen hen over haloklinen og kun en svag sæsonvariation i bredden af haloklinen.



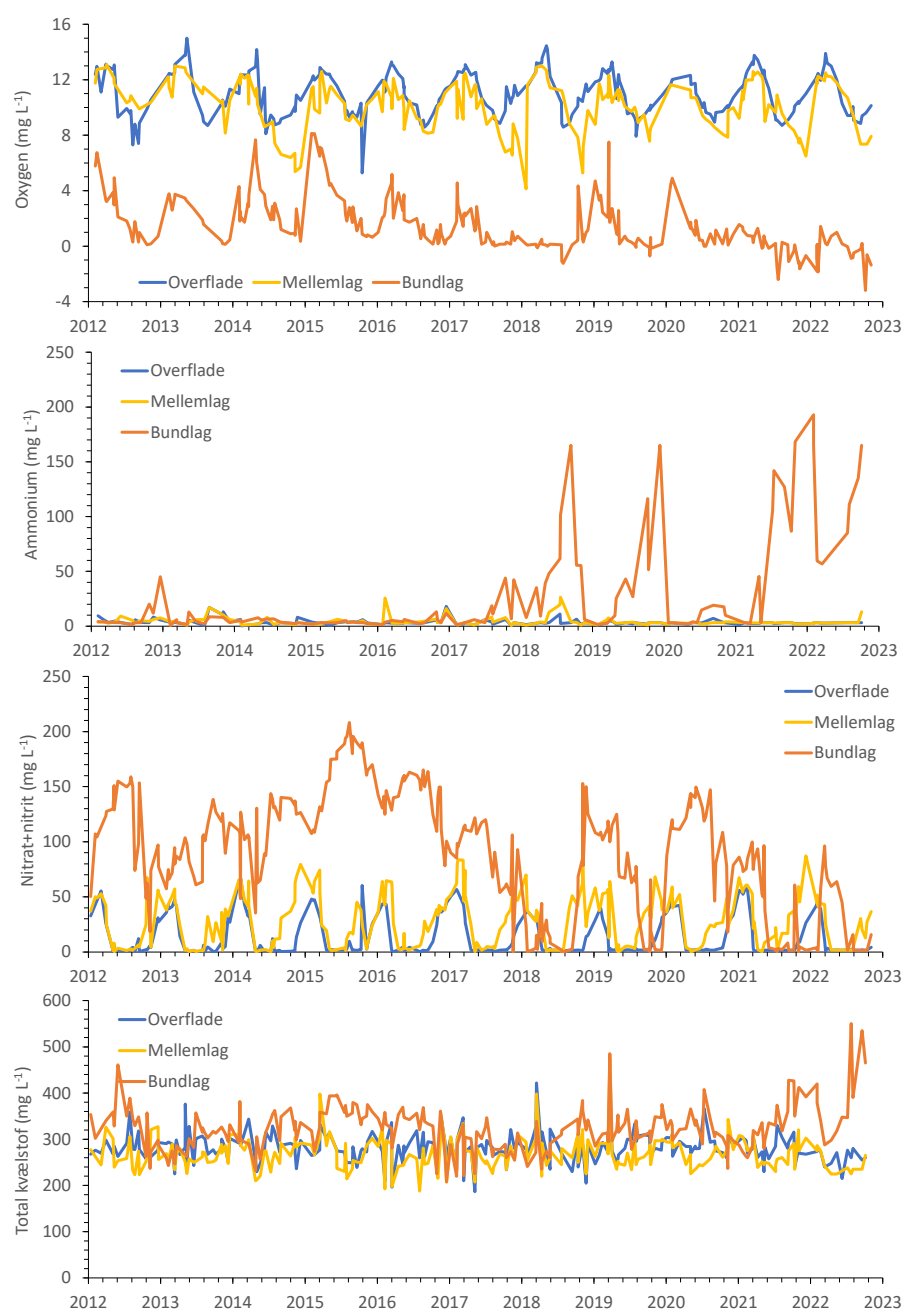
Figur 4. Månedsmidler for parametre til karakterisering af haloklinen (venstre) og termoklinen (højre) baseret på data fra overvågningsstationen i Bornholmsdybet. P-værdi angiver sandsynligheden for, at der ikke er nogen sæsonvariation.

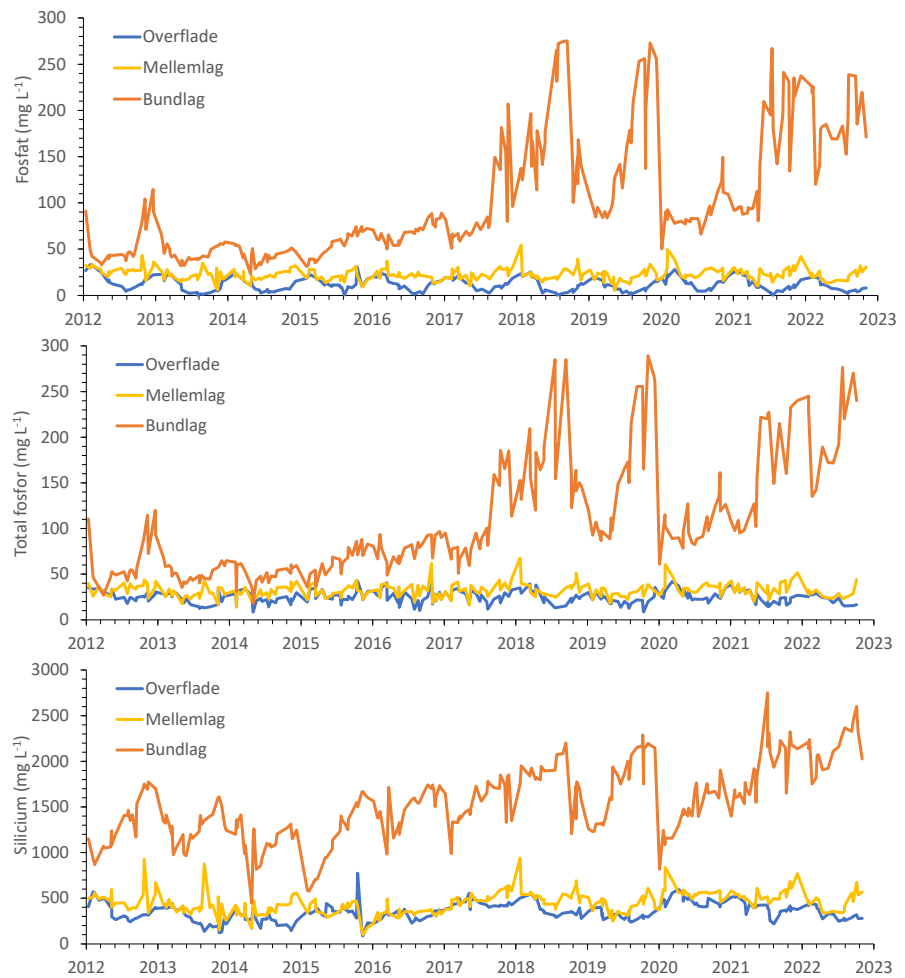
Alle parametrene til beskrivelse af termoklinen havde en stærk signifikant sæsonvariation. Der var ikke nogen temperaturforskel af betydning i vandsøjlen over haloklinen fra december til april, hvorefter den steg kraftigt til 13,5 °C i juli-august efterfulgt af et gradvist fald. Dybdefordelingen og bredden af termoklinen kunne derfor kun bestemmes for maj-november. Termoklinen lå omkring 20-25 m dybde i maj-juli, hvorefter den gradvise atmosfæriske afkøling bevirkede, at den øverste del af termoklinen blev ændret til 35-40 m dybde. Denne afkølingsproces medførte også en meget skarp termoklin med en bredde på ca. 5 m, i modsætning til en mere udjævnet termoklin i maj og juni.

4 Kemiske forhold

Koncentrationerne af ilt i overflade- og mellemlaget af vandsøjlen var overordnet sammenlignelig for de seneste 11 år på trods af en sæsonmæssig afkobling, når der blev etableret en termoklin (Figur 5). For det meste var iltkoncentrationen lavere i mellemlaget i sommer- og efterårsmånederne, da der ikke blev produceret ilt ved fotosyntese. Iltkoncentrationen i bundlaget var meget lavere, og i perioder var der sulfid i bundvandet (registreres som negativ iltkoncentration), specielt i de seneste par år. Indtrængende saltvand medførte en markant stigning i iltkoncentrationen i bundvandet (især i 2014 og 2015), som derefter gradvist faldt i løbet af de kommende måneder. Sæsonvariationen af iltkoncentrationen i 2022 afveg ikke fra det overordnede mønster.

Figur 5. Tidsserier for koncentrationer af ilt og næringsstoffer i overfladen (0-10 m), mellemlaget (40-50 m) og bundlaget (>80 m) ved overvågningsstationen i Bornholmsdybet. De fire sidste observationer i tidsserien er fra 26. september, 13. oktober, 21. oktober og 11. november 2022 (to prøvetagninger fra MST og to prøvetagninger fra SMHI), som potentielt kan være påvirket af ændrede forhold i relation til gaslækken fra Nordstream 1 & 2.





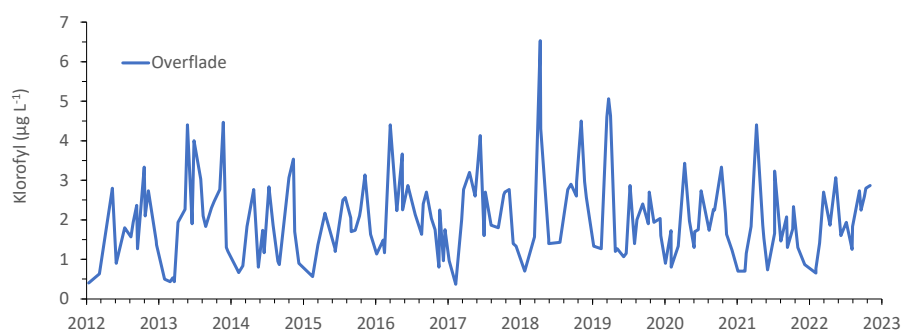
Ammoniumkoncentrationerne var generelt lave i overflade- og mellemlaget, ligesom de var det i bundlaget frem til 2018, hvorefter der var tre perioder med høje koncentrationer i bundlaget. I disse perioder var bundvandet iltfrit, hvorfor ammonium ikke kunne omsættes ved nitrifikation. Tilsvarende var koncentrationen af nitrat og nitrit i disse perioder relativ lav, fordi der ikke blev produceret nitrat ved nitrifikation, og fordi nitrat blev omsat ved denitrifikation under anoxiske forhold. Koncentrationen af total kvælstof var forholdsvis konstant for alle tre lag med undtagelse af bundlaget i de seneste to år, hvor koncentrationen steg fra omkring 300 mg L⁻¹ til 500 mg L⁻¹. De høje koncentrationer af total kvælstof i de senere år skyldes de anaerobe forhold (forekomst af sulfid og lave koncentrationer af nitrat), hvorfor der ikke kan fjernes ret meget kvælstof ved denitrifikation. Koncentrationen af ammonium og total kvælstof steg markant fra august 2022 og frem, hvilket stemmer overens med, at der opstod anaerobe forhold med sulfid i bundvandet på dette tidspunkt.

Fosfatkoncentrationen i overflade- og mellemlaget var på samme niveau i vintermånederne, hvorimod koncentrationen faldt i overfladen i den produktive periode som følge af optag i fytoplankton. Fosfatkoncentrationen i mellemlaget var forholdsvis konstant omkring 30 mg L⁻¹. Fosfatkoncentrationen i bundlaget var noget højere og steg igennem hele perioden i takt med, at iltforholdene er blevet forringet. I de tre perioder med anoxiske/anaerobe forhold steg fosfatkoncentrationen til over 200 mg L⁻¹. Koncentrationerne af total fosfor lignede koncentrationerne af fosfat, da fosfat udgør størstedelen af total

fosfor. Sæsonvariationen af koncentrationerne af fosfor i 2022 afveg ikke væsentlig fra det overordnede mønster siden 2018. Stigende koncentrationen af fosfat og total fosfor fra juli 2022 og frem skyldes, at der opstod anoxiske forhold, som stimulerer frigivelsen af fosfat fra sedimentet.

Siliciumkoncentrationerne lå omkring 300-500 mg L⁻¹ i overflade- og mellem-laget, med lidt lavere koncentrationer i overfladen i den produktive periode, hvor der var et optag af silicium i kiselalger. Siliciumkoncentration i bundlaget steg igennem hele perioden, bortset fra i tilknytning til de episodiske saltvandsindtrængninger, hvor koncentrationen faldt markant. Den konstant stigende koncentration er et udtryk for stagnation i bundvandet, hvorved silicium frigivet fra sedimenterne kan akkumulere. Senest har der været en stagnationsperiode siden starten af 2020, hvor koncentrationen af silicium er mere end fordoblet. Sæsonvariationen af koncentrationen af silicium i 2022 afveg ikke væsentlig fra det overordnede mønster.

Figur 6. Klorofylkoncentration i overfladen (0-10 m) ved overvågningsstationen i Bornholmsdybet. De fire sidste observationer i tidsserien er fra 26. september, 13. oktober, 21. oktober og 11. november 2022 (to prøvetagninger fra MST og to prøvetagninger fra SMHI), som potentielt kan være påvirket af øget tilførsel af næringsstoffer fra bundvandet som følge af gaslækken fra Nordstream 1 & 2



Klorofylkoncentrationen i overfladen varierede typisk mellem 1 og 3 µg L⁻¹ bortset fra ved markante algeopblomstringer, hvor koncentrationen kunne overstige dette niveau (Figur 6). Middelkoncentrationen for de sidste fire prøvetagninger var 2,6 µg L⁻¹, hvilket er relativt højt, men ikke nødvendigvis udtryk for en algeopblomstring.

Der er ingen indikationer på, at koncentrationerne af ilt, næringsstoffer eller klorofyl skulle have ændret sig, som det eventuelt kunne forventes efter gaslækket fra Nordstream 1 & 2. En forventet effekt fra gaslækket ville være en delvis fornyelse af bundvandet, hvilket ville forbedre iltforholdene i Bornholmsdybet og dermed reducere koncentrationen af ammonium og fosfat. Derimod blev iltforholdene forringet efter gaslækket og koncentrationen af ammonium og fosfat steg, hvilket betyder, at en eventuel effekt af gaslækket på vandsøjlen i Bornholmsdybet i givet fald har været minimal.

5 Konklusion

Der er tre potentielle direkte effekter af gasudslippet på havmiljøet (Høgslund & Hansen 2022): 1) fysisk forstyrrelse af vandsøjlen, 2) omsætning af metan i vandsøjlen og 3) økotoksikologiske effekter af metan. I dette notat er de fysiske og kemiske forhold i vandsøjlen i de første måneder efter gasudslippet undersøgt i relation til forholdene de seneste 11 år. Disse data kan belyse de to første potentielle effekter, hvorimod der ikke er data til at vurdere eventuelle økotoksikologiske effekter af metanudslippet.

De opstigende metanbobler fra de ødelagte rørledninger vil trække bundvand med op mod overfladen og medføre en kompenserende tilstrømning af bundvand mod gaslækket. En sådan tilstrømning af bundvand vil medføre en dybere og mere eroderet haloklin. Analyserne af vandsøjlen fysiske stabilitet på overvågningsstationen i Bornholmsdybet viser ikke nogen væsentlige tegn på ændrede fysiske forhold i månederne efter eksplosionen. Samtidig indikerer koncentrationen af ilt, ammonium og fosfat i bundvandet, at der ikke har været en fornyelse af bundvandet, som kunne forventes med en kompenserende tilstrømning af bundvand mod gaslækket. Dette betyder ikke, at der ikke har været nogen fysisk forstyrrelse af vandsøjlen som følge af gasudslippet, men da overvågningsstationen ligger ca. 40 km fra gaslækket, så vurderes den eventuelle effekt til at være forholdsvis lokalt begrænset omkring eksplosionsstedet. En mulig konsekvens af den fysiske påvirkning er en øget tilførsel af næringsstoffer til overfladen, hvor næringsstofferne potentielt kan stimulere en algeopblomstring. Der er dog ingen indikationer på en udbredt algeopblomstring ved overvågningsstationen i Bornholmsdybet efter gaslækken.

Selvom størstedelen af gaslækket vil afgasse direkte til atmosfæren, så vil en mindre del af metanudslippet blive opløst i vandsøjlen, hvor det vil medføre et øget iltforbrug og dermed potentielt ændrede forhold for de biogeokemiske processer, hvilket kan resultere i ændrede næringsstofkoncentrationer. Umiddelbart er der ingen indikationer på væsentligt ændrede iltforhold eller næringsstofkoncentrationer ved stationen i Bornholmsdybet, så den potentielle effekt af metanudslippet er formentligt lokalt begrænset til området omkring udslippet.

Konklusionerne fra dette notat er i overensstemmelse med de forventede potentielle effekter beskrevet i Høgslund & Hansen (2022). Høgslund & Hansen (2022) forventede kun mindre lokal og kortvarig påvirkning af den fysiske struktur af vandsøjlen, iltforholdene og algevækst.

6 Referencer:

Carstensen J, Andersen JH, Gustafsson BG, Conley DJ (2014) Deoxygenation of the Baltic Sea during the last century. *Proceedings National Academy of Sciences* 111: 5628-5633. www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1323156111

Høgslund S, Hansen, JW (2022) Gaslæk fra Nord Stream 1 og 2. Bemærkninger om potentielle miljøkonsekvenser. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, xx s. - - Fagligt notat nr. 2022|61 https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notater_2022/N2022_61.pdf

Zhurbas V, Elken J, Paka V, Piechura J, Väli G, Chubarenko I, Golenko N, Shchuka S (2012) Structure of unsteady overflow in the Słupsk Furrow of the Baltic Sea. *Journal of Geophysical Research* 117: C04027. <https://doi.org/10.1029/2011JC007284>