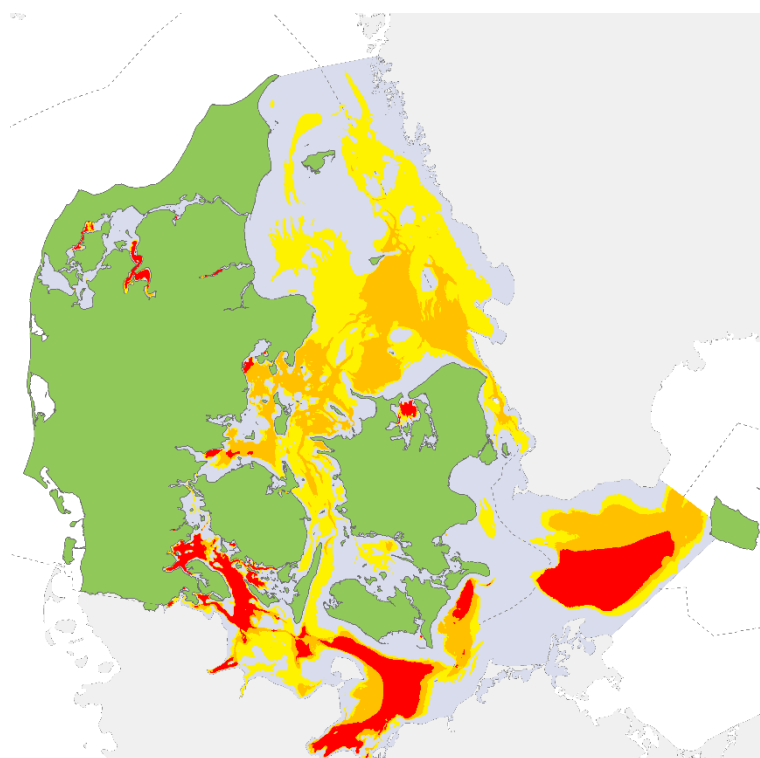


Iltsvind i danske farvande 24. august – 21. september 2023

Rådgivningsnotat fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

Dato: 29. september 2023 | 44



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Datablad

Rådgivningsnotat fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

Kategori: Rådgivningsnotat

Titel: Iltsvind i danske farvande 24. august – 21. september 2023

Forfattere: Jens Würgler Hansen og David Rytter
Institution: Institut for Ecoscience, Aarhus Universitet

Faglig kommentering: Per Andersen, Institut for Ecoscience
Kvalitetssikring, DCE: Anja Skjoldborg Hansen, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi
Sproglig kvalitetssikring: Anne Mette Poulsen, Institut for Ecoscience

Ekstern kommentering: Kommentarerne findes her: https://dce2.au.dk/pub/komm/N2023_44_komm.pdf

Rekvirent: Miljøstyrelsen

Bedes citeret: Jens Würgler Hansen & David Rytter 2023. Iltsvind i danske farvande 24. august – 21. september 2023. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 23 s. Rådgivningsnotat nr. 2023|44

Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse

Foto forside: Arealudbredelse af iltsvind og lavt iltindhold 6.-21. september 2023

Sideantal: 23

Indhold

1. Nationale iltsvindskort	5
2. Sammenfatning	6
Summary	8
3. Indledning	10
3.1 Hvad er iltsvind, og hvordan opstår det?	10
3.2 Hvordan påvirker iltsvind havbunden?	11
4. Vejrlig	12
4.1 Vind	12
4.2 Temperatur	12
4.3 Nedbør	13
5. Oversigt over de enkelte farvande	14
5.1 Vadehavet, Vesterhavet, Nordsøen og Skagerrak	14
5.2 Limfjorden	14
5.3 Kattegat og omgivende farvande	15
5.4 Aarhus Bugt og omgivende farvande	15
5.5 Farvandene omkring Fyn inkl. bæltet og fjorde	17
5.6 Farvandene omkring Sjælland, Lolland og Falster	20
5.7 Farvandene omkring Bornholm	21
5.8 Kort over danske farvande	22
6. Kontaktpersoner	23

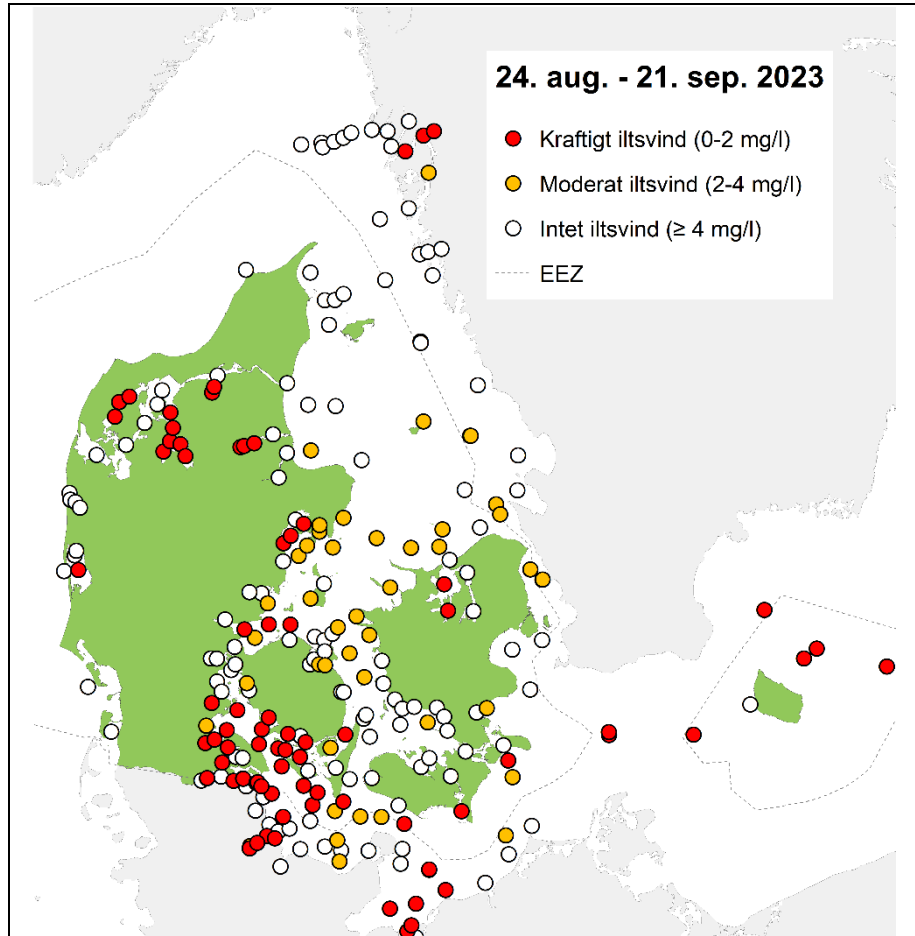
1. Nationale iltvindskort

Figur 1. Niveauer for den lavest registrerede iltkoncentration på de besøgte stationer i perioden 24. august - 21. september.

Bemærk, at *figur 1* viser de lavest registrerede iltkoncentrationer for hele perioden og derfor ikke nødvendigvis kan sammenlignes med *figur 2*, der angiver iltvindets udbredelse for en del af perioden.

Levels for the lowest registered oxygen concentration for each of the stations visited during the period 24 August – 21 September.

Please notice that *figure 1* shows the lowest observed concentrations for the entire period, and thus cannot necessarily be compared to *figure 2* that shows the distribution of oxygen depletion for part of the period.

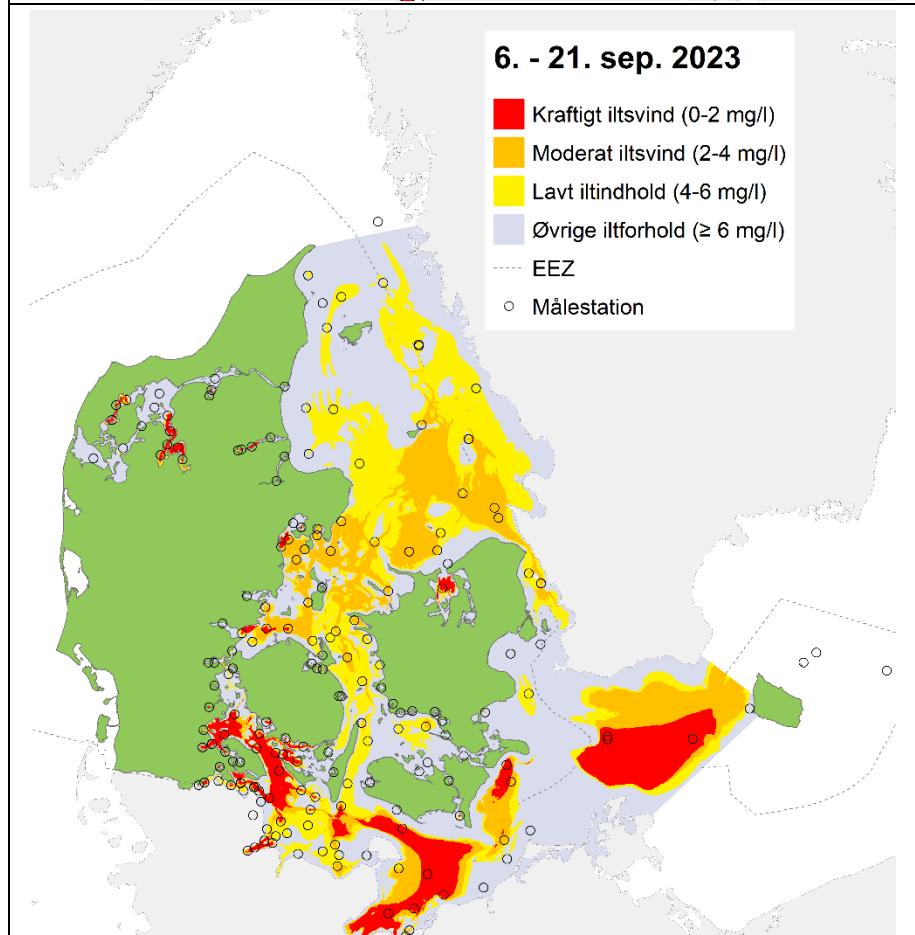


Figur 2. Arealudbredelse af iltforhold modelleret ud fra målinger foretaget 6.-21. september. Hvis der i perioden er målt to gange på den samme station, anvendes den seneste måling.

Stationer besøgt i modelleringsperioden og afgrænsningen af de danske farvande (EEZ, Exclusive Economic Zone) er angivet.

Areal distribution of oxygen conditions modelled for 6-21 September. If a station is visited twice within the modelling period, the modelled area is based on the latest data.

Stations visited during the modelling period and the delimitation of the Danish marine waters are shown.



2. Sammenfatning

Iltsvindet blev markant forværret i løbet af rapporteringsperioden (24. august – 21. september). Høj vandtemperatur og overvejende rolige vindforhold stimulerede iltsvindets udvikling. For første gang siden 2008 var der udbredt iltsvind i det sydlige og centrale Kattegat. De hårdest ramte iltsvindsområder i de indre danske farvande var Limfjorden, Mariager Fjord, det sydlige Lillebælt, de sydøstjyske fjorde, Det Sydfynske Øhav og Femern Bælt. I mange af disse områder var der iltfrit i bundvandet, og der blev frigivet giftig svovlbrinte fra bunden. I disse områder var en stor del af vandvolumenet påvirket af overvejende kraftigt iltsvind. Der blev observeret døde fisk i Limfjorden og liglagen på bunden i flere områder. Iltsvindets udbredelse var det næststørste registreret for september. I flere områder var situationen meget kritisk for især bundlevende dyr, fisk og planter.

Vejrliget i seneste rapporteringsperiode (1. juli – 23. august) var bl.a. karakteriseret ved flere dages kraftig blæst først i juli og en regulær sommerstorm først i august, hvilket bremsede iltsvindets udvikling. Denne rapporteringsperiode (24. august – 21. september) har været karakteriseret ved høj vandtemperatur og overvejende rolige vindforhold, hvilket stimulerer iltsvindets udvikling. Det blæste dog en del 18.-20. september, men ikke nok til at forbedre iltforholdene ved bunden i de fleste områder, især ikke i de dybere dele af farvandene.

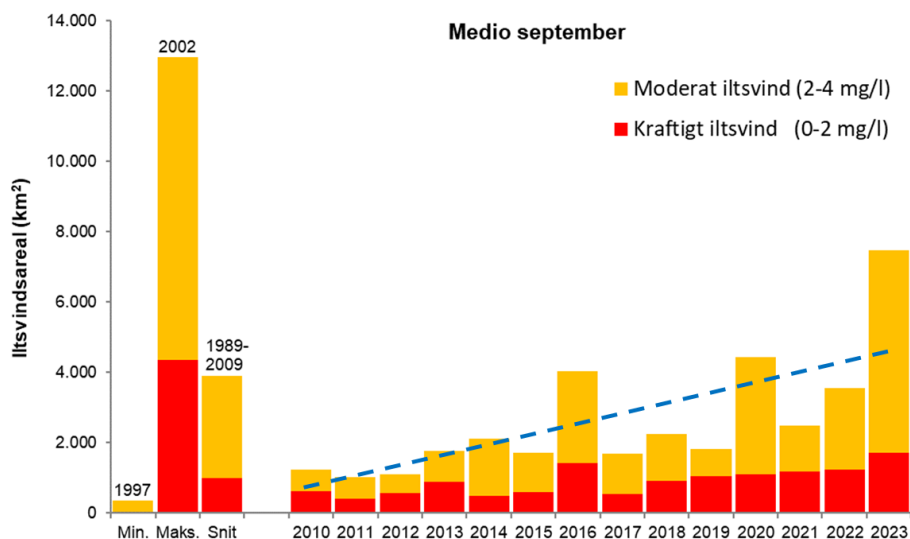
Det døde plantemateriale på bunden blev omsat relativt hurtigt pga. høj vandtemperatur, hvilket bevirkede et stort iltforbrug. Da der samtidig var en utilstrækkelig tilførsel af ilt til bunden pga. rolige vindforhold, resulterede det i, at iltsvindet udviklede sig markant fra midt i august til midt i september. Der var således udbredt iltsvind midt i september, og i store områder havde der etableret sig kraftigt iltsvind (figur 1 & 2).

De hårdest ramte iltsvindsområder i de indre danske farvande var Limfjorden, Mariager Fjord, det sydlige Lillebælt, de sydøstjyske fjorde, Det Sydfynske Øhav og Femern Bælt. Der var også udbredt og overvejende kraftigt iltsvind i et sammenhængende område fra det sydlige Lillebælt helt ned i bunden af Kiel Bugt og fra syd for Møn til ned i bunden af Lübeck Bugt. I mange områder var der iltfrit i bundvandet, og i en stor andel af dem blev der frigivet giftig svovlbrinte fra bunden. Der blev observeret døde fisk i Lovns Bredning i Limfjorden, og dele af bunden i de hårdest ramte områder var dækket af en hvidlig film af bakterier, det såkaldte liglagen. Desuden var der udbredt moderat iltsvind i det sydlige og centrale Kattegat, hvilket ikke er observeret siden 2008.

Det samlede areal berørt af iltsvind i de indre danske farvande (inden for EEZ-linjen) udgjorde midt i september knap 7.500 km², dvs. et areal større end Sjælland (figur 3). Heraf var ca. en fjerdedel påvirket af kraftigt iltsvind, svarende til arealet af Lolland-Falster. Iltsvindets udbredelse i september var i 2023 på niveau med udbredelsen i 1989 og 2000 og det hidtil næststørste registreret, kun overgået af iltsvindet i 2002. Arealet i september i 2023 var en faktor otte større end i august i år og godt og vel dobbelt så stort som i september sidste år. I flere af de værst ramte områder, herunder især det sydlige Lillebælt, Aabenraa Fjord, Flensborg Fjord og Det Sydfynske Øhav var en stor del af farvandenens areal, vandsøjle og dermed vandvolumen påvirket af overvejende kraftigt iltsvind. Det samlede areal berørt af iltsvind i de indre danske farvande er steget markant siden 2010.

Figur 3. Modelleret arealudbredelse af moderat ($2-4 \text{ mg l}^{-1}$) og kraftigt ($0-2 \text{ mg l}^{-1}$) iltsvind midt i september i de indre danske farvande 2010-2023 samt den største og mindste udbredelse 1989-2023 og den gennemsnitlige udbredelse 1989-2009. Den stiplede linje angiver en statistisk signifikant stigning siden 2010 ($p=0,003$).

Modelled areal distribution of moderate ($2-4 \text{ mg l}^{-1}$) and severe ($0-2 \text{ mg l}^{-1}$) oxygen depletion in inner Danish waters in mid-September 2010-2023 as well as the largest and the smallest areal distribution 1989-2023 and the average areal distribution 1989-2009. The dashed line shows a significant increase since 2010 ($p=0.003$).



Udbredt iltsvind forudsætter en forudgående stor tilførsel af næringsstoffer (eutrofiering), men iltsvindets udvikling i løbet af året reguleres væsentligst af bundvandstemperaturen og vindforholdene. Hvis det fortsætter med høj temperatur i bundvandet og kun lidt vind, kan både iltsvindets udbredelse og styrke øges yderligere i de kommende uger. Flere dage med blæst vil forbedre iltforholdene i de mere lavvandede områder, mens det vil kræve en længere periode med kraftig blæst eller en storm for at forbedre iltforholdene i de dybere områder. Kraftig blæst og storm vil dog også kunne føre til, at iltfattigt bundvand flyttes rundt og påvirker nye områder eller forværrer forholdene i allerede påvirkede områder. Nye iltsvindsområder vil mest sandsynligt etablere sig i områder, hvor der er lavt iltindhold i udbredelseskortet for september (figur 2). Forholdene midt i september var meget kritiske for især bundlevende dyr, fisk og planter. I de hårdest ramte områder søger dyr og fisk væk, og fastsiddende dyr såsom orme og muslinger, samt dem som ikke kan flytte sig hurtigt nok, dør. En forværring eller forværing af den nuværende iltsvindsituation vil derfor være meget alvorlig for livet i de indre danske farvande og tilstødende områder. Normalt aftager iltsvindets omfang og styrke i løbet af oktober pga. mere blæst og faldende temperatur, hvilket vil forbedre livsbetingelserne i havet.

Summary

Oxygen depletion worsened markedly during the reporting period (24 August - 21 September). High water temperatures and mostly calm wind conditions stimulated the development of oxygen depletion. For the first time since 2008, there was widespread oxygen depletion in southern and central Kattegat. The most affected areas in the inner Danish waters were Limfjorden, Mariager Fjord, the southern Little Belt, the south-east Jutland fjords, the South Funen Archipelago and Fehmarn Belt. In many of these areas the bottom water was anoxic, and toxic sulphide was released from the bottom. In these areas, a large part of the water volume was affected by predominantly severe oxygen depletion. Dead fish were observed in Limfjorden, and a shroud appeared on the bottom in several areas. The extent of the oxygen depletion was the second largest ever recorded for September. In several areas, the situation was highly critical, especially for benthic animals, fish and plants.

The weather during the last reporting period (1 July - 23 August) was, among other factors, characterised by several days of strong winds in early July and a regular summer storm early in August, which slowed down the development of oxygen depletion. This reporting period (24 August - 21 September) was characterised by high water temperatures and predominantly calm winds, which stimulates the development of oxygen depletion. However, it was windy on 18-20 September, but not enough to improve oxygen conditions at the bottom in most areas, especially not in the deeper parts of the waters.

The dead plant material on the bottom was decomposed relatively quickly due to high water temperatures, which led to high oxygen consumption. As there was also an insufficient supply of oxygen to the bottom due to calm winds, this resulted in a strong development of oxygen depletion from mid-August to mid-September. Thus, there was widespread oxygen depletion in the middle of September, and in large areas severe oxygen depletion had established (*figure 1 & 2*).

The areas most affected by oxygen depletion in the Danish waters were Limfjorden, Mariager Fjord, the southern Little Belt, the south-east Jutland fjords, the South Funen Archipelago and Fehmarn Belt. There was also widespread and predominantly severe oxygen depletion in a coherent area from the southern Little Belt right down to the bottom of the Bay of Kiel and from south of Møn to the bottom of the Bay of Lübeck. In several areas, there was no oxygen in the bottom water and in a large part of them, toxic sulphide was released from the bottom. Dead fish were observed in Lovns Bredning in Limfjorden, and parts of the bottom in the most severely affected areas were covered with a whitish film of bacteria, a so-called shroud. In addition, moderate oxygen depletion was widespread in southern and central Kattegat, which has not been observed since 2008.

The total area affected by oxygen depletion in the inner Danish waters (within the EEZ line) in mid-September was just below 7,500 km², i.e. an area larger than Zealand (*figure 3*). Of these, approx. a quarter was affected by severe oxygen depletion, corresponding to the area of Lolland-Falster. In 2023, the prevalence of oxygen depletion in September was on a par with the prevalence in 1989 and 2000 and the second largest ever recorded, surpassed only by the oxygen depletion in 2002. The area in September in 2023 was a factor of eight larger than in August this year and well over twice as large as in September last year. In several of the worst-affected areas, including particularly the southern Little Belt, Aabenraa Fjord, Flensburg Fjord and the South Funen Archipelago, a large part of the area, the water column and thus the water volume was

affected by primarily severe oxygen depletion. The total area affected by oxygen depletion in the inner Danish waters has increased significantly since 2010.

Widespread oxygen depletion requires a preceding large input of nutrients (eutrophication), but the development of oxygen depletion during the year is mainly regulated by the bottom water temperature and the wind conditions. If the pattern of high temperature in the bottom water and little wind continues, both the extent and strength of the oxygen depletion can increase further in the coming weeks. Several days of strong wind will improve oxygen conditions in the more shallow areas, while it will require a longer period of strong winds or a storm to improve oxygen conditions in the deeper areas. However, strong winds and storms could also lead to movement of oxygen-depleted bottom water, which may affect new areas or worsen the conditions in the already affected areas. New oxygen-depleted areas will most likely establish in the areas with low oxygen levels shown on the map for September (*figure 2*). The conditions in mid-September were very critical, especially for benthic animals, fish and plants. In the most affected areas, animals and fish seek to move away, whereas stationary animals such as worms and clams, as well as those that cannot move fast enough, die. A continuation or worsening of the current oxygen depletion situation will therefore be very serious for life in the inner Danish waters and adjacent areas. Normally, the extent and strength of oxygen depletion decrease during October due to more wind and decreasing temperatures, which will improve living conditions in the sea.

3. Indledning

DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, Aarhus Universitet, udsender hvert år fire iltsvindsrapporter. Rapporterne beskriver de aktuelle iltforhold i de danske samt tilgrænsende svenske og tyske farvande i perioderne juli-august, august-september, september-oktober og oktober-november. Perioderne dækker det tidsrum, hvor iltsvind typisk er mest udbredt.

Denne rapport giver en status for den aktuelle udvikling og udbredelse af iltsvind fra og med 24. august til og med 21. september 2023. Formålet med rapporten er at give offentligheden et indblik i iltsvindssituationen i perioden.

Oversigten er udarbejdet af DCE i samarbejde med Miljøstyrelsen (MST) samt svenske og tyske institutioner. Grundlaget for rapporten er MST's målinger af iltindholdet i danske farvande og svenske og tyske myndigheders målinger i tilgrænsende farvandsområder.

På baggrund af aktuelle målinger udarbejder DCE nationale stationskort og fladeudbredelseskort over iltforholdene i de indre farvande samt fladeudbredelseskort for udvalgte lokale områder. MST's enheder udarbejder stationskort for udvalgte lokale områder. Stationskort viser det laveste målte iltindhold på de enkelte stationer. Fladeudbredelseskort er baseret på modelberegnete ekstrapolationer af de faktiske målinger i forhold til variationen i dybdeforholdene og viser den mest sandsynlige arealudbredelse af iltsvind.

3.1 Hvad er iltsvind, og hvordan opstår det?

Iltsvind opstår, når iltforbruget i bundvandet er større end ilttilførslen. Iltforbruget skyldes bunddyrs samt bakteriers og andre mikroorganismers respiration ved nedbrydning af organisk stof og den efterfølgende oxidation af reducerede kemiske forbindelser (iltgæld). Iltforbruget afhænger af mængden og nedbrydeligheden af det organiske stof samt af temperaturen. I Danmark betegnes det som *iltsvind*, når iltkoncentrationen i vandet er mindre end 4 mg l^{-1} , og som *kraftigt iltsvind*, når koncentrationen er under 2 mg l^{-1} . Niveaue mellem 2 og 4 mg l^{-1} kaldes for *moderat iltsvind*. Iltsvind i de åbne farvande forekommer hovedsageligt fra juli til november, men i nogle kystvande opstår iltsvind ofte før juli.

Iltsvind er i løbet af de seneste ca. hundrede år forøget i hyppighed, udbredelse, varighed og intensitet som følge af eutrofiering (forøget tilførsel af næringsstoffer og organisk stof) og klimaforandringer. Eutrofiering fører til øget produktion af planteplankton, som synker til bunds og nedbrydes. Derved stiger iltforbruget, og der kan udvikles iltsvind ved bunden især i områder, hvor vandsøjlen er lagdelt. Klimaforandringer vil i de fleste tilfælde forstærke effekten af eutrofiering. Stigende temperatur stimulerer udviklingen af iltsvind, da varmere vand indeholder mindre ilt, øger iltforbruget og styrker lagdelingen af vandsøjlen. Øget nedbør medfører en større tilførsel af vand, næringsstoffer og organisk stof fra land til hav, hvilket medfører større eutrofiering og styrket lagdeling af vandsøjlen. Ændrede vindforhold påvirker opblandingen af vandmasserne samt strømforholdene og dermed ilttilførslen til bundvandet. Mere vind øger ilttilførslen, mens mindre vind mindsker ilttilførslen.

De aktuelle vejræssige forhold bidrager til at fastholde, fremme eller mindske iltsvind. Ilttilførslen til bundvandet er først og fremmest styret af vind- og strømforholdene, som er afgørende for opblandingen af vandsøjlen og vandudskiftningen nær bunden. Dårlig opblanding og svag strøm kan føre til lagdeling af vandsøjlen og utilstrækkelig ilttilførsel til bunden. Iltsvind opstår

derfor typisk i forbindelse med saltlagdeling af vandsøjlen og forstærkes af vindsvage, varme perioder med temperaturlagdeling. Ved saltlagdeling er overfladevandet mindre salt og dermed lettere end bundvandet. Ved temperaturlagdeling flyder varmere og dermed lettere overfladevand oven på koldere og dermed tungere bundvand. Længerevarende isdække kan også afkoble ilttilførslen til bundvandet og forårsage iltsvind.

Iltsvind forekommer også naturligt, dvs. uden eutrofiering eller klimaforandringer, men kun i meget begrænset omfang og typisk i dybere sedimentationshuller. Det er eutrofiering, som skaber grundlaget for iltsvind i et omfang ud over det naturlige, mens det er de vejrsmæssige forhold, som udløser iltsvind og er afgørende for år til år-variationen i dets udbredelse, varighed og intensitet.

3.2 Hvordan påvirker iltsvind havbunden?

Iltindholdet i bundvandet er af afgørende betydning for bundplanter, bunddyr og bundlevende fisk. Lavt iltindhold ($4-6 \text{ mg l}^{-1}$) stresser larvestadiet af nogle bunddyr og fisk samt voksne individer af særligt følsomme arter. Ved moderat iltsvind ($2-4 \text{ mg l}^{-1}$) søger mange fisk og mere mobile bunddyr væk fra de ramte områder, og ved længere perioder med kraftigt iltsvind ($< 2 \text{ mg l}^{-1}$) dør bunddyr og bundplanter. Selv fisk og mobile bunddyr kan blive udsat for iltsvind, hvis vind og strøm pludselig flytter iltfattigt vand fra et område til et andet.

Iltsvind påvirker desuden den kemiske og biologiske omsætning i havbunden, fx mindsker iltsvind havbundens evne til at tilbageholde næringsstoffer og svovlbrinte. I havbunden er en del af næringsstofferne bundet til iltede kemiske forbindelser. Ved længerevarende iltsvind opløses de iltede forbindelser, og de tilknyttede næringsstoffer frigives til vandfasen (intern belastning). Længerevarende iltsvind kan også føre til, at der dannes hvide belægninger af svovlbakterier på havbunden – det såkaldte liglagen. Svovlbakterierne i liglaget bruger det sidste ilt i bundvandet til at ilte svovlbrinte, der er trængt helt op i de øverste millimeter af havbunden, til gullighvid, elementært svovl. Liglaget repræsenterer derfor den sidste barriere, inden svovlbrinte frigives fra havbunden til vandfasen, hvor det ved iltning misfarver vandet pga. dannelsen af elementært svovl. Når den sidste ilt er opbrugt, forsvinder liglaget, og bunden farves sort af jernsulfid, som er en kemisk forbindelse mellem reduceret jern og svovlbrinte, og overskydende svovlbrinte kan sive op i bundvandet.

Iltsvind kan også bevirke en pludselig frigivelse af store mængder svovlbrinte som følge af en større produktion af metan i havbunden. Metanbobler, som strømmer ud af havbunden, kan løfte den øverste del af havbunden op i vandet (bundvending), og herved frigives svovlbrinte til vandfasen. Svovlbrinte er så giftig, at den slår de fleste tilstedeværende bunddyr og fisk ihjel. Når bunddyrene dør, forsvinder fiskenes fødegrundlag, og bunddyrenes fysiske aktivitet i havbunden (bioturbation og bioirrigation) ophører. Bunddyrenes aktivitet er vigtig for at holde havbunden iltet, da en iltet havbund hæmmer udviklingen af iltsvind og derved reducerer frigivelsen af næringsstoffer og svovlbrinte fra havbunden. Der kan gå mange år efter et kraftigt og langvarigt iltsvind, før der igen er etableret et samfund af bunddyr med normal aldersfordeling, artssammensætning og individantal.

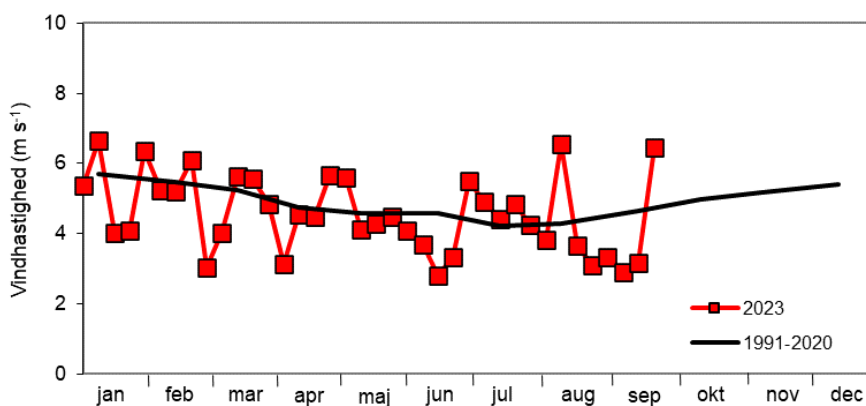
4. Vejrlig

4.1 Vind

Perioder med svage vinde kan stabilisere vandmasserne og derved fremme lagdelingen. Det hæmmer opblandingen af vandsøjlen og udskiftningen af bundvandet og øger derfor risikoen for iltvindshændelser. Kraftige vindhændelser kan til gengæld nedbryde lagdelingen og tilføre ilt til bundvandet, men kan også flytte vandmasser med iltvind til nye områder.

Figur 4. Landsgennemsnit for ugentlig middelvindhastighed i 2023 og langtidsmidlen for 1991-2020 (officiel referenceperiode). Data fra Danmarks Meteorologiske Institut.

National average of weekly mean wind speed for 2023 and long-term average for 1991-2020 (official reference period). Data from the Danish Meteorological Institute.



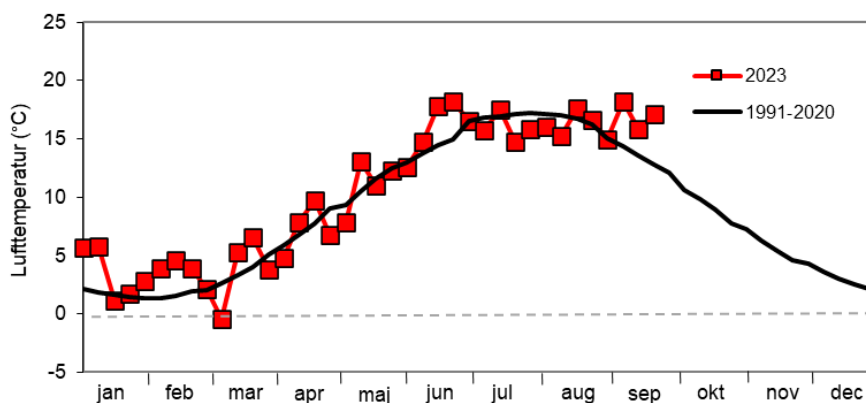
Vindhastigheden i 2023 har til og med maj varieret omkring langtidsmidlen (1991-2020) (figur 4). I maj og juni var der rolige vindforhold, mens det blæste en del i juli, især i den første uge. I den anden uge af august var der flere sammenhængende dage med meget kraftig vind, efterfulgt af godt en måned med rolige vindforhold. Sidst i rapporteringsperioden blæste det kraftigt nogle dage.

4.2 Temperatur

Lufttemperaturen påvirker temperaturen i overfladevandet og med nogen tidsforsinkelse også temperaturen i bundvandet, efterhånden som vandsøjlen opblandes. Indstrømning af bundvand fra tilstødende områder kan også påvirke bundvandstemperaturen. Bundvandets temperatur har betydning for mængden af ilt i vandet samt for, hvor hurtigt iltten bliver forbrugt, idet højere temperaturer mindsker iltens opløselighed i vand og øger iltforbruget.

Figur 5. Landsgennemsnit for ugentlig lufttemperatur i 2023 og langtidsmidlen for 1991-2020 (officiel referenceperiode). Data fra Danmarks Meteorologiske Institut.

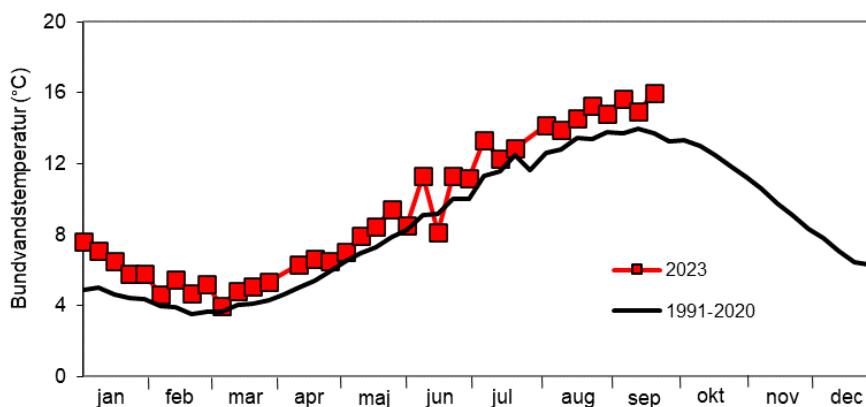
National average of weekly air temperature in 2023 and long-term average for 1991-2020 (official reference period). Data from the Danish Meteorological Institute.



Lufttemperaturen var markant over langtidsmidlen (1991-2020) det meste af tiden i årets første to måneder (figur 5). Derefter varierede temperaturen omkring langtidsmidlen til og med maj. I juni var temperaturen relativ høj, hvorimod den fra midt i juli og til midt i august var relativ lav. De sidste to uger i august var temperaturen på niveau med langtidsmidlen, mens den i september har været relativ høj.

Figur 6. Ugentlig bundvandstemperatur i de indre farvande i 2023 og langtidsmidlen for 1991-2020 (officiel referenceperiode). Data fra Miljøstyrelsen.

Weekly bottom water temperature from the inner waters in 2023 and long-term average for 1991-2020 (official reference period). Data from the Danish Environmental Protection Agency.



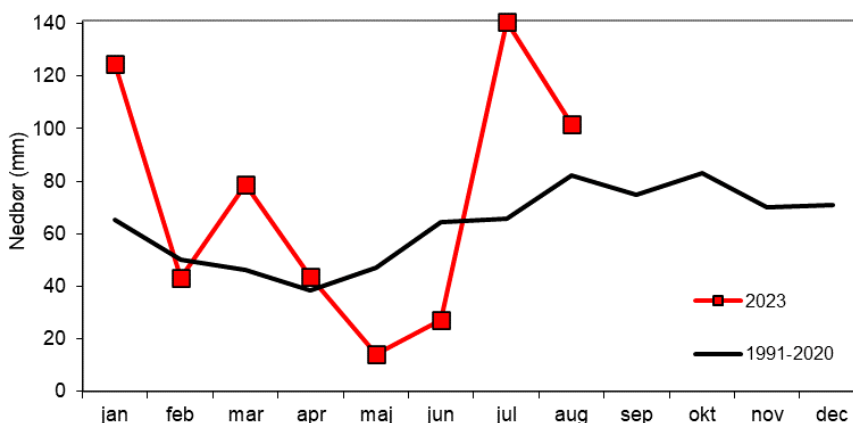
Bundvandstemperaturen var meget høj fra starten af 2023 og har bortset fra en enkelt uge midt i juni ligget over langtidsmidlen hele året (figur 6). Fra august og frem har temperaturen været mindst en grad højere end langtidsmidlen.

4.3 Nedbør

Nedbøren er vigtig i relation til iltsvind, idet mængden af næringsstoffer, der transporteres fra land til hav, bl.a. er bestemt af ferskvandsafstrømningen. En forøget tilførsel af næringsstoffer stimulerer havets produktion af organisk materiale og efterfølgende iltforbruget, når produktionen omsættes.

Figur 7. Landsgennemsnit for månedlig nedbør i 2023 og langtidsmidlen for 1991-2020 (officiel referenceperiode). Data fra Danmarks Meteorologiske Institut.

National average of monthly precipitation in 2023 and long-term average for 1991-2020 (official reference period). Data from the Danish Meteorological Institute.



Nedbørsmængden opgjort som månedsmiddelt har i 2023 budt på hele to rekorder siden målingernes start i 1874. Januar og juli var de hidtil vådeste for de respektive måneder, men det regnede også meget i marts (figur 7). Derimod var det meget tørt i maj og juni. I august faldt der noget mere regn end normalt.

5. Oversigt over de enkelte farvande

Stednavne med fed skrift er angivet på *figur 13*.

5.1 Vadehavet, Vesterhavet, Nordsøen og Skagerrak

I **Vadehavet** samt på de kystnære målestationer i **Nordsøen/Vesterhavet** og **Nordsøen/Skagerrak** ud for Ringkøbing, Esbjerg og Hirtshals blev der ikke registreret iltsvind i denne rapporteringsperiode (24. august – 21. september).

I de lavvandede vestjyske fjorde **Ringkøbing Fjord** og **Nissum Fjord** blev der kun registreret iltsvind i **Ringkøbing Fjord**. Sidst i august var der kraftigt iltsvind og tæt på iltfrit i bundvandet i den dybeste del af **Ringkøbing Fjord**. Der er ikke målt på stationen i september, men formodentlig har iltsvindet været relativt kortvarigt. Iltsvindet opstod som følge af lagdeling af vandsøjlen grundet utilstrækkelig opblanding af indsluset vand fra **Vesterhavet**.

5.2 Limfjorden

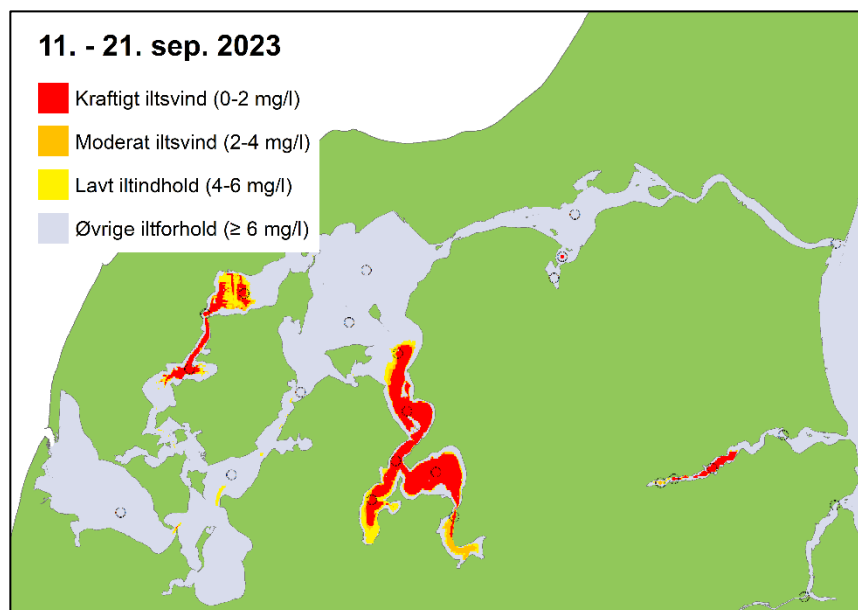
I **Limfjorden** er iltforholdene forværret siden sidste rapporteringsperiode, dvs. siden sidst i august. Først i september var der således udbredt kraftigt iltsvind i en del områder. Det var også tilfældet midt september, hvor der var kraftigt iltsvind vest for Mors fra **Thisted Bredning** i nord til **Visby Bredning** i syd samt i den centrale sydlige del af fjorden fra **Bjørnsholm Bugt** via **Risgårde Bredning** ned i **Skive Fjord**, **Lovns Bredning** og **Hjarbæk Fjord** (*figur 8*). I hovedstrømretningen fra Thyborøn i vest over **Løgstør Bredning** til Hals i øst var der ikke iltsvind og heller ikke lavt iltindhold. I lavvandede **Sebber Lo** og **Halkær Bredning** syd for og **Nibe Bredning** var der kraftigt iltsvind først i september. Midt i september var der fortsat kraftigt iltsvind i **Sebber Lo**, mens iltindholdet var øget markant i **Halkær Bredning**.

I områderne påvirket af kraftigt iltsvind var der kun meget lidt eller ingen ilt i bundvandet. Undervandsvideo optaget i **Risgårde Bredning** midt i september viser, at sedimentoverfladen på dybder større end fire meter var dækket af en hvidlig film af svovlbakterier. Dette såkaldte liglagen er den sidste barriere, inden giftig svovlbrinte siver fra fjordbunden op i bundvandet og slår det tilbageværende liv ihjel. I **Lovns Bredning** blev der observeret en stor mængde døde fisk, der var skyllet op på stranden. Fiskedøden skyldes enten en hurtig flytning af iltfrit bundvand eller en bundvending. Ved kraftig fra-landsvind skubbes overfladevandet væk fra kysten, hvilket bevirker et tilbageløb af bundvand mod kysten. Det kan ske så hurtigt, at fiskene ved kysten ikke kan nå at flytte sig. Så hvis det tilførte bundvand er iltfrit, dør fiskene. Ved bundvending løfter forgæringsgasser det øverste af fjordbunden op i bundvandet. Der sker så pludseligt, at fiskene ikke kan nå at undslippe, før de bliver slået ihjel pga. svovlbrinte og iltmangel. Da der ikke var ret meget vind i dagene op til fiskedøden, er en bundvending den mest sandsynlige forklaring.

I **Limfjorden** er iltforholdene meget dynamiske. Det skyldes, at fjorden er forholdsvis lavvandet kombineret med, at bundvandet ofte udgør et tyndt lag. **Limfjorden** får tilført langt størstedelen af sit vand fra Nordsøen, hvor saltholdigheden er højere, og temperaturen i iltvindssæsonen typisk er lavere end i fjorden. Den højere saltholdighed og lavere temperatur øger vandets vægtfylde, og det tungere vand fra Nordsøen strømmer derfor ind i **Limfjorden** langs bunden. Tykkelsen af bundlaget er ofte kun en meter eller mindre, hvorfor iltten i laget hurtigt bliver opbrugt. Da der ikke er særlig dybt i de fleste områder af fjorden, skal det ikke blæse ret meget, før vandet opblandes, og der tilføres nyt ilt til bundvandet.

Figur 8. Modelleret arealudbredelse af iltsvind i Limfjorden, Mariager Fjord og Randers Fjord baseret på målinger fra 11.-21. september.

Modelled areal distribution of oxygen depletion in Limfjorden, Mariager Fjord and Randers Fjord based on measurements from 11-21 September.



5.3 Kattegat og omgivende farvande

På stationerne i **Aalborg Bugt**, **Læsø Rende** og den øvrige del af det nordlige **Kattegat** blev der ikke registreret iltsvind i rapporteringsperioden (*figur 1*). Iltsvindsmodellen angiver, at iltindholdet midt i september var lavt i store områder i den nordlige og centrale del af **Kattegat**, og at der var udbredt moderat iltsvind i den centrale og sydlige del af **Kattegat** (*figur 2*). Sidst, der blev observeret et tilsvarende udbredt iltsvind i **Kattegat**, var i 2008.

I **Mariager Fjord** var der gennem hele rapporteringsperioden kraftigt iltsvind og iltfrit i bundvandet i 'Dybet' ud for Mariager by. Midt i september var godt og vel de nederste to tredjedele af vandsøjlen i 'Dybet' påvirket af iltsvind. I den indre del af fjorden var der kraftigt iltsvind på begge stationer først i september. Midt i september var forholdene forbedret til moderat iltsvind på grænsen til kraftigt iltsvind på den inderste station, mens forholdene var forværret på den anden station, idet der ikke længere var ilt i bundvandet (*figur 8*).

Der blev ikke registreret iltsvind i **Randers Fjord** i rapporteringsperioden, men på stationen ved overgangen til den indre del af fjorden var iltindholdet relativt lavt. I **Hevring Bugt** faldt iltindholdet yderligere fra sidste rapporteringsperiode, og først i september var der moderat på grænsen til kraftigt iltsvind. Midt i september var iltsvindet ophørt, men iltindholdet var lavt.

5.4 Aarhus Bugt og omgivende farvande

I **Aarhus Bugt** og omgivende farvande faldt iltindholdet markant i løbet af rapporteringsperioden. Således ændrede iltforholdene sig fra, at der ikke var iltsvind i området midt august til udbredt iltsvind midt i september (*figur 9*). Det blæste en del, da målingerne midt i september blev foretaget. Blæsten vil i et vist omfang have opblandet i hvert fald den øverste del af vandsøjlen. Så det er sandsynligt, at iltindholdet, især i de mere lavvandede områder, har været noget lavere umiddelbart før blæsten begyndte 18. september.

Midt i september var der kraftigt iltsvind i den nordvestlige del af **Aarhus Bugt** og moderat iltsvind i størstedelen af resten af bugten.

I **Kalø Vig** blev der ikke registreret iltsvind, men iltindholdet faldt fra sidst i august til først i september, hvor iltindholdet var lavt. Blæsten midt i september forbedrede dog iltforholdene i vigen. I det dybe hul i **Knebel Vig** var der kraftigt iltsvind og iltfrit i bundvandet i hele rapporteringsperioden. Sidst i august blev der registreret frigivelse af svovlbrinte fra bunden.

I **Ebeltoft Vig** var der moderat iltsvind både i den ydre og den indre del i september. I **Hjelm Dyb** ændredes iltforholdene fra lavt iltindhold først i september til moderat iltsvind midt i september.

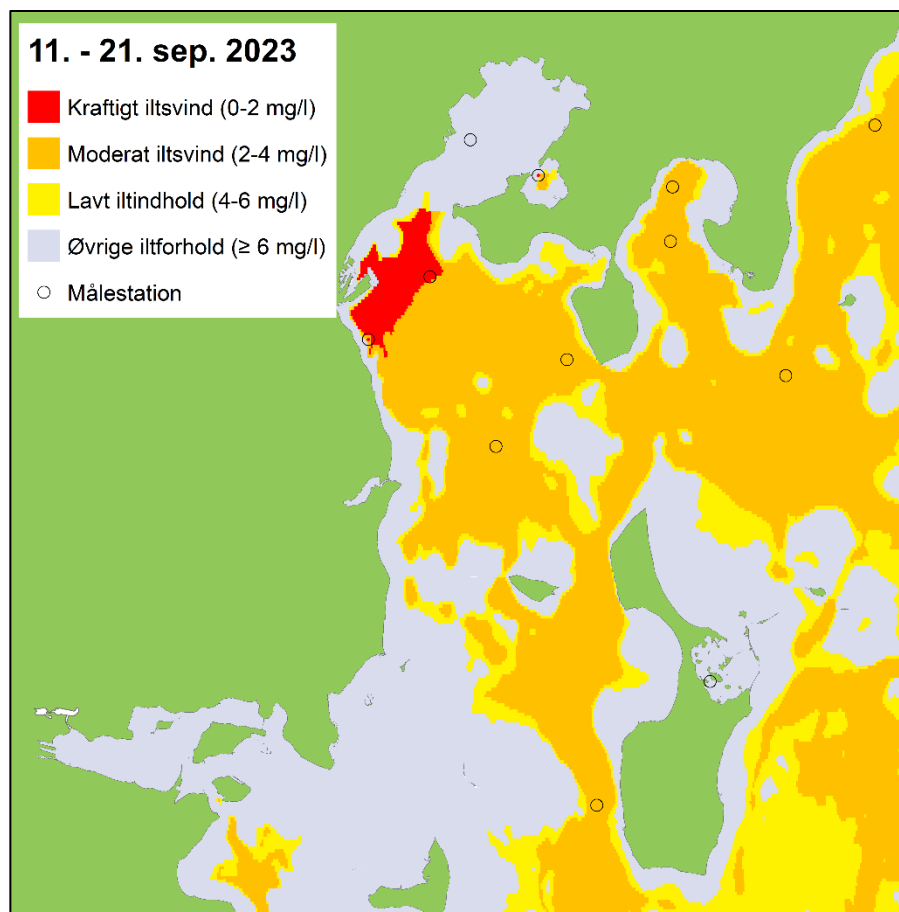
I **Norsminde Fjord** blev der ikke registreret iltsvind i rapporteringsperioden.

I **Horsens Fjord** blev der heller ikke registreret iltsvind ved de to målinger i rapporteringsperioden på stationen i den indre del af fjorden. I **As Vig**, umiddelbart syd for **Horsens Fjord**, var der moderat iltsvind i september.

I farvandet vest for **Samsø** var der moderat iltsvind midt i september. I **Stavns Fjord** på østsiden af **Samsø** blev der ikke registreret iltsvind i løbet af rapporteringsperioden.

Figur 9. Modelleret arealudbredelse af iltsvind i de kystnære farvande fra Djursland til syd for Samsø baseret på målinger fra 11.-21. september.

Modelled areal distribution of oxygen depletion from Djursland to south of Samsø based on measurements from 11-21 September.

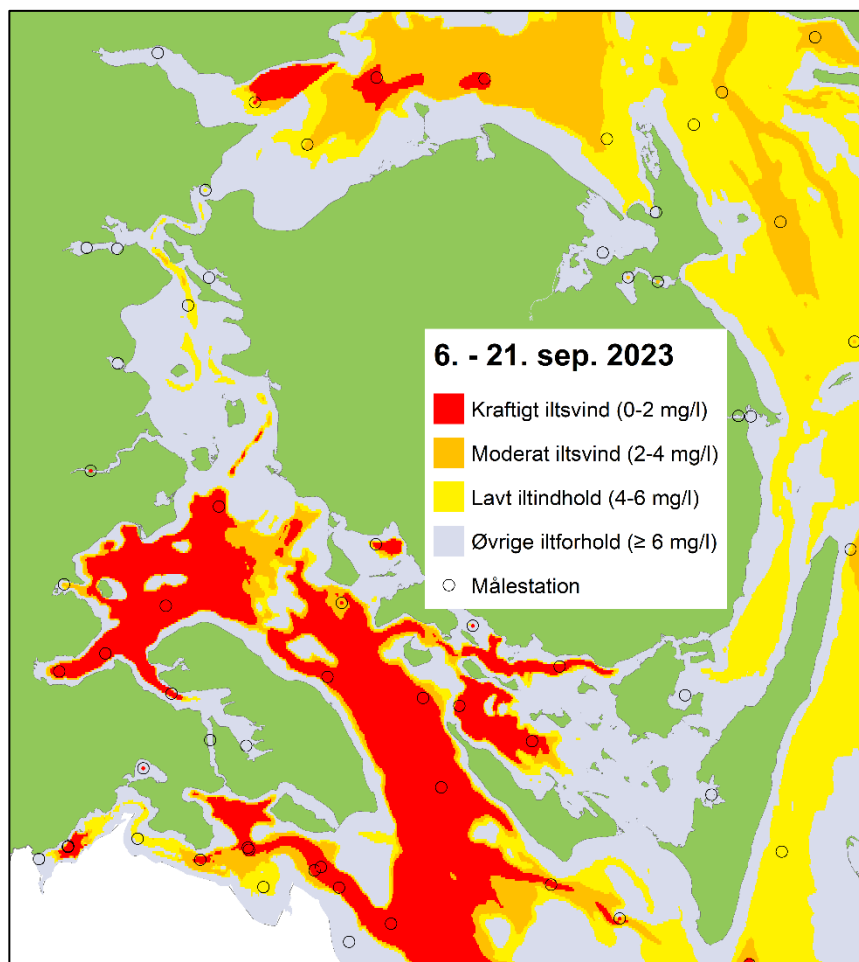


5.5 Farvandene omkring Fyn inkl. bæltet og fjorde

I løbet af denne rapporteringsperiode (24. august – 21. september) er iltforholdene forværret markant i farvandene omkring Fyn. Siden ophøret af stormen i anden uge af august blev iltsvindet stadig mere udbredt og mere intenst. Iltsvindet etablerede sig i Bælthavet nord for Fyn, og iltsvindet i det sydlige Lillebælt, de sydøstjyske fjorde samt i Det Sydfynske Øhav blev langt mere omfattende og med større konsekvenser for bundlevende dyr, fisk og planter (figur 10).

Figur 10. Modelleret arealudbredelse af iltsvind i farvandene rundt om Fyn baseret på målinger fra 6.-21. september.

Modelled areal distribution of oxygen depletion in waters around Funen based on measurements from 6-21 September.



I det **nordlige Bælthav** blev årets første iltsvind registreret sidst i august. Efterfølgende har iltsvindet bredt sig og taget til i styrke. Midt i september berørte iltsvindet det meste af farvandet nord for **Fyn**. På flere stationer blev der målt kraftigt iltsvind i bundvandet, men i størstedelen af området var der moderat iltsvind. I det nordlige **Lillebælt** blev der ikke registreret iltsvind i rapporteringsperioden, men der var et lavt iltindhold helt ned til **Årø** i de smalle dybe render (figur 10).

I **Vejle Fjord** opstod der kraftigt iltsvind i fjordens ydre del midt i september, mens der ikke blev registreret iltsvind i fjordens indre del.

I **Kolding Fjord** blev der ikke registreret iltsvind i rapporteringsperioden.

I **Hejls Nor**, som er et mindre lavvandet område syd for **Kolding Fjord**, blev der heller ikke registreret iltsvind.

Avnø Vig, som er et mindre lavvandet område nord for **Haderslev Fjord**, var ligeledes ikke ramt af iltsvind.

Haderslev Fjord er kendetegnet ved meget varierende iltforhold, og der opstår ofte iltsvind i fjorden. Fjorden har været overvåget fra årets start, og allerede ved det første besøg i januar var der moderat iltsvind. Efterfølgende har iltforholdene gentagne gange varieret mellem gode iltforhold og iltsvind. I september var der kraftigt iltsvind på overvågningsstationen, som er placeret i den indre del af fjorden. Der var iltsvind i det meste af vandsøjlen, ingen eller næsten ingen ilt i bundvandet og frigivelse af giftig svovlbrinte fra fjordbunden. Der blev observeret en hvidlig bakteriefilm på bunden flere steder, det såkaldte liglagen.

I **Genner Bugt**, mellem **Haderslev Fjord** og **Aabenraa Fjord**, blev der for første gang i år målt iltsvind. Der var således moderat iltsvind i et meget tyndt bundlag i starten af september og et noget tykkere bundlag midt i september.

I **Aabenraa Fjord** blev der både i den indre og ydre del af fjorden målt kraftigt iltsvind og ingen eller næsten ingen ilt i bundvandet i starten af september. Midt i september var forholdene forværret, idet iltsvindet berørte en større del af vandsøjlen (ca. halvdelen), og der blev frigivet svovlbrinte fra fjordbunden både i den indre og ydre del.

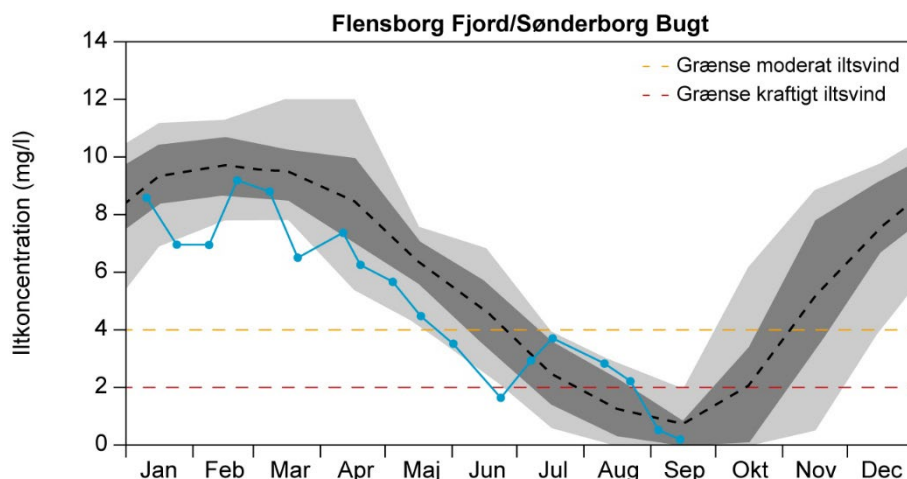
I **Als Fjord** blev der registreret kraftigt iltsvind både først og midt i september. Midt i september var bundvandet iltfrit, men der blev ikke frigivet svovlbrinte. I **Augustenborg Fjord**, der ligger i forlængelse af **Als Fjord**, blev der hverken registreret iltsvind eller lavt iltindhold i rapporteringsperioden.

I det sydlige **Lillebælt** skete der en markant forværring af iltforholdene fra midt i august til midt i september. Midt i september var der et udbredt sammenhængende iltsvindområde fra syd for **Årø** til syd for **Als** og **Ærø**, hvor omtrent halvdelen af vandsøjlen var påvirket af iltsvind. Iltsvindet var i langt størstedelen af området kraftigt, og der var iltfrit i bundvandet på de dybeste lokaliteter. Der blev konstateret frigivelse af svovlbrinte i området nord for **Als**. Iltsvindet spredte sig også til **Marstal Bugt**, hvor der blev målt moderat iltsvind på den ene station og kraftigt iltsvind på den anden station. Iltsvindet strakte sig videre fra det sydlige **Lillebælt** med forgreninger til syd for **Langeland** og ind i **Flensborg Fjord** og videre helt ned i bunden af **Kiel Bugt** (*figur 2*).

I **Flensborg Fjord** er der registreret kraftigt iltsvind i den indre del siden årets første måling 10. maj. Både ved overvågningen først og midt i september var der iltfrit ved bunden og frigivelse af svovlbrinte. I den ydre del af fjorden, **Sønderborg Bugt**, har der været registreret moderat iltsvind siden juni og kraftigt iltsvind i september (*figur 11*). Midt i september var der iltfrit ved bunden og frigivelse af svovlbrinte. I den indre og ydre del af fjorden var henholdsvis ca. halvdelen og ca. en tredjedel af vandsøjlen påvirket af iltsvind.

Figur 11. Laveste iltkoncentration i bundvandet i den ydre del af Flensborg Fjord i 2023 (blå kurve) i forhold til langtidsmidlen for 1986-2019 (sort stiplede linje). Mørkegrå angiver 50 % fraktilen og mørkegrå + lysegrå 80 % fraktilen. Data fra Miljøstyrelsen.

Lowest bottom water oxygen concentration in the outer part of Flensborg Fjord 2023 (blue line) compared to the long-term mean for 1986-2019 (dotted line). Dark grey = 50% fractile and dark grey + light grey = 80% fractile. Data from the Danish Environmental Protection Agency.



I **Nybøl Nor**, som er forbundet med **Flensborg Fjord**, er der også målt kraftigt iltsvind siden den første måling 10. maj, dog undtaget en periode midt i juli, hvor der var moderat iltsvind. Ved begge målinger i september var der iltfrit ved bunden samt frigivelse af svovlbrinte, og der er observeret liglagen. I september var ca. halvdelen af vandsøjlen påvirket af iltsvind.

I **Det Sydfynske Øhav** var der først i september kraftigt iltsvind i både **Ærøbassin**et og **Ringsgaardbassin**et. Midt i september var iltforholdene forværret yderligere, idet bundvandet næsten var helt iltfrit, og det kraftige iltsvind havde bredt sig i hele bassinernes udstrækning (*figur 10*). I begge bassiner var ca. halvdelen af vandsøjlen påvirket af iltsvind.

I de lavvandede kystnære områder omkring **Fyn** blev der målt kraftigt iltsvind i **Faaborg Fjord** både først og midt i september. Midt i september blev der desuden konstateret frigivelse af svovlbrinte fra fjordbunden. I **Helnæs Bugt** var situationen tilsvarende midt i september med kraftigt iltsvind og frigivelse af svovlbrinte. I Bredningen ved Sønder Åby på vestkysten var der moderat iltsvind i hele vandsøjlen midt i september. I Kerteminde Fjord blev der målt moderat iltsvind både sidst i august og midt i september, og i Keritinge Nor var der også moderat iltsvind midt i september.

I **Storebælt** blev der midt i september registreret iltsvind for første gang i år. Det moderate iltsvind strakte sig fra den nordlige del af bæltet ned til nordspidsen af **Langeland**. Iltsvindsmodellen angiver desuden, at iltindholdet var lavt i størstedelen af bæltet uden for iltsvindsområderne (*figur 2*).

I **Langelands Sund** (vest for **Langeland**) blev iltforholdene kun undersøgt først i september, hvor der var kraftigt iltsvind. I Lunkebugten på østsiden af Tåsinge, som ligger i forlængelse af sundet, var der moderat iltsvind først i september, som var væk igen midt i september. I **Langelandsbælt** (øst for **Langeland**) angiver iltsvindsmodellen, at iltindholdet midt i september var lavt i hele strædets udstrækning (*figur 2*).

5.6 Farvandene omkring Sjælland, Lolland og Falster

I farvandene rundt om **Sjælland**, **Møn**, **Lolland** og **Falster** blev der i rapporteringsperioden registreret iltsvind i **Jammerland Bugt**, **Kalundborg Fjord**, **Sejerø Bugt**, **Isefjord**, **Hesselø Bugt**, det sydlige **Kattegat**, **Øresund**, **Faxe Bugt**, **Hjelm Bugt**, **Rødsand Lagune** og **Smålandsfarvandet** (figur 1 og 12).

Vest for **Sjælland** blev der midt i september registreret moderat iltsvind i **Jammerland Bugt** og **Kalundborg Fjord**.

I det sydlige **Kattegat**, inklusive **Sejerø Bugt** og **Hesselø Bugt**, blev der ligeledes registreret moderat iltsvind i september.

I **Isefjord** blev der i rapporteringsperioden målt kraftigt iltsvind både i den indre og den ydre del af fjorden. I **Roskilde Fjord** blev der ikke registreret iltsvind.

I **Øresund** blev der midt i september registreret iltsvind både nord og syd for **Hven**. Iltsvindsmodellen angiver, at iltsvindet strakte sig fra det sydlige **Kattegat** ned igennem **Øresund** til midt imellem **Hven** og **Saltholm**.

I **Køge Bugt** blev der ikke registreret iltsvind i rapporteringsperioden.

I **Faxe Bugt** har iltforholdene på målestationen varieret en del med kortvarigt iltsvind ad flere omgange. Midt i september var der moderat iltsvind i et tyndt bundlag, som kun berørte et meget lille område.

I **Hjelm Bugt** syd for **Møn** var der sidst i rapporteringsperioden kraftigt iltsvind på den nordlige station og moderat iltsvind på den sydlige station. Iltsvindsmodellen angiver, at iltsvindet syd for **Møn** udgjorde en del af et større iltsvindsområde, der strakte sig ned i **Mecklenburg Bugt** (figur 2).

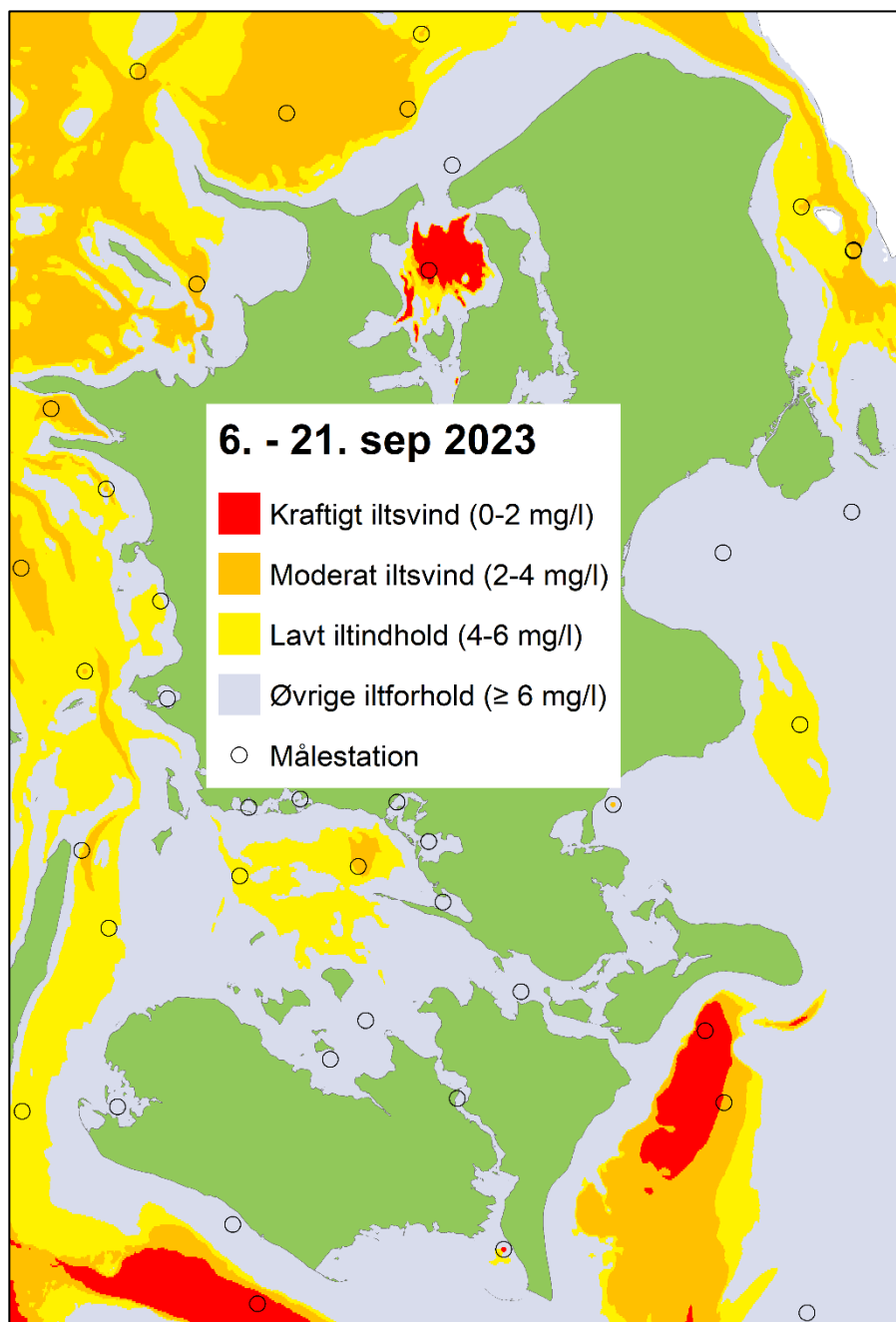
I **Rødsand Lagune** blev der registreret kraftigt iltsvind både først og midt i september. Det er usædvanligt for området med længerevarende iltsvind, men iltsvindet berørte kun et mindre område i lagunens østlige ende.

De seneste målinger i **Smålandsfarvandet** er fra først i september, hvor der var moderat iltsvind i bundvandet på den indre station og lavt iltindhold på den ydre station.

I farvandet omfattende **Femern Bælt**, **Mecklenburg Bugt** og **Lübeck Bugt** angiver iltsvindsmodellen, at der i september var et stort sammenhængende område med overvejende kraftigt iltsvind (figur 2).

Figur 12. Modelleret arealudbredelse af iltsvind i farvandene rundt om Sjælland, Lolland og Falster baseret på målinger fra 6.-21. september.

Modelled areal distribution of oxygen depletion in waters around Zealand, Lolland and Falster based on measurements from 6-21 September.



5.7 Farvandene omkring Bornholm

Der var kraftigt iltsvind øst for **Bornholm**, som er et naturligt iltsvindsområde med næsten permanent iltsvind typisk fra omkring 70 meters dybde (*figur 1*). Vest for **Bornholm** blev der også registreret kraftigt iltsvind, og iltsvindsmodellen angiver tilstedeværelsen af et større sammenhængende iltsvindområde, hvor der var kraftigt iltsvind i den sydlige halvdel og moderat iltsvind i den nordlige halvdel (*figur 2*).

5.8 Kort over danske farvande



Figur 13. Oversigt over danske farvande med fokus på potentielle iltvindsområder.

Map with an overview of Danish marine waters with focus on potential areas with oxygen depletion.

6. Kontaktpersoner

DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, Aarhus Universitet

Jens Würgler Hansen, tlf. 30 18 31 09, e-mail jwh@ecos.au.dk

Miljøstyrelsen (MST)

Inga Holm, tlf. 93 58 82 45, e-mail inhol@mst.dk

Mikael Hjorth Jensen, tlf. 93 58 82 47, e-mail mihje@mst.dk

Sveriges Meteorologiske og Hydrologiske Institut (SMHI)/

Bohusläns Vattenvårdsförbund (BVVF)

Lotta Fyrberg, tlf. +46 31 751 8978, e-mail lotta.fyrberg@smhi.se

Leibniz Institute for Baltic Sea Research Warnemünde (IOW)

Michael Naumann, tlf. +49 381 5197 267,

e-mail michael.naumann@io-Warnemuende.de

State Agency for Environment, Nature Conservation and Geology, Mecklenburg-Vorpommern

Mario von Weber, tlf. +49 3843 777 331

e-mail mario.weber@lung.mv-regierung.de

Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein (LLUR SH)

Hannah Lutterbeck, tlf. +49 4347 704 274,

e-mail hannah.lutterbeck@llur.landsh.de