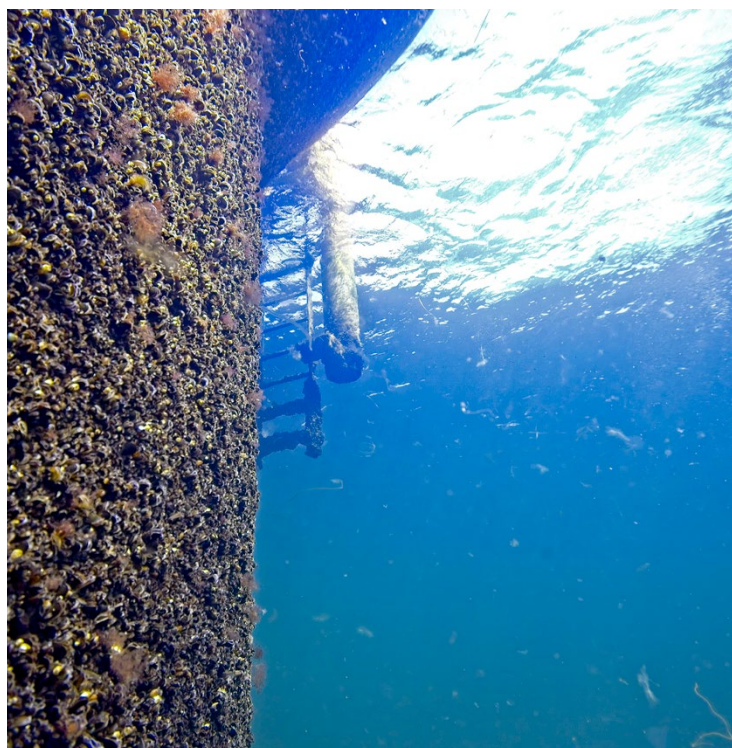


# Effekter av havsbaserad vindkraft på marint liv

En syntesrapport om kunskapsläget 2021

---

Lena Bergström, Marcus C Öhman  
Charlotte Berkström, Martin Isæus  
Lena Kautsky, Birgit Koehler  
Antonia Nyström Sandman  
Hans Ohlsson, Richard Ottvall  
Henriette Schack, Magnus Wahlberg



RAPPORT 7049 | MAJ 2022



# Effekter av havsbaserad vindkraft på marint liv

En syntesrapport om kunskapsläget 2021

Lena Bergström<sup>1</sup>, Marcus C Öhman<sup>2</sup>, Charlotte Berkström<sup>1</sup>, Martin Isæus<sup>2</sup>,  
Lena Kautsky<sup>3</sup>, Birgit Koehler<sup>1</sup>, Antonia Nyström Sandman<sup>2</sup>, Hans Ohlsson<sup>4</sup>,  
Richard Ottvall<sup>5</sup>, Henriette Schack<sup>6</sup>, Magnus Wahlberg<sup>6,7</sup>

1. Institutionen för akvatiska resurser, SLU
2. AquaBiota Water Research
3. Stockholms universitet/Östersjöcentrum
4. OX2 AB
5. Ottvall Consulting AB
6. Naturens Stemme, Danmark
7. Syddansk Universitet, Danmark

**Beställningar**

Ordertel: 08-505 933 40

E-post: natur@cm.se

Postadress: Arkitektkopia AB, Box 110 93, 161 11 Bromma

Internet: [www.naturvardsverket.se/publikationer](http://www.naturvardsverket.se/publikationer)

**Naturvårdsverket**

Tel: 010-698 10 00

E-post: [registrator@naturvardsverket.se](mailto:registrator@naturvardsverket.se)

Postadress: Naturvårdsverket, SE-106 48 Stockholm

Internet: [www.naturvardsverket.se](http://www.naturvardsverket.se)

ISBN 978-91-620-7049-6

ISSN 0282-7298

© Naturvårdsverket 2022

Tryck: Arkitektkopia AB, Bromma 2022

Omslagsfoto: Michael Palmgren



# Förord

Forskningsprogrammet Vindval är ett samarbete mellan Energimyndigheten och Naturvårdsverket med uppgiften att ta fram och förmedla vetenskapligt baserade fakta om vindkraftens effekter på människa, natur och miljö. Inom programmet har hittills över 50 forskningsprojekt finansierats. Utöver detta har fyra syntesrapporter tagits fram, varav två har uppdaterats. I syntesrapporterna sammanställer och bedömer experter de samlade forskningsresultaten och erfarenheterna av vindkraftens effekter nationellt samt internationellt inom fyra områden: Människors intressen, fåglar och fladdermöss, marint liv och däggdjur på land. Denna rapport är en uppdatering av syntesrapporten Vindkraftens påverkan på marint liv som publicerades 2012.

Resultaten från Vindvals forskning har bidragit till underlag för miljökonsekvensbeskrivningar samt planerings- och tillståndsprocesser i samband med etablering av vindkraftsanläggningar. Dessutom ska resultaten från Vindval komma till användning i tillsyn och kontrollprogram samt myndigheters vägledning. Ett av Vindvals fokusområden är planering och de avvägningar mellan miljö och socioekonomiska intressen som måste göras. Programmet ska utveckla metoder och verktyg för att göra sådana avvägningar.

Vindval ställer höga krav vid vetenskaplig granskning av forskningsansökningar och forskningsresultat, samt vid beslut om att godkänna rapporter och publicering av projektens resultat.

Denna rapport är skriven av Lena Bergström, Charlotte Berkström, Birgit Koehler: SLU, Institutionen för akvatiska resurser, Marcus C Öhman, Martin Isæus, Antonia Nyström Sandman, AquaBiota Water Research, Lena Kautsky: Stockholms universitet/ Östersjöcentrum, Magnus Wahlberg: Syddansk Universitet och Naturens Stemme, Danmark, Henriette Schack: Naturens Stemme, Danmark, Hans Ohlsson, OX2 AB samt Richard Ottvall, Ottvall Consulting AB.

Författarna svarar för rapportens innehåll.

Stockholm den 2 maj 2022

Kerstin Jansbo  
Programchef, Vindval

# Innehåll

<b>Sammanfattning</b>	6
<b>Summary</b>	9
<b>1. Inledning</b>	12
1.1 Vindkraften har en central roll för att nå klimatmålen	12
1.2 Havsbaserad vindkraft och naturvärden	13
1.3 Behovet av kunskap om vindkraftens effekter på marint liv i Sverige	14
1.4 Rapportens syfte och upplägg	16
1.5 Medverkande författare	16
<b>2. Havsbaserade vindkraftverk – deras tekniska utformning och möjliga påverkansfaktorer</b>	17
2.1 Utvecklingen går mot allt större vindkraftverk och vindparker	17
2.2 Vindkraftverkens utformning till havs	17
2.3 Förväntade påverkansfaktorer från havsbaserad vindkraft	22
<b>3. Bedömningen av påverkan på arter och miljöer</b>	30
3.1 Sveriges havsområden har stor ekologisk variation	30
3.2 Arter och artgrupper som ingått i bedömningen	30
3.3 Hur har bedömningarna av påverkan tagits fram?	35
<b>4. Effekter på bottenära livsmiljöer</b>	37
4.1 Nyckelslutsatser gällande effekter	37
4.2 Nyckelslutsatser gällande kunskapsläget	37
4.3 Viktigaste påverkansfaktorer under anläggningsfasen	37
4.4 Viktigaste påverkansfaktorer under driftsfasen	38
4.5 Främsta risker och viktiga förebyggande åtgärder	43
<b>5. Effekter på fisk</b>	44
5.1 Nyckelslutsatser gällande effekter	44
5.2 Nyckelslutsatser gällande kunskapsläget	44
5.3 Viktigaste påverkansfaktorer under anläggningsfasen	44
5.4 Viktigaste påverkansfaktorer under driftsfasen	46
5.5 Främsta risker och viktiga förebyggande åtgärder	48
<b>6. Effekter på marina däggdjur</b>	50
6.1 Nyckelslutsatser gällande effekter	50
6.2 Nyckelslutsatser gällande kunskapsläget	50
6.3 Viktigaste påverkansfaktorer under anläggningsfasen	50
6.4 Viktigaste påverkansfaktorer under driftsfasen	53
6.5 Främsta risker och viktiga förebyggande åtgärder	56
<b>7. Effekter på sjöfågel</b>	58
7.1 Nyckelslutsatser gällande effekter	58
7.2 Nyckelslutsatser gällande kunskapsläget	58
7.3 Viktigaste påverkansfaktorer under anläggningsfasen	58
7.4 Viktigaste påverkansfaktorer under driftsfasen	59
7.5 Främsta risker och viktiga förebyggande åtgärder	62

<b>8.</b>	<b>Effekter på större geografisk skala</b>	64
8.1	Flera faktorer i havsmiljön kan påverka den sammanvägda bedömningen	64
8.2	Flera påverkansfaktorer uppstår även vid andra aktiviteter till havs	64
8.3	Vindkraften kan ge upphov till indirekta effekter	65
8.4	Skattning av kumulativa effekter	66
8.5	Sammanlagd påverkan på arter och ekosystem	68
<b>9.</b>	<b>Kan havsbaserad vindkraft vara positiv för marint liv?</b>	70
9.1	Målsättningar och preferenser påverkar värderingen	70
9.2	Positiva effekter kring de enskilda vindkraftverken – Reveffekten	71
9.3	Positiva effekter på vindpark- och landskapsnivå	74
9.4	Interaktioner med andra aktiviteter är en osäkerhetsfaktor	77
<b>10.</b>	<b>Kvarstående kunskapsluckor</b>	80
10.1	Marint liv kan både påverkas av och gynnas av havsbaserad vindkraft	80
10.2	Utveckla riskbedömningar för att kunna minimera påverkan	80
10.3	Samverkan mellan miljöforskning och utvecklingen av vindkraft	81
10.4	Reveffekter i stor skala och över längre tid	81
10.5	Effekter på konnektivitet och spridning av arter	82
10.6	Förbättring av planeringsprocessen	82
<b>11.</b>	<b>Slutord</b>	84
<b>12.</b>	<b>Tack</b>	86
<b>13.</b>	<b>Referenser</b>	87

# Sammanfattning

Att öka tillgången på förnybar energi är nödvändigt för att motverka klimatförändringarna. Här förväntas havsbaserad vindkraft ha en viktig roll. Samtidigt medför planer på att bygga ut havsbaserad vindkraft viktiga frågeställningar kring hur marint liv och biologisk mångfald kan påverkas. I den här rapporten sammanställs det nuvarande kunskapsläget om hur havsbaserad vindkraft skulle kunna påverka marint liv, med fokus på svenska havsområden. Temamässigt omfattar rapporten bottennära miljöer, fisk, marina däggdjur och sjöfågel. Den strävar även efter att belysa kunskapsläget kring kumulativa effekter, samt frågor om under vilka förutsättningar havsbaserad vindkraft skulle kunna gynna marint liv.

Bedömningarna beaktar även hur det tekniska utförandet har utvecklats, till exempel när det gäller vindparkernas utformning och dimensionering. Planeringen idag omfattar större vindparker och kraftverk, och bottenfasta vindkraftverk kan lokaliseras på allt större djup. De har hittills främst etablerats inom djupintervallet 5–40 meter, men kan numera anläggas på omkring 40–60 meters djup. Därtill förväntas flytande fundament, som klarar ännu större djup, bli vanligare. En annan viktig aspekt är hur tillämpningen av skadelindrande åtgärder har utvecklats.

Havsbaserad vindkraft förväntas påverka marint liv på olika sätt under anläggnings- och driftsfasen, varför det är relevant att tydligt särskilja dessa i riskbedömningar. Rapporten berör även effekter under avvecklingsfasen.

Under anläggningsfasen, som pågår någon dag per kraftverk, kan högtintensivt ljud uppstå till exempel i samband med pålning av vindkraftverkens fundament. Åtgärder för att minska skadeverkningar av högtintensivt ljud är viktiga, och kan förutsättas vara standard idag. Ofta finns det även behov att förbereda havsbotten, vilket leder till spridning av sedimentpartiklar. Omfattningen av både ljud- och sedimentspridning beror på lokala förhållanden. Därför behöver de lokala förhållandena beaktas för att ta fram en mer detaljerad kännedom om risker för marint liv. I synnerhet tumlare kan påverkas negativt av höga ljudnivåer vid anläggningsfasen, med risk för hörselpåverkan och kraftiga beteendestörningar om inte skadelindrande åtgärder används. Särskilda hänsyn i lokalisering och utförande kan även behövas för sälar, samt för fisk när det gäller områden och årstider som är viktiga för deras reproduktion.

Under driftsfasen, som pågår upp emot cirka 40 år, bildar vindkraftverkens fundament och eventuella erosionsskydd fasta strukturer. Detta kan ge upphov till reveffekter då ytorna skapar plats för fastsittande arter. Med tiden kan även fiskar och marina däggdjur lockas dit, om förhållandena medger det. En viktig skillnad jämfört med andra typer av rev är att fundamenten går hela vägen upp till ytan, vilket ökar tillgången på hårda substrat i hela vattenpelaren. En möjlig risk är att de nya substraten skulle kunna gynna oönskade främmande arter, även om det saknas belägg för vindparkernas roll som en sådan spridningsväg.

När elen produceras genereras undervattensljud, och överföringen av el i sjökablar kan leda till ett visst mått av elektromagnetiska fält i kablarnas närhet. Effekter av dessa påverkansfaktorer har varit svåra, om inte omöjliga, att notera i fältundersökningar. En generell slutsats skulle kunna vara att, om det förekommer negativa effekter av undervattensljud och elektromagnetiska fält, så är de oftast i styrka underordnade den attraktion som kommer av reveffekten.

Aktuella studier tyder sammanfattningsvis på att havsbaserad vindkraft under driftsfasen inte är ett hot mot fiskar, säl eller tumlare. Särskild hänsyn när det gäller lokalisering kan dock behövas för skyddsvärda bottenmiljöer samt sjöfågel. Vissa sjöfågelarter kommer sannolikt att undvika området där vindparken etableras. Även åtgärder för att minska dödlighet kopplad till att fåglar kolliderar med kraftverken kan vara viktiga i vissa områden. Eftersom slutsatserna baseras på studier i andra miljöer än de som kan bli aktuella i Sverige framöver är en uppföljning av miljöeffekter viktig i de parker som etableras, för att ha möjlighet att säkerställa eller vid behov revidera kunskapsläget.

## Utveckling av kunskapsläget

När det gäller vindkraftens effekter på bottennära livsmiljöer har kunskapsläget förbättrats angående mer långsiktig påverkan, liksom hur alg- och djursamhället i vindparken förändras över tid. Med åren blir det mer och mer likt det naturliga samhället på hårda botten i den aktuella regionen, även om arter med långlivade larvstadier främjas relativt sett mer. I viss mån saknas kunskap om vilken påverkan som kan förväntas om man bygger på större djup och om vindkraftverken står glesare, som planeras idag. Inga studier tyder dock på att etablering av vindkraftverk är ett hot mot vegetation eller bottenlevande djur i den här typen av miljöer, så länge särskilt skyddsvärda livsmiljöer undviks.

Angående fisk och fisksamhällen har förståelsen för reveffekter ökat. Forskningen har övergått till att belysa reveffekter mer ingående, från att tidigare främst bekräfta om det blir en reveffekt eller inte. Sådana studier saknas dock idag för flera svenska havsområden eftersom det inte finns vindparker där.

För marina däggdjur har kunskapsläget förbättrats framför allt när det gäller förståelsen av hur sälar och tumlare uppfattar och använder sig av ljud, samt hur ljud av olika frekvens och intensitet påverkar djuren.

Kunskapen om hur havsbaserad vindkraft kan påverka sjöfågel har förbättrats framför allt för kustnära områden, men bedömningar begränsas fortfarande av otillräcklig kunskap om olika sjöfågelarters utbredning och dynamik i förekomst mellan år. Det här gäller speciellt områden längre ut till havs och med större djup än 30 meter. Den internationella forskningen har varit fokuserad på att bedöma kollisionrisk, och ny teknik har gett ökad kunskap om fåglars flyghöjder och beteenden i förhållande till vindkraftverk.

## Kumulativa effekter

För att göra en sammanvägd bedömning av vindkraftens miljöeffekter är det relevant att sätta de enskilda bedömningarna i ett vidare sammanhang, där även till exempel aktuell miljöstatus och effekter av annan verksamhet ingår, så som omfattningen av fiske och sjöfart. I ett sådant perspektiv skulle införandet av en vindpark kunna leda till att den totala omfattningen av påverkan antingen ökar eller minskar i ett visst område. Etableringen kan också påverka samspelet mellan arter, med efterföljande indirekta effekter i ekosystemet. Att förstå sådana sammanvägda effekter är ett fortsatt viktigt forskningsområde. Det finns även ett behov av att utveckla metoder för att skatta kumulativa effekter i samband med havsbaserad vindkraft på olika rumsliga och tidsmässiga skalor.



Utgående från det befintliga kunskapsläget kan risken för att havsbaserade vindparker bidrar med negativa kumulativa effekter på havsmiljön förväntas vara låg, under förutsättning att skadelindrande åtgärder tillämpas och bästa möjliga hänsyn tas. Under anläggningsfasen innebär sådana förutsättningar att skadliga nivåer av påverkansfaktorn minimeras, och att anläggningen sker under sådana rumsliga och tidsmässiga förhållanden att risken för ansamling av känsliga populationer av fisk och marina däggdjur minimeras. Bedömningen beror på att påverkan under anläggningsfasen är tidsmässigt övergående och inte förväntas upprepas vid mer än ett tillfälle per plats. Det baseras därför också på förutsättningen att annan motsvarande verksamhet inte sker samtidigt i området. För driftsfasen innebär förutsättningarna att driften sker med sådan teknik att nivån av elektromagnetiska fält är låg och att undervattensljud inte leder till negativa effekter på fisk eller marina däggdjur, och med undantag av att det fortsatt finns oklarheter kring hur sjöfågel kan påverkas.

Vid en omfattande utbyggnad kommer gradvis högre hänsyn och anpassningar för att undvika kumulativa effekter att vara motiverade. Det ställer även ökade krav på nationell och internationell samordning för att undvika risker för kumulativ påverkan i samband med anläggningsfasen, till exempel om flera vindparker anläggs parallellt. Eftersom vindkraftens långsiktiga bidrag till kumulativ påverkan är svårbedömda i dagsläget, och förväntas variera både lokalt och mellan olika havsområden, vore det mycket viktigt att följa utvecklingen över tid i sådana parker som etableras, för att öka kunskapen och skapa möjlighet att vid behov införa åtgärder för att minska risker för specifika arter.

## Kan vindkraften ha positiva effekter på marint liv?

Forskningen innehåller även exempel på när införandet av havsbaserad vindkraft kan ha gynnat arter, eller aspekter av biologisk mångfald och ekosystemtjänster. Det finns dock en svårighet med att generalisera kring om havsbaserad vindkraft kan gynna marint liv, eftersom utfallet i hög grad beror på vindparkens lokalisering, ekologiska förutsättningar, samt vilka andra aktiviteter som förekommer i närområdet. En viktig aspekt är även att mänskliga preferenser påverkar definitionen av om viss förändring i artsammansättning är ”positiv” eller ”negativ”, eftersom det här beror på hur olika arter och ekosystemtjänster värdesätts, det vill säga vilken typ av biologisk mångfald som är önskvärd i ett visst område. Rapporten redogör för olika typer av anpassningar som har förslagits för att gynna särskilda arter i samband med havsbaserad vindkraft, även om utvecklingen av sådana naturanpassade lösningar fortfarande är i sin linda.

# Summary

Enhancing renewable energy production is critical to combat climate change, and large expectations are set on the expansion of offshore wind farms to meet this need. However, this development also brings up important questions on how biodiversity may be affected. This report provides a synthesis of the current state of knowledge about potential impacts of offshore wind farms on marine wildlife, with a focus on Swedish sea areas. Thematically, the report covers benthic habitats, fish, marine mammals, and sea birds. It also evaluates the current state of knowledge regarding cumulative impacts, and regarding potential positive effects of offshore renewable on marine wildlife.

Research has contributed with substantial knowledge development since the latest Vindval synthesis report on marine wildlife was published in 2012. In addition, significant technical developments have occurred, affecting wind farm design. For example, wind farms being planned today are considerably larger than before and can be located in deeper waters. Another important area is the development of mitigation measures.

Risks for marine wildlife clearly differ between the phase when the wind farm is constructed and its operational phase, why it is important to clearly separate these phases in both environmental impact assessments and strategic environmental assessments. The report also covers potential effects during decommissioning.

The construction phase typically lasts a few days per turbine, with one main pressure being impulsive noise associated with pile driving. Measures to reduce impacts of impulsive noise are of critical importance and should be regarded as common practise today. Another major pressure is sediment dispersal connected with activities to prepare the seabed for the turbines and cables. The intensity and potential distribution range of both impulsive noise and sediment dispersal are highly dependent on local conditions, which need to be specifically considered in each project, together with a risk assessment focusing on the locally relevant marine organisms. With respect to Swedish waters, harbour porpoise is particularly sensitive to noise during the construction phase, with risks for impacts on hearing and behaviour unless appropriate mitigation measures are applied. Special considerations are also relevant for seals, and for fish during their spawning and recruitment stage in key areas for reproduction.

During the operational phase, which lasts up to around 40 years, the turbine foundations and potential scour protection act as artificial reefs. The hard structures can be expected to attract sessile and mobile species from the local species pool. An important property of the wind turbine structures, as opposed to most other reefs, is that they enhance the availability of hard substrates all the way through the water column. A potential risk is that the new structures may be particularly beneficial for undesired invasive species, but this concern is not confirmed by existing research.

During operation, the wind farm gives rise to underwater noise of continuous character, and the electricity which is generated is transferred to land through cables, giving rise to some level of electromagnetic fields. However, a risk for negative effects on marine life of these pressures is not generally supported by existing research,

given that appropriate conduct and design is applied. For species also occurring in Swedish sea areas, available studies indicate that if potential deterring effects of underwater noise or electromagnetic fields occur during the operational phase, they are generally subordinate to the attraction of the artificial reef effect.

Current evidence indicates that offshore wind farms do not constitute a significant risk to fish, seals or harbour porpoise during the operational phase. However, in the identification of suitable offshore wind farm locations, there is reason to particularly consider risks for disturbance of sensitive or rare natural benthic habitats as well as risks to certain species of sea birds. Some sea bird species can be expected to avoid the wind farm area, at least initially, and mitigation measure to reduce collision risk for birds may be motivated. Since the evaluations presented here are to large extent based on results from other countries, due to the absence of corresponding research and experience from Swedish waters, it would be important to carry out follow-up studies in connection with the construction and operation of new offshore wind farms in Sweden, to validate these conclusions.

## State of knowledge development

For benthic habitats, research has particularly improved the state of knowledge on long-term effects, for example regarding how benthic communities develop over time close to the turbines. With time, the new substrates become more similar to corresponding natural hard substrates in adjacent areas, although species with an extended larval stage may benefit relatively more. There is a lack of studies on effects in deeper areas, although existing research does not point to any elevated risks, as long as particularly sensitive and rare habitats are avoided.

For fish, research has particularly focused on reef effects. Research has progressed from verifying if there is a reef effect or not, to studying effects from a functional or food web perspective. Studies on fish are, however, lacking for several Swedish sea areas, largely attributed to a lack of wind farms.

For marine mammals, research has particularly contributed to understanding how seals and harbour porpoise detect and use sound, and on how they are affected by sound of different frequencies, as outlined further in the report.

Knowledge on potential impacts on seabirds has increased particularly for coastal areas. However, evaluations of risk are still limited by insufficient knowledge on the spatial and temporal distribution of different species, including interannual variability. This gap is particularly evident for open sea areas and waters deeper than thirty meters. Internationally, research has primarily focused on assessing collision risks, and technical developments have contributed to enhancing knowledge on bird flight patterns and their behaviour in relation to wind farms.

## Cumulative effects

To estimate total effects on the environment, there is a need to also consider the evaluations presented above in relation to other potentially contributing aspects, such as environmental status and impacts from concurring marine activities. From this perspective, implementation of offshore wind farms may either increase or decrease the total cumulative impact, depending on the location and on how adjacent areas are managed. In addition, changes in species interactions may contribute to modulating the effects. Understanding and dealing with cumulative

effects at such a more overarching scale is an important area of further development, and it also raises expectations to a coordinated management of different sectors. There is also a need to develop cumulative risk assessment approaches for individual offshore wind farm projects with respect to different spatial and temporal scales.

Based on the current state of knowledge, the risk that implementation of offshore wind farms in Swedish sea areas today would contribute to negative cumulative impacts on the environment can be considered low, provided that appropriate mitigation measures are applied and that best environmental practise is used. For the construction phase, this implies that the spatial and temporal occurrence of damaging levels of the pressures is minimised, and that the construction takes place in seasons when the risk for aggregation of sensitive species or populations is minimised. It is also based on the assumption that disturbance during the construction phase is limited in time, and is not repeated more than once in each site. For the operational phase, the evaluation of a low risk for negative cumulative impacts assumes that sensitive and rare benthic habitats are avoided, that levels of electromagnetic fields have insignificant impact on marine organisms and that continuous noise during the operational phase does not have negative effects on populations of fish or marine mammals, but it should be noted that there remain uncertainties in how some seabird species are affected.

Under an increasing expansion of offshore wind farms, gradually stronger concerns might be warranted to account for increasingly accumulated effects. Example of a motivated measure under this scenario is national and international coordination to avoid risks for cumulative impacts from piling during the construction phase, if several wind farms are planned for construction in the same season and sea area. Due to prevailing uncertainties regarding for example how changes in the ambient ecosystem and in other marine activities develop, another important measure would be to follow the development in any established wind farms over time, with the aim to enhance the level of local knowledge and where needed be able to introduce adaptations to decrease risks for specific species.

## Can offshore wind farms have positive effects on marine wildlife?

Research also includes examples of how the implementation of offshore wind farms may have benefitted certain aspects of biodiversity. It is difficult to generalise such results, as the outcome depends on for example the location of the wind farm, ambient ecological settings, and levels of other marine activities in the sea area. Another consideration is that human preferences influence whether a certain effect is considered positive or negative, as this depends on how certain species and ecosystem services are valued. The report provides examples of features, adaptations and situations that may benefit certain biodiversity aspects in connection to offshore wind farms.

# 1. Inledning

## 1.1 Vindkraften har en central roll för att nå klimatmålen

Att stärka tillgången på förnybar energi är nödvändigt för att motverka klimatförändringarna (IPCC 2018, 2021). För att begränsa den globala uppvärmningen har Sveriges regering (2021) som mål att uppnå 100 procent förnybar elproduktion år 2040. Idag bidrar vattenkraften mest till andelen förnybar el i Sverige, följt av vindkraft och biobränsle, medan sol bidrar med en mycket liten andel (Energimyndigheten 2021a).

Energimyndigheten (2019) beräknade att förnybarhetsmålet innebär ett behov att öka produktionen av förnybar el från andra källor än vattenkraft till omkring 110 TWh per år, när Sveriges totala elbehov beaktas och under antagandet att vattenkraften antas förbli på en oförändrad nivå. Den förnybara elen stod år 2019 för cirka 59 procent av Sveriges totala elproduktion, varav vindkraften utgjorde 16 procent, eller 27,5 TWh (Energimyndigheten 2021a). Den havsbaserade vindkraften stod för 0,3 procent av den totala elproduktionen (Energimyndigheten 2021b). Den övriga elproduktionen kom från kärnkraften, som varken är av förnybart eller fossilt ursprung (39 procent av elproduktionen under 2019), och fossila bränslen (1,9 procent).

Statistiken kan jämföras med att Sveriges planeringsram har varit att skapa förutsättningar för en utbyggnad motsvarande 30 TWh årlig elproduktion från vindkraft fram till 2020, varav 20 TWh på land och 10 TWh till havs (Energimyndigheten 2021a). De anläggningar som finns eller har tillstånd på land idag motsvarar med andra ord planeringsmålet med god marginal, medan omfattningen av anläggningar till havs inte uppnår det ställda planeringsmålet. Sveriges elbehov har dock förväntats öka sedan dessa beräkningar gjordes. Till exempel har Energimyndigheten tillsammans med andra myndigheter fått som uppdrag av regeringen att till mars 2023 peka ut områden för ytterligare 90 TWh elproduktion till havs (Regeringen 2022).

Globalt sker det en kraftig ökning i både landbaserad och havsbaserad vindkraft. Den havsbaserade vindkraften utgjorde 6,1 procent av den globala vindkraften år 2020 (GWEC 2021). Det hittills lägre intresset för havsbaserad vindkraft i Sverige kan kopplas till högre kostnader och större logistiska utmaningar, men även till intressekonflikter i förhållande till andra mänskliga aktiviteter och naturvärden (Energimyndigheten 2021b). Utvärderingar har dock bedömt att det finns en stor potential för havsbaserad vindkraft i Sverige (t ex SWEKO 2017), liksom i Sveriges grannländer (Hüffmeier och Goldberg 2019).

## 1.2 Havsbaserad vindkraft och naturvärden

En utbyggnad av havsbaserad vindkraft innebär att stora arealer av havet tas i anspråk. Tillsammans med frågeställningar om hur vindkraft till havs skulle påverka andra aktiviteter till havs (Malafry och Öhman 2022), medför detta viktiga frågeställningar kring hur havsbaserad vindkraft kan påverka marint liv. Parallellt med behoven att motverka klimatförändringarna har det blivit allt tydligare att hot mot biologisk mångfald är en lika avgörande framtidsfråga (IPBES 2019, Tunón och Sandell 2021, EC2020). Aktuella utvärderingar av miljön i såväl svenska hav (Figur 1) som internationellt påvisar stora behov att förbättra skyddet av havets biologiska mångfald och att minska den sammanlagda negativa påverkan på havets ekosystem (HELCOM 2018, OSPAR 2017, Korpinen m.fl. 2021, UN 2021). Behoven framhålls inte enbart ur bevarandesynpunkt, utan också för att säkerställa en långsiktig tillgång på ekosystemtjänster och nyttigheter från havet (se även Ahtiainen och Öhman 2014, Havs- och vattenmyndigheten 2018, Bryhn m.fl. 2020).

Målen för klimat och för biologisk mångfald i havet är dessutom beroende av varandra, eftersom havets arter och ekosystem i hög grad även påverkas av klimatförändringar (IPBES 2018, IPCC 2019, Bergström m.fl. 2020). Detta samlade behov att både stärka havsmiljön och ställa om till hållbara näringar kan förväntas öka över tid givet den nuvarande utvecklingen. Till exempel i EU:s strategi för grön omställning (Den gröna given) betonas ekologisk hållbarhet och klimatneutralitet (EC 2019). Havs- och vattenmyndigheten (2019) beaktade avvägningar mellan klimatnytta och påverkan på naturvärden från havsbaserad vindkraft, på ett övergripande plan, i förslagen på havsplaner för svenska havsområden. När det gäller påverkan på naturvärden framhölls framför allt att vindkraftverkens ledningar, kablar och buller kan skada livsmiljöer. Som fördelar med en ökad havsbaserad vindkraft inräknades möjligheten att minska belastningen från koldioxid och andra växthusgaser, men potentiellt även ökad biologisk mångfald genom konstgjorda rev (Havs- och vattenmyndigheten 2019)<sup>1</sup>. De energiområden som ingick i förslagen på havsplaner motsvarar enligt Energimyndigheten (2021a) en potential om 20–30 TWh årlig produktion av vindel.

---

<sup>1</sup> I förslagen på havsplaner (Havs- och vattenmyndigheten 2019) beaktades även möjliga konflikter med andra näringar, samt att förändringar i landskapsbilden kan leda till effekter på kulturmiljöer, friluftsliv och turism, aspekter som inte ingår i föreliggande rapport.



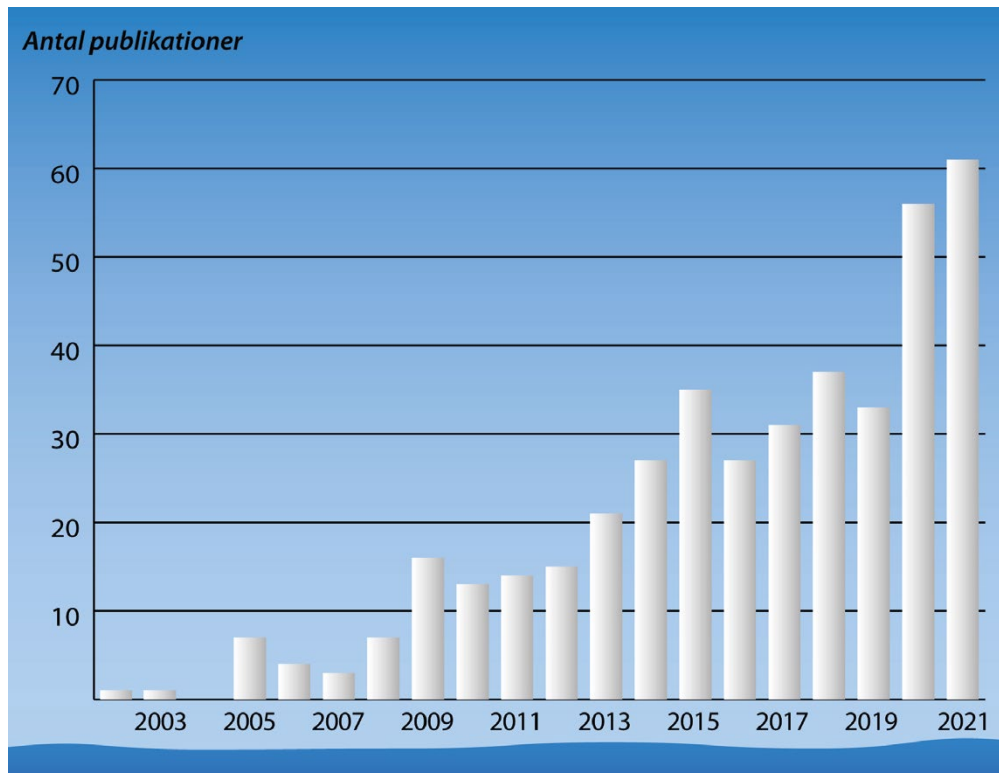
Figur 1. Karta över svenska havsområden, och över angränsande områden i Östersjön och Nordsjön. Den blå färgskalan illustrerar en övergång från närapå fullt marin miljö i Skagerrak till närapå sötvattensförhållanden i Bottenviken.

### 1.3 Behovet av kunskap om vindkraftens effekter på marint liv i Sverige

Forskningen om vindkraftens effekter på marint liv ökar tydligt på global skala idag (Figur 2). Vad gäller svenska havsområden så har de flesta studier utförts inom ramen för forskningsprogrammet Vindval (för en översikt, se Naturvårdsverket 2022), med fokus på vindparkerna Utgrunden i Kalmarsund och Lillgrund i Öresund. Vid Lillgrund vindpark, som är Sveriges största vindpark, utfördes även ett omfattande kontrollprogram under åren före och efter etablering (Bergström m.fl. 2013a). En stor del av dessa studier sammanfattades tillsammans med internationella erfarenheter i en tidigare Vindval syntesrapport (Bergström m.fl. 2012, se även Bergström m.fl. 2014). Under senare år har studier av vindkraftens miljöeffekter i svenska vatten varit begränsade, även om en omfattande forskning skett i flera andra länder<sup>2</sup>. Samtidigt har en omfattande teknikutveckling gjort många äldre studier inaktuella.

<sup>2</sup> För en överblick, se till exempel <https://tethys.pnnl.gov/> (Copping m.fl. 2013)

I takt med det ökade behovet av omställning till förnybar energi finns en stor efterfrågan på uppdaterad kunskap om hur havsbaserad vindkraft kan påverka marint liv i Sverige. Kunskapen behövs vid framtagandet av vindkraftsprojekt och hanteringen av tillståndsärenden. För att undvika och förebygga skada på naturvärden är det särskilt viktigt att skatta vilka risker och möjliga negativa miljöeffekter som skulle kunna uppstå i samband med havsbaserad vindkraft. Frågan berör stora områden och därmed även många aktörer, som behöver kunna anpassa bedömningar till sina aktuella och lokala förhållanden.



Figur 2. Utvecklingen över tid i antal vetenskapliga publikationer per år som berör ekologiska effekter av havsbaserad vindkraft, tidsperioden 2000–2021, enligt databasen *Web of Science* (se även Avsnitt 3.3).

Samtidigt berör många andra frågor möjligheten att bedöma sammanvägda effekter ur ett ekosystemperspektiv, och som underlag för övergripande planering (t.ex. Havs- och vattenmyndigheten 2019). Risken för negativa effekter kan behöva övervägas inte enbart som en följd av direkta effekter av vindkraften, utan i relation till den sammanlagda effekten av olika havsbaserade verksamheter och hur dessa skulle kunna förvaltas, och även för att kunna identifiera den relativa betydelsen av positiva eller negativa effekter på olika rumsliga och tidsmässiga skalor.



## 1.4 Rapportens syfte och upplägg

Syftet med den här rapporten är att sammanställa och syntetisera det nuvarande kunskapsläget om vindkraftens potentiella effekter på marint liv, utgående från utvecklingen inom forskningen under senare tid och med fokus på aspekter som är relevanta för svenska havsområden. Sedan den senaste syntesrapporten producerades (Bergström m.fl. 2012) har även den tekniska utvecklingen varit omfattande, och till exempel förändringar i vindparkernas utformning och dimensionering kan påverka bedömningen av miljöeffekter. I jämförelse med den syntesrapport som gjordes tidigare finns det därför ett behov att sammanställa den kunskapsutveckling som skett under senare år, både när det gäller tekniska aspekter som kan påverka bedömningen och nya forskningsrön.

Temamässigt innefattar rapporten samma livsmiljöer och djurgrupper som ingick i den förra syntesrapporten (Bergström m.fl. 2012), nämligen bottennära miljöer, fisk och marina däggdjur. I tillägg inkluderas även sjöfågel, för att ge en mer komplett bild av det marina ekosystemet. Vissa angränsande aspekter, till exempel effekter människors upplevelsevärden, livscykelanalyser för själva vindparkerna, eller målkonflikter med andra havsbaserade verksamheter ingår inte. Effekter på fladdermöss, som också är en viktig fråga när det gäller havsbaserad vindkraft, ingår inte heller. Fladdermöss har ingått i en tidigare syntesrapport av Rydell m.fl. (2017), som dock fokuserar på landbaserade vindkraftverk. En genomgång av riskerna för fladdermöss omkring havsbaserad vindkraft finns i Lagerveld m.fl. (2020).

Rapporten inleds med en beskrivning av havsbaserade vindparker, och av faktorer kring dessa som kan bidra till påverkan på marint liv (Kapitel 2). Därefter presenteras en översikt av hur forskningen om effekter av havsbaserad vindkraft har utvecklats det senaste decenniet och hur bedömningarna i den här rapporten har utformats (Kapitel 3). I Kapitel 5–7 presenteras risker och effekter separat för bottennära livsmiljöer, fisk, marina däggdjur och sjöfågel. Dessa kapitel följs av en diskussion om ekosystemeffekter och möjliga effekter på större geografisk skala (Kapitel 8). I tillägg till dessa bedömningar, som fokuserar på negativa effekter, fokuserar Kapitel 9 på om havsbaserad vindkraft under vissa förhållanden skulle kunna bidra positivt till biologisk mångfald. I Kapitel 10 presenteras viktiga kunskapsluckor och slutsatser.

## 1.5 Medverkande författare

Rapportens upplägg och dess generella innehåll har tagits fram av författarna gemensamt. Författarna har medverkat med huvudansvar för respektive kapitel enligt följande – Kapitel 1: Lena Bergström (LB) och Marcus Öhman (MÖ); Kapitel 2: Hans Ohlsson; Kapitel 3: Birgit Koehler och LB; Kapitel 4: Lena Kautsky, Antonia Nyström Sandman och Martin Isæus; Kapitel 5: MÖ och LB; Kapitel 6: Magnus Wahlberg, Henrietta Schack; Kapitel 7: Richard Ottvall; Kapitel 8: LB; Kapitel 9: Charlotte Berkström; Kapitel 10–11: samtliga. Alla författare har deltagit i granskning av rapporten som helhet avseende innehåll och/eller tydlighet, enligt sitt expertisområde. LB har haft huvudansvar för rapportens skrivande och slutliga utformning. Projektledare har varit MÖ och LB.

## 2. Havsbaserade vindkraftverk – deras tekniska utformning och möjliga påverkansfaktorer

### 2.1 Utvecklingen går mot allt större vindkraftverk och vindparker

Installationskostnaderna är en viktig faktor vid etableringen av vindparker, både på land och till havs. För att öka elproduktionen per ytenhet drivs utvecklingen mot allt större vindkraftverk. Turbiner på 16MW lanserades nyligen, och inom tio år räknar många med 25MW vindkraftverk eller större. Större enheter ger en logistisk och kostnadsmässig fördel. Kostnaderna för vindparker till havs har minskat kraftigt även om elproduktionskostnaden fortfarande idag är jämförelsevis högre än vindkraft på land. De havsbaserade vindparker som planeras idag har ofta en totalhöjd på omkring 350 meter, med en rotordiameter om 120 till 300 meter (EEC 2020). Som en följd av denna dimensionering blir det även långa avstånd mellan vindkraftverken i parken för att optimera deras effektivitet. Avstånden mellan vindkraftverken kan vara större i de centrala delarna av parken än i utkanterna. De genomsnittliga avstånden mellan stora framtida vindkraftverk blir förmodligen två till tre kilometer.

### 2.2 Vindkraftverkens utformning till havs

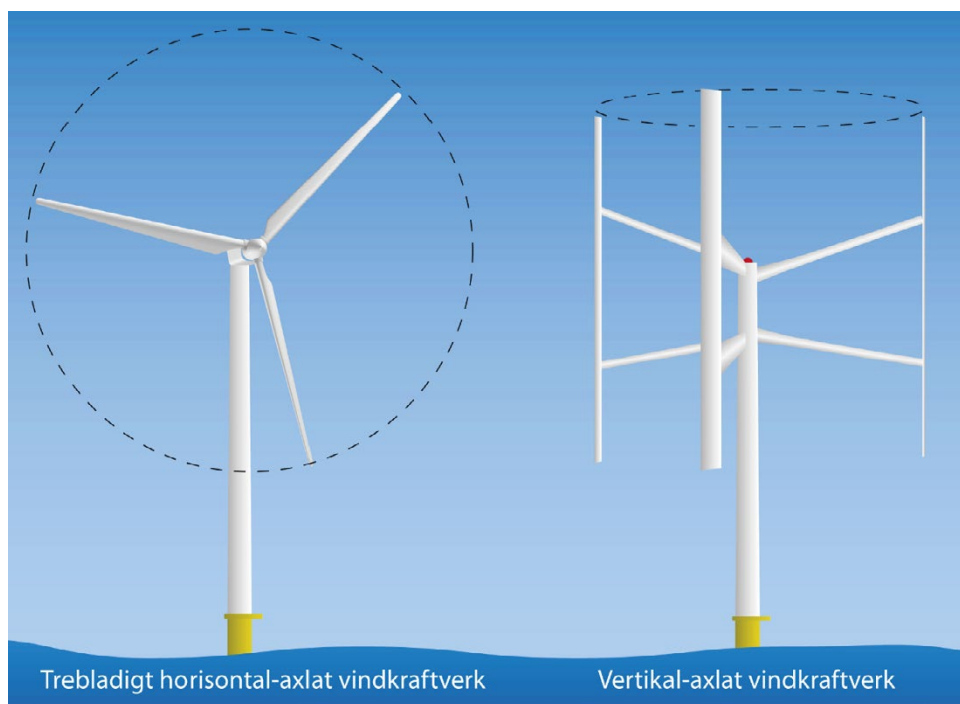
I det här avsnittet beskrivs vindkraftverkens utformning, medan en bedömning av påverkansfaktorer som kan uppstå presenteras i Avsnitt 2.3.

Havsbaserade vindkraftverk har många likheter med vindkraftverk på land. Deras huvudsakliga delar är själva vindkraftverken, fundamenten som förankrar dessa, samt ett internt kabelnät som binder samman vindkraftverken till en eller flera transformatorplattformar, samt anslutningskablar som för den producerade elektriciteten vidare till land. Vindparken som sådan utgör därmed en helhet, där till exempel valet av kraftverk påverkar dimensioneringen av övriga komponenter.

Vindkraftverkens tekniska utformning påverkas inte bara av de funktioner som behövs för elproduktionen utan också av olika omgivande faktorer. Ett havsbaserat vindkraftverk måste tåla stora påfrestningar från vågor, strömmar, stark vind och ibland is, i tillägg och i interaktion med konstruktionens egna laster. Även vattendjup och geologiska förhållanden påverkar deras dimensionering och utformning.

## Kraftverken

Själva vindkraftverket består översiktligt av torn, maskinhus (även kallad nacell), och rotorblad. Kraftverket kan vara antingen vertikal- eller horisontalaxlat. Horisontalaxlade vindkraftverk har sin rotor uppvind, alternativt nedvind, i förhållande till vindkraftverkets maskinhus, med två eller tre rotorblad. Trebladiga horisontalaxlade uppvindsturbiner är den typ det hittills har uppförts flest av (Figur 3). Dessa producerar el vid vindhastigheter från cirka 3 m/s och uppnår maximal produktion vid 10–14 m/s vindhastighet. När vindarna överstiger cirka 30 m/s stängs vindkraftverket av, för att åter automatiskt starta igen när vindhastigheten är lägre. Vertikalaxlade vindkraftverk finns ännu inte för kommersiell användning i havsmiljö men håller på att utvecklas. Turbinen roterar då runt en vertikal centrumaxel, medan generatoren och annan utrustning sitter lågt, närmare vattenytan (Figur 3). I tornet finns elektriska komponenter, och hiss och steg för att kunna nå upp till maskinhuset. Vindkraftverket nås med båt och ofta även med helikopter.



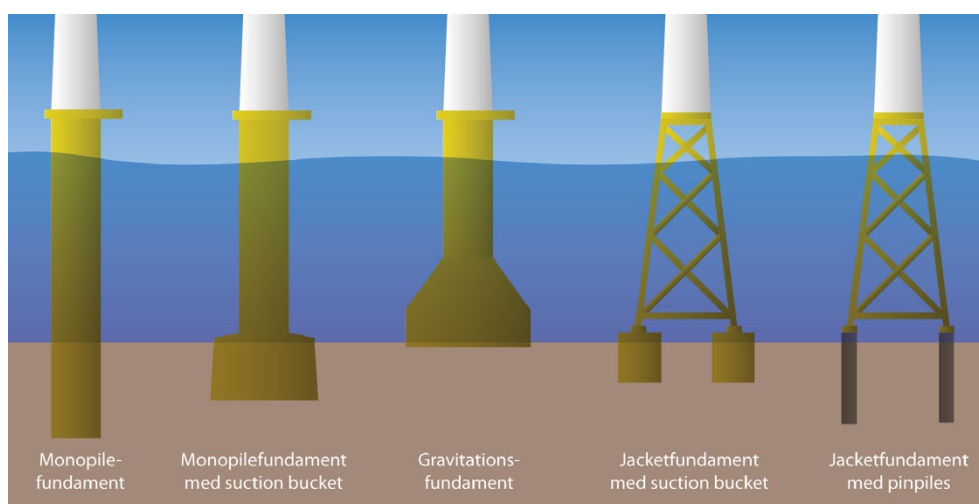
Figur 3. Skiss av trebladigt horisontal-axlat vindkraftverk och vertikal-axlat vindkraftverk.

## Fundamenten

Fundamentens funktion är att bära upp vindkraftverken genom att säkra förankringen vid botten och att nå upp över vattenytan (alternativt flyta, om det gäller flytande vindkraftverk). Ofta används ett övergångsstycke där fundamentet övergår i tornet. I områden med kraftiga vattenströmmar så etableras erosionsskydd runt fundamentet för att hindra att botten runt verket förändras, och därmed påverka de kriterier som dimensionerar hela konstruktionen. Erosionsskyddet utgörs vanligen av stenar eller block.

Valet av fundament kan vara svårt att standardisera, då dess specificering avgörs av de lokala förutsättningarna, som varierar. Därför krävs att bottenbeskaffenheten på den aktuella platsen undersöks innan man väljer typ av konstruktion. Även

platsens isförhållanden under vintern kan påverka valet av fundament. Flera olika typer av bottenfasta fundament är vanligt förekommande och lämpliga under olika förhållanden (Figur 4). Därtill förväntas flytande fundament bli allt vanligare i framtiden (Figur 5). Tekniken för flytande fundament är ännu inte lika kostnads-effektiv som bottenfasta lösningar men utvecklas snabbt. De olika typerna av fundament beskrivs närmare nedan.



Figur 4. Exempel på olika typer av fundament. Monopile utgörs av en stålpåle som slås ned i botten sedimentet. Monopile med *suction bucket* är en stålpåle med en sugkopp som fästs i botten genom undertryck. Gravitationsfundament står på havsbotten. Jacketfundament grundläggs på tre eller fyra ben, vilka förankras genom *suction buckets* eller mindre stålpålar som slås ner i havsbotten.

Källa: OX2.

## Monopiles

Monopile-fundament består av en stålcylder som förankras djupt ned i botten. Dess förankringsdjup dimensioneras efter vindkraftverkets storlek, och bland annat efter belastningen på vindkraftverket, geotekniska förhållanden, vattendjup samt vind och vågförhållanden. Förankringsdjupet kan variera mellan 50 och 100 meter beroende av plats. Monopiles i planerade projekt har numera en diameter på 10–18 meter. Monopile-fundament används på mjuka bottensubstrat och passar bäst på bottnar utan stenblock och med fasta underliggande skikt. Tekniken kan också användas på hårdare bottnar om borrhning används.

Monopile-tekniken kräver i regel inte någon förbehandling av botten, men däremot kräver installationen fartyg med stor lyftkapacitet. Stålcyldern sänks ned i botten genom pålning och/eller borrhning. Vid pålning slås cylindern ner i botten med en hydraulhammare. Kompletterande borrhning kan behövas om det förekommer stenblock eller andra svår genomträngliga substrat. Antalet slag vid pålning, slagets styrka, och behovet av borrhning beror på bottensubstrat, förankringsdjup och fundamentets diameter. Ett vanligt genomsnitt är 30 slag per minut på full energi. Före dessa slag används en så kallad *soft start*, där mer frekventa slag men mer måttlig energinivå används i syfte att ”skrämma” iväg djur som kan ta skada av höga ljudnivåer om de finns i närområdet (se Kapitel 6–7), och en så kallad *ramp-up* för att successivt öka energinivåerna i slagen. En *ramp-up* behövs av tekniska skäl och är egentligen inte avsedd som skyddsåtgärd även om den medför en sådan effekt.

Då monopiles anläggs genom borring används oftast ett så kallat foderrör. Detta är en metallisk struktur som är något bredare än borren. I vissa fall kan monopilen fungera som foderrör. Foderröret ska vägleda borren och borrkronan, förhindra att material från borringen sprids okontrollerat, och förhindra att material utanför foderröret tränger in. Foderröret hålls på plats med en ram som sitter monterad på den pråm eller det fartyg som används. Det borrkax (sediment) som bildas skickas upp genom foderröret i en blandning av luft och de vätskor (antingen vatten eller oljebaserade) som används vid borringen. Blandningen släpps ut vid antingen botten eller ytan, beroende av vad som ger lägst miljöpåverkan.

Monopile fundament kan ibland förankras med hjälp av en så kallad *suction bucket*. Tekniken är känd från oljeplattformar och kan vara lämplig om fundamenten inte behöver förankras långt ned i botten. Den är mest fördelaktig på homogena och sandlika bottenar men mindre passande vid stenigt och hårt bottenstrukt.

Exempel på vindparker som använder monopiles i Sverige är Bockstigen, samt de nu demonterade parkerna vid Utgrunden och Yttre Stengrund i Kalmarsund.

## Gravitationsfundament

Gravitationsfundament står på havsbotten och håller vindkraftverket upprätt genom sin storlek och tyngd. Den här typen av fundament är mindre vanlig än monopiles, även om den är lättare att använda där de är lämpliga. Tekniken förutsätter att djupet inte är alltför stort, samt att botten är jämn och har god bärförmåga. På större vattendjup blir konstruktionen för stor och tung. I svenska havsområden har botten ofta lämpliga förutsättningar för gravitationsfundament.

Gravitationsfundament utgörs vanligen av en betongkassun eller stålbehållare som fylls med någon form av ballast. Fundamenten prefabriceras i torrdocka eller på andra ställen och transporteras till anläggningsplatsen, flytande eller på pråmar. Inför installationen behöver bottenytan förberedas genom muddring, och ett bär-lager anläggs för att säkerställa en jämn botten. Innan krossmassorna läggs dit förbereds botten så att den är jämn och fast, vilket kan kräva en del grävning. Gravitationsfundament kräver i stort sett alltid någon form av erosionskydd för att hindra att vattenrörelser underminerar förankringen.

Lillgrund i Öresund är en svensk vindpark med gravitationsfundament.

## Jacketfundament

Jacketfundament kallas även fackverksfundament, och är en konstruktion av stålrör som förankras i botten genom pålning eller så kallade *suction buckets* (se ovan). Tekniken används i oljeindustrin och är därför beprövad på stora djup. De används framför allt när vindkraftverk etableras på djup över 40 meter. Stålrören i fackverket fixeras vanligen i varandra genom svetsning eller med hjälp av gjutna hylsor. Jacketfundament har idag vanligen tre eller fyra ben. Mellan fundamentet och vindkraftverkets torn placeras ett övergångsstycke för att fördela belastningen. Fundamentet fixeras vanligen i botten genom pålning, på liknande sätt som för en monopile. På hårdbotten kan även borring förekomma.

Det finns i dag inga svenska vindkraftverk med jacketfundament, men de antas bli använda i framtida svenska parker på större djup.

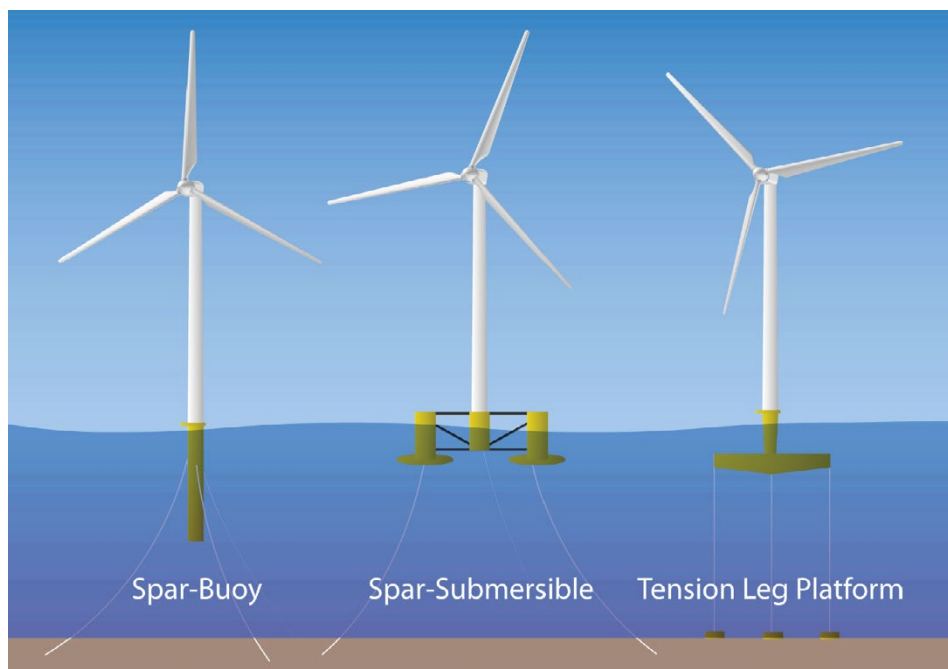
## Flytande fundament

I motsats till de förankrade fundament som beskrivs ovan bär flytande fundament upp vindkraftverket med flytkraft (Figur 5). Större delen av strukturen ligger vid ytan, med förankringar till botten. De flytande fundamenten är därmed inte lika platsspecifika som festsittande fundament. Eftersom tillverkningen av individuella konstruktioner inte behöver anpassas till de platsspecifika förhållandena på samma sätt som är nödvändigt vid fasta fundament har de skalfördelar vid tillverkningen. Det finns också fler möjligheter att hitta bra lokaliseringar, och man är inte beroende av grunda områden. Flytande fundament har hitintills främst byggts i Skottland, Portugal och Frankrike och kan användas från djup större än 50 meter. De delas normalt in i tre olika typer:

- Sparfundament, en cylinderformad struktur
- *Semi-submersible*, en under ytan delvis nedsänkt plattform
- TLP (*tension leg plattform*), en plattform helt nedsänkt under vattenytan

Sparfundament kräver vattendjup på minst 100 meter. Semiflytande fundament sprider ut flytkraften mer och är därför inte i behov av lika stora djup (deras minsta djupkrav är 50 meter). Båda konstruktionerna flyter stabilt och förankras i botten med hjälp av långa staglinor eller kedjor, som förtöjs med någon form av ankare eller pålar (piles).

*Tension leg* plattformar flyter men är inte stabila i sin konstruktion, det vill säga utan förankring så riskerar konstruktionen att välta. Fördelen med att spänna fast fundamentet i botten är att hela konstruktionen kan göras mindre. Precis som för bottenfasta fundament anpassas fundamentslösningen efter de lokala förhållandena.



Figur 5. Olika typer av flytande vindkraftverk: Sparfundament, *Spar-submersible* och *Tension leg platform*.

## Kablar för överföring av el

Den elektricitet som produceras i vindkraftverken leds normalt med sjökablar till en transformatorstation inom parken, och därefter till en eller flera grövre kablar som förenar vindparken med det allmänna elnätet. Antalet anslutningskablar och deras spänningsnivå beror på vindparkens storlek och avståndet till land. Om man använder en högre spänningsnivå minskas antalet kablar som behövs, liksom förlusten av el.

Sjökablarna i det interna nätet och anslutningskablarna till land är vanligen av sådan längd och storlek att det krävs specialgjorda fartyg för transport och nedläggning. För att planera nedläggningen krävs en noggrann analys av botten och fastställande av vilka risker som måste beaktas. Exempelvis risker för is, kraftiga och varierande strömförhållanden eller för att kabeln blir hängande ovanför botten, samt omfattningen av fartygstrafik och annan möjlig yttre påverkan avgör vilka delar av kabeln som bör skyddas genom nedgrävning eller övertäckning (förutom behov av miljöhänsyn, se avsnitten nedan). Kabeln placeras då i bottenmaterialet antingen genom plogning, spolning eller grävning. På platser där det är svårt att gräva kan kabeln istället övertäckas med betongblock. Den direkta yta som förläggningen av elkablar tar i anspråk varierar beroende på hur botten ser ut. Sandiga, lösa bottnar kräver en större bredd, upp till tio meter, jämfört med leriga bottnar där förlängningen kan ske i smala stråk på omkring en halv meter. Den utrustning som används dras på medar längs kabelsträckan eller med egen kraft på larvfötter.

## 2.3 Förväntade påverkansfaktorer från havsbaserad vindkraft

Givet de förutsättningar som beskrevs i ovanstående avsnitt kan produktionen av havsbaserad vindkraft påverka marint liv på olika rumsliga och tidsmässiga skalor. Olika påverkansfaktorer kan vara dominerande under olika lokala förutsättningar, och påverkan kan därtill se avsevärt annorlunda ut under vindparkens olika faser. Den mest intensiva påverkan kan oftast förväntas i samband med anläggningsfasen, som är relativt kortvarig, medan påverkan som sker under driftsfasen å andra sidan kan vara under flera decennier. Påverkan kan även förekomma i samband med platsundersökningar (Box 1). Om man väljer att avveckla vindkraftverken och avlägsna fundamenten tillkommer därtill en avvecklingsfas.

I det här avsnittet presenteras vilka påverkansfaktorer som framför allt kan förväntas som en följd av havsbaserad vindkraft under anläggnings-, drifts- och avvecklingsfasen, utgående från en initial *screening* av litteraturen (Figur 2, ovan). En mer detaljerad bild i förhållande till respektive artgrupp ges i Kapitel 4–7. Terminologin har så långt som möjligt samordnats med Havsmiljöförordningens terminologi, men vissa anpassningar har gjorts för att få bedömningen samstämmig med de påverkansfaktorer som framför allt kan vara aktuella när det gäller havsbaserad vindkraft, baserat på Hammar m.fl. (2020) och Bergström m.fl. (2019).

### Anläggningsfasen

Anläggningen av vindparken sker i flera steg. Först installeras vanligen fundament, transformatorplattform och anslutningskablar. Därefter installeras interna elsystem, och slutligen monteras alla vindkraftverk med torn, maskinhus och rotorblad.

Delarna fraktas till platsen med pråmar eller kranfartyg. I allt högre grad utvecklas metoder för att flyta ut färdigmonterade vindkraftverk och minska behovet av specialfartyg.

Arbetet kan ske under stora delar av året, men så långt som möjligt vill man undvika vinterperioden på grund av ökad risk för dåliga väder- och ljusförhållanden. Ofta strävar man efter att genomföra hela installationen under en säsong, men ibland kan det krävas en uppdelning över flera säsonger. Anläggningen av ett enskilt vindkraftverk tar dock i regel kort tid, vanligen några dagar. De mest påtagliga påverkansfaktorerna uppkommer i samband med att vindkraftverkens fundament fästs i havsbotten samt nedläggningen av sjökabel. Olika fundament leder till olika typer och grader av påverkan. Till exempel pålning ger upphov till högtintensivt ljud. Sedimentspridning kan förväntas i samband med till exempel borring eller grävning (Dessa faktorer beskrivs närmare nedan). Därtill uppstår fysisk påverkan på havsbotten genom att fundamenten och eventuella erosionsskydd tar bottenmiljöer i anspråk, och genom att nya strukturer och till exempel sten och grus tillförs. (Dessa faktorer berörs i stycket om driftsfasen, se nästa stycke).

Utvecklingen mot allt större vindkraftverk som placeras längre från varandra (se Avsnitt 2.2) kan påverka beskrivningen av påverkan vid anläggning, jämfört med den tidigare syntesen (Bergström m.fl. 2012, 2014). Ett typiskt avstånd mellan vindkraftverk i de parker som planeras idag är två till tre kilometer. Som en följd ökar då även avståndet mellan lokala påverkansfaktorer från varje verk. Om vindkraftverken anläggs ett i taget har de påverkansfaktorer som är övergående till stor del späts ut eller försvunnit innan nästa vindkraftverk anläggs. Därtill har det utvecklats etablerade tekniker för skadedämpande åtgärder (se nedan om högtintensivt undervattensljud respektive sedimentspridning).

### Högtintensivt undervattensljud

Under anläggningsfasen kan högtintensivt ljud genereras vid pålning av vindkraftfundamenten. Under samma fas ökar även sjötrafiken runt anläggningsplatsen samt mellan denna och land (Benhemma-Le Gall m.fl. 2021). Pålning utförs vid ett tillfälle per fundament med platsspecifika förutsättningar. Aktiviteten tar ofta mellan fyra och sex timmar. Även sprängning alstrar höga ljudstyrkor, bottenvibrationer och tryckvågor som kan ha påverkan på långa avstånd. Ljudstyrkan minskar med avståndet från ljudkällan. Ljudutbredningen beror i hög grad på de lokala förhållandena, så som salthalt och temperatur, liksom bottenens beskaffenhet. Som exempel absorberar mjukbotten ljud i högre grad än en hårbotten. Språngskikt i salthalt eller temperatur kan under vissa förutsättningar påverka hur ljudutbredningen ser ut på olika djup, även om ljud från pålning sprids både under och över ett eventuellt språngskikt.

Åtgärder för att minska skadeverkningar av impulsivt ljud är viktiga, och förutsetts vara standard idag. Exempel på bullerreducerande åtgärder är bubbelgardiner eller andra ridåer vid pålning (Dähne m.fl. 2017, Tsouvalas och Metrikine 2016, Bellmann m.fl. 2020). Det sker även en viktig utveckling av metoder för att minska själva ljudalstringen under pålning, till exempel *Hydrosound Damper* och så kallad *blue piling*.

*Soft start* (begränsad slagenergi och slagfrekvens) och *ramp-up* (ökad energi i varje slag upp till 100%) är också viktiga för att minska skadorna på djurlivet. Att använda *ramp-up* är inte en skyddsåtgärd, utan är nödvändigt vid start av pålnings-



processen, och dess tillämpning anpassas efter respektive plats. Proceduren medför ändå att rörliga djur skräms iväg från området, och därmed minskar risken för att de utsätts för skadliga ljudnivåer. Det går även att använda särskilt anpassade akustiska metoder, så kallade *Acoustic Harrassment Devices*, som finns i flera olika typer. Dessa metoder syftar till att skrämman iväg rörliga arter från platsen innan pålningen inleds (Naturvårdsverket 2008, JNCC 2010, Brandt m.fl. 2013, Skjellerup m.fl. 2015). I Nederländerna används en ljudskrämsel-teknik som kallas *FaunaGuard* (Van der Meij m.fl. 2015). Några av dessa skrämsel-metoder kan dock generera ljud med så kraftig intensitet att det kan påverka tumlares hörsel och beteende negativt, vilket kräver att metoderna tillämpas med försiktighet (Brandt m.fl. 2013, Shaffeld m.fl. 2019).

Hur påverkas arter av buller? De artgrupper som framför allt påverkas av högintensivt undervattensljud är **fisk** (Kapitel 5) och **marina däggdjur** (Kapitel 6).

#### Box 1. Ljudstörning i samband med platsundersökningar

Innan vindparken kan anläggas utförs undersökningar och datainsamling för att söka och erhålla nödvändiga tillstånd, och för att identifiera vindparkens slutgiltiga utformning. Exempel på sådana undersökande aktiviteter som kan orsaka höga ljudnivåer är seismiska undersökningar med sonar, ekolod eller luftkanoner för att kartera botten och fastställa vilken fundamenttyp som är mest lämplig. Dessa undersökningar baseras på låg- och högfrekventa ljud som marina däggdjur kan reagera på, och möjligen också några arter av bottennära djur och fisk. Ofta kan graden av påverkan från dessa aktiviteter förväntas vara låg (Pace m.fl. 2021). I vissa områden riskerar dock användningen av luftkanoner skapa betydande effekter, till exempel genom att störa tumlare, sälar och en del fiskarter inom långa avstånd, eller leda till kort- eller långvariga hörselskador på korta avstånd (Pace m.fl. 2021). Användning av sådana metoder kräver därför försiktighetsmått som behöver fastställas i tillstånden (se till exempel Hammar m.fl. 2021). Till exempel bör användningen av luftkanoner följa internationella råd (t ex JNCC 2017 och Andersson m.fl. 2017).

### Sedimentspridning och sedimentation

I de allra flesta fall finns det behov att förbereda havsbotten genom muddring, grävning och borrarbeten inför anläggningen av fundament och/eller kablar, vilket leder till spridning av sedimentpartiklar i vattenmassan. Den största sediment-spridningen förväntas om fundament som monopiles måste förankras genom borrhning. Sedimentspridning orsakas också vid andra typer av anläggning, exempelvis vid grävning för att anlägga gravitationsfundament. Volymen som uppstår vid anläggandet av gravitationsfundament kan vara större än för till exempel monopiles. Sedimentmassorna vid grävning hålls dock mera samlade än vid borrhning, vilket begränsar spridning av sediment. Vid nedläggning av kabel förväntas de högsta nivåerna i samband med spolning och grävning, medan problem med grumling är mindre om plogning används.

Omfattningen av sedimentspridning, samt efterföljande sedimentation och grumling, beror även i hög grad på till exempel strömförhållanden, vattentemperatur, salthalt, och vilken typ av sediment som sprids (Hammar m.fl. 2009, Karlsson m.fl. 2020, Kraufvelin m.fl. 2021). Små lätta partiklar sprids längre och därvid visar halten suspenderat material olika utbredning beroende av vad som studeras. Två aspekter som är särskilt viktiga att beakta för bedömningen av påverkan på marint liv är koncentrationen partiklar (som mäts i milligram per liter), och hur länge det suspenderade materialet finns i vattnet (Newcombe och MacDonald 1991, Karlsson m.fl. 2020). För att bedöma påverkan är även koncentrationsnivån viktig, och var i vattenvolymen som förhöjningen i sedimentkoncentration sker.

Mjukbottnar med finkornigt bottenmaterial frigör större mängder sediment än bottnar med grovkornig sand och grus. Partiklar från finkorniga substrat, till exempel kalkhaltiga sediment, stannar längre tid i vattenmassan (Didrikas och Wijkmark 2009), så att de kan hinna spridas över större arealer. Förhöjda koncentrationer förväntas som regel endast i nära anslutning till aktiviteten, ofta inom några hundra meter och inte på längre avstånd än en kilometer.

Om sedimentet är förorenat behöver även risken för spridning av farliga ämnen beaktas (Meißner och Sordyl 2006), liksom hur lätt dessa ämnen tas upp i levande organismer.

Hur påverkas arter av sedimentspridning och sedimentation? De artgrupper som framför allt kan påverkas är **bottennära livsmiljöer** och **fisk** (Kapitel 4–5).

## Driftsfasen

Driftsfasen, när vindparken genererar el, är den mest långvariga fasen. Dagens vindkraftverk förväntas ha en livstid på över 40 år. När de är i drift uppstår mekaniska vibrationer, huvudsakligen från växellådan och möjligen också generatoren. Vibrationerna fortplantas ned genom tornet och genererar undervattensljud. Därtill kan överföringen av el leda till ett visst mått av elektromagnetiska fält som en indirekt effekt av strömstyrkan i kabeldelar och elektriska komponenter. Under hela driftsfasen utgör vindkraftverkens fundament och eventuella erosionskydd fasta strukturer i havet, vilket kan ge upphov till så kallade reveffekter. Dessa aspekter beskrivs närmare nedan.

En påverkan kan även förväntas under driftsfasen som följd av ökad mänsklig aktivitet i samband med planerat och oplanerat underhåll. Större reparationer görs i regel med hjälp av kranförsedda fartyg med eller utan stödben. Transporter sker normalt med mindre fartyg, men helikopter kan vara ett alternativ. Regelbundet underhåll består av tillsyn, samt byte av komponenter och oljor. Fundamenten har ofta anoder för att minska korrosion, och dessa måste bytas ut med vissa mellanrum. Man målar inte de delar av fundamenten som står under vattnet.

Utvecklingen mot att vindparker lokaliseras på allt större djup kan påverka bedömningen av påverkan på marint liv under drift, jämfört med den tidigare syntesen (Bergström m.fl. 2012). Havsbaserad vindkraft har hittills främst etablerats inom djupintervallet 5–40 meter, men numera kan bottenfasta vindkraftverk planeras också på djup mellan 40 och 60 meter.

## Reveffekt (introduktion av nytt hårt substrat)

Vindkraftverkets fundament och eventuella erosionsskydd bildar en ny hårdbottenyta som marint liv kan interagera med. Genom detta skapas så kallade ”artificiella rev”, det vill säga strukturer på botten som människan har skapat (Bohnsack 1989, Öhman 2006). Parallellt uppstår en viss förlust av den ursprungliga bottenmiljön där vindkraftverken placeras. Totalt sett kan denna förlust av ursprungligt habitat betraktas som liten i sammanhanget, uppskattningsvis fyra gånger diametern för en monopile och cirka 10 meter extra för ett gravitationsfundament. Om erosionsskydd läggs ut runt verket utökas den yta som på det här sättet omvandlas till artificiellt substrat.

Hur stor betydelse dessa nya strukturer får beror på flera faktorer, till exempel typen av fundament och hur många kraftverk som anläggs i vindparken. En viktig skillnad jämfört med de flesta naturliga rev, är att tornets struktur når igenom hela vattenkolumnen så att det bildas fasta vertikala ytor ända från botten till vattenytan. Detta leder till en lokal tillgång på vertikala substrat i den belysta delen av vattenpelaren i områden ute på havet där detta normalt sett inte förekommer. Gravitationsfundament kan även leda till att bottenytan lyfts en bit. Därtill har erosionsskydden en viktig påverkan. Valet av erosionsskydd kan ge upphov till inte enbart en ny typ av substrat utan även till en större total yta än den som täcks, till exempel om större stenar används.

Motsvarande förändringar kan i viss mån förväntas där kablar förankras i botten. Normalt förändras dock inte typen av bottensubstrat i och med nedläggningen av kabel, eftersom området förväntas återställas till sitt tidigare tillstånd. Där substratet är för hårt för nedplöjning eller spolning behöver kabeln dock skyddas genom att täcka över den med sten eller betongmattor, vilket skapar en ny hårdbottenstruktur.

Hur påverkas arter av de nya ytorna? Fastsittande arter, till exempel blåmusslor och andra ryggradslösa djur, kan kolonisera de nya fysiska strukturerna. Dessa arter skapar i sin tur ytterligare strukturer som kan locka till sig fler arter (så kallad reveffekt, se Kapitel 4–7).

## Sedimentspridning och sedimentation

Driftsfasen innebär inte aktiviteter som leder till sedimentspridning. I områden som tidigare bottentrålats kan etablering av vindparken dock indirekt leda till minskad sedimentspridning. Ökar växt- och djurlivet på grund av en reveffekt kan leda till att depositionen av partiklar ökar något runt vindkraftverket (Coates m.fl. 2014, Heery och Sebens 2018, Lefaible m.fl. 2019). Det är också möjligt att vindkraftverken bidrar till förändrade strömförhållanden, och därmed ge mindre förändringar i hur suspenderat material rör sig och var det faller ned (Coates m.fl. 2014, Dafforn m.fl. 2015).

Hur påverkas arter av sedimentspridning? Effekter berör framför allt **bottennära livsmiljöer** och **fisk** (Kapitel 4–5).

## Undervattensbuller

Ljud under driftsfasen uppstår som en följd av vibrationer i tornet eller ljud från maskinhuset när verken används (Kikuchi 2010, Pangerc m.fl. 2016, Tougaard m.fl. 2020). Ljudnivåerna varierar med belastningen, det vill säga vindhastigheten, men ligger avsevärt under de som avges under anläggningsfasen och seismiska undersökningar, och också under de nivåer som större fartyg normalt genererar (Tougaard m.fl. 2020). På grund av skillnader i frekvens kan det ljud som uppstår från vindparker dock ofta särskiljas i undervattenslandskapet, till exempel gentemot det annars dominerande fartygsbullret (Andersson m.fl. 2011). Att vindkraftverken är stationära kan ha en stor betydelse för hur djur upplever och reagerar på buller från dem, jämfört med rörliga bullerkällor så som fartyg.

Hur djur uppfattar och eventuellt reagerar på undervattensbuller beror bland annat på dess frekvens och intensitet, vilket i sin tur beror på typen av vindkraftverk, dels typ av fundament, dels dess förankring i botten (Hawkins m.fl. 2021). De högsta ljudnivåer som uppmätts är 137 dB re 1  $\mu$ Pa på 40 m avstånd från en turbin, och avtagande med 24 dB för varje tiodubbling av avståndet (Tougaard m.fl. 2020). De flesta publicerade ljudmätningar är dock från vindkraftverk som skiljer sig både i storlek och ljudtransmission från de som planeras framöver. Dels blir kraftverken allt större, dels avskaffas ofta växellåda, som påverkar ljudbilden och troligen står för en stor del av de relativt högra frekvenstonerna i undervattensbullret. På basen av nuvarande mätningar är det därför osäkert hur kommande vindparker kommer att påverka den totala ljudbilden i havet.

Ett annat bidrag till undervattensbuller under driftsfasen är ljud från båtar som används för underhåll av vindparken. Båtar producerar normalt lågfrekvent buller men kan på nära avstånd och vid hög hastighet också generera mera högfrekvent buller, som kan påverka marina däggdjur (Hermansen m.fl. 2014, Mikkelsen m.fl. 2019).

Hur påverkas arter av ljud? Undervattensbuller kan uppfattas av **fisk** och **marina däggdjur** samt även vissa **bottennära arter** (Kapitel 4–6).

## Elektromagnetiska fält

Den el som produceras transporteras genom sjökablar av liknande typ som används i andra sammanhang. I svenska vatten, och övriga Europa, finns det redan i dagsläget ett flertal sjökablar mellan länder (ESCA 2019, SVK 2021). Ström i kablar kan antingen vara växelström där riktningen på strömmen växlar (*alternating current*, AC) eller likström där strömmen har samma riktning (*direct current*, DC). I takt med att vindparkerna blir större och avståndet till land ökar kan vi förvänta en ökad användning av transmissionsledningar som använder högspänd likström (HVDC).

Vanligen isoleras det elektriska fältet inne i sjökabeln och är obetydligt till svagt på korta avstånd från kabeln, men ett visst mått av magnetiska fält kan uppstå som en indirekt effekt av strömstyrkan i kabeldelar och elektriska komponenter.

Det magnetfält som induceras är störst rakt ovanför kabeln, blir svagare i sidled och avtar snabbt med avstånd från kabeln. Storleken på magnetfältet beror i hög grad på strömmen och på hur kablarna är utformade. Medan likströmskablar alstrar ett statiskt magnetfält, har växelströmskablar ett växlande magnetfält (då det byter

riktning precis som elströmmen). Magnetfältet som uppstår från växelströmskablar ger därmed upphov till minimal avvikelse från det naturliga magnetiska fältet. En växelströms (AC) sjökabel byggs som en tredarkabel, vilket gör att ledarnas (polernas) olika faser i stor del tar ut varandra. När det gäller likströms (DC) kablar lades förut bara en pol i varje kabel och jordskorpan fungerade som returledare. Det här ledde till att det uppstod höga magnetfält runt kabeln. I dag används som regel likströmskablar där plus- och minuspolen läggs tillsammans, vilket även medför att dessa poler tar ut varandra till stor del.

Om kabeln grävs ned i havsbotten minskar den andel av magnetfältet som är ovanför sedimentet, även om påverkan på organismer som lever i havsbotten eventuellt kan bli större.

Hur påverkas arter av elektromagnetiska fält? Frågan belyses med avseende på **fisk** och **marina däggdjur** i Kapitel 5–6.

### Effekter ovanför vattenytan

Vindkraftverken kan även leda till påverkan ovanför vattenytan. Djur i luftrummet kan undvika eller uteslutas från det område som upptas av vindkraftverket i drift, till exempel på grund av roterande turbinblad eller ökad störning från mänsklig närvaro. Dessa arter kan därför förväntas uppleva en minskad tillgång på livsmiljöer till havs vid etablering av vindparker. Det kan även uppstå barriäreffekter, det vill säga att djur undviker att korsa vindparker vid förflyttningar mellan födosöks- och viloområden eller under årstidsflyttningar. Fåglar (och fladdermöss<sup>3</sup>) kan förolyckas av rotorbladen om de flyger nära vindkraftverken.

Hur påverkas arter av effekter ovan vattenytan? Påverkan på **fåglar** beskrivs i Kapitel 7. För påverkan på **fladdermöss** hänvisas till Rydell m.fl. (2017) och Lagerveld m.fl. (2020).

### Indirekta effekter – uteslutande andra aktiviteter

Vissa förändringar skulle kunna uppstå som indirekta effekter av att vindparken inte är förenlig med andra havsbaserade aktiviteter. Ett vanligt exempel är att vindparker som regel inte är förenliga med trålfiske, på grund av risken för skador på vindkraftverken, elsystem och fiskeredskap. Fiske med fasta redskap är ofta inte heller förenliga med vindparker, men frågan är i hög grad avhängig lokala förutsättningar. Om fiske skett i ett område men utesluts när vindparken etableras, så upphör även den lokala påverkan som de aktuella fiskeaktiviteterna är förknippade med. Frågan som helhet berörs även av vad en sådan utestängning kan innebära för miljön utanför vindparken. I detta sammanhang är avvägningar av olika socioekonomiska målsättningar viktiga, även om dessa inte ingår i målsättningen för denna rapport.

<sup>3</sup> Ingår inte i denna rapport, men se till exempel Lagerveld m.fl. (2020)

Hur påverkas arter av indirekta effekter? Påverkan på marint liv berörs för **bottennära livsmiljöer** i Kapitel 4, för **fisk** i Kapitel 5 och på **en övergripande nivå** i Kapitel 8 och 9.

## Avvecklingsfasen

Själva vindkraftverkens livstid förväntas i hög grad kunna upprätthållas och förlängas genom underhåll och genom att byta ut och förbättra komponenter. Om fundamenten tjänat ut kan det dock uppstå behov att avveckla vindkraftverk. Enligt den internationella policyn ska vindkraftverken tas bort när de tas ur bruk.

Att avveckla ett vindkraftverk till havs är mer komplicerat än på land. Metoden som används beror på vilken typ av fundament som ska avvecklas. För monopile-fundament kapas vanligtvis fundamentet någon eller några meter under bottenytan, och stålcyindern som kapas kan sedan lyftas upp på en transportbåt. För gravitationsbaserade fundament finns flera olika tillvägagångssätt. Ett alternativ är att ta isär konstruktionen till mer lätthanterliga delar, till exempel med hydraulhammare eller betongsax. Därefter flyttas de mindre delarna från platsen. Ett annat alternativ är sprängning, för att göra konstruktionen mindre och därmed lättare att transportera. Ett tredje alternativ är att ta bort ballasten, och sedan använda en pump för att ersätta vattnet på insidan av fundamentet med luft för att göra det flytande, varefter fundamentet kan bogseras till land.

I samband med avvecklingen av vindkraftverk kan högintensivt undervattensljud och sedimentspridning uppstå, med en omfattning som beror på vilken metod som används (för mer detaljer om dessa påverkansfaktorer se "Anläggningsfasen").

En påtaglig effekt vid avveckling är att de artificiella reven försvinner, i och med att vindkraftverkens fundament, erosionsskydd och internkablar avlägsnas från havsbotten. Detta påverkar de arter som då har etablerats vid dem. För att undvika detta kan alternativet övervägas att lämna kvar vindkraftsfundamenten efter driftsfasen (t.ex. Smyth m.fl. 2015). I Danmark gjordes en riskanalys när den först etablerade vindparken (Vindeby) skulle tas ur bruk. I denna riskanalys bedömdes att den kraftigt ansträngda populationen av torsk skulle kunna påverkas negativt av förlusten av habitat (Dons m.fl. 2016). Ett alternativ till att ta bort allt är att lämna delar av fundamentet kvar, framförallt erosionsskyddet på botten som ofta består av stenblock som förser fiskar med mat och skydd (Fowler m.fl. 2018, Bull och Love 2019). För att utröna vilken lösning som är mest lämpligt för specifika vindparker är det särskilt viktigt att beakta platsspecifika förhållanden, och de förutsättningar som gäller vid tiden för när avveckling blir aktuell.

## 3. Bedömningen av påverkan på arter och miljöer

### 3.1 Sveriges havsområden har stor ekologisk variation

Sverige har en av Europas längsta kuststräckor. Den svenska kuststräckan är också ovanlig i och med den salthaltgradient som finns, från närapå fullt marin miljö i Skagerack till Bottenviken med nästan sötvatten längst i norr. Med förändringarna i salthalt följer en ekologisk förändring där växter och djurliv ändras (Kautsky och Kautsky 2000). Ju längre in i Östersjön desto färre marina arter påträffas. Därtill ökar sannolikheten för havsis under vintern från söder till norr, och tillväxtsäsongen blir kortare. Sveriges kust visar även en stor variation med omväxlande större skärgårdsområden och utsträckta, mer raka kustlinjer. Inom samma havsområde skapas lokala skillnader till exempel beroende på djupförhållanden och geologi. Ekosystemen och livsmiljöerna i de tre svenska havsområdena, Västerhavet, Egentliga Östersjön och Bottniska viken (se Figur 1 i Kapitel 1), varierar därför naturligt på grund av skillnader såväl i hydrologiska, geologiska som klimatmässiga egenskaper (Kautsky och Kautsky 2000).

I jämförelse med denna rumsliga variation är de översikter som ges i den här rapporten att betrakta som generaliserade, även om de strävar efter att belysa de olikheter som kan finnas mellan arter inom samma artgrupp, och ibland mellan olika geografiska områden. På grund av de lokala skillnaderna förutsätts dock att man vid planerade vindkraftsetableringar alltid tar ställning till den platsspecifika situationen vid bedömningar av sannolika effekter på marint liv.

### 3.2 Arter och artgrupper som ingått i bedömningen

Bedömningar av möjliga effekter för marint liv presenteras med avseende på fyra huvudsakliga artgrupper, nämligen bottennära livsmiljöer, fisk, marina däggdjur och sjöfågel. Dessa presenteras översiktligt i detta stycke. Mer detaljerade beskrivningar finns till exempel i Cato m.fl. (2003), Naturvårdsverket (2010), Bergström m.fl. (2012), Havs- och vattenmyndigheten (2018), HELCOM (2018). Presentationerna och de bedömningar som presenteras i efterkommande avsnitt fokuserar i första hand på de utsjömiljöer som oftast är aktuella för havsbaserad vindkraft. Grunda kustområden är ofta särskilt betydelsefulla för biologisk mångfald men är sällan lämpliga för havsbaserad vindkraft, även om bottennära livsmiljöer i kusten kan påverkas av landanslutningen.

## Bottennära livsmiljöer

I Västerhavet, inklusive Skagerrak och Kattegatt och delar av Öresund (Figur 1) är artrikedomen högre och näringsvävarna mer komplexa än i Östersjön (Rosenberg m.fl. 2004).

I bottennära utsjömiljöer förekommer flera större kräftdjursarter som tillsammans med blåmussla och ostron även är betydelsefulla ekonomiska resurser. Europeisk hummer (*Homarus gammarus*) förekommer ner till norra Öresund. Den lever främst vid klippor och steniga algbeväxta bottnar i djupintervallet 10–30 meter. Den relativt stabila salthalten på bottnar djupare än 20 meter, från södra Kattegatt och upptill norra Skagerrak, medför att dessa områden har djursamhällen med en likartad artsammansättning. På dessa bottnar med god syretillgång förekommer cirka 70 djurarter per kvadratmeter. De djurgrupper som dominerar är borstmaskar, kräftdjur, musslor och tagghudingar. Ovanför språngskiktet varierar salthalten mer, vilket leder till mer varierade alg- och djursamhällen i gradienten från Kattegatt till norra Skagerrak (Rosenberg m.fl. 2004). Krabbtaskan (*Cancer pagurus*) har ett liknande utbredningsområde. Den lever på 6–30 meters djup på sommaren och vandrar ner på större djup på vintern. Havskräftan (*Nephrops norvegicus*) lever i Kattegatt och Skagerrak, där den bygger gångar i djupa mjukbottnar. I den norra delen av Västerhavet förekommer nordhavsräkan (*Pandalus borealis*) ner till 500 meters djup, och vandrar till grundare vatten under vinter och tidig vår.

Från Kullen och via Öresund bildar en övergångszon där salthalten minskar, vilket resulterar i en minskad biologisk mångfald och många marina arter försvinner. I Egentliga Östersjön saknas de stora kräftdjuren på grund av den lägre salthalten, som varierar mellan kring tio promille i södra Öresund och sex promille vid gränsen till Bottniska viken. På flera utsjöbankar i Egentliga Östersjön saknas den zon med fleråriga alger som finns längs kusten, även om alger förekommer ner till över 30 meters djup. Här dominerar i stället blåmusslor, som är en viktig födokälla för både fiskar och dykänder (Naturvårdsverket 2006). På mjukbottnar förekommer arter som till exempel vitmärla, östersjömussla och olika havsborstmaskar. I flera djupare områden råder helt eller delvis syrebrist, vilket hämmar förekomsten av bottendjur.

Bottniska viken består av Bottenhavet i söder och Bottenviken i norr. På utsjögrunden i södra Bottenhavet finns stora områden med blåstång (*Fucus vesiculosus*) och även smaltång (*F. radicans*) som är en endemisk art i Östersjön (Naturvårdsverket 2010, Bergström m.fl. 2005). Längre norrut i Bottenhavet är utsjöbankarna artfattiga, och består främst av kortvuxna alger, som till exempel ishavstofs (*Battersia arctica*), och enstaka blåmusslor (*Mytilus edulis*). Bottenhavet avgränsas i norr av Norra Kvarken där många marina arter har sin nordliga utbredningsgräns (Bergström och Bergström 1999). På grund av den låga salthalten (ner till nära en promille längst i norr) förekommer endast få arter på djupare bottnar i Bottenviken. Samtidigt når vegetationen betydligt djupare i utsjöbanksområden än vid kusten (Naturvårdsverket 2010, Perus m.fl. 2007).

## Fisk

Omkring 250 fiskarter förekommer i svenska havsområden (SLU 2022). Artrikedomen minskar och artsammansättningen ändras med minskande salthalt inåt i Östersjön. För grunda kustområden beräknas antalet fiskarter vara omkring tre gånger högre i Västerhavet än i de inre delarna av Bottniska viken, eller omkring 110 jämfört med omkring 35 arter (Koehler m.fl. 2022). Mer detaljerad kunskap om fiskars rumsliga



utbredning, säsongsdynamik och artsammansättning saknas dock ofta, speciellt i många utsjöområden.

Fiskar är som regel rörliga, även om det finns stora skillnader mellan arter i hur mycket de vandrar och förflyttar sig under sin livscykel. De flesta havslevande arter uppehåller sig över ett större område under födosöksperioder, men kan ansamlas i mer specifika lekområden när de ska föröka sig. Det här gör att specifika lek- och rekryteringsmiljöer har en särskilt viktig betydelse för populationerna. De flesta av våra svenska arter har sina lek- och uppväxtområden vid kusten (Koehler m.fl. 2022), men även grunda utsjöbankar är sannolikt goda reproduktions- eller uppväxtområden för ett flertal fiskarter (Fredriksson m.fl. 2021, Erlandsson m.fl. 2021, Bergström m.fl. 2021).

Västerhavets fisksamhällen är en blandning av mer lokala populationer och sådana som även vandrar längre bort, till Nordsjön eller i vissa fall Östersjön. Exempel på ekologiskt och/eller ekonomiskt viktiga arter i Västerhavet är sill (*Clupea harengus*), torsk (*Gadus morhua*), makrill (*Scomber scombrus*), rödspätta (*Pleuronectes platessa*), ål (*Anguilla anguilla*) och sjurygg (*Cyclopterus lumpus*). Några vanliga arter på utsjöbankar är torsk, sandskädda (*Limanda limanda*), stensnultra (*Ctenolabrus rupestris*), glyskolja (*Trisopterus minutus*), rödspätta, fenknot (*Chelidonichthys lucernus*), vitling (*Merlangius merlangus*) och fjärsing (*Trachinus draco*; Naturvårdsverket 2010). Totalt noterades 70 fiskarter på och i närheten av utsjöbankar vid inventeringar i Kattegatt under 2000-talet (Naturvårdsverket 2010).

I Östersjön är sill, skarpsill (*Sprattus sprattus*), skrubbskädda, östersjöflundra och torsk de vanligaste kommersiella arterna, som även har viktiga funktioner i ekosystemet. Samtliga dessa vandrar även regelbundet in till kustområdet för att söka föda, och sillen och östersjöflundran leker på grunda bottnar (Bergström m.fl. 2021). I kustområden dominerar sötvattensarter. Till de arter som leker i öppet vatten i Östersjön hör torsk, Europeisk flundra (*Platichthys flesus*) och skarpsill (*Sprattus sprattus*; Bergström m.fl. 2021). Vanliga arter vid utsjöbankar är skrubbskädda, torsk och piggvar (Naturvårdsverket 2010). Hajar och rockor finns inte i Östersjön på grund av den låga salthalten.

I Bottniska viken finns i utsjön framför allt av strömming (sill) och i viss mån skarpsill, och även av siklöja (*Coregonus albula*) längst i norr. En stor del av biomassan utgörs även av storspigg (*Gasterosteus aculeatus*). Strömmingen leker såväl kustnära som i grunda utsjöområden, men omfattningen är ofta svagt klarlagd på mer lokal skala (Naturvårdsverket 2010 Bergström m.fl. 2021, Erlandsson m.fl. 2021). Andra arter som kan förväntas leka både kustnära och vid utsjöbankar är tånglake och hornsimpa. Siklöja leker främst kustnära under tidig höst. I hela Östersjön vandrar lax regelbundet mellan uppväxtområden i öppet vatten och lekområden uppe i älvar.

Flera svenska fiskpopulationer har en ohållbar miljöstatus idag (HaV 2021). Enligt Artdatabankens rödlista klassas 18 fiskarter i svenska marina eller bräckta miljöer som hotade, det vill säga antingen som sårbara, starkt hotade eller akut hotade. Av dessa är sex broskfiskar, det vill säga hajar eller rockor (SLU 2022). Bland marina fiskarter som även förekommer i Östersjön är torsk, vitling och ål klassade som hotade.

## Marina däggdjur

Tre sälararter och en valart finns året runt i svenska vatten. Dessutom gästas Sverige även tillfälligt av en del andra arter av marina däggdjur.

Gråsäl (*Halichoerus grypus*) förekommer framför allt i Bottniska viken och Östersjön, med enstaka individer i Västerhavet. Den kan bli 3 meter lång och 40 år

gammal. Ungen föds i mars och stannar på land under några veckors digivning. Alla gråsälar i Östersjön betraktas tillhöra samma population, som anses ha god status (HELCOM 2018). I Västerhavet observeras ett fåtal gråsälar från den stora Nordsjöpopulationen. Dessa föder ungar om hösten. Många vilo- och fortplantningsområden på land är skyddade under sälens reproduktionsperiod. Gråsälarna kan jagas med kvotbaserad licensjakt (Naturvårdsverket 2021).

Knubbsälen (*Phoca vitulina*) kan bli 1,7 meter lång och mer än 25 år gammal. Ungen föds i juni och uppehåller sig under den 3–4 veckor långa digivningen både på land och i vattnet. Knubbsälen är vanligast på Västkusten där beståndet även är gemensamt med Danmark, och har god miljöstatus (HELCOM 2018). Arten har haft en kraftig tillväxt under senare decennier men historiskt sett också upplevt plötsliga reduktioner vid epidemier. Antalet knubbsäl ökar också i södra Östersjön, men i en lägre takt. I Kalmarsund finns en separat knubbsälpopulation (HELCOM 2018). Knubbsälen är fredad, men på västkusten är skydds jakt tillåtet för att skydda fiskeredskap och fångst (Naturvårdsverket 2021).

Vikaren (*Pusa hispida*) kan bli 1,4 meter lång och över 40 år gammal. Honan föder en unge per år under vinterns slutskede. I svenska vatten förekommer vikare framför allt i Bottniska viken. Arten är skyddad men en viss skydds jakt är tillåten (Naturvårdsverket 2021). Även om det bestånd av vikare som lever i norra Östersjön är stort, så kan arten vara den av Östersjöns sälar som är känsligast för klimatförändringar, eftersom den kräver tillgång till havsis under reproduktionen (HELCOM och Baltic Earth 2021). Vikaren i Finska viken är starkt hotad.

Tumlaren (*Phocoena phocoena*) har en utbredning runt norra halvklotet. Det är den enda valart som uppehåller sig regelbundet i svenska farvatten. Tumlare föder en unge varje eller varannan sommar och digivningen varar 10 månader. Tumlaren kan bli upp till 1,8 meter lång och över 20 år gammal. Flertalet blir dock inte äldre än fem år. Vanliga dödsorsaker är sjukdomar, parasiter och bifångst (Siebert m.fl. 2020). En nylig dansk skattning visar att omfattningen av bifångst av tumlare i danskt garnfiske är oroväckande stor, även om den är mindre än för 20 år sedan (Vinther och Larsen 2004, Larsen m.fl. 2021). Västerhavets tumlare hör till det dansk-svenska beståndet, som sträcker sig in i Östersjön fram till ungefär en linje mellan Skåne och Rügen (Sveegaard m.fl. 2015), och som klassas som livskraftigt enligt SLU (2022). Öster om denna linje finns en östersjöpopulation på några hundra tumlare, som är bedömd som akut hotad (SLU 2022). I Egentliga Östersjön påträffas tumlare mestadels längs Skåne- och Blekingekusten och på bankarna söder om Gotland (Amundin m.fl. 2022). Tumlaren är fredad.

## Sjöfågel

Svenska vatten används av många arter sjöfåglar, framför allt under vinterhalvåret. Under vintern flyttar individer hit från häckningsområden i norra Skandinavien och den ryska tajgan och tundran. Många östligare sjöfågelpopulationer tillbringar vintern i Egentliga Östersjön, medan de sjöfågelpopulationer som påträffas i Kattegatt och Skagerack under vintern har mer västligt ursprung. I Östersjön finns några av världens främsta övervintringsområden för marina dykänder. De svenska utsjöbankarna Hoburgs bank och Midsjöbankarna är av stor betydelse för övervintrande alfåglar (*Clangula hyemalis*) i Östersjön som under sommarhalvåret återfinns i norra Skandinavien och Ryssland. Sjöfågelsarter som påträffas i Sverige under

häckningsperioden flyttar ofta långt söderut under vintern. Här är silvertärnan (*Sterna paradisaea*) den mest extrema långdistansflygaren med ”vinterfynd” på andra sidan jordklotet. Andra arter som ejder (*Somateria mollissima*), tobisgrissla (*Cepphus grylle*), sillgrissla (*Uria aalge*) och tordmule (*Alca torda*) tillbringar däremot hela året i Östersjön.

Sjöfåglar som vistas runt Sveriges kuster och längre ut till havs kan indelas i tre grupper baserat på deras födoekologi:

1. Växtätande sjöfåglar som söker föda på land eller grunt vatten nära kusten (tio meter eller grundare). Dessa påträffas tillfälligt långt ute till havs, främst under flyttningen. I denna grupp ingår flera arter av simänder, svanar, gäss och sothöna (*Fulica atra*).
2. Fiskätande sjöfåglar är dels arter som söker sin föda flygande och fångar fisk nära ytan, dels arter som simmar och dyker djupare efter fisk i den fria vattenmassan eller nära botten. Hit hör måsar, trutar och tärnor, samt alkor (sillgrissla, tobisgrissla och tordmule), lommar, skrakar, doppingar och storskarv (*Phalacrocorax carbo*).
3. Bottenfaunaätande sjöfåglar dyker ned till botten för att hitta föda. De utgörs både av havslevande dykänder som svärta (*Melanitta fusca*), sjöorre (*Melanitta nigra*) och alfågel, och mer kustbundna dykänder som knipa (*Bucephala clangula*), bergand (*Aythya marila*) och vigg (*Aythya fuligula*). Typen av föda styr även fåglarnas rörelsemönster. Om födan påträffas på vissa platser, exempelvis musselbankar, är fåglar som äter sådan föda även begränsade till dessa områden. Under vintern kan istäcket begränsa övervintrande sjöfåglars möjligheter att hitta föda. Alfåglar kan under vintern äta upp födan på en plats så att de tvingas flytta till mindre optimala miljöer med lågkvalitativ föda eller djupare vatten. Fåglar som lever på fisk är mer rörliga, och inte lika knutna till samma områden år efter år. Kunskapen om dynamiken i fiskätande sjöfåglars förekomst och utbredning är överlag mindre känd än för bottendjursätande sjöfåglar.

Under häckningen behöver fåglarna lämpliga miljöer för att placera sina bon skyddat. Avstånden från dessa till födosöksområden varierar stort mellan arter, och havsdjupet har stor betydelse för fåglarnas födosök. Till exempel sillgrissla och tordmule söker regelbundet föda på djup mellan 20 och 50 meter, medan dykänderna håller sig till grundare områden.

En analys av trender för havslevande fågelarter sedan 1970-talet har nyligen publicerats (Wirdheim 2020). Växtätande arter som till exempel svanar och gäss visar en positiv utveckling med ökande populationer. Även arter som äter fisk har i huvudsak haft en god utveckling. Av dessa har 85 procent av arterna ökat i antal, till exempel storskarv, silvertärna, sillgrissla och tordmule. Två fiskätande arter har minskat över en längre tid, nämligen skrântärna (*Sterna caspia*) och tobisgrissla. För bottenfaunaätande fåglar har utvecklingen varit sämre, till exempel alfågel, svärta och ejder, men också vadare som roskarl (*Arenaria interpres*) och strandskata (*Haematopus ostralegus*). Även arter som räknas som allätare visar en övervägande minskning över längre tid, till exempel gråtrut (*Larus argentatus*), havstrut (*Larus marinus*) och fiskmås (*Larus canus*).

### 3.3 Hur har bedömningarna av påverkan tagits fram?

Bedömningarna baserar sig i första hand på litteraturstudier för att identifiera det aktuella forskningsläget när det gäller möjlig påverkan av havsbaserad vindkraft på marint liv. De källor som har använts inkluderar dels empiriska studier i havsbaserade vindparker, dels andra studier av de påverkansfaktorer (se Avsnitt 2.3) som identifierats vara av relevans i samband med havsbaserad vindkraft. I viss mån har även information om arternas förekomst och utbredning beaktats, till exempel populationsstatus, migrationsrutten och viktiga livsmiljöer. Syftet har dock i första hand varit att göra en generaliserbar syntes, som när den tillämpas ska kompletteras med mer specifik information om vilka arter som förekommer i de aktuella fallen.

Bedömningen utgår från påverkansfaktorerna, snarare än till exempel från olika typer av vindkraftverk. Avsikten med detta är att ge en tydlighet i vad som bedöms och med vilken säkerhet, så att resultaten sedan kan anpassas för specifika projekt med hjälp av mer detaljerad information. Det är sannolikt att olika typer av påverkansfaktorer kan behöva prioriteras i olika projekt när det gäller lokalisering, planering och skadelindring. Avsikten är även att göra det lättare att jämföra påverkan från olika verksamheter till havs, till exempel för att få en samlad bild av omfattningen av sedimentspridning, undervattensljud, habitatförlust eller liknande i ett visst geografiskt område, vilket är viktigt för att bedöma kumulativa effekter.

Basen för bedömningen har utgjorts av en sökning i webb-platsen *Web of Science*, som omfattar flera vetenskapliga databaser. Sökningen utfördes på kommandot ”wind farm\*” or ”wind park\*” or ”wind turbine\*” or ”wind energy” or ”wind power” or (”renewable energy” and ”wind”). Det filterades därefter i ett första steg för att identifiera publikationer inom ämnesområdena ekologi, biologi och miljö, och i ett andra steg för att identifiera de som fokuserat på havsområden (globalt; Figur 2). Denna sökning kombinerades sedan med i) information från den tidigare syntesen (Bergström m.fl. 2012), som inkluderades i den mån den ansågs fortfarande vara relevant, ii) eventuell ytterligare, mer ämnesspecifik, litteratur som hänvisas till i de separata avsnitten nedan, samt iii) nyare rapporter från myndigheter, universitet och konsultbolag i de fall de är publika och bedömdes ha relevans och tillräcklig kvalitet för att ytterligare belysa frågeställningen. Bedömningarna som ges i rapporten är en samlad kvalitativ bedömning baserat på samtliga dessa källor. I det initiala steget har resultat för de specifika artgrupperna studerats av LK och AS för bottennära livsmiljöer, av LB och MÖ för fisk, av HS och MW för marina däggdjur och av RO för sjöfågel. Resultaten har sedan diskuterats mer ingående i hela projektgruppen. Under arbetets gång har dialog även skett kontinuerligt med andra experter, vilka inbjudits till seminarier kring specifika teman.<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> Jonas Teilmann (marina däggdjur), Ib Krag Petersen (fågel), Jakob Tougaard (marina däggdjur), samtliga från Aarhus universitet, Danmark, samt Anthony Hawkins, Loughine Ltd, Aberdeen, Scotland (fisk, med fokus på elektromagnetiska fält). Forskarna har medverkat i diskussioner inom arbetet med rapporten, men inte kommenterat på rapportens text.

Bedömningarna presenteras utgående från en gemensam struktur med de olika artgrupperna i fokus, separat för anläggnings- och driftsfasen. Avvecklingsfasen tas inte upp separat, men de påverkansfaktorer som framförallt förväntas i samband med avvecklingsfasen behandlas under anläggningsfasen. Bedömningarna ges efter att särskilt ha beaktat påverkansfaktorernas omfattning baserat på dess intensitet, rumsliga utbredning och varaktighet, samt vilken effekt detta kan få på individer eller populationer inom den aktuella artgruppen med avseende på deras tolerans och återhämtningsförmåga. En utgångspunkt har varit att verksamheten följer befintliga regelverk när det gäller skadebegränsning genom planering/undvikande, åtgärder för att minimera påverkan samt ersätta skada.

## 4. Effekter på bottennära livsmiljöer

### 4.1 Nyckelslutsatser gällande effekter

- Vindparker till havs planeras idag ofta på minst 30 meters djup och där mjukbotten är det dominerande substratet. Inga studier tyder på att etablering av vindkraftverk är ett hot mot vegetation eller bottenlevande djur i den här typen av miljöer i de svenska havsområdena.
- De hårda substrat som bildas av vindkraftverkens fundament och eventuella erosionsskydd kan förväntas ge plats för fastsittande och filtrerande arter.
- För större kräftdjur, till exempel hummer eller havskräftor, är sannolikheten större att de gynnas än att de missgynnas, förutsatt att fisket efter dessa inte ökar inom vindparken.
- De nya substraten skulle kunna gynna oönskade främmande arter. Dock saknas det belägg för att vindparkerna skulle fungera som en spridningsväg.

### 4.2 Nyckelslutsatser gällande kunskapsläget

Kunskapsläget har förbättrats när det gäller mer långsiktig påverkan från vindkraftverk och större parker, och hur alg- och djursamhället förändras över tid. Med åren blir området omkring vindkraftverket mer och mer likt det naturliga samhället på hårda bottenar i regionen. Arter med långlivade larvstadier som kan spridas över större områden kan främjas mer än andra arter.

Havsbaserad vindkraft har hittills främst etablerats inom djupintervallet 5–40 meter, men numera kan vindkraftverken placeras på betydligt större djup. I viss mån saknas kunskap om vilken påverkan som kan förväntas om man bygger på större djup och om vindkraftverken står glesare.

### 4.3 Viktigaste påverkansfaktorer under anläggningsfasen

#### Påverkan på bottenmiljö

Fysisk störning i samband med till exempel grävarbeten och borringar kan påverka bottenmiljön lokalt på det område som berörs, och tiden för återhämtning varierar stort mellan olika områden (Coates m.fl.2015, Hutchison m.fl. 2020a). Djur som inte kan förflytta sig från platsen riskerar att skadas eller avlägsnas. Studier vid andra typer av fysisk störning, så som upprepad trålning eller muddring, visar att många havsborstmaskar, rundmaskar och kräftdjur är snabba på att återkolonisera mjuka bottenar som störts och grumlats upp, medan återkolonisering av mer långlivade arter som exempelvis vissa arter av musslor tar längre tid (Coates m.fl. 2015, HELCOM 2018. Hammar m.fl. (2009) anger att successionsprocesserna normalt är långsammare på djupa än på grunda bottenar.

En större påverkan på bottennära livsmiljöer kan förväntas i grunda miljöer (Kraufvelin m.fl. 2021), till exempel i samband med kabeldragning in mot land. Särskilt ålgräs- och kransalgsängar är känsliga för störning från anläggningsarbete (Burdick och Short, 1999, HELCOM 2013, Eriander m.fl., 2017), och återhämtning av bottenvegetation efter grävning- och muddrarbeten kan ta lång tid (Di Carlo och Kenwothy 2008). Störningar på strandnära miljöer kan i vissa fall även öka risken för erosionsskador (Kraufvelin m.fl. 2021).

Risken för skador på bottenmiljöer kan minskas genom valet av plats, och genom skadelindrande åtgärder (Cole m.fl. 2021) till exempel åtgärder för att minska sediment-spridning.

## Sedimentspridning och sedimentation

Känsligheten för ökad sedimentspridning och sedimentation varierar mellan olika typer av bottenmiljöer och olika arter (Last m.fl. 2011, Kraufvelin m.fl. 2021). Miljöer som har en naturligt hög omblandning av sedimentpartiklar är som regel tåligare än miljöer med låg naturlig omblandning. Exponeringstiden har en stor betydelse, och bottenfauna påverkas generellt inte negativt av kortvarig grumling (Hammar m.fl. 2009, Kraufvelin m.fl. 2021). Många djur som lever på mjuka botten är till exempel anpassade till att sediment virvlas upp eftersom det är en del av deras naturliga livsmiljöer. Fastsittande djurarter och djur med begränsad förmåga att gräva sig genom sedimentet kan dock kvävas vid långvarig övertäckning (Essink 1999). Risken för negativ påverkan på bottendjur är generellt låg om vindkraftverk anläggs på botten med hög naturlig omblandning av sediment, eller som naturligt består av sand eller grus. De negativa effekterna kan bli större om aktiviteterna ökar risken för spridning av farliga ämnen som tidigare anlagrats i sedimentet.

## Impulsivt och högintensivt ljud

Det finns få studier av hur bottenlevande djur påverkas av högintensivt ljud. Vissa författare har angett betänkligheter kring hur ljud och vibrationer under konstruktionen av vindkraftverk kan påverka bottendjur (Hawkins 2020, Hawkins m.fl. 2021), och hur ljud från båttrafik till exempel kan påverka hummerns kommunikation (Jezequel m.fl. 2021). De studier som finns och som är relevanta för svenska arter visar att ostron och blåmusslor inte påverkas av höga ljud-intensiteter (Moriyasu m.fl. 2004). För djur med pelagiska larver kan dessutom noteras att även om man skulle konstatera effekter av ljudstörningar, så skulle påverkan förväntas lokalt och med snabb återhämtningstid.

## 4.4 Viktigaste påverkansfaktorer under driftsfasen

### Reveffekt (introduktion av nytt hårt substrat)

De nya ytor som bildas av vindkraftverkets fundament ger förutsättningar för etablering av bottennära arter (Causon m.fl. 2018). Även om tillskottet av nytt hårt substrat kan vara mycket litet i förhållande till havsbottens totala areal (Malm och Engkvist 2011) kan det förändra artsammansättningen lokalt. På sikt kan det uppstå en så kallad reveffekt (Kerckhof m.fl. 2019, Degraer m.fl. 2020, Hutchison m.fl. 2020a).

De erosionsskydd av sten som ofta anläggs kring kraftverket kan bidra till att förstärka reveffekten, och under vissa förutsättningar kan den påverkas av fundamentets form (Se även Kapitel 9).

Omfattningen av reveffekt, det vill säga antalet arter och biomassa som ansamlas, förväntas i hög grad bero på i vilket havsområde vindkraftverket är placerat, eftersom fler arter kan gynnas i en mer marin miljö. Framförallt i Västerhavet och Egentliga Östersjön kan en etablering av vindparker förväntas leda till en lokal ökning av arter genom att djur och vegetation fäster sig vid eller attraheras till erosionsskydd och fundament. I Västerhavet förväntas till exempel blåmusslor och havsanemoner dominera efter ett antal år. Här kan erosionsskydd runt ett fundament även särskilt gynna krabbor och humrar som gärna söker sig till håligheter. I Östersjön blir blåmusslor mindre i storlek ju lägre salthalten är, men den är även här en viktig art som kan etablera sig på vindkraftsfundament. I Bottniska viken kan reveffekten förväntas bli mindre eftersom den låga salthalten begränsar de marina arternas utbredning (Kautsky och Kautsky 2000).

Genom att turbintornen sträcker sig från botten upp till ytan förväntas förändringen se olika ut på olika djupnivåer. På den del av fundamentet som ligger närmast ytan etablerar sig snabbt till exempel fintrådiga grönalger och på lite större djup olika filtrerande organismer, till exempel blåmusslor och havstulpaner (Figur 6–7).

Organismsamhället utvecklas över tid, och nya arter kan tillkomma vartefter artammansättningen förändras successivt. Miljöövervakning från vindparker i Nordsjön visar på en ökning i antal arter och biomassa av både vegetation och djur inom vindparksområden, genom att hårdbottenlevande arter har etablerat sig på vindparkernas hårda strukturer (DONG Energy 2006, Vanagt och Faase 2014, Degraer m.fl. 2020). Överlag förväntas filtrerande organismer gynnas. Nära fundamentets bas kan även finare sedimentpartiklar och organiskt material ansamlas, vilket också påverkar det bottenlevande djursamhället (Hutchison m.fl. 2020a). Flödet av organiskt kol kan komma att öka inom och i nära anslutning till vindparkerna och transporteras längs rådande strömriktningar (Ivanov m.fl. 2021). Hur reveffekter i sin tur kan påverka fisk, fåglar och marina däggdjur, som kan lockas till området för att söka föda, tas upp i Kapitel 5–7.

Materialet i fundamentet kan ha en viss inverkan på hur stor reveffekten blir. Eftersom fastsittande arter koloniserar betong snabbare än stål (Andersson m.fl. 2009) förväntas djursamhället vara artfattigare vid stålfundament (Wilhelmsson och Malm 2008) än betong (Qvarfordt m.fl. 2006, Andersson m.fl. 2009). Över tid täcks dock grundstrukturen helt av organismer, skal och liknande, som ytterligare arter kan fästa sig vid. Skrapas fundamenten rena från påväxt med jämna mellanrum kan i stället mer skal och organiskt material komma att ansamlas nära botten. Detta skulle kunna leda till att bottnarna berikas med skal och näring, men skulle även kunna leda till att syrekonsumtionen ökar när organiskt material bryts ned. Det saknas studier om vilken lokal påverkan detta skulle kunna få. Det finns som regel inga tekniska skäl att vidta åtgärder för att skrapa fundamenten rena. Ett undantag kan vara om fundamentet står i starkt strömmande vatten, eller andra orsaker som gör att stark påväxt kan påverka konstruktionen tekniskt.



Det är inte uteslutet att de nya strukturerna särskilt kan gynna främmande arter, även om det saknas vetenskapliga studier som skulle belägga detta. Arter klassas som främmande arter om de inte är naturligt förekommande i våra havsområden och har kommit hit som en följd av mänskliga aktiviteter. Främmande arter når nya områden framför allt via fartygstrafik och ballastvatten (HELCOM 2018). Tidiga successionsmiljöer vid artificiella konstruktioner kan gynna etableringen av främmande arter (De Mesel m.fl. 2015, Glasby och Connell 1999, Bulleri och Airoidi 2005). Främmande arter utgör en risk för biologisk mångfald, och det är ett viktigt mål för havsmiljöförvaltningen att minska deras spridning. De främmande arternas spridning och ekologi i Östersjön är en viktig kunskapslucka (Ojaveer och Kotta 2015, Ojaveer m.fl. 2017).

## Sedimentspridning och sedimentation

Driftsfasen innebär normalt inte aktiviteter som leder till sedimentspridning eller sedimentation, även om detta kan förekomma när kablar måste lagas.

## Undervattensbuller

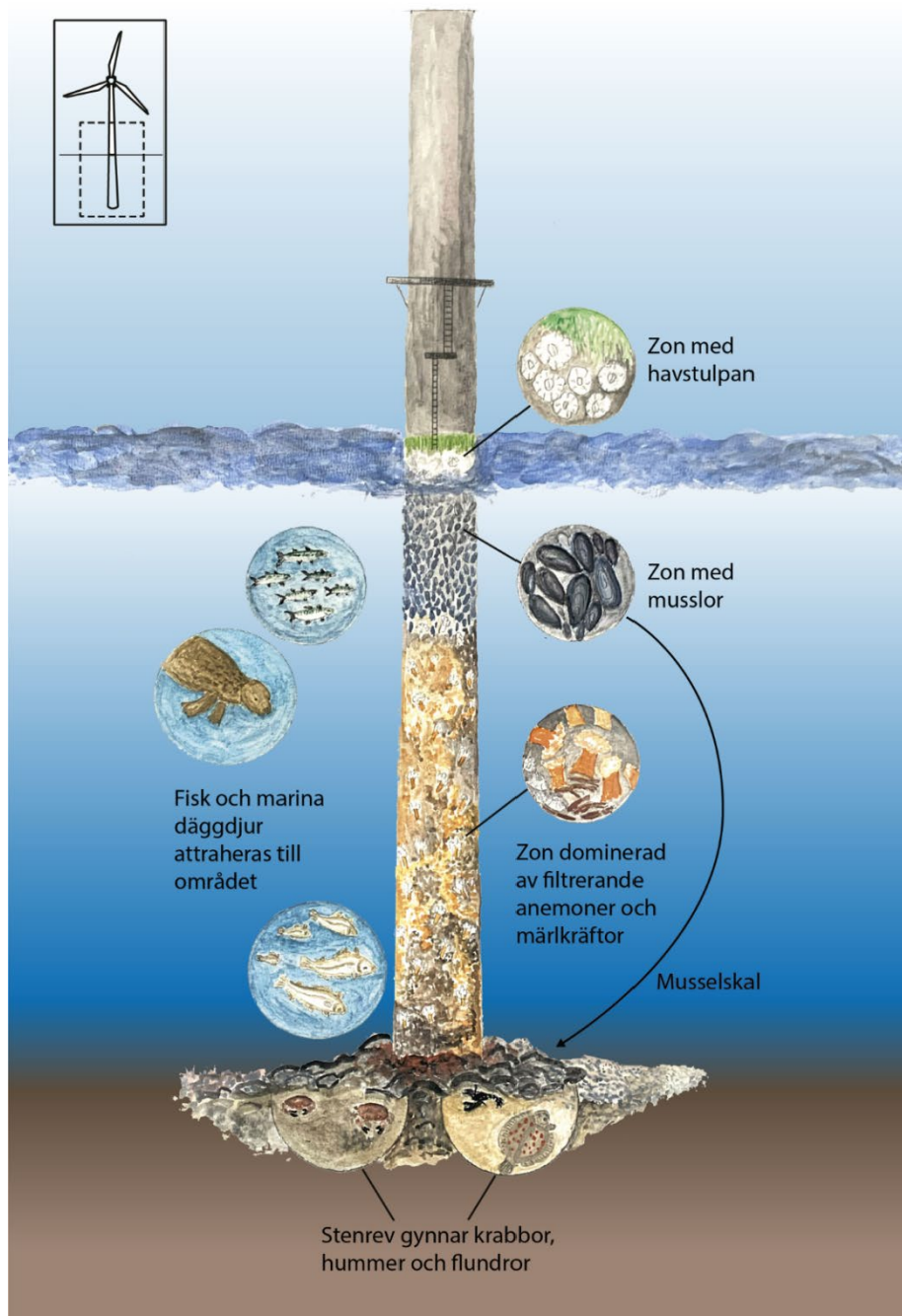
Lågfrekvent ljud, motsvarande det som alstras under driftsfasen har inte visat sig ge några betydande effekter på ett antal studerade vanliga arter i ett djursamhälle från svenska västkusten, det vill säga limfjordsmusslor, ormstjärnor och sandräkor (Wikström och Granmo 2008). Hawkins (2021) lyfte bekymmer för om evertebrater kan påverkas av vibrationer från vindkraftverk (Hawkins 2021), men för närvarande finns inga belägg för detta (Moriyasu m.fl. 2004).

## Elektromagnetiska fält

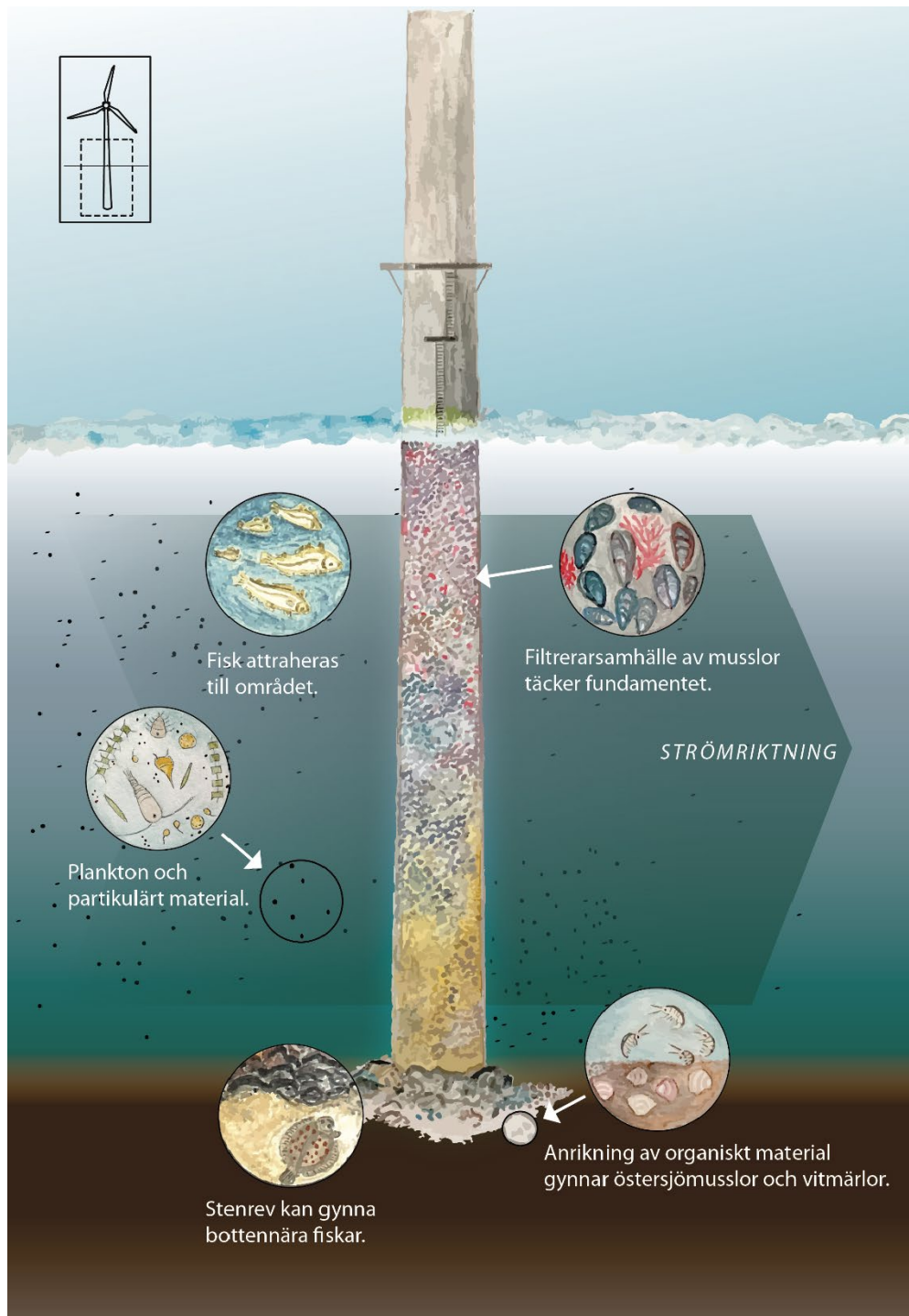
Påverkan på bottennära miljöer av elektromagnetiska fält kan förväntas vara obefintlig vid de nivåer som finns runt sjökablar (Hutchison m.fl. 2020b). De få studier som gjorts tyder på att elektromagnetiska fält inte har någon påverkan på kräftdjur och blåmusslor; Bochert och Zettler (2004, 2006) fann inga signifikanta effekter på överlevnad hos dessa arter. Effekter av artificiella elektromagnetiska fält på marina evertebrater är överlag dåligt undersökt men det saknas stöd för att de skulle ha någon påverkan på organismer på populationsnivå, eller associerade ekologiska processer (Albert m.fl. 2020).

## Indirekta effekter

Vindparken skulle kunna innebära en minskad grad av påverkan på bottenmiljöer, om den bottentrålning som tidigare förekommit minskar eller utesluts efter att parken anlagts. Eftersom bottentrålning är tydligt förknippat med fysisk störning av bottenmiljöer (Churchill 1989, De Madron m.fl. 2005), kunde en minskad fysisk störning och uppgrumling av sediment under dessa förutsättningar ge möjligheter för bottennära arter i parkområdet att återhämta sig (Hammar m.fl. 2016, Havs- och vattenmyndigheten 2018, Bergström m.fl. 2019, se även Avsnitt 9.4).



Figur 6. Illustration av möjlig reveffekt vid ett vindkraftsfundament med de arter som ofta förekommer i Västerhavet, efter Degraer m.fl. (2020). Bild: Lena Kautsky.



Figur 7. Illustration av möjlig reveffekt vid ett vindkraftsfundament med de arter som ofta förekommer i Östersjön. De filtrerande organismerna tar upp plankton och partikulärt material från vattenmassan. Djurens fekalier ansamlas på bottenarna närmast vindkraftverken, efter Degraer m.fl. (2020). Bild: Lena Kautsky.

## 4.5 Främsta risker och viktiga förebyggande åtgärder

Under anläggningsfasen behöver omfattningen av fysisk störning, sedimentspridning och sedimentation kontrolleras för att minimera risken för skador på botten nära livsmiljöer. Den sammanvägda effekten av dessa tillfälliga aktiviteter förväntas vara liten och lokal, speciellt om åtgärder för att minska sedimentspridning används.

Det viktigaste sättet att förbygga risker för påverkan är att undvika att placera parker i särskilt känsliga miljöer. Risken för negativa effekter kan minimeras om fundamenten anläggs på större djup dit ljuset inte når. Här är sannolikhet lägre för att det förekommer arter som kan missgynnas.

Tillförsel av nya hårda substrat kan leda till lokala förändringar i biologisk mångfald och tillkomst av nya arter. De nya substraten kan även gynna spridningen av oönskade arter, men kunskapsläget i denna fråga är bristfälligt. Uppföljning av möjliga reveffekter i etablerade parker i olika svenska havsområden vore viktigt för att öka kunskapsläget.

Användningen av flytande fundament kan förändra omfattningen av de olika påverkansfaktorer som bedömts här. Det finns förutsättningar för att påverkan kan bli mindre vid användning av flytande fundament. Flytande fundament medger därtill större flexibilitet när det gäller valet av plats. Den största förändringen med flytande fundament är att större djup tas i anspråk, vilket i Östersjön och Bottniska viken leder till att mer artfattiga områden berörs. Graden av påverkan beror även på vilken förankringslösning som väljs (till exempel om förankringslinor skulle kunna slå mot botten och därigenom riva upp sediment) och hur djupt strukturen sträcker sig mot botten.

## 5. Effekter på fisk

### 5.1 Nyckelslutsatser gällande effekter

- Fiskar kan påverkas både under anläggningsfasen och driftsfasen, men den förväntade påverkan ser olika ut.
- Kraftiga ljud, som de som uppstår vid pålning, kan stressa fisk, orsaka hörselnedsättning, fysiologisk skada eller mortalitet. Skyddsåtgärder är viktiga för att minska omfattningen av ljudpåverkan, minska det område som påverkas och minska sannolikheten för att fisk förekommer i området.
- Fisk kan påverkas negativt om de utsätts för suspenderat material i vattnet i höga, varaktiga koncentrationer, vilket skulle kunna uppstå till exempel om fundament måste anläggas genom borrhning.
- Under driftsfasen ger fundamenten och dess erosionsskydd upphov till nya hårdbottenmiljöer som kan gynna vissa fiskar, det vill säga det kan bli en reveffekt.

### 5.2 Nyckelslutsatser gällande kunskapsläget

Under senare år har flera studier tillkommit som undersökt effekten av havsbaserad vindkraft på fisk och fiskesamhällen. Framför allt har förståelsen ökat för hur reveffekter från vindkraftverk kan påverka fisk, inte minst genom forskning som bedrivits i Nordsjön. Dessa undersökningar belyser reveffekter mer ingående än tidigare studier. Motsvarande forskning saknas för svenska havsområden.

I tillägg har nya studier tillkommit om fiskars ekologi, samt hur miljöförändringar påverkar fisk, vilka också kan vara relevanta för att bedöma vindkraftens effekter. Det finns en större förståelse för hur fisk påverkas av ljud, både när det gäller beteendeförändringar, fysiologiska reaktioner och hörselnedsättning.

### 5.3 Viktigaste påverkansfaktorer under anläggningsfasen

#### Impulsivt och högintensivt ljud

Hörsel är ett viktigt sinne för fisk. Uppfattningsförmågan och känsligheten för ljud varierar mellan arter (Popper m.fl. 2019). Bland svenska marina arter har sill och skarpsill den bästa hörseln, följd av andra fiskar med simblåsa, till exempel torsk. Fisk utan simblåsa, som makrill och plattfiskar, har mycket sämre känslighet för ljud. Fisk kan påverkas av det högintensiva ljud som uppstår vid pålning av monopilefundament (McCauley m.fl. 2003, Halvorsen m.fl. 2011). Fysiologisk skada kan inträffa om de uppehåller sig i ljudkällans närhet och inte flyr (Debusschere m.fl. 2016). Även beteendemässiga reaktioner har observerats (Mueller-Blenkle m.fl. 2010, Hawkins m.fl. 2014, Herbert-Read m.fl. 2017). Vid sidan av den direkta spridningen av ljud så uppstår vid pålning också vibrationer i vattnet och i sedimenten som

fisk kan detektera (Wahlberg och Westerberg 2005, Hawkins m.fl. 2021). Det har inte konstaterats några väsentliga effekter på ägg och larver av kraftiga ljudpulser (Wahlberg och Westerberg 2005, Bolle m.fl. 2016). Ljud från ökande båttrafik i samband med anläggningen kan också påverka fisk (Kikuchi 2010). Hur påverkan från båttrafik ger sig uttryck beror på flera faktorer, till exempel hur mycket båtar som finns i området i normala fall (Yu m.fl. 2020).

Hur stor den sammanlagda påverkan blir på fiskfaunan beror på hur mycket fisk som finns ansamlad i området när anläggningen sker, men även på vilken anläggningsmetod som används samt hur omfattande ljudet sprids. Åtgärder som minskar ljudnivån under anläggningen, och får fisk att lämna anläggningsområdet innan monteringen av fundament påbörjas, är viktiga för att minska risken för skada (se Avsnitt 2.3). Sådana skyddsåtgärder kan idag anses vara en normal del av anläggningsarbetet.

## Sedimentspridning och sedimentation

Sedimentspridning kan påverka fisk under anläggningsfasen, i synnerhet om borrhning av monopile-fundament förekommer och om vindkraftverk anläggs i livsmiljöer där graden av sedimentspridning blir relativt hög (se Avsnitt 2.3). Hur omfattande risken för påverkan blir varierar dock mellan arter och livsmiljöer (Wilber och Clarke 2001, Kjelland m.fl. 2015, Karlsson m.fl. 2020).

Kombinationen av mängden sediment i vattnet och hur länge den pågår är en viktig faktor (Karlsson m.fl. 2020). Noterbart är också att vissa livsmiljöer kan vara naturligt mer utsatta för grumling än andra. Grumling i ett område som inte har någon naturlig omblandning av sediment har sannolikt större påverkan. Rörliga arter kan förväntas vara mer tåliga, liksom arter som naturligt lever nära sedimentet, till exempel plattfiskar. Den sammantagna påverkan beror även på hur mycket fisk som förekommer i området. Mängden fisk och artsammansättning varierar stort mellan olika livsmiljöer och tider av året. Risken för påverkan på populationen är högre om arten koncentreras i det område där ingreppet sker, till exempel under lek, jämfört med om populationen är mer utbredd.

Känsligheten för påverkan från sedimentspridning och grumling varierar också mellan fiskens olika livsstadier (Karlsson m.fl. 2020). Vuxna fiskar är generellt mindre känsliga än yngre levnadsstadier, genom att de har utvecklade gälar och är rörliga så att de har större möjlighet att undvika en sedimentplym (Kjelland m.fl. 2015). Fisklarver (stadiet mellan ägg och fullt utvecklad individ) är ofta mest känsliga (Moore 1977). Att fisklarver får problem av grumling beror främst på att filamenten i gälarna kan bli övertäckta, så att de får svårt att andas, och att det kan bli svårare att hitta föda (Johnston och Wildish 1982, Berg och Northcote 1985, Zingel och Paaver 2010, Au m.fl. 2004, Lowe m.fl. 2015). Grumligt vatten försvårar larvernas möjlighet att upptäcka byten och larver klarar inte av längre perioder av svält. Karlsson m.fl. (2020) konstaterar dock att även om fisklarver är känsligare än juvenila och vuxna stadier så kan de i flera fall överleva nivåer som är betydligt högre än vad man normalt finner i naturen. Fiskägg har ofta högre tolerans än fisklarver. En faktor som kan påverka fiskägg är om flytförmågan störs. Många marina arter har ägg som flyter i vattenmassan, till exempel torsk i Östersjön och skarpsill. Om de utsätts för höga halter sediment i vattnet kan detta tynga ner fiskäggen, vilket blir en ökad risk för att de blir övertäckta och sjunker (Westerberg m.fl. 1996).

Att ge gränsvärden för sedimentkoncentrationer för fisk är svårt eftersom många lokala faktorer spelar in, som beskrivits ovan, och eftersom toleransen kan skilja sig åt mellan arter och levnadsstadier. En begränsning i många studier om sedimenteffekter på fisk är att de utförts som experiment i slutna miljöer. I marin miljö kan arter i många fall röra sig ifrån områden med tillfälligt ogynnsamma koncentrationer. Karlsson m.fl. (2020) föreslår som riktlinje att de flesta arter och livsstadier av fisk tål sedimentkoncentrationer upp till 100 mg/l under två veckor. För många arter förväntas gränsen för ökad dödlighet vara betydligt högre, speciellt hos vuxen fisk.

## 5.4 Viktigaste påverkansfaktorer under driftsfasen

### Reveffekt (introduktion av nytt hårt substrat)

Den hårda yta som uppstår av ett vindkraftsfundament till havs kan bli en ny livsmiljö där fisk ansamlas (se Avsnitt 2.3). I synnerhet bottenära fiskarter kan interagera med strukturen på samma sätt som de interagerar med en naturlig botten. På grund av detta kan vindkraftverken få en funktion som artificiella rev och attrahera fisk (Baine 2001, Öhman m.fl. 2006, Hylkema m.fl. 2020). Eftersom strukturen når hela vägen från botten och upp till ytan har den likheter med så kallade *fish aggregation devices* (FADs) (Dempster 2005, Eighania 2019), som i vissa länder används för att locka fisk till ett visst område i samband med småskaligt fiske. FADs brukar vara förankrade i botten medan själva strukturen återfinns vid ytan och en bit under den. Flytande fundament kan av dessa anledningar i ännu större utsträckning liknas vid FADs.

I Sverige kan omfattningen av reveffekt förväntas variera beroende på var vindparken placeras, på grund av skillnader i förekomsten av arter längs olika delar av kusten (Avsnitt 3.1). Studier som undersökte reveffekter på fisk i anslutning till vindkraft i Kalmarsund i Egentliga Östersjön kunde konstatera att det blev mer fisk vid fundamenten och att framför allt en art, sjustrålig smörbult (*Gobiusculus flavescens*), dominerade (Wilhelmsson m.fl. 2006, Andersson och Öhman 2010). I studier vid vindparken Lillgrund i Öresund noterades ansamlingar av arter som torsk (*Gadus morhua*), ål (*Anguilla anguilla*), rötsimpa (*Myoxocephalus scorpius*) och stensnultra (*Ctenolabrus rupestris*) i anslutning till fundamenten (Bergström m.fl. 2013b). I Öresund är salthalten högre än i Kalmarsund vilket bidrar till att det blir fler arter där. Reveffekten kan även variera mellan arter. Till exempel verkade tånglake (*Zoarces viviparus*) inte ansamlas vid fundamenten (Bergström m.fl. 2013b, Langhamer m.fl. 2018).

Studier av reveffekter under senare tid belyser olika ekologiska samband där fisk ingår, till exempel på vilka sätt bottenära arter vid vindkraftsfundamenten kan fungera som en födokälla för fisk. Nordsjön är ett av de mest expansiva områdena vad gäller havsbaserad vindkraft, där Storbritannien, Belgien, Nederländerna, Tyskland, och Danmark är verksamma. Nordsjön är fullt ut en marin miljö med högre salthalt än svenska vatten. De ekologiska studierna i Nordsjön bekräftar förekomsten av en reveffekt, med mer fisk och högre artrikedom i anslutning till vindkraftverken (Lindeboom m.fl. 2011, Reubens m.fl. 2011, 2013, 2014a, 2014b, De Troch m.fl. 2013, Krone m.fl. 2013, Stenberg m.fl. 2015, Van Hal m.fl. 2017). Mellan

verken noterades arter som inte verkade vara påverkade av närvaron av vindkraftverk (Stenberg m.fl. 2015), men även några arter som minskade i antal, till exempel mindre fjärsing (*Echiichthys vipera*; Lindeboom m.fl. 2011). Vidare noterades en övergång mot mer fiskar av arter som är typiska för hårbottenmiljöer, till exempel stensnultra (*Ctenolabrus rupestris*; Van Hal m.fl. 2017). Detta indikerade att rev-effekten inte var begränsad till en omfördelning av de fiskar som fanns i närområdet sedan tidigare, utan att det kan ske ett nytillskott av arter. Studierna visar också att förekomsten av fisk för vissa arter kan variera tydligt mellan dagar och mellan säsonger (Lindeboom m.fl. 2011, Van Hal m.fl. 2017). Sammansättningen av arter i Nordsjön är annorlunda än i svenska vatten, vilket i viss mån kan begränsa möjligheten till erfarenhetsöverföring. Dock förekommer flera av de arter som studerats i Nordsjön även i svenska vatten, framför allt i Västerhavet.

Ett flertal studier har visat att torsk gärna söker sig till vindkraftverk (Bergström m.fl. 2013, De Troch m.fl. 2013, Reubens m.fl. 2013, 2014a, 2014b, Van Hal m.fl. 2017). En viktig faktor är att torsken finner föda i den nya miljön (De Troch m.fl. 2013, Reubens m.fl. 2014a). Torsk kan vara stationära delar av tiden, men även röra sig mellan verken inom en vindpark (van Hal m.fl. 2017). Eftersom torsk söker sig till vindkraftverk för skydd och föda är det sannolikt att vindparker kan ha en gynnsam effekt på arten. Reveffekten kan förstärkas av att torsk (och andra fiskarter) som regel också skyddas från fiske i samband med etableringen av vindparker. På basen av observationer av bottennära fiskarter vid till exempel vrak och befintliga naturliga strukturer i djupare områden, kan man förvänta sig att de effekter som hittills observerats i grunda miljöer sannolikt också förekommer på djupare vatten. Till exempel dokumenterade Beisiegel m.fl. (2019) ansamlingar av torsk vid ett nyupptäckt stenrev på 40 m djup i den annars mycket leriga Arkona-bassängen söder om Skåne.

## Ljud

Fisk kan förväntas uppfatta de kontinuerliga ljud som uppstår från vindparken under drift som en följd av vibrationer i tornet eller ljud från maskinhuset (Andersson m.fl. 2011, 2016, se även Avsnitt 2.3), och de kan möjligen även lära att känna igen dessa ljud. Risken för att fiskars beteende kan störas av undervattensljud från vindkraftverk i drift har ofta diskuterats, till exempel när det gäller påverkan på vandring och lek. Sådana effekter är svåra att studera, men bedöms ofta som låg, eller i alla fall inte hämmande för fiskens beteende (Wahlberg och Westerberg 2005, Hammar m.fl. 2014, Bergström m.fl. 2013ab). Som jämförelse finns det exempel på fisklek i områden med höga ljudnivåer från fartygstrafik som Öresund (torsk; Højgård Petersen m.fl. 2018) och Kiel-kanalen (sill; Gollasch och Rosenthal 2006), samt i närhet av fartyg (sill; Skaret m.fl. 2005), vilket antyder att fiskens motivation för lek övervägt motivationen att undvika ljud i dessa miljöer. Ansamlingar av fisk nära fundamenten talar emot att ljud under driftsfasen skulle vara en avskräckande faktor för fisk. Det är dock sannolikt att fisk kan uppleva ökad stress vid förhöjda ljudnivåer (till exempel torsk; Sierra-Flores m.fl. 2015). I en studie från Taiwan observerade förändringar i ljuden från fiskar som befann sig nära en havsbaserad vindpark (Siddagangaiah m.fl. 2021).



## Elektromagnetiska fält

De elektromagnetiska fält som uppstår kring sjökablar i anslutning till vindparken och dess landanslutning skulle potentiellt kunna uppfattas av fisk (se Avsnitt 2.3). Det finns fiskar som kan uppfatta förändringar i det jordmagnetiska fältet och använder detta för att orientera sig (Metcalf 1993, Öhman m.fl. 2007, Krylov m.fl. 2014, Naisbett-Jones m.fl. 2017).

Ålen (*Anguilla anguilla*), som gör lekvandringar från Sverige till Sargassohavet, rör sig över stora områden och orienterar sig med hjälp av jordens magnetiska fält (Karlsson 1985, Tesch m.fl. 1992). Studier av vandrande ål visar att sjökablar med växelström eller likström inte är ett hinder för vandringen, men att några ålar kan bli något fördröjda (Westerberg och Lagenfelt 2008, Lagenfelt m.fl. 2012) eller temporärt desorienterade (Westerberg och Begout-Anras 2000) vid passage av kabeln. Hur vandrande ålar reagerar på en vindpark, inklusive dess kabelnätverk, har undersökts vid vindparken Lillgrund i Öresund (Lagenfelt m.fl. 2012). Inga tydliga effekter noterades, även om det fanns indikationer på att vandringen fördröjdes hos enskilda individer vid hög elproduktion. Om dessa beteendeförändringar orsakas av det magnetiska fältet från kabeln så skulle en förklaring vara att så snart ålen rört sig några meter från en sjökabel avtar det magnetiska fältet snabbt, och efter tioalet meter känns det inte av (Sherwood m.fl. 2016).

Även om det är troligt att en del andra fiskarter, så som lax, också kan detektera magnetfält från sjökablar så är kunskapen om detta mycket svagt belagd. Det finns exempel på arter som inte uppvisar någon påverkan från sjökablar, vilket kan bero på att de saknar de fysiologiska förutsättningarna, eller att andra faktorer har en starkare påverkan. Dunlop m.fl. (2016) noterade ingen effekt på fisksamhället i samband med undersökningar vid en sjökabel i Lake Ontario, men att snarare andra faktorer i livsmiljön påverkade förekomsten, främst djup och typ av botten. Ett liknande resonemang fördes av Bergström m.fl. (2012) i en studie från vindparken Lillgrund, där reveffekten identifierades som en starkare faktor.

Det finns även fiskar som kan uppfatta elektriska fält, även om detektion av elektriska fält inte har studerats hos någon av de benfiskarter som lever i svenska vatten. Hajar och rockor, som förekommer i Västerhavet, kan detektera elektriska fält och använder detta sinne för att söka föda (Montgomery och Walker 2001, Rølvåg m.fl. 2020). Alla kända exempel på fiskar som använder elektriska fält till kommunikation är från tropiska sötvatten.

## Indirekta effekter

Om vindparken leder till att fiske utesluts från området kan det uppstå en lokal skyddseffekt. Hur stor en sådan effekt i så fall skulle bli på fiskbestånd beror på flera faktorer, till exempel hur lokal populationen är, i hur hög grad den är fiskad på, och hur mycket den påverkas av fiske i andra områden utanför vindparken, samt av ekologiska förutsättningar. Dessa aspekter diskuteras närmare i Kapitel 8–9.

## 5.5 Främsta risker och viktiga förebyggande åtgärder

Risker för fisk uppstår främst i samband med anläggningsfasen, i samband med ökade ljudnivåer och potentiellt även vid grumling i samband med sediment-spridning (se även Karlsson m.fl. 2020). Det finns god anledning att ställa höga krav på anläggning i områden som är viktiga för fiskelek, speciellt med avseende på de delar av året när fiskens lek sker. Hur stor risk en lokal påverkan under anläggningen medför på populationsnivå beror även på till exempel beståndets status och det totala lekområdets storlek. Om fiskbestånden är försvagade och har ett begränsat lekområde är risken högst, medan om beståndet har god status och leken inte är tydligt platsspecifik är risken lägre. Under alla förutsättningar är det viktigt är att använda de skyddsåtgärder som kan reducera ljud och för att få fisk att flytta från anläggningsområdet innan pålningsarbete påbörjas (se Avsnitt 2.3).

För vindkraftverk i drift är det mer sannolikt att fisk gynnas lokalt än att den missgynnas, men effekten förväntas vara olika tydligt hos olika arter. Uppföljning av möjliga reveffekter i etablerade parker vore dock viktigt för att klargöra om så är fallet i svenska havsområden, och i så fall genom vilka mekanismer och vilka arter som berörs.

## 6. Effekter på marina däggdjur

### 6.1 Nyckelslutsatser gällande effekter

- Sälur förväntas inte påverkas negativt av havsbaserad vindkraft, och några individer kommer troligen använda sig av parkerna för att hitta föda.
- Tumlare kan påverkas negativt vid anläggningsfasen då det finns en risk för påverkan på hörsel och beteende om inte skadelindrande åtgärder används. Det finns särskild anledning till försiktighet vid anläggning i viktiga områden och under viktiga årstider för honor med ungar. Speciella hänsyn bör tas för den akut hotade östersjötumlaren.
- Aktuella studier tyder dock på att havsbaserad vindkraft inte är ett hot mot tumlare sett över vindparkens hela livstid.

### 6.2 Nyckelslutsatser gällande kunskapsläget

Vi vet idag mycket mera om hur havsbaserad vindkraft kan påverka marina däggdjur än för tio år sedan. Framför allt har kunskapen förbättrats när det gäller förståelsen av hur sälur och tumlare uppfattar, använder sig av, och påverkas av ljud. Slutsatserna från den senaste syntesrapporten är dock i stort sett oförändrade, och de flesta slutsatserna har styrkts.

Förståelsen har även ökat kring hur bullrets frekvensinnehåll och tidsmässiga struktur påverkar risken för skador på marina däggdjurs hörsel. Hos människor har man länge definierat så kallade viktningfunktioner, vilka multipliceras med ljudets frekvensspektrum för att ge en realistisk skattning av hörsleffekterna. Till exempel hör människor dåligt vid låga frekvenser, och därför beräknas påverkan från lågfrekvent ljud som relativt lägre. Vid beräkning av gränsvärden för marina däggdjur används numera en motsvarande viktningsteknik (se Tabell 1). Det finns även bättre data på östersjötumlarens utbredning under olika årstider.

### 6.3 Viktigaste påverkansfaktorer under anläggningsfasen

#### Impulsivt och högintensivt ljud

Till de viktigaste orsmomenten för marina däggdjur i samband med havsbaserad vindkraft hör de intensiva ljudnivåer som uppstår under anläggningsfasen, framför allt i samband med pålning och sprängning. Dessa ljud kan ge upphov till kraftiga beteenderekationer, med resultatet att djur lämnar området. Om de stannar kvar inom området med höga ljudnivåer kan det uppstå permanenta hörselskador (Brandt m.fl. 2018, Graham m.fl. 2019) eller beteendeförändringar (Pirota m.fl. 2014). Tumlare kan påverkas på tiotals kilometers avstånd från pålning och detonationer,

om inte skyddsåtgärder används, men med skyddsåtgärder kan avståndet med förhöjda ljudnivåer reduceras betydligt (Brandt m.fl. 2016, von Benda-Beckmann m.fl. 2015, Tougaard m.fl. 2021). Gråsäl och knubbsäl påverkas förmodligen mindre än tumlare, även om vissa individer kan reagera på lika stora avstånd som tumlare (Russel m.fl. 2016, Aarts m.fl. 2017). En annan aspekt att uppmärksamma är hur djur påverkas av långvarig exponering av undervattensljud. Både prospektering och anläggning leder även till ökning av fartygsbuller, och under prospektering används möjligtvis luftkanoner och sonarer (se Avsnitt 2.3). Sådant buller kan maskera kommunikationsljud och andra relevanta signaler (Box 2), och kan öka risken för fysiologisk störning (se nedan). Å andra sidan har man också observerat tillvänjning hos tumlare i förhållande till pålningsbuller (Graham m.fl. 2019, Thompson m.fl. 2013).”

### **Box 2. Hur använder marina däggdjur ljud?**

Marina däggdjur har väl utvecklad hörsel, och ljud transporteras effektivt under vattnet. Sälar och tumlare använder olika typer av ljudsignaler till exempel för orientering, kommunikation och till att hitta bytesdjur.

Sälars hörsel fungerar mycket väl både i luft och under vattenytan. I luft liknar sälens hörsel människans i fråga om känslighet och frekvensområde. Under vattenytan är frekvensområdet större så att de också hör ultraljud (Reichmuth m.fl. 2013, Sills m.fl. 2015). Av svenska arter finns publicerad data för knubbsäl och vikare, av vilka vikaren möjligen är känsligast. Gråsälens hörsel liknar knubbsälens (Kirstin Andersson, pers. komm.). Sälar använder sin hörsel vid födosökning, navigation och kommunikation (Schusterman och van Parijs 2003, Schusterman m.fl. 2000). Hos gråsäl är luftburna kommunikationsljud viktiga för sammanhållning, morunge relationer och under parnings säsongen (Schusterman och Van Parijs 2003). Knubbsäl är mestadels tysta på land men hannarna producerar stereotypa, långa ”sånger” under vattnet för att attrahera honor eller upprätthålla territorier (van Parijs m.fl. 2000). Hos vikare och gråsäl vet man mindre om ljudens användning under parningsleken, även om undervattensljud hörs året runt (Mizuguchi m.fl. 2016, Andersson m.fl. 2015).

Tumlare har mycket känslig hörsel som spänner över ett frekvensområde från under 1 kHz till över 140 kHz, med bäst hörsel från 100 till 140 kHz (Andersen 1970, Popov m.fl. 1986, Kastelein m.fl. 2002, 2010). Tumlare navigerar och söker föda med hjälp av ekolokalisering klick med mycket högt frekvensinnehåll, 120–140 kHz (Villadsgaard m.fl. 2007). För kommunikation använder de serier av dessa klickljud (Clausen m.fl. 2010, Sørensen m.fl. 2018).

### **Gränsvärden för undervattensljud-effekter uppdateras kontinuerligt**

Tillgängliga studier visar en stor variation i vilka exponeringsnivåer som resulterar i skador hos marina däggdjur (Box 3). Samtidigt finns det bred enighet om att det finns tillfredsställande data för att definiera trösklar för permanenta och temporära hörselnedsättelser hos marina däggdjur (Tougaard m.fl. 2021). Uppdateringar av tröskelnivåer för påverkan har gjorts kontinuerligt sedan Southall m.fl. (2007). De senaste rekommendationerna (NMFS 2018, Southall m.fl. 2019) används numera i miljökonsekvensbeskrivningar som involverar marina däggdjur (Tabell 1). Trösklar har bestämts för funktionella hörselgrupper av arter, där tumlaren tillhör de så kallade högfrekventa valarterna, medan de tre svenska sälarterna tillhör gruppen

äka sälar. Trösklar anges både som ljudets intensitet, och dels exponeringen. Ljudintensiteten (*Sound Pressure Level*, SPL, som mäts i dB re 1 µPa) anger den omedelbara tryckstigningen av en passerande ljudvåg. Ljudexponeringen (*Sound Exposure Level*, SEL, som mäts i dB re 1 µPa<sup>2</sup>s) anger den ackumulerade ljudenergin under en tidsperiod (Southall m.fl. 2019, Tougaard 2021). Ljudexponeringen betraktas som kraftig om tröskeln för antingen SPL eller SEL överskrids.

**Tabell 1. Trösklar för undervattensljud-effekter på valar och sälar. PTS = Permanent hörseltröskelförsämring, TTS = Temporär hörselnedsättning. SEL = *Sound Exposure Level* (ljudnivå i enheter av energi). Angivna värden förväntas förändras i takt med att det tillkommer information om ljudens påverkan på olika arter i framtiden.**

	Impulsivt ljud		Icke-impulsivt ljud	
	PTS (SEL frekvensviktad)	TTS (SEL frekvensviktad)	PTS (SEL frekvensviktad)	TTS (SEL frekvensviktad)
<b>Högfrekvensvalar (t.ex. tumlare)</b>	155 (196 dB SPL peak, inte viktad)	140 (202 dB SPL peak, inte viktad)	173	153
<b>Äkta sälar</b>	185 (218 dB SPL peak, inte viktad)	170 (212 dB SPL peak, inte viktad)	201	181

### Gränsvärden för beteendestörningar är komplicerade att fastställa

Att förutsäga hur marina däggdjurs beteende påverkas av ljudstörningar är betydligt svårare än att fastställa nivåer vid skada. Skillnader mellan arter, men också mellan individer av samma art, gör det svårt att förutsäga reaktionen på en speciell ljudkälla på artnivå (Graham m.fl. 2019). Det har antagits att tumlare visar omedelbara reaktioner på buller som ligger 40–50 dB ovanför hörseltröskeln vid en given frekvens (Tougaard m.fl. 2015, 2022), men detta antagande måste säkras med mera data. Tumlarens reaktion på ljud beror inte nödvändigtvis enbart på ljudets intensitet utan påverkas också av djurets initiala beteende, det vill säga om det hör ljudet i samband med födosökning, förflyttning, vila, eller digivning. Även djurets ålder, kön och djurets tidigare erfarenhet av buller kan påverka beteendet i förhållande till undervattensljud (Southall m.fl. 2021).

Bedömningen kompliceras ytterligare av att tumlaren har en hög ämnesomsättning och därmed hög födosökningsfrekvens, vilket kan göra även måttliga störningar kritiska för tumlarens möjligheter att hitta tillräckligt med föda (Wisniewska m.fl. 2016, Rojano-Doñate m.fl. 2018). Dessutom är tumlarens utbredning säkerligen kraftigt influerat av var deras bytesdjur finns, både på liten och större geografisk skala. Om bytesdjuren flyttar sig på grund av störningar, eller av andra orsaker, så gör tumlarna det också. Säl följer också bytesdjuren, men uppehåller sig därutöver vid sina landplatser.

Southall m.fl. (2021) föreslog en skala för beteendereaktioner för att bedöma effekter av ljudexponeringar och relatera dem till effekter av individers överlevnadschanser och därigenom konsekvenser för populationen. Detta nya tillvägagångssätt kan visa sig viktigt för så kallad *agent based*-modellering. Denna typ av modeller kan inkludera data på beteendeförändringar och ge en mer detaljerad analys av konsekvenser av störningar på individ- såväl som populations-nivå (Nabe-Nielsen m.fl. 2014 och 2018, Gallagher m.fl. 2021).

### Box 3. Hörselskador hos marina däggdjur

Hörselnedsättningar uppstår om hårcellerna i innerörat utmattas, skadas eller förstörs permanent (Popov m.fl. 2011, Finneran 2015, Kastelein m.fl. 2012, Ketten 2012) eller av att mellanörat skadas (Ketten 2004, Siebert m.fl. 2022). Om örat exponeras flera gånger för kraftiga ljud med korta tidsmellanrum kan graden av hörselnedsättning öka efter varje exponering. Långvarig exponering av ljud från båtar kan också inducera TTS i marina däggdjur (Kastak m.fl. 2005, Kastelein m.fl. 2012, Kastelein m.fl. 2019).

Om hörseltröskeln (*Temporary Threshold Shift*, TTS) temporärt försämras med mer än 50 dB uppstår risk för en permanent hörselnedsättning (PTS, Ketten 2012). PTS har inte studerats hos tumlare, gråsäl eller vikare. Dock inducerades PTS av misstag hos en knubbsäl (Kastak m.fl. 2008, Reichmuth m.fl. 2019). Denna studie har varit viktigt i utvecklingen av gränsvärden när det gäller PTS i marina däggdjur (Southall m.fl. 2007 och 2019).

Under det senaste decenniet har stora insatser gjorts för att undersöka TTS hos marina däggdjur. Studierna visar att både ljudtryck och antalet ljudpulser är viktiga för att inducera TTS. Till exempel utvecklas TTS både om tumlare exponeras för kraftiga ljudpulser och för längre, mera låg-intensivt ljud (Lucke m.fl. 2009, Kastelein m.fl. 2016 och 2019). Både vid kontinuerligt (Kastelein m.fl. 2013) och impulsivt låg-frekvent ljud (Lucke m.fl. 2009) uppstår temporära försämringar av hörseltröskeln vid frekvenser som ligger nära bruskillans huvudfrekvens, men vid kraftigare ljudkällor kan TTS också mätas flera oktaver över källans centerfrekvens (Kastelein m.fl. 2015a, 2016, 2017). Högfrekventa ljud inducerar mer TTS hos tumlare än lågfrekventa ljud (Tougaard m.fl. 2015, Finneran 2015, Kastelein m.fl. 2021). Bubbelridåer som tar bort högre frekvenser kan därför vara effektiva åtgärder.

Den TTS som utvecklas hos tumlare vid pålning ligger vid låga frekvenser (Kastelein m.fl. 2015b, 2016). Eftersom tumlare använder sig av extremt höga frekvenser både till ekolokalisering och kommunikation är det osäkert hur stor effekt temporär hörselnedsättning vid låga frekvenser kan ha. Akustiska skrämmor, så som sälskrämmor som används till att hålla sälar bort från fiskredskap och områden där det pålas, har också visat sig kunna inducera TTS hos tumlare (Schaffeld m.fl. 2019).

Säl kan också få TTS vid höga ljudtryck eller långa exponeringar (Kastelein m.fl. 2018, Reichmuth m.fl. 2016, Tougaard m.fl. 2021). Sälar hör och kommunicerar vid låga frekvenser och kan därför potentiellt vara mera känsliga för lågfrekvent buller än tumlare, men det är inte känt hur mycket TTS vid dessa frekvenser påverkar dessa arters överlevnadschanser. Vid sidan av hörseln kan sälar använda syn och hydrodynamiska signaler för att hitta byten, så man kan anta att påverkan från buller under födosök är liten, även om det även finns studier som visat på motsatsen (Hastie m.fl. 2021).

## 6.4 Viktigaste påverkansfaktorer under driftsfasen

### Reveffekt

Under driftsfasen har både minskad, oförändrad eller ökad tumlarförekomst observerats vid studier i etablerade vindparker (Tougaard m.fl. 2006, Teilmann m.fl. 2012a,b, Scheidat m.fl. 2011, Vallejo m.fl. 2017). I de fall där förekomsten av tumlare ökat skulle ökningen kunna förklaras av ökad tillgång på fisk, uteslutning

av fiskeaktiviteter och möjligen också minskat undervattensbuller från båttrafik inne i parken (Scheidat m.fl. 2011). I de fall där ingen ökning (eller minskning) observerats kunde en förklaring vara att eventuella reveffekter vid vindparken inte varit tillräckligt stora för att attrahera tumlare, till exempel om andra närliggande områden visar lika eller högre tillgång på föda. Studier av tumlare vid gas- och oljeplattformar antyder att om tumlarens motivation för att uppehålla sig vid ett artificiellt rev är stor så kan detta övervinna deras eventuella undvikandereaktioner i förhållande till andra faktorer, som undervattensbuller (Clausen m.fl. 2021).

## Ljud

Ljud från vindkraftverk är inte kraftiga nog till att ge temporära eller permanenta hörselskador på marina däggdjur ens om djuren uppehåller sig på mycket nära håll under lång tid.

De undervattensljud som genereras vid driftsfasen verkar inte skrämna vare sig sälar eller tumlare, även när dessa uppehåller sig nära fundamenten (Scheidat m.fl. 2011, Russell m.fl. 2014). När det gäller buller från båttrafik kan tumlare dock reagera kraftigt på högfrekventa komponenter även vid relativt låga ljudnivåer (Dyndo m.fl. 2015). Till exempel observerade Wisniewska m.fl. (2018) att två märkta vilda tumlare simmade till botten och stoppade ekolokalisering under flera minuter när en höghastighetsfärja närmade sig. Det är fortfarande oklart hur allvarlig denna slags inverkan är på djurens normala beteende (Benhemma-Le Gall m.fl. 2021). Ljudkällans rörelse i förhållande till djuret spelar troligen en stor roll för hur tumlare reagerar på buller (Richardson m.fl. 1995, Wisniewska m.fl. 2018). Därtill är det viktigt att beakta omständigheterna för att förutsäga hur tumlaren reagerar på ljud.

Det är sannolikt att tumlarnas motivation för att befinna sig i en vindpark är resultatet av en sammanvägning av olika miljöfaktorer (Figur 8). Till exempel skulle skillnader i yttre omständigheter kunna förklara varför tumlarförekomsten minskade efter anläggningen av en dansk vindpark, men senare undersökningar vid danska, tyska och holländska parker påvisade en oförändrad eller högre förekomst av tumlare efter att parkerna byggdes (Teilmann m.fl. 2012a, Scheidat m.fl. 2011). Tumlare verkar också uppsöka olje- och gasplattformar i Nordsjön för att söka föda trots att dessa innebär relativt höga bullernivåer jämfört med kontrollområden (Clausen m.fl. 2021).

Det finns inte mycket data på hur sälar reagerar på undervattensbuller från båtar (Mikkelsen m.fl. 2019), men sälar bedöms generellt vara mindre känsliga för undervattensbuller än tumlare (Harris m.fl. 2001, Mikkelsen m.fl. 2017). En faktor som skiljer säl från tumlare är att de kan hålla huvudet ovanför vattnet, det vill säga om undervattensljudet blir för högt kan de minska påverkan genom att titta upp från vattnet eller ta sig upp på land. En studie i England visade inga tecken på att sälar undviker områden med mycket fartygstrafik eller att högre nivåer av båtbuller skulle förklara den nedgång i antalet säl som ägt rum i engelska bestånd under de senaste decennierna (Jones m.fl. 2017). I studier av tyska grå- och knobbsäl korrelerade dock Mikkelsen m.fl. (2019) beteendereaktioner hos en individ till höga nivåer av båttrafik.

Utöver undvikande så kan sälar också uppvisa andra typer av beteendereaktioner vid intensiv båttrafik. Säl har långa viloperioder på land eller på is, och störningar vid dessa platser kan leda till att vila eller digivning avbryts om båtar kommer för nära (Edren m.fl. 2010, Jansen m.fl. 2015, Mikkelsen m.fl. 2019). Därtill kan likheter

i frekvensinnehåll mellan sälarnas kommunikationsljud och båtbuller leda till maskering och därigenom förändringar i sälarnas ljudkommunikation (Matthews m.fl. 2020). Dessa effekter antas dock vara så små att de inte påverkar sälarna på populationsnivå, baserat på den kunskap som finns om sälars reaktioner på ljud.

Det finns flera metodologiska problem kopplade till att undersöka beteendereaktioner hos marina däggdjur i förhållande till ljud. Oftast behövs en kombination av försök med djur i fångenskap och med vilda djur. Studier i fångenskap är mer kontrollerade, men kan vara svåra att direkt relatera till beteende hos vilda djur. Vilda djur kan märkas med utrustning som registrerar ljudnivå och djurets rörelser, men förutsätter att det djur man fokuserar på stöter på en vindkraftpark eller båt under den relativt korta tid som instrumentet sitter fast vid djuret. För tumlare, så kan man alternativt sätta ut tumlardetektorer som registrerar antalet tumlare på olika avstånd från ett vindkraftverk. Problemet är dock att det detekteras färre tumlare vid höga bakgrundsbrusnivåer, inte nödvändigtvis för att det skulle vara färre tumlare i området men också för att själva detektorn är känslig för brus (Clausen m.fl. 2018). Flera publicerade studier klargör inte om detta problem har tagits i beaktning (t.ex. Gall m.fl. 2021, Clausen m.fl. 2021)



**Figur 8.** Vid anläggningen av den första storskaliga danska havsbaserade vindparken för 20 år sedan (som också var världens första på denna skala) undersöktes tumlarnas förekomst före och efter anläggningen. Där noterades en drastisk nedgång i tumlare efter vindparken tagits i drift (Teilmann m.fl. 2012a). Sedan dess har tumlaraktiviteter undersökts vid flera och ännu större vindparker. Vid pålning har en kraftig reduktion av tumlarförekomst observerats upp till 20 kilometers avstånd. En kort tid efter att pålningen upphört återvände tumlarna dock till normala tätheter (Tougaard m.fl. 2009, Brandt m.fl. 2011, Dähne m.fl. 2013, Brandt m.fl. 2018, Graham m.fl. 2019). I driftsfasen vid en nederländsk vindpark sågs en positiv effekt på tumlarförekomsten (Scheidat m.fl. 2011). Detta kan förklaras av den ökade mängden fisk i området omkring parken (Scheidat m.fl. 2011). Liknande fenomen har setts omkring en gas-plattform i Nordsjön, som trots höga bullernivåer i perioder lockar till sig tumlare för att söka föda (Clausen m.fl. 2021). Vid två andra vindkraftparker var tumlartätheten oförändrad efter parken etablerades (Tougaard m.fl. 2006, Teilmann m.fl. 2012 b). Foto: Héloïse Hamel, SDU.



## Elektromagnetiska fält

Huruvida valar och sälar är känsliga för magnetiska fält är en mycket omdiskuterad fråga. Det finns inga experimentella bevis som klarlägger detta, men samtidigt är det svårt att förklara hur vissa arter kan hitta fram till parnings- och födosökningsområden efter långa förflyttningar utan att ta hjälp av jordens magnetfält (Klinowska 1990). Om tumlare och sälar kan använda det jordmagnetiska fältet för att navigera är det osannolikt att den avvikelse i magnetfält som uppstår vid en sjökabel påverkar tumlarens orienteringsförmåga (under antagandet att deviationen från det jordmagnetiska fältet är upp till maximalt cirka tio procent någon meter från kabeln, se Avsnitt 2.3), eftersom en sådan avvikelse är av samma storleksordning som många andra naturliga och lokala deviationer i svenska farvatten, och djuren även kan ta andra sinnen till hjälp. Tumlare använder primärt ekolokalisering för att finna bytesdjur. Sälar kan navigera med hjälp av stjärnor (Mauck m.fl. 2008) och har god hjälp av andra sinnen för att finna rätt väg om en mindre magnetdeviation skulle uppstå under kortare sträckor och om sälar kan detektera magnetiska fält (vilket inte är experimentellt påvisat).

Två delfinarter har rapporterats vara känsliga för elektriska fält, även om det inte är experimentellt klarlagt vad de använder detta sinne till. Guiana-delfinens tröskelvärde ligger på några få  $\mu\text{V}/\text{cm}$ , vilket innebär att de är cirka tusen gånger mindre känsliga än hajar (Czech-Damal m.fl. 2012). Öresvinets tröskel ligger ytterligare cirka tusen gånger högre, vid cirka  $1\text{ mV}/\text{cm}$  (Hüttner m.fl. 2021). Det är inte klarlagt om tumlare och sälar har elektroreception. Anatomiska undersökningar tyder på att tumlarens motsvarighet till de hårsäckar som delfiner använder för att detektera elektriska fält snarare är lämpade för att detektera vibrationer i vattnet (Czech-Damal 2007). Om delfiner, som hajarna, använder sig av elektriska fält för att hitta byten som gömmer sig under sedimentet så kunde elektriska fält från kablar möjligen vara störande. En sådan effekt kan dock förmodligen avskrivas för svenska kablar eftersom de elektriska fältens styrka är mycket små (Avsnitt 2.3), och eftersom experimentella studier bekräftar att både öresvin och tumlare med lätthet kan hitta fram till bytesdjur med hjälp av biosonar, och inte kan förväntas bli förvirrade av eventuella kabelgenererade elektriska fält under sin jakt. Sälar födosöker framför allt med hjälp av sin känsliga syn och sina morrhår (Dehnhardt m.fl. 1998 och 2001, Hanke m.fl. 2006, Hanke m.fl. 2009).

## 6.5 Främsta risker och viktiga förebyggande åtgärder

Den främsta risken för marina däggdjur i samband med havsbaserad vindkraft är påverkan från högimpulsivt ljud i samband med pålning, sprängning, samt seismiska undersökningar. Sådana ljud sprids under en begränsad tid av anläggningsfasen men kan ha en kraftig effekt när de sker. Eftersom bestånden av knubbsäl och tumlare i Östersjön är små och sårbara, finns det skäl för särskilt höga krav på miljökonsekvensbeskrivningar och skyddsåtgärder i områden där dessa finns. Tumlare är generellt mer känsliga för ljudstörningar under vattnet än sälar.

Programvara för att modellera ljudnivåer och bedöma riskavstånd för olika bullertyper finns tillgängliga, och används numera i samband med ansökningar för etableringar av parker. Dessa modeller tar hänsyn till olika ljudkällor, samt

olika slags ljudpropagering i förhållande till aktuellt djup och bottenbeskaffenhet. I de fall modeller indikerar ljudnivåer som kan orsaka nedsatt hörsel eller beteendereaktioner (t ex Southall m.fl. 2019, 2021, Tabell 1) så kan skadelindrande åtgärder reducera risken för påverkan, till exempel enkla eller dubbla bubbelgardiner för att minska ljudspridningen (Dähne m.fl. 2013, Bellmann m.fl. 2020), eller ljudskrämmor (Rose m.fl. 2019). Det finns också tekniska lösningar för att undgå att marina däggdjur exponeras för höga ljudnivåer i samband med konstruktionen av vindkraftverk (se även Avsnitt 2.3)

Även båttrafik i samband med prospektering, anläggning och drift av havsvindparker kan påverka tumlare. Vikten av denna påverkansfaktor kan dock behöva sättas i relation till omfattningen av buller i andra miljöer där tumlare förekommer. Särskilt under driftsfasen kan omfattningen av båttrafik inom vindparken vara försumbar jämfört med annan båttrafik i havet. Störning av tumlare och sälar kan vid behov reduceras genom att begränsa båttrafiken till vissa zoner inom vindparken under känsliga perioder, samt genom att undvika passager i närheten av sälarnas viloområden på land. Man kan också överväga att minska eller begränsa de ljud som genereras av båttrafiken genom att anpassa farten och välja båtar som bullrar mindre.

## 7. Effekter på sjöfågel

### 7.1 Nyckelslutsatser gällande effekter

- För fåglar är det särskilt viktigt att bedöma påverkan och risker ur ett helhetsperspektiv.
- Vissa sjöfågelarter kan förväntas undvika området där vindparken etableras. Populationer kan påverkas om undanträngningen innebär att fåglarna väljer annan plats och detta leder till ökad dödlighet eller försämrad häckningsframgång med färre producerade ungar.
- Lokala åtgärder kan vara viktiga för att reducera riskerna för kollisioner med vindkraftverken.

### 7.2 Nyckelslutsatser gällande kunskapsläget

Kunskapen om hur havsbaserad vindkraft kan påverka sjöfågel har ofta begränsats av otillräcklig kunskap om olika sjöfågelarters utbredning samt årsvariationer i förekomst. Denna kunskapsbrist kvarstår, även om den till stor del har fyllts i kustnära områden. För grundare vatten än 30 meter är kunskapsläget tämligen gott med avseende på effekter på födosökande sjöfåglar. Längre ut till havs på större djup än 30 meter är kunskapen påtagligt begränsad för sjöfågelsarter som äter pelagisk fisk, som har en påtaglig rumslig och tidsmässig variation.

Tidigare riskbedömningar vid svenska havsbaserade vindparker har fokuserat på risker för övervintrande alfågel och flyttande fågel. Internationellt fokus har under senare år varit på att bedöma kollisionsrisk. Ny teknik har gett ökad kunskap om fåglars flyghöjder och beteenden i förhållande till vindkraftverk. Kunskapsläget har ökat angående effekter på sjöfåglar av enskilda vindkraftparker, men är bristfälligt angående kumulativ påverkan av flera vindkraftparker samt påverkan på populationer (Fox och Petersen 2019).

### 7.3 Viktigaste påverkansfaktorer under anläggningsfasen

Eftersom anläggningsfasen främst påverkar undervattensmiljön, och eftersom fåglar är mycket rörliga, så är risken för påverkan på fåglar under den relativt kortvariga anläggningsfasen generellt låg, förutsatt att området inte är viktigt under häckningsperioden. En viss lokal undanträngning kan ske på grund av störning från fartygsaktiviteter och pålning, men denna störning är kortvarig och av tillfällig karaktär. Anläggningsfasen förväntas inte leda till långvariga effekter på fåglar.

## 7.4 Viktigaste påverkansfaktorer under driftsfasen

Påverkan på sjöfågel under driftsfasen skiljer sig från de övriga artgrupperna i denna rapport eftersom den i huvudsak sker ovanför vattenytan. Risker för påverkan på sjöfågel av havsbaserad vindkraft är i mångt och mycket de samma som på fåglar vid vindkraft på land. Flera översiktsartiklar har publicerats på temat, till exempel Dierschke m.fl. (2016) och Fox och Petersen (2019). Havsbaserad vindkraft kan översiktligt utgöra en risk för sjöfåglar på tre olika sätt:

1. Undanträngning – om fåglar undviker att vistas i eller i direkt närhet till vindparker. Det innebär i praktiken en habitatförlust.
2. En annan typ av påverkan uppstår som en barriäreffekt, om fåglar som undviker vindparker istället flyger runt eller över parker vid förflyttningar mellan födosöksområden eller under aktiv flyttning. Detta leder då till en ökad energiåtgång för fåglarna.
3. Kollisionsrisk då fåglar som inte undviker att flyga i vindparker riskerar att förolyckas av rotorblad då fåglar flyger för nära verken.

Dessa beskrivs närmare nedan.

### Undanträngning

Vissa sjöfågellarter kan vara känsliga för de strukturer som vindkraftverken utgör och observeras i lägre antal i området efter att vindparken har etablerats. För några sjöfågellarter kan också mänsklig aktivitet i anslutning till parkerna, till exempel sjötrafik, ha en störande inverkan. Till exempel kan lommar undvika områden med hög fartygsaktivitet medan alkor inte är lika känsliga (MMO 2018, Schwemmer m.fl. 2011). Sjötrafiken som uppstår vid vindparken ska dock sättas i relation till den fartygstrafik som alltid finns i området, och som i vissa fall kan vara omfattande.

Det finns kunskap om hur känsliga olika sjöfågellarter är när det gäller vindparker, men är svårt att i förväg fastställa omfattningen av undanträngningseffekter (Fox och Petersen 2019). De studier som hittills genomförts är utförda i vindparker med avsevärt kortare avstånd mellan vindkraftverken än vad som byggs idag och som framför allt kommer att byggas om fem till tio år. Hittills utförda studier av undanträngningseffekter tyder på att större avstånd mellan varje vindkraftverk inom en vindpark kan innebära en lägre grad av undanträngning. Som exempel observerade Heinänen och Skov (2018) vid en jämförelse mellan tre vindparker med varierande tätheter av verk (1,5–3,6 verk/km<sup>2</sup>) minst effekt på fåglarna i vindparken med lägst täthet av kraftverk. Flertalet undersökningar som studerat hur vindkraft kan påverka sjöfåglar genom undanträngning har inte haft tillgång till data över födotillgång eller andra parametrar som också har betydelse för sjöfågel. Det är även oklart hur en undanträngning kan påverka individens överlevnadsmöjligheter, och i slutändan vilken påverkan detta kan ha på populationer (Fox och Petersen 2019).

Med detta sagt finns det i flera fall vetenskaplig samstämmighet när det gäller hur olika sjöfågellarter reagerar på havsbaserade vindparker även om graden av respons varierar mellan olika studier och platser (Tabell 2). Smålom (*Gavia stellata*), sjöorre och alfågel verkar vara ytterst ovilliga att vistas i havsbaserade vindparker, även om det finns tillgång på föda. Responsen har dock inte alltid varit fullständig.

I några parker har dessa arter observerats, om än i betydligt lägre tätheter jämfört med samma område innan vindparken byggdes. Smålom har visat särskilt stor känslighet för vindparker till havs, med exempel på kraftigt reducerat nyttjande av områden upp till tio kilometer eller mer från nyligen konstruerade vindparker (Mendel m.fl. 2019). Tordmule och sillgrissla är exempel på arter som uppvisat litet eller måttligt undvikande av vindparker (Dierschke m.fl. 2016). Hos dessa arter finns dessutom exempel på att antalet individer ökat i området efter att vindparken konstruerats (Vallejo m.fl. 2017). Däremot verkar ejder vara närmast oberörd av vindkraftverk som uppförs i deras födosöksområden (Fox och Petersen 2019). Måsar och tärnor tycks inte heller undvika vindparker och fortsätter i stor omfattning att födosöka i vindparker, om än med ökad kollisionsrisk som följd av detta beteende. Storskarvar utnyttjar med fördel verkens fundament som viloplats och kan sannolikt utnyttja en ökad fisktillgång som ibland observerats inne i vindparker.

Det finns en grupp av fåglar som brukar benämnas havsfåglar då dessa ofta lever långt ute till havs. Dessa kan observeras längs Sveriges västra kust i Skagerack och Kattegatt efter att hårda vindar fört fåglarna från Nordsjön till svenska vatten. Detta uppträdande sker främst under hösten. Typiska arter är havssula (*Morus bassanus*), grålira (*Ardenna grisea*), storlabb (*Stercorarius skua*) och tretåig mås (*Rissa tridactyla*). De indrivna havsfåglarna verkar följa kusten ned till Skåne där de sedan vänder norrut och flyger tillbaka mot Nordsjön. Ett undantag är havssula som de senaste åren uppträtt regelbundet i Västerhavet ända ned till Öresund oberoende av vindförhållanden. Havssula undviker vindparker i hög grad, vilket skulle kunna innebära påverkan av vindkraft i närheten av platser med häckande havssulor (t.ex. Peschko m.fl. 2021). I förhållande till all havsyta som finns i Kattegatt och Skagerack är det sannolikt att en undanträngning av havssula eller andra havsfåglar från vindparker innebär en högst marginell påverkan.

Det saknas långvariga studier som har analyserat eventuell tillvänjning hos fåglarna av vindparker till havs och det är okänt om undanträngningseffekter avtar över tid (se dock Degraer m.fl. 2021).

**Tabell 2. Översiktlig sammanställning av undanträngningseffekter på fåglar på basen av Dierschke m.fl. (2016), Fox och Petersen (2019) och referenser däri.**

Art	Undanträngning	Säkerhet
Alfågel	Hög	Väl underbyggt
Ejder	Liten	Väl underbyggt
Smålom	Hög	Väl underbyggt
Storlom	Hög	Få studier
Sjörorre	Hög	Väl underbyggt
Svärta	Hög	Väl underbyggt
Måsar och trutar	Ingen-Liten	Väl underbyggt
Tärnor	Ingen-Liten	Underbyggt
Storskarv	Nej – Attraheras	Väl underbyggt
Sillgrissla	Liten-Måttlig	Tvetydigt
Tordmule	Liten-Måttlig	Tvetydigt
Tobisgrissla	Liten-Måttlig	Saknas
Havssula	Måttlig	Underbyggt

## Barriäreffekt

Många aktivt flyttande sjöfåglar har uppvisat tydliga undvikandebeteenden i relation till havsbaserade vindparker (se t.ex. Pettersson 2005), vilket avsevärt reducerar kollisionrisken, liksom risken för dödlighet under migrationen. Den extra energiåtgången som fåglarnas omväg runt parkerna innebär utgör en marginell påverkan sett över hela migrationssträckan (Fox och Petersen 2019). På basen av befintlig kunskap går det dock inte att utesluta att kumulativa effekter kan ha betydelse för total energiåtgång hos migrerande sjöfåglar, om flera stora vindkraftparker byggs, vilket ger argument för att följa upp möjliga barriäreffekter noggrant och påkallar uppmärksamhet i det fall att flera närliggande vindparker anläggs.

Kunskapsläget är dåligt om barriäreffekter kan uppkomma för sjöfågel som gör återkommande lokala förflyttningar, till exempel mellan olika födosöksområden. Framför allt är kunskapen begränsad om i vilken omfattning sådana rörelser äger rum. Ett exempel är i Östersjön övervintrande alfåglar som under en vintersäsong kan tänkas flyga mellan olika lämpliga födosöksområden med blåmusslor. Om vindparker placeras så att de försvårar alfåglars passage mellan sådana områden kan det riskera att påverka alfåglarnas möjligheter till födosök. Senaste rön om alfåglarnas beteende under vintern indikerar dock att de är tämligen stationära i det valda området för övervintringen, vilket minskar risken för negativ påverkan genom barriäreffekter (Quillfeldt m.fl. 2021).

## Kollisionsrisk

För de fåglar som väljer att flyga inne i vindparken finns en risk att förolyckas genom kollision med rotorbladen, och i mindre utsträckning med tornen. Det är ofta svårt att beräkna fåglarnas beteenden i förhållande till rotorbladen, vilket leder till osäkra antaganden om risken för kollision. Fåglarnas möjlighet att i sista stund undvika rotorbladen beror på flera faktorer som flyghastighet, vindförhållanden, sikt med mera.

Likväl finns det en etablerad metodik för att kvantifiera omfattningen av antalet förolyckade fåglar vid havsbaserade vindparker genom modellering av kollisionsrisk (Band 2012, McGregor m.fl. 2018). Beräkningarna baseras på information om fåglarnas vingspann, kroppslängd, flyghastighet och flygteknik, samt om vindkraftverkens rotordiameter, rotationshastighet, avstånd mellan verk med mera. Dessutom behövs data på antal fågelindivider som passerar vindparken och vilka flyghöjder fåglarna använder vid passage. Modellen skattar först antalet kollisioner som skulle äga rum om fåglarna inte uppvisar undvikandebeteenden. Därefter tar modellen hänsyn till proportionen fåglar som kan undvika att flyga in i vindparken eller undviker rotorbladen väl inne i vindparken. För flera av parametrarna i modellen används publicerade uppgifter om fåglars flyghastighet och flyghöjder. Sådana uppgifter finns främst från aktivt flyttande fåglar. Flyghastigheterna tycks vara något lägre för de fåglar som passerar en vindpark vid födosök (Cuttat och Skov 2020), vilket i så fall ökar kollisionrisken.

Med ny teknik, såsom tredimensionella radarstudier, har det blivit möjligt att samla in empirisk information om undvikandebeteenden hos sjöfåglar och havsfåglar, och om deras förmåga att undvika att träffas av rotorbladen (t.ex. Skov m.fl. 2018, Tjørnløv m.fl. 2020). Resultaten tyder på att fåglarnas undvikandeförmåga har underskattats i tidigare undersökningar. De innebär till exempel att en art som

tidigare ansågs vara utsatt för hög kollisionsrisk, silltrut (*Larus fuscus*), troligen inte är så utsatt som tidigare studier antytt.

Kollisionsrisk är framför allt en viktig faktor för migrerande fåglar över öppet hav såsom tranor (*Grus grus*) och rovfåglar, men i väderförhållanden med dålig sikt kan det finnas förhöjd kollisionsrisk för nattmigrerande fåglar (t.ex. Welcker och Vilela 2019). Fler av de sjöfågelarter som omnämns i den här bedömningen är relativt storvuxna, och har en övervägande liten kollisionsrisk eftersom de uppvisar tydliga undvikandebeteenden i förhållande till vindkraftverk vid aktiv flyttning (t.ex. ejder; Pettersson 2005, Fox och Petersen 2019) eller oftast flyger på höjder under rotorbladens nedersta spets nära havsytan (t.ex. sillgrissla, tobisgrissla och tordmule; Cook m.fl. 2012).

Det finns inga indikationer på att en attraktion av fåglar till vindkraftparker skulle innebära en påtagligt ökad kollisionsrisk. De fågelarter som konstaterats öka i vindkraftparker är fåtaliga. Möjligen kan storskarv, som gärna utnyttjar fundamenten som viloplats, och måsfåglar påverkas i den mån det skulle aggregeras fisk i vindparken.

## 7.5 Främsta risker och viktiga förebyggande åtgärder

De främsta riskerna för sjöfågel av havsbaserad vindkraft är undanträngning av övervintrande arter, till exempel alfågel och smålom, samt påverkan på kolonier av häckande fåglar.

Havsbaserad vindkraft som lokaliseras på större vattendjup än 30 meter förväntas ha lägre påverkan på sjöfåglar, eftersom färre arter berörs och det inte konkurrerar med födosöksområden för häckande fåglar. Kustnära lokaliseringar kräver oftast mer hänsynstagande till fågellivet då det kan beröra födosöksområden för både häckande och övervintrande fåglar. Risken för påverkan på arter varierar även mellan olika geografiska områden. Som exempel finns övervintrande alfåglar endast i mindre utsträckning i Kattegatt och Skagerack, medan några utsjöbankar i Egentliga Östersjön utgör en stor del av den övervintrande populationen av europeiska och ryska alfåglar. I Bottniska viken finns sämre förutsättningar för övervintrande sjöfåglar än längre söderut, även om klimatförändringarna förväntas innebära att fler sjöfåglar än tidigare övervintrar längre norrut.

Det är utmanande att införa skyddsåtgärder för att reducera risker för fåglarna när väl vindparken är på plats. Lokaliseringen av parken är i särklass den viktigaste åtgärden, och med ett bra kunskapsunderlag är det sannolikt möjligt att göra lokala hänsynstaganden som medger samexistens mellan vindkraft och fåglar. En sådan åtgärd kan vara att identifiera fåglarnas födosöksområden så att lokaliseringen av enstaka verk kan anpassas till dessa. Driftsreglering av vindkraftverk kan vara aktuellt för att reducera kollisionsrisker för migrerande fåglar, vilka ofta passerar koncentrerat i tid och i viss mån under förutsägbara väderförhållanden. Vindparker kan utformas med en större bredd mellan vindkraftverk än den som annars skulle använts, så att fåglar kan passera mellan verken.

Det har föreslagits att påverkan på fåglar blir mindre med parker som har färre och större verk, eftersom avståndet mellan varje verk då blir större (Fox och Petersen 2019). Större vindkraftverk roterar också långsammare, vilket har en gynnsam

påverkan då kollisionrisken minskar i förhållande till mängden producerad el. Det har även föreslagits att påverkan på fåglar blir mindre om den nedre spetsen av rotorbladen ligger på större avstånd från vattenytan, då detta minskar kollisionrisken för många lågt flygande sjöfåglar (Fox och Petersen 2019).

En landbaserad studie på Smøla i Norge tyder på att kollisionrisken för stora rovfåglar minskar om ett av rotorbladen färglagts svart på den nedersta tredjedelen (May m.fl. 2020). De undersökningar som hittills gjorts av påverkan på fåglar av havsbaserade vindparker är i stor utsträckning gjorda på väsentligt mindre vindkraftverk och mindre vindparker än vad som förväntas vara aktuella framöver. Det är möjligt att undanträngningseffekter inte blir lika påtagliga vid vindparker där verken står på två till tre kilometers avstånd.



## 8. Effekter på större geografisk skala

### 8.1 Flera faktorer i havsmiljön kan påverka den sammanvägda bedömningen

Kapitel 4–7 gav specifika bedömningar för de viktigaste stora artgrupperna i svenska hav, det vill säga bottennära livsmiljöer, fisk, marina däggdjur respektive sjöfågel. Syftet var att beskriva kunskapsläget kring möjliga effekter av havsbaserad vindkraft mer specifikt för dessa grupper, för att stödja utvärderingar av vilka aspekter som kan behöva prioriteras vid planering av havsbaserad vindkraft, skadelindrande åtgärder samt fortsatt kunskaps- och teknikutveckling.

För att kunna göra en sammanvägd bedömning av vindkraftens miljöeffekter är det dock relevant att sätta de enskilda bedömningarna i ett vidare sammanhang, där även till exempel aktuell miljöstatus och effekter av annan havsbaserad verksamhet ingår (HELCOM 2018, HaV 2018, 2019). I ett sådant större perspektiv kan införandet av en vindpark potentiellt leda till att den totala omfattningen av påverkan antingen ökar eller minskar i ett visst område (Bergström m.fl. 2019). Etableringen av vindparken kan också påverka samspelet mellan arter på olika skalor, med efterföljande indirekta effekter i ekosystemet (Degraer m.fl. 2021). Att förstå ekosystemeffekter och sammanvägda effekter på en större skala är ett fortsatt viktigt forskningsområde, då det är förenat med många frågetecken och ofta berör komplexa samband. För att väga in effekter på ekosystemtjänster och nyttigheter kan även samhällsekonomiska effekter behöva inkluderas (t.ex. Cole m.fl. 2021).

### 8.2 Flera påverkansfaktorer uppstår även vid andra aktiviteter till havs

Hur stor förändring i total påverkan som kan förväntas uppstå i havsområdet vid etablering av havsbaserad vindkraft beror på hur stor andel av en viss påverkansfaktor som förväntas härröra från en specifik vindpark. Att jämföra omfattningen av påverkan från olika källor kan hjälpa i en samlad bedömning av risken. Det hjälper också att bestämma vilka skadelindrande insatser skulle kunna ge mest effekt. Inte minst är en samlad syntes viktig för att göra avvägningar mellan kostnad och nytta, i linje med ett övergripande syfte att minimera påverkan från mänskliga aktiviteter i havet samt målsättningar för hållbart nyttjande (EC 2008, EC 2017, HaV 2018).

Till exempel ingår grumling som en följd av sedimentspridning i bedömningarna för bottennära livsmiljöer och fisk (Kapitel 4–5). Sedimentspridning sker en begränsad tid under anläggningsfasen (Avsnitt 2.2) och uppstår även vid andra byggnationsaktiviteter till havs, ofta mer kustnära och i mer slutna miljöer där risken är relativt större än i öppet hav (Kraufvelin m.fl. 2021). Sedimentspridning uppstår även i samband med bottentrålning och viss fartygstrafik. När det gäller

risker för negativa effekter på marint liv anger Karlsson m.fl. (2020) att avgörande faktorer är grumlingens koncentration i förhållande till bakgrundsvärden i kombination med vilken tid detta pågår, samt om det upprepas flera gånger på samma lokal.

En viktig aspekt när det gäller undervattensbuller är de stora fartygsleder som går genom Östersjön och ut genom Öresund, samt i Kattegatt och Skagerak (HELCOM 2018). Fartygstrafik skapar höga bullernivåer som kan påverka djurlivet (Mustonen m.fl. 2019). Mätningar har visat att ljud från fartygstrafik vid vissa frekvenser kan överstiga och därmed maskera de ljud som kommer från vindparker i drift på relativt långa avstånd (Madsen m.fl. 2006, Andersson 2011, Tougaard m.fl. 2020). Fartygsleder passerar såväl nära kusten som längre ut till havs i den svenska ekonomiska zonen, med stora effekter på ljudbilden i dessa områden (Folegot m.fl. 2016, HELCOM 2018). Ett exempel är Öresund som tillhör ett av de mest trafikerade områdena i världen (Vieira m.fl. 2020).

## 8.3 Vindkraften kan ge upphov till indirekta effekter

En annan viktig faktor är att vindkraftsetableringens effekter på andra marina aktiviteter kan påverka den totala bilden, även om dessa är svåra att bedöma annat än ur ett övergripande havsplaneringsperspektiv. Fiskets utförande kan påverkas påtagligt av havsbaserad vindkraft, men även andra verksamheter kan påverkas, som sjöfart. För att bedöma totaleffekter på större geografisk skala krävs därför även analyser av hur sådana verksamheter skulle förflyttas, och därmed deras effekter på marint liv i berörda områden.

Om etablering av havsbaserad vindkraft skulle leda till att fiske utesluts helt eller minskar kraftigt i ett visst område medför detta sannolikt att den sammanlagda omfattningen av påverkan på arterna minskar där. Om exempelvis bottentrålning utesluts, förväntas påverkan från fysisk störning av bottennära livsmiljöer minska (se även Avsnitt 4.4, 9.4). Därtill skulle ett minskat uttag av fisk kunna ge en lokal skyddseffekt på fiskade bestånd (se även Avsnitt 9.4), med möjliga spill-over effekter i närliggande områden (t.ex. Stelzenmüller m.fl. 2020). Det skulle även kunna leda till lokalt minskade bifångster av sjöfågel och däggdjur, gällande vissa typer av redskap (se t.ex. Larsen m.fl. 2021, och Kapitel 3). Om fiske bedrivs inom vindparken skulle å andra sidan en ansamling av fisk i närheten av vindkraftverkens fundament kunna medföra en lokalt ökad fångstbarhet, med okända effekter på målarter och bifångster, eftersom fundamenten kan fungera på motsvarande sätt som artificiella rev och så kallade *Fish Aggregation Devices* (dessa beskrivs närmare i Avsnitt 5.4).

Vilka effekter på fisk och bifångster som kan förväntas inom och i närheten av vindparken beror därför i hög grad på hur regleringen av fisket ser ut inom området. Om sådana effekter även kan komma att påverka beståndet som helhet beror i hög grad till exempel på vilka arter som fiskas, hur hårt de är fiskade, hur deras populationsutbredning ser ut, samt hur de regleras. Fiske förekommer omfattande i alla svenska havsområden, och regleras av internationella överenskommelser, inklusive EU, samt nationella och mer lokalt anpassade regleringar (HaV 2021). I en total bedömning av kumulativa effekter borde även socioekonomiska effekter inkluderas, även om dessa inte ingår i målsättningarna för denna rapport.

## 8.4 Skattning av kumulativa effekter

Att förstå den sammanlagda omfattningen av påverkansfaktorer är viktigt för att kunna skatta i vilken grad dessa effekter kan förväntas samspela med varandra. Så kallad kumulativ påverkan kan dels innebära att olika påverkansfaktorer samspelar genom att de förekommer på samma ställe, eller att samma påverkansfaktorer förekommer på upprepade ställen inom ett större område, eller vid upprepade tillfällen. Att skatta kumulativa effekter innebär att beakta hur arter och livsmiljöer kan påverkas sammantaget av de olika aktiviteter och påverkansfaktorer som förekommer i havet. Att ta hänsyn till kumulativa effekter betonas som en allt viktigare del av havsmiljöförvaltningen (t.ex. EC 2014).

Övergripande rumsliga analyser av kumulativ påverkan med bäring på den svenska havsmiljön har nyligen sammanställts till exempel av Hav- och vattenmyndigheten (2019), Korpinen m.fl. 2021 och Hammar m.fl. (2021). I analyserna används kartbaserade verktyg för att kombinera information om arternas känslighet för olika påverkansfaktorer med information om var dessa förekommer. Ett kartbaserat verktyg för Östersjön, som är öppet för allmänheten, har utvecklats av HELCOM) och är under vidare utveckling (se till exempel Bergström m.fl. 2019, HELCOM 2022). Det sker även en omfattande utveckling av metodik för kumulativ påverkansanalys som stöd till havsplaneringen inom olika forskningsprojekt (Depellegrin m.fl. 2021, Jonsson m.fl. 2021).

### Det finns ett fortsatt behov av metoder för att skatta kumulativa effekter

Bedömningar av kumulativa effekter kan dels handla om hur påverkan från vindkraft samspelar med påverkan från annan mänsklig aktivitet i havet, dels vad som skulle kunna hända vid en mer omfattande utbyggnad av havsbaserad vindkraft. Att bedöma risken för negativa kumulativa effekter innebär då, något förenklat, att bedöma sannolikheten att den sammanlagda påverkan (rumsligt och tidsmässigt), blir sådan att arternas eller populationernas toleransnivå överskrids, även om bidragen från enskilda påverkansfaktorer är små. Till frågan hör även att vissa arter kan gynnas snarare än missgynnas, så att även samspelet arter emellan kan komma att förändras (se Avsnitt 4.4, 5.4, 6.4, samt nästa stycke).

Frågan om kumulativa effekter är alltså komplex, och dessutom har den en rumsligt övergripande natur. Därför är det svårt att göra en helhetsmässig bedömning av enskilda vindkraftsprojekt. Det finns ett fortsatt behov att utveckla metoder och tillvägagångssätt för att skatta kumulativa effekter i samband med havsbaserad vindkraft. Förhoppningsvis kan den sammanställning av risker för marint liv som presenteras i denna rapport även stödja en fortsatt utveckling av metoder inom bedömningen av kumulativa effekter.

## Initial bedömning – risker för negativa kumulativa effekter vid anläggningsfasen

Utgående från de slutsatser som presenteras i Kapitel 4–7 kan risken för att bidra till negativa kumulativa effekter förväntas vara relativt liten när det gäller påverkan som uppstår under anläggningsfasen (Avsnitt 2.3, se även Avsnitt 8.2). Bedömningen är under förutsättning att skadelindrande åtgärder tillämpas så att potentiellt skadliga nivåer av påverkansfaktorn minimeras, och att anläggningen sker under sådana rumsliga och tidsmässiga förhållanden att risken för ansamling av känsliga populationer av fisk och marina däggdjur minimeras (Avsnitt 2.3, 5.5 och 6.5). De påverkansfaktorer som främst berörs under anläggningsfasen är sedimentspridning och högintensivt undervattensljud (Avsnitt 2.3). Bedömningen beror på att påverkan under anläggningsfasen är tidsmässigt övergående och inte förväntas upprepas vid mer än ett tillfälle per plats. Det baseras också på förutsättningen att anläggningen koordineras på lämpligt sätt med eventuell annan verksamhet som ger upphov till höga ljudnivåer i det berörda området.

## Initial bedömning – kumulativa effekter under drift

När det gäller vindkraftens mer långsiktiga bidrag till kumulativ påverkan, som sker under driftsfasen (se Avsnitt 2.3), är effekterna mer svårbedömda och kommer sannolikt att variera både lokalt och mellan olika havsområden. Faktorer som kan påverka hur vindparken utvecklas som livsmiljö för marina arter är till exempel vilken initial artsammansättning som finns i området (se till exempel Avsnitt 3.1–3.2 för en överblick), hur vindparken utformas (se Avsnitt 2.2), vilka övriga verksamheter som pågår i närområdet och hur arternas samspel inom vindparken utvecklas över tid. Det vore viktigt att följa den ekologiska utvecklingen över tid i etablerade vindparker för att öka kunskapen och i mån av behov ha möjlighet att införa ökat skydd eller andra åtgärder för att minska risker för specifika arter.

Enligt det nuvarande kunskapsläget är risker för negativa effekter på marint liv generellt sett låga under driftsfasen (Avsnitt 4.4, 5.4, 6.4, 7.4), under antagandet att nivån av elektromagnetiska fält är låg och att undervattensljud inte leder till negativa effekter på fisk eller marina däggdjur (Avsnitt 2.3, 8.1). Det finns dock undantag till denna bedömning och kvarstående frågetecken (se till exempel Kapitel 7 om sjöfåglar). Dessa resultat antyder att det inte heller finns en stor risk för negativa kumulativa effekter för livet under vatten, men att det kan finnas platsspecifika risker för fågel. Sjökablar, som används inom vindparken och i överföringen av el som produceras, används även till havs i andra sammanhang för överföring av el. Det är rimligt att förvänta sig att vindkraftverkens sjökablar etableras med sådan teknik att elektriska fält inte ger negativ påverkan på marint liv, och även att magnetiska fält uppstår på ett avstånd och i en styrka som är försumbar för marint liv (Avsnitt 4.4, 5.4, 6.4). För sjöfågel, är risken för undanträngning, barriäreffekter och kollision störst närmast kusten, och risken för negativa kumulativa effekter kan antas minska med större djup och längre avstånd från kusten, även om detta kan innebära överlapp med flyttfågelsträck för sjöfåglar (Avsnitt 7.4).

## 8.5 Sammanlagd påverkan på arter och ekosystem

Populationernas sårbarhetsstatus är en annan viktig aspekt som måste vägas in i den slutliga bedömningen av möjliga effekter. Bedömningarna i Kapitel 4–7 är till viss del begränsade av att det ofta är en svår uppgift att bedöma påverkan på både populationer och individer. Större hänsyn behövs om arten eller populationen är försvagad som en följd av annan mänsklig påverkan, eller om en stor del av populationen riskerar att påverkas av utbyggnaden. Särskild hänsyn behövs om arten är rödlistad som hotad (SLU 2022), eller listad i art- och habitatdirektivet eller fågeldirektivet (Bilaga IV) (EEC 1992).

Hänsyn och anpassningar kan handla om att undvika negativ påverkan från vindparker i områden som är särskilt viktiga för populationen. Det kan även handla om anpassningar i samband med anläggningen för att undvika risk för skada. För många arter kan det vara viktigt att undvika störningar under reproduktionen. Behovet av riskanalyser på populationsnivå kommer sannolikt att öka i framtiden, för att kunna studera den sammanlagda effekten av olika påverkansfaktorer på en art, sett över hela dess livscykel och eventuella vandringar mellan olika livsmiljöer (se även Box 4).

Ett annat exempel är omfattningen av kollisionsrisken för sjöfågel, och därmed risk för ökad dödlighet under driftsfasen (Avsnitt 7.4). Kollisionsrisk för sjöfågel omfattar i normalfallet få individer och är som störst för nattmigrerande småfåglar, vilka uppträder i stora antal. För arter med stora populationsstorlekar och kortare livscykel som småfåglar skulle en viss dödlighet i samband med havsbaserad vindkraft kunna vara försumbar. För känsliga arter och i närheten av kolonier med häckande fåglar bör lokaliseringsfrågan utredas noggrant och särskild hänsyn kan krävas. Risken för dödlighet bör relateras till den totala mänskligt orsakade dödligheten, där även dödlighet i samband med till exempel oljeutsläpp, jakt, bifångst, fartygskollision och buller ingår.

Eftersom arter samspelar i ekosystemet kan förändringar hos en art även leda till följd effekter hos andra arter. Under senare år har det tillkommit fler studier för att förstå ekologiska samband, till exempel genom att följa effekter på flera arter samtidigt eller genom att undersöka hur olika delar i näringsväven påverkas. Det finns dock få studier av effekter av havsbaserad vindkraft på ekosystemnivå eller över en längre tidsskala (Slavik m.fl. 2019). De flesta studier har fokuserat på enskilda arter eller artgrupper och på lokala effekter kring fundamenten, och har inte uttalat sig om effekter på en livsmiljö- eller landskapsnivå.

I tillägg kan klimatförändringarna leda till nya direkta, och indirekta, belastningar, och nya utbredningsområden för arter (Törnqvist m.fl. 2019, Bergström m.fl. 2020, HELCOM och Baltic Earth 2021). Det finns ett ökat behov av framtidsanalyser för att undersöka hur arters och populationers utbredning i havet kan komma att förändras med förändringar i klimatet, och hur detta kan påverka lokaliseringen av mänskliga aktiviteter (Nabe-Nielsen et al 2014, Wilson m.fl. 2020, Wählström m.fl. 2020).

#### **Box 4. Hur ser den sammanvägda påverkan på tumlare ut?**

Det så kallade SAMBAH-projektet har medfört ny kunskap i arbetet för att bevara östersjötumlaren. Mätningar i Östersjön ger detaljerad information om tumlarnas säsongsmässiga utbredning (Carlén m.fl. 2018). Även om denna behöver styrkas med mer data pågår arbetet redan nu med att reglera fisket i områden med många tumlare, ändring av fartygstrafik och etablering av skyddsområden. Projektet har lett till att bankarna söder om Gotland införts i Natura2000-nätverket, motiverat av en relativt stor förekomst av tumlare under sommarmånaderna, och på grund av sin betydelse för flera sjöfågelarter.

Samtidigt har mer detaljerade studier av tumlaren ökat oron över att även små mänskliga störningar kan vara allvarliga för östersjöbeståndet. Studier av tumlarens reaktioner på buller från båtar har skapat oro för att, inte enbart storskalig fartygstrafik, utan även småbåtar kan utsätta tumlarna för stress<sup>5</sup> (Dyndo m.fl. 2015, Hermansen m.fl. 2014). Andra undersökningar har visat att tumlare är fortsatt utsatta för miljögifter, bifångst och annan påverkan, och att mycket få tumlare når vuxen ålder (Siebert m.fl. 2020). Beteendestudier visar att tumlare tillbringar en stor del av dygnets timmar till att söka föda och energetiska beräkningar tyder på att även små störningar kan få stora följder för tumlarens möjligheter att samla in tillräckligt med föda (Wisniewska m.fl. 2016, 2018). Nyare beräkningar tyder på att denna känslighet är kraftigt beroende av bytesdjurens storlek (Booth 2019). I dagsläget finns det sannolikt inte grund för bekymmer för tumlare med hänvisning till hög ämnesomsättning och behov av kontinuerlig födosökning, eftersom de också fångar relativt stora fiskar (Andreasen m.fl. 2018). Om tumlarens byte med tiden går mot fiskar av allt mindre storlek kan det dock bli ett problem.

Denna utveckling leder sammantaget till frågan om ytterligare belastning på tumlare kan innebära att den sammanlagda belastningen blir för stor. Den kunskap som finns idag indikerar dock att det är mer sannolikt att tumlare sett gynnas än att den missgynnas av havsbaserad vindkraft. Resultat från individbaserade modeller tyder på att påverkan på tumlare från vindkraft är liten jämfört med exempelvis bifångst och miljögifter (Nabe-Nielsen m.fl. 2014, 2018, van Beest m.fl. 2017, Cervin m.fl. 2020). Dock visar en individbaserad modellstudie som inkluderar tumlarens ämnesomsättning, att tumlarhonor förmodligen är känsliga för störning från anläggning av vindkraftverk under den period när de har nyfödda kalvar och behöver lägga på späck inför vintern, och att alltför många störningar inom denna period kan ha betydelse för populationen (Gallagher m.fl. 2021).

---

<sup>5</sup> En lösning på detta i vindparksammanhang kan vara att ställa krav på de fartyg som används i området.

# 9. Kan havsbaserad vindkraft vara positiv för marint liv?

## 9.1 Målsättningar och preferenser påverkar värderingen

Den föreliggande rapporten har i mycket fokuserat på kunskapsläget när det gäller hur marint liv påverkas av havsbaserad vindkraft, med fokus på vilka risker en storskalig utbyggnad kan medföra. Kunskap om vilka risker som kan förekomma i samband med havsbaserad vindkraft är viktig vid planering och vid tillståndsbedömningar. Samtidigt innehåller forskningen även exempel på när införandet av havsbaserad vindkraft kan ha gynnat arter, eller aspekter av biologisk mångfald och ekosystemtjänster. Under vissa förutsättningar är det relevant att ställa frågan om vindkraft ha positiva synergieffekter med andra målbilder för havsmiljön.

Det finns dock en svårighet med att dra generella slutsatser om eventuella gynnsamma effekter, eftersom utfallet i hög grad beror på vindparkens lokalisering, ekologiska förutsättningar, samt vilka andra aktiviteter som förekommer i närområdet. Som ett exempel kan en ansamling av fisk vid fundamenten vara relativt större i områden som har låg naturlig komplexitet, såsom sand- och lerbottnar, då införandet av vindkraftfundament tillför hårt habitat med högre struktur än omgivande bottnar.

Om vindparker placeras i Västerhavet, det vill säga Öresund, Kattegatt och Skagerrak, förväntas antalet arter som lockas till fundamenten vara betydligt högre än om de placeras i Östersjön, på grund av skillnader i salthalt och biologisk mångfald mellan dessa havsområden. Det kan vara meningsfullt att identifiera arter som kan gynnas av havsbaserad vindkraft, men även att bedöma hur dessa värdesätts i förvaltningen. En viktig aspekt är även att mänskliga preferenser påverkar definitionen av om viss förändring i artsammansättning är ”positiv” eller ”negativ”, eftersom det här beror på hur olika arter och ekosystemtjänster värdesätts, det vill säga vilken typ av biologisk mångfald som är önskvärd i ett visst område

I det här avsnittet beskrivs kunskapsläget gällande frågan om havsbaserad vindkraft skulle kunna gynna marint liv. Effekter beskrivs på två olika skalor – fundamentnivå och vindpark/landskapsnivå. I slutet av varje avsnitt beskrivs olika anpassningar som skulle kunna stärka de positiva effekterna av vindkraft på marint liv.

## 9.2 Positiva effekter kring de enskilda vindkraftverken – Reveffekten

En av de mest påtagliga effekterna av havsbaserade vindkraftverk är att de tillför ett nytt substrat som arter kan söka sig till, genom fundamenten och dess erosions-skydd. För flytande vindkraftverk kan nya livsmiljöer skapas på den flytande delen av kraftverket och dess förankringslinor till botten. Det skapas en reveffekt, som över tid kan leda till ny typ av lokal livsmiljö (Avsnitt 2.3, 4.4, 5.4, 6.4). Hårdbottenmiljöer som skapas av människor benämns gemensamt som artificiella rev (Bohnsack 1989, Öhman 2006). De kan vara speciellt gynnsamma för biologisk mångfald i miljöer där tidigare mänskliga aktiviteter har lett till en brist på hårda substrat, till exempel som ett resultat av stenfiske (det vill säga att sten samlats in för olika konstruktioner på land, som tidigare förekommit i Öresund). Även skillnader i naturliga förutsättningar gör att reveffekten kan förväntas yttra sig på olika sätt och värderas olika, till exempel beroende på i vilket havsområde och i vilken livsmiljö som reven befinner sig.

### Reveffekter har påvisats vid flera olika typer av konstruktioner

Reveffekter vid mänskliga konstruktioner till havs är i dag relativt väldokumenterade som fenomen. Utöver havsbaserad vindkraft kan även olje- och gasplattformar, bryggpålar, och burar för fiskodlingar generera reveffekter (Clausen m.fl. 2021, Firth m.fl. 2016). Konstruktionerna särskiljer sig från naturliga rev genom att de tillför vertikala strukturer där sådana inte finns naturligt, och inte minst genom att fundamentens torn penetrerar hela vattenkolumnen, från botten ända upp till ytan. Fundamenten kan koloniserars av olika arter på olika djup, och artsammansättningen förändras över tid (De Mesel m.fl. 2015, Figur 9). I marin miljö kan alger, samt blåmusslor och havstulpaner dominera nära ytan, medan filtrerande arter som inte behöver ljus, som anemoner och musslor, dominerar på djupet (Degraer m.fl. 2020).

Även rörliga arter kan påverkas av reveffekten. I och kring vindparken nära tyska Helgoland i Nordsjön var mängden krabbor (*Cancer pagarus*) störst nära fundamenten (Stelzenmüller m.fl. 2021). Framför allt små krabbor fanns där i höga mängder, och författarna föreslog att det berodde på att fundamenten och dess artificiella rev fungerade som en gynnsam uppväxtmiljö. De fann även att krabbfiskare lockades till vindkraftverken, och att det verkade finnas en lokal *spill-over* effekt 300–500 meter från fundamenten (se även Avsnitt 4.4).

I svenska vatten har artificiella reveffekter hos fisk observerats till exempel vid nu nedlagda Utgrunden vindpark i Kalmarsund (Öhman och Wilhelmsson 2005ab, Wilhelmsson m.fl. 2006, Andersson och Öhman 2010), samt vid Lillgrund vindpark i Öresund (Bergström m.fl. 2013a,b). Därtill har reveffekter dokumenterats vid de så kallade Hummerreven utanför Göteborg (Egriell m.fl. 2007, Kraufvelin m.fl. under bearbetning). Dessa artificiella rev byggdes för att kompensera för negativ inverkan på marin miljö i samband med byggnation i Göteborgs hamn. Reven, som i huvudsak består av block, har gynnat förekomsten av hummer och torsk, och då området även varit skyddat från fiske har man sett att det finns fler och större humrar på dessa än vid omkringliggande bottnar (Bergström m.fl. 2016).



Den hittills längsta studien av hur artsammansättningen på vindkraftsverkens fundament förändrats över tid sträckte sig över tio år och utfördes i Nordsjön (Kerckhof m.fl. 2019). Tre utvecklingsfaser identifierades där den tredje, ”klimax-fasen” uppnåddes efter sex år och främst dominerades av havsanemoner och blåmusslor. Dessa resultat var i linje med tidigare studier av förändringar av fastsittande organismer på olje- och gasplattformar över tid (Coolen m.fl. 2020).



Figur 9. Vid Lillgrund vindpark som togs i drift 2007 har idag långlivade algarter etablerat sig på gravitationsfundamentens erosionsskydd, till exempel skräppetare (sockertång; *Saccharina latissima*). Kraftverken står på mellan fyra och sju meters djup i Öresund. Foto: Michael Palmgren.

## Vindkraftverken kan ge upphov till nya födosöksområden

Reveffekten begränsar sig inte till de fastsittande arterna, utan med tiden kan de koloniserande arterna locka till sig fler och större djur och även en del sällsynta arter (Causon och Gill 2018, Fowler m.fl. 2018). Flera studier har beskrivit hur fiskar och kräftdjur, till exempel torsk, hummer och krabbor, lockas till vindkraftverkens fundament på grund av ökad tillgång till föda och skydd (Krone m.fl. 2017, Reubens m.fl. 2013, 2014ab, Glarou m.fl. 2020). För vindparker i södra delen av Nordsjön visade en studie baserad på maganalyser och stabila isotoper att flertalet bottenära fiskarter såsom torsk, skäggtorsk och rötsimpa livnärde sig på bytesdjur från det artificiella revet som bildats runt fundamenten (Mavraki m.fl. 2021). Även sälar kan lockas till vindkraftverkens fundament som en följd av ökad tillgång på fisk, även om en del individer håller sig borta (Russell m.fl. 2014). Ett parallellt exempel kommer från studier vid artificiella stenrev i Danmark, där man fann att tumlare attraherades till reven och tillbringade mer tid där än i omgivande vatten (Mikkelsen m.fl. 2013). Dessutom var de aktiva under natten vilket kan tyda på att de födosökte kring reven.

Glarou m.fl. (2020) sammanställde nyligen tillgänglig information om hur reveffekten från vindkraftverkens erosionsskydd påverkar fisk. Forskarna fann att de flesta studier gjorts i Nordsjön och att ungefär hälften av alla studier påvisat en ökning i mängden fisk. Ökningar har framförallt setts hos fiskarter som är associerade med hårda bottenar, men även hos en del mjukbottenarter i närheten av fundamenten. En del studier visade även en ökning i diversitet av fisk jämfört med kontrollområden. Stensultra är exempel på en fiskart som är starkt associerad med hårda bottenar och som har etablerat sig vid vindkraftverken i Nordsjön, då dessa har installerats på mjukbotten (Stenberg m.fl. 2015, Van Hal m.fl. 2017). Detta bedömdes återspegla en populationsutvidgning och reell ökning hos arten, snarare än ett resultat av vandring, eftersom arten nått de nya områdena med hjälp av vattenströmmar under sin pelagiska larvfas. Den sammanvägda bilden av de studier som gjorts visar att i en avvägning mellan möjlig avskräckning från området, till exempel på grund av undervattensbuller, och möjlig attraktion till de nya substraten, så dominerar ofta attraktionen (Se även Avsnitt 5.4, 6.4).

## Möjliga effekter på omgivande vattenmassor

Även den omgivande vattenmiljön kan påverkas på sikt av de nya strukturerna. Då de flesta revbildande arter är filtrerare, kan de påverka energiflöden i närområdet genom att de tar upp stora mängder växt- och djurplankton (Fowler m.fl. 2018, Slavik m.fl. 2019). Därför kan vattenkvaliteten och ljusinsläppet förväntas öka efter etableringen av en vindpark i grumliga områden. De filtrerande djuren omvandlar plankton till fast material som singlar ner och kan göda de närliggande bottenarna. Som en följd kan den sekundära produktionen tänkas öka lokalt, under vissa förutsättningar, och i sin tur attrahera ytterligare fisk och kräftdjur (Slavik m.fl. 2019, Krone m.fl. 2017, Degraer m.fl. 2021). Reichart m.fl. (2017) fann att koncentrationen av organiska partiklar i den fria vattenmassan nära vindkraftfundament utanför Nederländerna var lägre än i referensområden utan fundament, och att koncentrationen avtog med ökat avstånd från fundamenten. Fundamenten var täckta med påväxt av filtrerande organismer som de föreslog fungerade som biofilter. Koncentrationen av organiskt material i det ytliga sedimentet visade samma mönster. I svenska vatten, framför allt i Västerhavet och Egentliga Östersjön, är blåmusslan en art som kan förväntas gynnas vid vindkraftverkens fundament (Avsnitt 4.4). Blåmusslan är en aktiv filtrerare som har sammankopplats med att gynna bindningen av näringsämnen ur vattnet (Kotta m.fl. 2020).

## Anpassningar för att gynna arter på fundamentnivå

I ett flertal länder används artificiella rev för att förstärka vissa typer av livsmiljöer och arter, eller som en metod att attrahera fisk för att gynna fisket (Öhman 2006). På motsvarande sätt skulle olika anpassningar kunna göras för att förstärka reveffekten på och kring vindkraftverkens fundament, om det är önskvärt. Fundamentens material och struktur kan anpassas, eftersom man till exempel funnit skillnader mellan fundament av betong och stål (Paxton m.fl. 2020, Andersson m.fl. 2009). Ett fundament av betong ger en högre artrikedom än ett av stål. Därtill föredrar de flesta arters larvstadier räfflad struktur, även om det finns vissa som föredrar slät struktur (Qvarfordt m.fl. 2006, Wilhelmsson och Malm 2008, Andersson m.fl. 2009). Om ytorna är vertikala eller horisontella spelar också roll då till exempel makroalger ofta föredrar horisontella ytor (Linley m.fl. 2007). Fintrådiga alger, havstulpaner och musslor återfinns även på vertikala ytor. Vilket djup fundamenten sätts på är också av betydelse för vilka arter

som etablerar sig (Coolen m.fl. 2020). Även flytande fundament ger upphov till nya typer av livsmiljöer (Farr m.fl. 2021).

Därtill skulle erosionsskydden kring fundamentet kunna anpassas så att de tillgodoser en mer komplex struktur för att gynna fler arter. Vindkraftsverkets erosionsskydd av sten och block ökar ansamling av fisk och andra arter, och om antalet lager av block ökar kan det gynna rörlig fauna. Man har föreslagit att storleken på sten och block samt avståndet mellan dem kan anpassas för att gynna olika arter (Hermans m.fl. 2020). Det har också föreslagits att lägga ut frondmattor som erosionsskydd. Dessa har en struktur som påminner om sjögräs eller makroalgsbäddar och kan tillföra habitat för ovanligare arter som sjöhästar och tångsnällor (Wilson och Elliot 2009, Linley m.fl. 2007). Att förse själva fundamentet med hål, gärna med ingång och öppning, samt olika överhäng för att öka strukturen kan även locka till fler fisk- och krabbarter (Langhamer och Wilhelmsson 2009). Hål i fundamenten på ett vågkraftverk utanför Lysekil lockade till sig krabbor, och fiskar föredrog hål där det fanns flera öppningar (Langhamer och Wilhelmsson 2009).

Särskilda anpassningar för att stärka önskvärda aspekter av biologisk mångfald eller ekosystemtjänster kallas ofta för *nature-inclusive designs* (Hermans m.fl. 2020). Målet med sådana anpassningar är ofta i första hand att tillgodose skydd och mat för kommersiella arter, till exempel torsk, hummer och krabba. Särskilda tillägg som har föreslagits vara förenliga med havsbaserad vindkraft är till exempel så kallade torskhotell som består av en stålkonstruktion med hål (Hermans m.fl. 2020) och så kallade *reefballs*, som består av ett klotformat betongblock med hål (Wilson och Elliot 2009). Det finns dock begränsad information om hur effektiva sådana nya designade tillämpningar är (Glarou m.fl. 2020).

Det är också svårt att utvärdera om utökningen av substrat verkligen leder till en förstärkningseffekt. Det har föreslagits att nettoeffekten av den nya livsmiljö som bildas är 2,5 gånger det man förlorar i till exempel mjukbottenhabitat, om man använder nuvarande design på monopiles (Wilson och Elliot 2009). Dessa siffror baseras på en sammanställning av information om vindparker i Storbritannien där man gjort antaganden om radien av vindkraftfundamenten och erosionsskydden för monopiles. Man räknade med en radie av erosionsskydd som sträckte sig 10 meter från basen, och drog sedan bort radien för själva turbinen. Därefter gjordes uträkningar på hur stor yta av habitat som tillfördes för tre olika typer av erosionsskydd (sten, block och frondmattor), baserat på storlek och mängd av sten och block. Sten och block ökade habitatytan med upp till 2,5 gånger om dessa användes som erosionsskydd medan användning av frondmattor istället minskade habitatytan något (Wilson och Elliot 2009).

### 9.3 Positiva effekter på vindpark- och landskapsnivå

Även om den mest påtagliga effekten av havsbaserad vindkraft kan ses på lokal nivå, i närheten av fundamenten, så skulle dessa effekter också kunna visa sig på en större skala, eftersom många av de rörliga arter som attraheras till vindkraftverken rör sig långa sträckor. Förflyttningar av fiskar, marina däggdjur och fåglar har en viktig roll för samspelet mellan olika delar av havets ekosystem, och dessa mekanismer kan även förväntas påverka samspelet mellan vindkraftverk inom

parken (vindparksnivå). De kan även påverka samspel mellan olika parker och mellan parker och andra habitat i havslandskapet (landskapsnivå) på olika skalor. Sådana effekter har ännu inte studerats systematiskt. Nedan lyfts exempel på studier som kan belysa dessa aspekter.

## Rörliga arter förenar olika delar av havslandskapet

Många fiskar simmar långa sträckor mellan födo- och lekområden, och ett antal arter migrerar under sin livscykel mellan uppväxtområden och områden de senare vistas i som vuxna (Berkström m.fl. 2019). Dessutom har flesta fiskar av marint ursprung, samt många andra djur som fäster på fundamenten har ett pelagiskt larvstadium, under vilket de kan färdas tio- till hundratals kilometer med hjälp av havsströmmar och förena olika delar av havslandskapet (Kinlan och Gaines 2003). Arters och populationers samspel varierar under olika delar av året och dygnet.

Som exempel har undersökningar visat att skäggtorsk i Nordsjön attraheras av vindkraftverk enbart under sommaren och hösten, vilket är den period när den mest aktivt söker föda och växer till, för att sedan migrera till lekområden utanför den belgiska kusten under vintern (Reubens m.fl. 2014a). Motsvarande mönster kan förväntas för torsk i svenska vatten, som också vandrar mellan tillväxtområden och lekområden. Tumlare, sälar och sjöfågel rör sig naturligt över stora avstånd för födosök, reproduktion eller vila och bidrar också till att länka olika havsområden (Se även Avsnitt 9.3).

Många av de arter som kan påverkas av havsbaserade vindparker berörs inte enbart av själva vindparken, utan också av många andra miljöer som de vistas i under sin livstid (Se även Avsnitt 8.5). En fråga som uppstår är om de effekter som uppkommer vid vindkraftverket skulle kunna påverka omkringliggande områden genom spridningseffekter. Det finns ett behov av studier av samspel på större rumslig skala (Bishop m.fl. 2017). De biologiska och ekologiska effekter som har noterats i samband med havsbaserad vindkraft är oftast lokala och avtar omkring 100 meter från fundamenten. Endast ett fåtal studier har påvisat indirekta effekter av havsbaserad vindkraft på en större skala, vilket även kan bero på att det varit svårt att mäta effekter på denna nivå inom ramen för de studier som har utförts.

## Kan vindparker öka konnektiviteten mellan viktiga områden?

Att det uppstår nya livsmiljöer vid vindkraftverkens fundament skulle möjligen även kunna öka utbytet av organismer som kan spridas mellan de olika vindkraftverken, eller mellan vindparken och andra områden. Tillförseln av hårt substrat och grundare ytor i delar av havet där liknande miljöer inte funnits tidigare, ökar tillgången på lämpliga miljöer för flera arter, och minskar avstånden mellan olika populationer. Det bildas så kallade *stepping stones*, små öar av lämpligt habitat, som kan gynna spridningen (Bishop m.fl. 2017, De Mesel m.fl. 2015, MacLean m.fl. 2022).

Kopplingar mellan olika områden i naturen, som ger ett geografiskt utbyte av organismer, kallas konnektivitet. Rörliga djur kan spridas som vuxna (se ovan) men även mer stillalevande eller fastsittande arter kan spridas under larvfasen, beroende på art. Larvfasen är det stadie som infaller mellan ägg och att en organism börjar ta en mer vuxenliknande form. Både ryggradslösa djur och fiskar har en larvfas.

Larvfasen är vanligtvis pelagisk, det vill säga larverna rör sig i de öppna vattenmassorna, så att de kan spridas över stora ytor med hjälp av strömmar. De kan därför spridas över stora områden innan de finner en hemvist med lämplig livsmiljö.

Hur stor konnektiviteten blir mellan vindkraftverk, eller mellan vindkraftverk och andra miljöer, beror på olika faktorer. Redan för spridning mellan vindkraftverk inom samma vindpark kan avstånden vara betydande, särskilt för de vindkraftverk som är under planering idag och som kan behöva avstånd på omkring två till tre kilometer mellan fundamenten (Se Avsnitt 2.2). Arter av marint ursprung har normalt ett längre larvstadium, och därmed längre spridning, än arter med sötvattensursprung. Graden av konnektivitet skulle därför sannolikt se annorlunda ut för vindparker i Östersjön jämfört med Västerhavet (Berkström m.fl. 2019).

Det finns inga studier som specifikt undersökt konnektivitet mellan existerande vindkraftverk, eller vindparker. Däremot har ett par modelleringsstudier skattat spridning av pelagiska larver i Nordsjön, dels mellan naturliga hårbottnar, olje- och gasplattformar, dels mellan naturliga hårbottnar och fiktiva olje- och gasplattformar eller vindkraftverk (se även McLean m.fl. 2022). Utanför Skottlands sydvästra kust fann Adams m.fl. (2014) att tillförsel av hårt substrat vid etablering av förnybar energi kan fungera som *stepping stones* åt bland annat havstulpaner och snäckor, och på så sätt öka deras spridning och utbredning till områden som annars inte är tillgängliga (Adams m.fl. 2014). En annan studie i Nordsjön undersökte konnektiviteten av den rödlistade ögonkorallen (*Lophelia pertusa*) mellan olje- och gasplattformar (Henry m.fl. 2018). De fann att en generation korallarver från dessa fundament kunde spridas över ett område på flera hundra kilometer, som även innefattade ett skyddat område, med potential att kolonisera naturliga hårbottnar. För Medelhavet har man föreslagit att ett nätverk av skyddade områden skulle kunna förstärkas genom att strategiskt placera vindparker i vidsträckta mjukbottnar där hårda habitat saknas (Boero m.fl. 2016). Om sådana områden dessutom stärks genom att skyddas från fiske kan konnektiviteten öka ytterligare.

Det är viktigt att även väga in om reven skulle fungera som etableringspunkter för främmande arter, eller gynna opportunistiska arter som inte bidrar till ökad biologisk mångfald (Dannheim m.fl. 2020). Om konnektiviteten förstärks för sådana arter så kunde detta istället ha en negativ påverkan på ekosystemet, inte bara lokalt men även på regional nivå (De Mesel m.fl. 2015).

## Anpassningar för att gynna arter på vindpark- och landskapsnivå

Lokaliseringen av vindkraftverken är en av de viktigaste aspekterna att tänka på om målet är att uppnå gynnsamma effekter för biologisk mångfald och ekosystemtjänster. I en meta-analys av 39 studier från både tempererade stenrev och tropiska korallrev noterade Paxton m.fl. (2020) att artificiella rev hade liknande mängd, biomassa och diversitet av fisk som naturliga rev, och härledde skillnader till revens lokalisering samt materialet hos det artificiella revet. I meta-analysen ingick även en studie från Skagerrak (Andersson m.fl. 2019).

Om målsättningen är att gynna arter som gynnas av reveffekten kan det potentiellt vara mer fördelaktigt om vindparker anläggs på vidsträckta mjukbottnar, som är naturligt homogena, så att den relativa skillnaden i komplexitet blir högre. En eventuell skyddseffekt på fiskpopulationer kan bli högre om vindkraftverken placeras över ett mer vidsträckt område så att större ytor omfattas, även om detta

även beror på flera andra förutsättningar (se även Avsnitt 8.3, 9.4). Om målsättningen är att öka konnektiviteten kunde vindparker placeras strategiskt nära varandra. På motsvarande sätt kunde både konnektiviteten och potentiella skyddseffekter förstärkas om flera vindparker placeras så nära varandra att de kan utbyta arter och tillsammans bilda ett större landskap.

I vissa fall kan placering i redan påverkade miljöer vara mest fördelaktigt, om vindparken kan förväntas gynna återhämtning av arter i dessa system, eller om etablering av vindparken kan kombineras med restaureringsåtgärder (se t.ex. Bennun m.fl. 2021). Några exempel för svenska förhållanden skulle kunna vara kustnära miljöer där hårda substrat är sedimenterade/överväxta, eller områden som tidigare haft förlust av hårda habitat. När det gäller etablering i kustområden behöver dock risker för fågelliv vägas in (Kapitel 7). Även förhållanden för specifika skyddsvärda arter kunde beaktas. Till exempel i den ovan nämnda simuleringsstudien (Henry m.fl. 2018) antogs olje- och gasplattformar i Nordsjön öka konnektiviteten och tillgängligheten på korallarver i området, och därmed potentialen för återhämtning av denna rödlistade art. En placering av vindparker i områden med ökat behov av specifika ekosystemtjänster skulle kunna vara gynnsamt, till exempel om det finns ett ökat behov av filtrering från blåmusslor (Kotta m.fl. 2020). Till exempel i Nederländerna är det ett krav att etablering av vindparker samplaneras med naturanpassade lösningar (*Nature-inclusive design*, Ministry of Agriculture, Nature and Food Quality, the Netherlands 2020).

För att öka möjligheten till anpassning är en viktig förutsättning att de lokala naturliga förhållandena är väl kända. Som exempel använde Pearce m.fl. (2014) detaljerad kartläggning (*high precision mapping*) för att dokumentera förekomsten av biogenetiska rev av kalkmask (*Sabella spinulosa*) i Thanet Offshore Windfarm site utanför England, så att placeringen av vindkraftverk kunde ta hänsyn till dessa och minimera påverkan på befintliga biogenetiska rev i området. För att gynna ett landskapsperspektiv skulle en detaljerad kartläggning även kunna bidra till att vindkraftfundament placeras i tillräckligt nära anslutning till naturliga rev för att öka konnektiviteten.

En annan aspekt är att arters utbredning och konnektivitet kan förändras i framtiden med klimatförändringar. Tillförsel av nya habitat skulle kunna vara extra fördelaktigt om de kan fungera som strategisk placerade *stepping stones* för arter som behöver stödas (Henry m.fl. 2018). För att uppnå detta borde kartprediktioner över sannolika framtida förändringar i arters utbredning utvecklas.

## 9.4 Interaktioner med andra aktiviteter är en osäkerhetsfaktor

En specialfråga när det gäller möjliga positiva effekter på marint liv är frågan om vindparker kan fungera som (delvis) skyddade områden, ifall påverkan från andra havsbaserade aktiviteter i så fall minskar eller utesluts (se Avsnitt 8.3–8.4). En viktig faktor här är interaktioner med fisket, men motsvarande frågeställningar kan även uppstå för annan havsbaserad verksamhet som inte kan samexistera med vindkraft, till exempel om vindparken skulle innebära omläggning av farleder.

I synnerhet bottentrålning och bottennära trålning är svårt att förena med vindparker. Där bottentrålning förekommer påverkar det havsbottens livsmiljöer och djur både genom direkt fysisk störning och genom att leda till ökad turbiditet

och sedimentspridning (Thrush och Dayton 2002, se även Avsnitt 4.4 och nedan). Trålning ger även upphov till undervattensljud i nivåer som kan störa vissa arter. Om området där vindparken anläggs tidigare bottentrålats, kan införandet av vindkraft innebära att påverkan på havsbotten minskar påtagligt i den delen av havslandskapet. För att motsvarande effekter även ska räknas in på landskapsnivå förutsätts dock att trålningen inte i så fall omlokaliseras till någon annan del av havsområdet, i synnerhet inte något mer känsligt område, eller att intensiteten av trålning inte samtidigt ökar över hållbara nivåer på andra ställen.

På grund av att olika verksamheter till havs kan påverka varandra genom sådana förflyttningseffekter, men inte regleras på ett samordnat sätt, saknas i dagsläget möjlighet att ta ställning till hur den samlade kumulativa påverkan från mänskliga aktiviteter till havs kan påverkas av havsbaserad vindkraft.

## Potentiella skyddseffekter vid uteslutning av bottentrålning

I svenska vatten förekommer fysiskt störning från bottentrålning främst i Västerhavet och södra Östersjön, men områden trålas även i Egentliga Östersjön. I Bottniska viken används framför allt semipelagiska eller pelagiska trålar. Effekter av fysisk störning på marint liv är som regel störst initialt, då de mest känsliga arterna försvinner vid det första bottentråldraget (HaV 2018). I Kattegatt har studier påvisat ett samband mellan ökad bottentrålning och en minskning av sjöpennor, och i Koster-Väderfjorden fanns sjöfjädern (*Pennatula phosphorea*) och kosterpiprensaren (*Kophbelemnion stelliferum*) i högre tätheter i områden som inte fiskats med trål (Sköld m.fl. 2018). Skyddade områden i Gullmarsfjorden har visat sig gynna piprensare (*Funiculina quadrangularis*), ormstjärnor (av släktet *Ophiura*) som lever ovanpå sedimentet, små plattfiskar, sjöborrar, simkrabbor och eremitkräftor (Jonsson 2010). Jämförande studier av fisk, havskräftor och deras bytesdjur mellan mjukbottnar i Kattegatt och irländska sjön visade att trålning främst påverkade fisk och havskräftor i Kattegatt medan de mest påverkade arterna i irländska sjön var bottennära bytesdjur, som till exempel små kräftdjur, blötdjur och tagghudingar (Hinz m.fl. 2017). Effekten på de bottenlevande arterna kopplades dock i sin tur till förbättrade konditionsindex hos fiskar och havskräftor, genom bättre födotillgång (Hiddink m.fl. 2016).

Hur länge återhämtningen tar efter att bottentrålning upphört kan variera. I områden som har bottentrålats syns spår på organismsamhället fortfarande efter flera år i form av förlust av känsliga arter och minskad biologisk mångfald (Sköld m.fl. 2018). Man kan förvänta sig en skillnad i återhämtningstid mellan Västerhavet och Östersjön. Arter med kort livscykel (exempelvis havsborstmaskar) kan återhämta sig på mindre än ett år, medan svampdjur och mjuka koraller tar längre tid, upp till åtta år (Kaiser m.fl. 2006). En studie i Nordsjön visade att det bottenlevande djursamhället inte hunnit återhämta sig fem år efter att trålning upphört (Bergman m.fl. (2015)

## Potentiella skyddseffekter vid minskat fiske

Studier av hur uteslutning av fiske kan ha påverkat fisk inom vindparker är i dagsläget få, och försvåras av att fiskeskyddseffekten i praktiken är svår att isolera från reveffekten. Sannolika effekter kan dock härledas från de exempel där fiskefria områden utvärderats som en del av fiskeriförvaltningen. Flera världsomspännande meta-analyser av fiskefria områden visar däremot på fler, och större, fiskar i fiskefria områden jämfört med referensområden med liknande miljöer (bland annat Giakoumi m.fl. 2017, Lester m.fl. 2009). Ett antal studier har visat att skyddseffekten ökar med storlek och ålder på det fiskefria området (Vandeperre m.fl. 2011, Claudet m.fl. 2008). De fiskefria områden som idag finns i svenska vatten visar generellt på en ökning av stora fiskar och humrar, med en effekt som är synlig redan inom fem år (Bergström m.fl. 2016).

I vissa områden skyddade från fiske har det även gått att påvisa en så kallad *spill-over* effekt av fisk och kräftdjur, det vill säga en ökad produktion som syns även i närområdet (Halpern m.fl. 2009). Huruvida en sådan *spill-over* även sker runt vindparker där fiske är förbjudet är i nuläget svårt att veta, eftersom det saknas kunskap inom området. Bara ett fåtal studier finns tillgängliga som kopplar en ökning av fisk och kräftdjur bortom området närmast vindkraftverket. De studier som finns är utförda kring vindparker i Nordsjön. Till exempel i vindparken vid Horns Rev utanför Jylland noterades dock en ökad ansamling av torsk, vitling, kusttobis och sjötunga inte enbart vid fundamenten, utan även i vindparken som helhet (Dong Energy m.fl. 2006, Hvidt m.fl. 2005, Stenberg m.fl. 2015). Det visade sig även att fiskarter som inte noterats i området innan vindparken etablerades 2002 fanns där sju år senare (Stenberg m.fl. 2015), både gällande arter som är associerade med hårda bottenar såsom stensnultra och skäggtorsk, och pelagiska arter som makrill och sill. Det finns idag begränsat med belegg för att vindparker skulle leda till ökade mängder fisk och kräftdjur på en större skala. På basen av befintligt kunskapsläge skulle dock en kraftig ökning av vindkraft till havs kunna öka sannolikheten för en sådan effekt (Glarou m.fl. 2020).



# 10. Kvarstående kunskapsluckor

## 10.1 Marint liv kan både påverkas av och gynnas av havsbaserad vindkraft

I dagsläget planeras det för över trettio havsbaserade vindparker i Sverige. Även om alla inte kommer att byggas ger det en tydlig indikation om att havsbaserad vindkraft har hög prioritet. Denna storskalighet genererar ett antal frågor om hur det marina livet kommer att utvecklas när fler, och större, vindparker anläggs till havs.

Att anlägga havsbaserade vindparker innebär att nya påverkansfaktorer tillförs havsmiljön, men det kan även leda till att befintliga påverkansfaktorer förändras i sin omfattning eller rumsliga utbredning. För att säkerställa att havets ekosystem utvecklas på ett hållbart sätt är det viktigt att beakta hur arter och livsmiljöer påverkas på både kort och lång sikt. Frågan berör både vindkraftens positiva effekter när det gäller klimatnytta, där även marint liv berörs, och möjliga risker. Det finns behov av att fånga denna komplexitet och göra en avvägd bedömning av hur de marina ekosystemen påverkas.

## 10.2 Utveckla riskbedömningar för att kunna minimera påverkan

En övergripande fråga, som även är återkommande i denna rapport, är effekten av påverkan. God kännedom om möjliga risker för arter är viktigt för att kunna minimera riskerna och identifiera lämpligt utförande. I en del fall är risk för påverkan på marint liv ett litet problem och utgör inte hinder för en etablering, i andra fall kan det vara avgörande för om en vindkraftsetablering kan accepteras.

En viktig fråga i detta sammanhang är vad en acceptabel störning skulle kunna vara. Går det att identifiera en omfattning av påverkansfaktorn som är acceptabel i förhållande till risken för skada och hur stor är då den? Som exempel, så har fiskar generellt en förmåga att klara tillfälliga sedimenthöjningar – finns det nivåer som går att acceptera, och när blir halterna för höga? Hur ser skillnaderna ut för effekter på olika arter och livsstadier? Den forskning som bedrivits hittills om hur sediment i vattnet påverkar fisk ger långt ifrån alla svar.

På motsvarande sätt finns det behov av fortsatta studier om hur ljud påverkar fisk och marina däggdjur. Vad är acceptabel nivå för ljud när det gäller fisk och tumlare? Fiskar och marina däggdjur kan bli stressade av ljud, men vid vilka nivåer innebär detta en risk för skada på individer eller populationer?

Ett tredje exempel gäller identifiering av vilka aktiviteter kopplade till havsbaserad vindkraft, som leder till en reell risk för skada på arter och individer. För att åstadkomma detta är det viktigt att forskning som syftar till att identifiera risk för skada på marint liv beaktar realistiska nivåer av påverkansfaktorn. Att exempelvis studera hur fisk påverkas av pålning med monopile-fundament utan skyddsåtgärder är att studera ett tillvägagångssätt som inte tillämpas idag.

## 10.3 Samverkan mellan miljöforskning och utvecklingen av vindkraft

Parallellt med en ökad kunskap om hur etableringen av vindkraft till havs påverkar marint liv, är det av hög relevans att undersöka skyddsåtgärder och hur de kan utvecklas ytterligare. Till exempel har det utvecklats skyddsåtgärder för att minska skador på fisk och marina däggdjur i samband med högimpulsivt ljud, liksom skrämsemetoder för att få djur att lämna området temporärt och därmed undvika att exponeras för skadliga ljudnivåer. Det finns dock få undersökningar om hur effektiva dessa åtgärder är när de tillämpas.

En annan viktig fråga är hur bedömningen av risker kan fortsatt anpassas i förhållande till teknisk utveckling – hur mycket av den befintliga kunskapen kan överföras till nya situationer med andra typer av vindkraftverk? Till exempel sker det en snabb utveckling av nya typer av vindkraftverk, och inte minst flytande fundament kan komma att bli viktiga. I dagsläget är kunskapen om miljöeffekter av flytande fundament begränsad.

Förändringen i teknik innebär också att den marina miljön kan komma att nyttjas på andra sätt. Till exempel kan flytande fundament etableras på djupare vatten än bottenbaserade verk, och med andra ekologiska konsekvenser. Flytande fundament kommer sannolikt ha större konstruktioner med komplexa strukturer i närheten av ytan. Vilken effekt kommer sådana ”flytande öar” att ha på den biologiska mångfalden om de placeras långt från land?

En viktig framtidsfråga är i vilken grad det går att anpassa vindparker för att skapa en netto nytta för det marina livet, till exempel för att stärka den biologiska mångfalden och prioriterade ekosystemtjänster. Mer specifikt, vad finns det för möjligheter att utveckla naturanpassade lösningar (*nature-inclusive design*), och går det att bygga och driva vindparkerna så att det blir svårare för oönskade arter att etablera sig (till exempel främmande arter), och kan strukturer anpassas för att attrahera och gynna önskvärda organismer?

## 10.4 Reveffekter i stor skala och över längre tid

Reveffekter, det vill säga att vindkraftverkens fundament kan fungera som artificiella rev och attrahera marint liv, har konstaterats i ett antal studier. Det finns ett stort intresse för vad dessa reveffekter kan innebära mer specifikt, under förhållanden applicerbara på svenska havsområden. Vilka faktorer påverkar hur en reveffekt utvecklar sig över tid, när det gäller vilka arter som etableras och hur de samspelar? Finns det en möjlighet att de nya substraten kan gynna arter och i så fall under vilka förutsättningar? I rapporten presenteras ett antal möjligheter baserat på befintligt kunskapsunderlag, men empiriska underlag från svenska havsområden är begränsade.

Två viktiga aspekter att undersöka är de rumsliga och tidsmässiga skalorna. De studier av vindparker som utförts idag har haft för korta tidsperspektiv för att kunna bedöma långtidseffekter. Stora vindparker kan skapa större miljöer som till viss del kan liknas vid artificiella skärgårdar. Hur kommer dessa påverka marint liv? Med Sveriges långa kust med varierad vattenmiljö förväntas reveffekten se olika ut beroende på var vindparker etableras. Här vore det värdefullt med empiriska studier av hur reveffekter kring etablerade vindparker utvecklas i det mer artfattiga

Bottniska viken och i Östersjön, jämfört med Västerhavet. Studier av utvecklingen över tid hos bottensamhällen och fiskfaunan skulle vara värdefulla för att veta hur reven utvecklas, liksom samspelet mellan arter. Det skulle ge även möjlighet att studera om marina däggdjur använder sig av vindparkerna som födosöksområden, samt hur nettoeffekten på olika grupper av sjöfågel ser ut, när det gäller avvägningar mellan barriäreffekter och möjlig ökad födotillgång. Ekologisk succession, det vill säga hur ekologin inom ett område utvecklas över tid, är en långsam process. Återbesök till tidigare undersökningar gjorda i svenska vatten skulle kunna ge kompletterande värdefull kunskap.

## 10.5 Effekter på konnektivitet och spridning av arter

Det finns idag begränsad förståelse för hur olika livsmiljöer och populationer i havet kan vara sammanlänkade som en följd av att marint liv rör sig (konnektivitet). Det saknas även kunskap om hur vindkraftverk kan påverka spridningen av arter, både vad gäller naturligt förekommande arter och främmande arter. Kommer konnektiviteten att öka vid en utveckling av havsbaserad vindkraft och i så fall hur, till exempel mellan vindkraftverk, vindparker och andra livsmiljöer? Hur påverkar detta den gröna infrastrukturen i havet?

För att undersöka vindkraftens roll finns behov av ytterligare kunskap om arternas förmåga att etablera sig i olika livsmiljöer, men även information om deras nuvarande och framtida möjliga utbredningsområden. För flera arter kan deras utbredning komma att påverkas av klimatförändringar.

## 10.6 Förbättring av planeringsprocessen

I kust- och havsområdenas förvaltning ingår planering, beviljande av tillstånd och andra kontrollåtgärder som utförs av centrala, regionala och lokala myndigheter. Den marina förvaltningen är olika mellan länder beroende på deras nationella administrativa system (Jack 2022). I de flesta länder är det staten som styr och förvaltar kust- och havsområdenas användning. I Sverige, inom svenskt territorium, är detta ansvar fördelat på både stat och kommuner, vilket gör förvaltningen mer komplex och tidskrävande. Sverige har ännu inte satsat i någon större skala på vindkraft till havs medan utvecklingen i andra länder har gått längre, i synnerhet runt Nordsjön. Många aktörer påverkas av och berörs av hur vindkraft ska etableras till havs, och många instanser är involverade i tillståndsprocessen. Det ökade intresset för havsbaserad vindkraft visar, att det behövs en klarare och mer målinriktad nationell styrning och förvaltning i samband med kust- och havsområdenas användning och skydd.

Vid varje plan för etablering tas det fram underlag med ofta noggranna undersökningar. Miljökonsekvensbeskrivningar ska ge ett väl genomarbetat underlag med tillräcklig information för att myndigheter ska kunna ta väl avvägda beslut. Eftersom alla vindkrafts-entreprenörer måste gå igenom samma process kan det finnas anledning att se över möjligheten att i större utsträckning samordna kunskapsinhämtning och kunskapsdelning. Därigenom kan man ge ökad tillgång till kunskapsunderlag som flera aktörer i planerings- och beslutsprocessen har behov av. Detta

gäller inte bara riskanalyser och påverkansanalyser, men även till exempel rumsliga kartunderlag, som idag sällan finns tillgängliga på den mer detaljerade skala som krävs. Dessa kunskapsbehov skulle gynnas av en utökad nationell eller nationellt koordinerad ansats. Exempel på mer kunskapsbehov är utbredningen av tumlare och dess rörelser, livsmiljöer för fisk vid lek under olika tider av året, samt fåglars migrationsmönster.

Samordning av kunskapsunderlag kan också vara ett sätt att undvika återkommande studier som kan innebära onödig belastning för vissa organismer. Studier borde göras på ett sätt som möjliggör för projektörer att kontinuerligt utveckla och lägga till kunskap som kan leda till en bättre samlad bedömning. Idag görs ofta begränsade studier, men ibland endast gissningar och avvägningar enligt olika kriterier i olika fall, vilket försvårar diskussioner kring riskbedömning och samexistens.

Det kan här vara värt att erinra att behoven av kunskapsunderlag finns hos såväl projektörer som hos myndigheter och sakägare.

# 11. Slutord

Rapporten fokuserar i mycket på att utvärdera risker för påverkan på marint liv för viktiga artgrupper i svenska hav, när det gäller effekter av havsbaserad vindkraft. Sammanfattande slutsatser ges i för bottenära livsmiljöer, fisk, marina däggdjur och fågel, och med fokus på en övergripande geografisk nivå för de tre havsområdena Västerhavet, Östersjön och Bottniska Viken. Information om risk för påverkan behövs för att underbygga upprättandet och granskningen av miljökonsekvensbedömningar. Den kommer förhoppningsvis även att stimulera utvecklingen av metoder för att gradvis minimera möjliga kvarstående risker, till exempel genom vindparksdesign, fundamentens utformning eller rutiner för anläggning och underhåll.

De övergripande slutsatserna strävar efter att reflektera befintligt kunskapsläge i de aktuella frågorna, men behöver analyseras och utvärderas i relation till lokala förhållanden för att vara relevanta i specifika tillämpningar. Vår generella bedömning är att många av de risker som noterats eller diskuterats i samband med havsbaserad vindkraft idag är möjliga att minimera genom skadelindrande åtgärder och god planering.

En viktig skillnad i förhållande till den tidigare syntesrapporten (Bergström m.fl. 2012) är förändringar i vindparkernas utförande. Havsbaserad vindkraft har hittills främst etablerats inom djupintervallet 5–40 meter, men numera kan vindkraftverk planeras på betydligt större djup. Dessutom går utvecklingen mot att vindkraftverken i en vindpark står längre ifrån varandra. En annan skillnad är utvecklingen av skadelindrande åtgärder. Många utförandeaspekter som kallades bästa tillgängliga teknik och metodik i den tidigare rapporten är snarare att betrakta som normala idag.

Som ett exempel identifierade den tidigare rapporten effekter av impulsivt ljud under anläggningsfasen som en av de klart viktigaste riskfaktorerna för marint liv, och betonade då särskilt vikten att undvika anläggning vid känsliga livsmiljöer och tidpunkter. Dessa tolkningar gäller också idag, men kunskapen om ljud i samband med anläggningsfasen har ökat, liksom hur sådant ljud skulle kunna leda till hörselnedsättning, beteendestörningar, eller maskering av kommunikationsljud och andra relevanta signaler för djur i havet. Dessutom har utvecklingen gått framåt vad gäller skyddsåtgärder som med tekniska hjälpmedel kan reducera ljudpåverkan.

Kunskapen har även ökat om olika arters utbredning, liksom inventeringstekniker och användningen av rumslig modellering som stödverktyg för att skapa rumsliga underlag, även om detta är fortsatt viktiga kunskapsbehov. En begränsning är att de kartor som finns på nationell nivå idag ofta inte är relevanta på den mer detaljerade nivå som krävs för planering och utvärdering av vindkraftsprojekt. Ökad tillgång till rumsliga underlag skulle skapa bättre förutsättningar för att göra lokala anpassningar och lokalt anpassade bedömningar i de enskilda fallen.

Där bör också göras utökade ansatser för att sätta en bedömning av vindkraftens miljöeffekter i ett vidare perspektiv, där det även ingår ekosystemeffekter och effekter av annan havsbaserad verksamhet (t ex fiske och sjöfart). Att beakta sådana kumulativa effekter på havsmiljön innebär att värdera hur arter och ekosystem påverkas sammantaget av olika aktiviteter och påverkansfaktorer. Kumulativa

effekter kan uppstå antingen genom att flera påverkansfaktorer förekommer inom samma plats, eller genom att flera lokala påverkansfaktorer förekommer samtidigt inom ett större område så att deras sammanlagda effekt blir betydande. Det finns även behov att utveckla metoder för att bedöma risker för kumulativ påverkan i samband med specifika projekt. Utvärderingar av hur olika havsbaserade aktiviteter samspelar är viktiga för att utveckla frågor om samexistens.

De kunskapsunderlag som finns idag tyder dock på att havsbaserad vindkraft inte bidrar väsentligt till kumulativ påverkan i havet, när det gäller specifika påverkansfaktorer som undervattensljud och sedimentspridning. När det gäller risk för kumulativ påverkan på arter och samspelet mellan arter så finns det större kunskapsluckor, eftersom man då även behöver väga in kunskap om hur dessa arter påverkas av andra mänskliga aktiviteter i havet, annan miljöpåverkan, och kunskap om arternas rörelsemönster. Frågan beror även på med vilken omfattning en utbyggnad av havsbaserad vindkraft sker. Vid en omfattande utbyggnad kommer gradvis högre hänsyn och anpassningar för att undvika kumulativa effekter att vara motiverade.

Ett exempel är aktivt flyttande fåglar. Befintlig kunskap om vindkraftens påverkan på fåglar ute till havs är baserad på relativt små vindparker. Det kan därför inte sägas säkert hur fåglar kommer att reagera och påverkas av de stora vindparkerna med längre avstånd mellan verken. Det ställer även ökade krav på nationell och internationell samordning för att undvika risker för kumulativ påverkan i samband med anläggningsfasen, till exempel om flera vindparker anläggs parallellt.

En annan viktig skillnad jämfört med tidigare rapport är att det finns en ökande mängd vetenskapligt granskade studier som visar exempel på när arter har gynnats i närheten av vindkraftverk. Även för svenska förhållanden blir det allt mer intressant att ta ställning till under vilka förutsättningar som havsbaserad vindkraft skulle kunna gynna marint liv. Flera faktorer förväntas samspela och bidra till den slutliga effekten. Skillnader i artsammansättning mellan Sveriges havsområden är viktig, och även på mer lokal skala är valet av lokalisering sannolikt av central betydelse.

I jämförelse med den stora geografiska variation som förekommer mellan områden är de resultat som presenterats här att betrakta som generaliserade, även om de strävar efter att belysa den variation som finns mellan arter inom samma artgrupp, och mellan olika delar av den svenska kusten. Det ligger dock en svårighet i att använda resultat från ett område och applicera den på ett annat, eftersom det finns stora skillnader mellan områden och olika förutsättningar.

Dessa lokala skillnader gör att planerade vindkraftsetableringar behöver ta ställning till den platsspecifika situationen vid bedömningar av sannolika effekter på marint liv. Ett exempel är att ljud- eller sedimentpåverkan förväntas skilja sig åt beroende på till exempel var en vindpark anläggs, vilka arter som finns i området, om det är ett lekområde, djupförhållanden, hur botten är beskaffad, vattenkvaliteten och strömförhållanden. En viktig strävan i detta avseende borde vara att alla avvägningar och tolkningar som görs ska bygga på fakta och tolkas med nyansering när så krävs, samt att olika underlag som tas fram ska vara jämförbara med varandra.

## 12. Tack

Författarna vill tacka rapportens vetenskapliga granskare, relevansgranskare och följare, samtliga utsedda av Vindval: Martin Snickars (Åbo Akademi, Finland), Jacob Tougaard (Aarhus universitet, Danmark), Malin Hemmingsson (Havs- och vattenmyndigheten), Tina Tamm Bendixen och Andrea Fischel (Ørsted), Rozemarijn Keuning (Länsstyrelsen i Gotlands Län), Göran Dalén (Dalén Power), Emelie Johansson (Sveavind offshore), Lena Svensson (Länsstyrelsen Skåne), samt Petra Wallberg (Formas) för värdefulla kommentarer och diskussioner kring rapportens innehåll. Vi tackar även Jonas Teilmann (Ib Krag Petersen), Jakob Tougaard (Aarhus universitet), Anthony Hawkins (Loughine Ltd, Aberdeen, Skottland), samt Malin Skog (Swedish Pelagic Federation PO) för värdefulla synpunkter och diskussioner i samband med framtagandet av rapporten.

## 13. Referenser

- Aarts G, Brasseur S, Kirkwood R (2017) Response of grey seals to pile-driving. Wageningen, Wageningen Marine Research (University & Research centre), Wageningen Marine Research report C006/18
- Adams TP, Miller RG, Aleynik D, Burrows MT (2014) Offshore marine renewable energy devices as stepping stones across biogeographical boundaries. *Journal of Applied Ecology* 5: 330-338
- Ahtiainen H, Öhman MC (2014) Ecosystem Services in the Baltic Sea – Valuation of Marine and Coastal Ecosystem Services in the Baltic Sea. *TemaNord* 2014: 563
- Albert L, Deschamps F, Jolivet S, Olivier F, Chauvaud L, Chauvaud S (2020) A current synthesis on the effects of electric and magnetic fields emitted by submarine power cables on invertebrates. *Marine Environmental Research* 159: 104958
- Amundin M, Carlström J, Thomas L, Carlén I, Teilmann J, Tougaard J, Loisa O, ..., Blankett P. (2022) Estimating the abundance of the critically endangered Baltic Proper harbour porpoise (*Phocoena phocoena*) population using passive acoustic monitoring. *Ecology and Evolution* 12: e8554
- Andersson MH, Öhman MC (2010) Fish and sessile assemblages associated with wind-turbine constructions in the Baltic Sea. *Marine and Freshwater Research* 61: 642-650
- Andersson MH, Sigraý P, Persson LKG (2011) Ljud från vindkraftverk i havet och dess påverkan på fisk. Naturvårdsverket. Rapport No. 6436
- Andersson M, Holmberg A, Lennarsson M, Wångerud ST (2015) Harbour seal vocalisation off season. *Oceanoise* 2015, Vilanova i la Geltru. Barcelona 11–15 Maj 2015
- Andersson MH, Berggren M, Wilhelmsson D, Öhman MC (2009) Epibenthic colonization of concrete and steel pilings in a cold-temperate embayment: a field experiment. *Helgoland Marine Research* 63: 249-260
- Andersson MH, Andersson S, Ahlsén J, Andersson BL, Hammar J, Persson LKG, Pihl J, Sigraý P, Wikström A (2017) A framework for regulating underwater noise during pile driving. Naturvårdsverket. Rapport No. 6775. En rapport från kunskapsprogrammet Vindval.
- Andreasen H, Ross SD, Siebert U, Andersen NG, Ronnenberg K, Gilles A (2017) Diet composition and food consumption rate of harbor porpoises (*Phocoena phocoena*) in the western Baltic Sea. *Marine Mam. Sci.* 33: 1053-1079
- Au DWT, Pollino CA, Wu RSS, Shin PKS, Lau STF, Tang JYM (2004) Chronic effects of suspended solids on gill structure, osmoregulation, growth, and triiodothyronine in juvenile green grouper *Epinephelus coioides*. *Marine Ecology Progress Series* 266: 255-264
- Baine M (2001) Artificial reefs: a review of their design, application, management, and performance. *Ocean & Coastal Management* 44: 241–259



Band B (2012) Using a collision risk model to assess bird collision risks for offshore wind farms. Rapport, mars 2012, <https://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/publications/Using-a-collision-risk-model-to-assess-bird-collision-risks-for-offshore-wind-farms.pdf>

Beisiegel K, Tauber F, Gogina M, Zettle ML, Darr A (2019) The potential exceptional role of a small Baltic boulder reef as a solitary habitat in a sea of mud. *Aquatic Conservation Marine Freshwater Ecosystems* 29: 321-328

Bellmann MA, Brinkmann J, May A, Wendt T, Gerlach S, Remmers P (2020) Underwater noise during the impulse pile-driving procedure: Influencing factors on pile-driving noise and technical possibilities to comply with noise mitigation values. Supported by the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU)), FKZ UM16 881500. Commissioned and managed by the Federal Maritime and Hydrographic Agency (Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH)), Order No. 10036866. Edited by the itap GmbH.

Benhemma-Le Gall A, Graham IM, Merchant ND, Thompson PM (2021) Broad-scale response of harbour porpoises to pile-driving and vessel activities during offshore windfarm construction. *Frontiers in Marine Science* 8: 664724

Bennun L, van Bochove J Ng C, Fletcher C, Wilson D, Phair N, Carbone G (2021) Mitigating biodiversity impacts associated with solar and wind energy development. Guidelines for project developers. s.l. : Gland, Switzerland: IUCN and Cambridge, UK: The Biodiversity Consultancy

Berg L, Northcote TG (1985) Changes in territorial, gill-flaring, and feeding behavior in juvenile coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) following short-term pulses of suspended sediment. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 42: 1410-1417

Bergman MJ, Ubels SM, Duineveld GC, Meesters EW. Effects of a 5-year trawling ban on the local benthic community in a wind farm in the Dutch coastal zone. *ICES Journal of Marine Sciences* 72: 962-972

Bergström L, Bergström U (1999) Species diversity and distribution of aquatic macrophytes in the Northern Quark, Baltic Sea. *Nordic Journal of Botany* 19: 375-383

Bergström L, Tatarenkov A, Johannesson K, Jonsson RB, Kautsky L (2005) Genetic and morphological identification of *Fucus radicans* sp. nov. (Fucales, Phaeophyceae) in the brackish Baltic Sea. *Journal of Phycology* 41: 1025-1038

Bergström L, Kautsky L, Malm T, Ohlsson H, Wahlberg M, Rosenberg R, Astrand Capetillo N (2012) Vindkraftens effekter på marint liv. Naturvårdsverket. Rapport No. 6488. En rapport från kunskapsprogrammet Vindval.

Bergström L, Lagenfelt I, Sundqvist F, Andersson I, Andersson M H, Sigray P (2013a) Fiskundersökningar vid Lillgrund vindkraftspark – Slutredovisning av kontrollprogram för fisk och fiske 2002–2010. På uppdrag av Vattenfall Vindkraft AB. Havs och Vattenmyndigheten, Rapport nummer 2013:18

Bergström L, Sundqvist F, Bergström U (2013b) Effects of an offshore wind farm on temporal and spatial patterns in the demersal fish community. *Marine Ecology Progress Series* 485: 199-210

- Bergström L, Kautsky L, Malm T, Rosenberg R, Wahlberg M, Åstrand Capetillo N, Wilhelmsson D (2014) Effects of offshore wind farms on marine wildlife – a generalized impact assessment. *Environmental Research Letters* 9: 034012
- Bergström L, Miloš A, Haapaniemi J, Saha CR, Arndt P, Schmidtbauer-Crona J, Kotta J, Kaitaranta J, Husa S, Palsson J, Pohja-Mykrä M, Ruskule A, Matczak M, Strake S, Zych A, Nummela A, Wesolowska M, Carneiro G (2019) Cumulative Impact Assessment for Maritime Spatial Planning in the Baltic Sea Region. *Pan Baltic Scope*.
- Bergström L, Erlandsson M, Putnis I, Gatt Støttrup J, Kallasvuo M, Bergström U, Jokinen H, Plikšs M, Taal I, Kokkali A, Brown E, Husa S, Saks L, Selnes T, Svirgsden R, Sundström L, Yurtseva AO, Ustups D (2021) Essential fish habitats in the Baltic Sea – Identification of potential spawning, recruitment and nursery areas. *HELCOM*.
- Bergström L, Borgström P, Smith HG, Bergek S, Caplat P, Casini M, Ekroos J, Gårdmark A, Halling C, Huss M, Jönsson AM, Limburg K, Miller P, Nilsson L, Sandin L (2020) Klimatförändringar och biologisk mångfald – Slutsatser från IPCC och IPBES i ett svenskt perspektiv. *SMHI och Naturvårdsverket. Klimatologi* 56
- Bergström U, Sköld M, Wennhage H, Wikström A (2016) Ekologiska effekter av fiskefria områden i Sveriges kust- och havsområden. *Aqua reports* 2016:20. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för akvatiska resurser, Öregrund, Drottningholm, Lysekil.
- Berkström C, Wennerström L, Bergström U (2019) Ekologisk konnektivitet i svenska kust- och havsområden – en kunskapssammanställning. *Aqua reports* 2019:15. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för akvatiska resurser, Öregrund, Drottningholm, Lysekil.
- Bishop MJ, Mayer-Pinto M, Airoidi L, Firth LB, Morris RL, Loke LHL, Hawkins SJ, Naylor LA, Coleman RA, Chee SY, Dafforn KA (2017) Effects of ocean sprawl on ecological connectivity: impacts and solutions. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 492: 7-30
- Bochert R, Zettler M (2004) Long-term exposure of several marine benthic animals to static magnetic fields. *Bioelectromagnetics* 25: 498-502
- Bochert R, Zettler M (2006) Effect of electromagnetic fields on marine organisms. I: J. Koller, J. Koppel, W. Peters (Red.) *Offshore Wind Energy*. Springer, Berlin, Heidelberg
- Bohnsack JA (1989) Are high densities of fishes at artificial reefs the result of habitat limitation or behavioral preference? *Bulletin of Marine Science* 44: 631-645
- Bolle LJ, de Jong CAF, Bierman SM, van Beek PJG, Wessels PW, Blom E, van Damme CJG, Winter HV, Dekeling RPA (2016) Effect of pile-driving sounds on the survival of larval fish. *The Effects of Noise on Aquatic Life II* Springer-Verlag, New York: 91-100
- Booth CG. (2019) Food for thought: Harbor porpoise foraging behavior and diet inform vulnerability to disturbance. *Marine Mammal Science* 36: 195-208
- Brandt M, Diederich A, Betke K, Nels G (2011) Responses of harbour porpoises to pile driving at the Horns Rev II offshore wind farm in the Danish North Sea. *Marine Ecology Progress Series* 421: 205-216
- Brandt MJ, Höschle C, Diederichs A, Betke K, Matuschek R, Nehls G (2013) Seal scarers as a tool to deter harbour porpoises from offshore wind farms. *Marine Ecology Progress Series* 475: 291-302

- Brandt MJ, Dragon A-C, Diederichs A, Schubert A, Kosarev V, Nehls G, Wahl V, Michalik A, Braasch A, Hinz C, Ketzner C, Todeskino D, Gauger M, Laczny M, Piper W (2016). Effects of offshore pile driving on harbour porpoise abundance in the German Bight. Assessment of noise effects. Final Report, June 2016, Offshore Forum Windenergie
- Brandt, MJ, Dragon A-C, Diederichs A, Bellmann MA, Wahl V, Piper W, Nabe-Nielsen J, Nehls G (2018) Disturbance of harbour porpoises during construction of the first seven offshore wind farms in Germany. *Marine Ecology Progress Series* 596: 213-232
- Bryhn A, Kraufvelin P, Bergström U, Vretborn M, Bergström L (2020) A model for disentangling dependencies and impacts among human activities and marine ecosystem services. *Environmental Management* 65: 575-586
- Bull AS, Love MS (2019) Worldwide oil and gas platform decommissioning: A review of practices and reefing options. *Ocean & Coastal Management* 168: 274-306
- Bulleri F, Airoidi L (2005) Artificial marine structures facilitate the spread of a non-indigenous green alga, *Codium fragile* ssp. *tomentosoides*, in the north Adriatic Sea. *Journal of Applied Ecology* 42: 1063–1072
- Burdick DM, Short FT (1999) The effects of boat docks on eelgrass beds in coastal waters of Massachusetts. *Environmental Management* 23: 231–240
- Carlén I, Thomas L, Carlström J, Amundin M, Teilmann J, Tregenza N, Tougaard J, ... Acevedo-Gutiérrez KE. (2018) Basin-scale distribution of harbour porpoises in the Baltic Sea provides basis for effective conservation actions. *Biological Conservation* 226: 42-53
- Cato I, Kjellin B, Zetterlund S (2003) Förekomst och utbredning av sandbankar, berg och hårbottnar inom svenskt territorialvatten och svensk ekonomisk zon (EEZ). Sveriges Geologiska Undersökning (SGU), Uppsala. SGU Rapport 2003:1
- Causon PD, Gill AB. Linking ecosystem services with epibenthic biodiversity change following installation of offshore wind farms. *Environmental Science and Policy* 89: 340-47.
- Cervin I, Harkonen T, Harding KC (2020) Multiple stressors and data deficient populations: a comparative life-history approach sheds new light on the extinction risk of the highly vulnerable Baltic harbour porpoises (*Phocoena phocoena*). *Environment International* 144: 106076
- Churchill JH (1989) The effect of commercial trawling on sediment resuspension and transport over the Middle Atlantic Bight continental shelf. *Continental shelf research* 9: 841-865
- Claudet J, Osenberg CW, Benedetti-Cecchi L, Domenici P, García-Charton J-A, Pérez-Ruzafa A, Badalamenti F, Bayle-Sempere J, Brito A, Bulleri F, Culioli J-M, Dimech M, Falcón JM, Guala I, Milazzo M, Sánchez-Meca J, Somerfield PJ, Stobart B, Vandepierre F, Valle C, Planes S (2008) Marine reserves: size and age do matter. *Ecology Letters* 11: 481-489
- Clausen KT, Wahlberg M, Beedholm K, Deruiter, S, Madsen PT (2010) Click communication in harbour porpoises *Phocoena phocoena*. *Bioacoustics* 20: 1-28

- Clausen KT, Teilmann J, Wisniewska DM, Balle JD, Delefosse, M, van Beest FM (2021) Echolocation activity of harbour porpoises, *Phocoena phocoena*, shows seasonal artificial reef attraction despite elevated noise levels close to oil and gas platforms. *Ecological Solutions and Evidence* 2021: 2:e12055
- Clausen KT, Tougaard J, Carstensen J, Delfoss M, Teilmann J (2019) Noise affects porpoise click detection – the magnitude of the effect depends on logger type and detection filter settings. *Bioacoustics* 28: 443-458
- Coates DA, Deschutter Y, Vincx M, Vanaverbeke J (2014) Enrichment and shifts in macrobenthic assemblages in an offshore wind farm area in the Belgian part of the North Sea. *Marine Environmental Research* 95: 1–12
- Coates DA, van Hoey G, Colson L, Vincx M, Vanaverbeke J (2015) Rapid macrobenthic recovery after dredging activities in an offshore wind farm in the Belgian part of the North Sea. *Hydrobiologia* 756: 3–18
- Cole S, Moksnes P-O, Söderqvist T, Wikström SA, Sundblad G, Hasselström L, Bergström U, Kraufvelin P, Bergström L (2021) Environmental compensation for biodiversity and ecosystem services: a flexible framework that addresses human wellbeing. *Ecosystem Services* 50: 101319
- Cook ASCP, Johnston A, Wright LJ, Burton NHK (2012) Strategic Ornithological Support Services. Project SOSS-02. A review of flight heights and avoidance rates of birds in relation to offshore wind farms. BTO Research Report Number 618
- Coolen JWP, van der Weide B, Cuperus J, Blomberg M, Van Moorsel GWNM, Faasse MA, Bos OG, Degraer S, Lindeboom HJ (2020) Benthic biodiversity on old platforms, young wind farms, and rocky reefs. *ICES Journal of Marine Science* 77: 1250-1265
- Copping A, Smith C, Hanna L, Battey H, Whiting J, Reed M, Brown-Saracino J, (...), Massaua M (2013) Tethys: Developing a commons for understanding environmental effects of ocean renewable energy. *International Journal of Marine Energy* 3-4: 41-51
- Cuttat F, Skov H (2020) Seabird cumulative collision risk. SEANSE. Rapport från DHI.
- Czech-Damal N (2007) Funktionsmorphologie und postnatale transformation der Vibrissenkrypten bei Zahnwalen (Odontoceti). PhD avhandling på tyska (engelsk titel: Functional morphology and postnatal transformation of vibrissal crypts in toothed whales (Odontoceti)), Ruhr-Universität Bochum, Tyskland
- Czech-Damal NU, Liebschner A, Miersch L, Klauer G, Hanke FD, Marshall CD, ... Hanke W (2012) Electroreception in the Guiana dolphin (*Sotalia guianensis*). *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 279: 663-668
- Dafforn KA, Glasby TM, Airoidi L, Rivero NK, Mayer-Pinto M, Johnston EL (2015) Marine urbanization: an ecological framework for designing multifunctional artificial structures. *Frontiers in Ecology and the Environment* 13: 82–90
- Dannheim J, Bergström L, Birchenough SNR, Brzana R, Boon AR, Coolen JWP, Dauvin J-C, De Mesel I, Derweduwen J, Gill AB, Hutchison ZL, Jackson AC, Janas U, Martin G, Raoux A, Reubens J, Rostin L, Vanaverbeke J, Wilding TA, Wilhelmsson D, Degraer S (2020) Benthic effects of offshore renewables: identification of knowledge gaps and urgently needed research. *ICES Journal of Marine Science* 77: 1092-1108

De Madron XD, Ferré B, Le Corre G, Grenz C, Conan P, Pujo-Pay M, Buscaill R, Bodiot O (2005) Trawling-induced resuspension and dispersal of muddy sediments and dissolved elements in the Gulf of Lion (NW Mediterranean). *Continental Shelf Research* 25: 2387–2409

De Mesel I, Kerckhof F, Norro A, Rumes B, Degraer S (2015) Succession and seasonal dynamics of the epifauna community on offshore wind farm foundations and their role as stepping stones for non-indigenous species. *Hydrobiologia* 756: 37–50

De Troch M, Reubens JT, Heirman E, Degraer S, Vincx M (2013) Energy profiling of demersal fish: A case study in wind farm artificial reefs. *Marine Environmental Research* 92: 224–233

Debusschere E, Hostens K, Adriaens D, Ampe B, Botteldooren D, De Boeck G, De Muynck A, Kumar Sinha A, Vandendriessche S, Van Hoorebeke L, Vincx M, Degraer S (2016) Acoustic stress responses in juvenile sea bass *Dicentrarchus labrax* induced by offshore pile driving. *Environmental Pollution* 208: 747–757

Degraer S, Carey DA, Coolen JW, Hutchison ZL, Kerckhof F, Rumes B, Vanaverbeke J (2020) Offshore wind farm artificial reefs affect ecosystem structure and functioning: A synthesis. *Oceanography* 33: 48–57

Degraer S, Brabandt R, Rumes B, Vigin L (Red.) (2021). Environmental impacts of offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea: Attraction, avoidance and habitat use at various spatial scales. *Memoirs on the Marine Environment*. Bryssel: Royal Belgian Institute of Natural Sciences, PD Natural Environment, Marine Ecology and management

Dehnhardt G (1998) Seal whiskers detect water movements. *Nature* 235–236

Dehnhardt G, Mauck B, Hanke W, Bleckmann H (2001) Hydrodynamic trail-following in Harbor seals (*Phoca vitulina*). *Science* 293: 102–104

Dempster T (2005) Temporal variability of pelagic fish assemblages around fish aggregation devices: biological and physical influences. *Journal of Fish Biology* 66: 1237–1260

Depellegrin D, Hansen HS, Schrøde L, Bergström L, Romagnoni G, Steenbeek J, Gonçalves M, Carneiro G, Hammar L, Pålsson J, Schmidtbauer Crona J, Hume D, Kotta J, Fetissov, M, Miloš A, Kaitaranta J, Menegon S (2021) Current status, advancements and development needs of geospatial decision support tools for marine spatial planning in European Seas. *Ocean and Coastal management* 209: 105644

Di Carlo G, Kenworthy WJ (2008) Evaluation of aboveground and belowground biomass recovery in physically disturbed seagrass beds. *Oecologia* 158: 285–298

Didrikas T, Wijkmark N (2009) Möjliga effekter på fisk vid anläggning och drift av vindkraft park på storgrundet. *Aquabiota Notes* 2

Dierschke V, Furness RW, Garthe S (2016) Seabirds and offshore winds in European waters: avoidance and attraction. *Biological Conservation* 202: 59–68

Dong Energy, Vattenfall, Danish Energy Authority, The Danish Forest & Nature Agency (2006) Danish offshore wind-key environmental issues. *Prinfo Holbak-Hedehusene, Denmark*

- Dons S, Jensen DJ, Struve A, Nielsen B (2016) Vindeby Havmollepark; DONG Energy. pp. 1–61. [https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Vindenergi/miljoevurdering\\_for\\_nedtagning\\_af\\_vindeby\\_havmoellpark\\_inkl\\_bilag.pdf](https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Vindenergi/miljoevurdering_for_nedtagning_af_vindeby_havmoellpark_inkl_bilag.pdf)
- Dunlop ES, Reid SM, Murrant M (2016) Limited influence of a wind power project submarine cable on a Laurentian Great Lakes fish community. *Journal of Applied Ichthyology* 32: 18-31
- Dyndo M, Wiśniewska DM, Rojano-Doñate L, Madsen PT. (2015) Harbour porpoises react to low levels of high frequency vessel noise. *Scientific Reports* 5: 11083
- Dähne M, Gilles A, Lucke K, Peschko V, Adler S, Krügel K, Sundemeyer J, Siebert U (2013) Effects of pile-driving on harbour porpoises (*Phocoena phocoena*) at the first offshore wind farm in Germany. *Environmental Research Letters* 8: 16
- Dähne M, Tougaard J, Carstensen J, Rose A, Nabe-Nielsen J (2017) Bubble curtains attenuate noise from offshore wind farm construction and reduce temporary habitat loss for harbour porpoises. *Marine Ecology Progress Series* 580: 221-237
- EC (2008) Europaparlamentets och rådets direktiv 2008/56/EG av den 17 juni 2008 om upprättande av en ram för gemenskapens åtgärder på havsmiljöpolitikens område (Ramdirektiv om en marin strategi) OJ L 164, 25.6.2008
- EC (2014) Directive 2014/89/EU of the European Parliament and of the Council of 23 July 2014 establishing a framework for maritime spatial planning. OJ L 257
- EC (2017) Kommissionens direktiv (EU) 2017/845 av den 17 maj 2017 om ändring av Europaparlamentets och rådets direktiv 2008/56/EG vad gäller de vägledande förteckningar över faktorer som ska beaktas vid utarbetandet av marina strategier. L 125/27
- EC (2019) Meddelande från kommissionen till Europaparlamentet, Europeiska rådet, Rådet, Europeiska ekonomiska och sociala kommittén samt Regionkommittén. Den europeiska gröna given. COM/2019/640 final
- EC (2020) European Commission notice: Guidance document on wind energy developments and EU nature legislation
- Edrén SMC, Andersen SM, Teilmann J, Carstensen J, Harders PB, Dietz R, Miller LA (2010) The effect of a large Danish offshore wind farm on harbor and gray seal haul-out behavior. *Marine Mammal Science* 26: 614-634
- EEC (1992) Council Directive 92/43/EEC of 21 May 1992 on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora. *Official Journal*, L 206
- EEC (2020) Guidance document on wind energy developments and EU nature legislation. Commission notice, European Commission
- Egriell N, Ulmestrand M, Andersson J, Gustavsson B, Lundälv T, Erlandsson C, Jonsson L, Åhsberg T (2007) Hummerrevsprojektet, slutrapport 2007. Konstgjorda rev i Göteborgs skärgård (år 2002–2007). Rapport 2007:40. Länsstyrelsen i Västra Götalands län
- Eighania M, Paighambaria SY, Taquetb M, Gaertner JC (2019) Introducing nearshore fish aggregation devices (FAD) to artisanal Persian Gulf fisheries: A preliminary study. *Fisheries Research* 212: 35–39

- Energimyndigheten (2019) 100 procent förnybar el- Delrapport 2 – Scenarier, vägval och utmaningar. ER 2019:6
- Energimyndigheten (2021a) Energiindikatorer 2021. Uppföljning av Sveriges energipolitiska mål. ER 2021:10
- Energimyndigheten (2021b) Statistikdatabas. <https://pxexternal.energimyndigheten.se/pxweb/sv/Vindkraftsstatistik/>
- ESCA (2019) An introduction to subsea cables around the UK and North-western Europe. European Subsea Cables Association Report
- Eriander L, Laas K, Bergström P, Gipperth L, Moksnes PO (2017) The effects of small-scale coastal development on the eelgrass (*Zostera marina* L.) distribution along the Swedish west coast—Ecological impact and legal challenges. *Ocean & coastal management* 148: 182–194
- Erlandsson M, Fredriksson R, Bergström U (2021) Kartering av uppväxtomraden för fisk i grunda områden i Östersjön. Aqua Reports 2021:17. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för akvatiska resurser, Öregrund, Drottningholm, Lysekil.
- Essink K (1999) Ecological effects of dumping of dredged sediments; options for management. *Journal of Coastal Conservation* 5: 69–80, <https://doi.org/10.1007/BF02802741>
- Farr H, Ruttenberg B, Walter RK, Wang Y-H, White C (2021) Potential environmental effects of deepwater floating offshore wind energy facilities. *Ocean and Coastal Management* 207: 105611
- Finneran JJ (2015) Noise-induced hearing loss in marine mammals: A review of temporary threshold shift studies from 1996 to 2015. *Journal of the Acoustic Society of America* 138: 1702–1726
- Firth L, Knights A, Bridger D, Evans A, Mieszkowska N, Moore P, O'Connor N, Sheehan E, Thompson R, Hawkins S (2016) Ocean sprawl: Challenges and opportunities for biodiversity management in a changing world. In: Hughes RN, Hughes DJ, Smith IP, Dale AC (eds) *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review* 54: 189–262. Taylor & Francis
- Folegot T, Clorennec D, Chavanne R, Gallou R. (2016). Mapping of ambient noise for BIAS. Quiet-Oceans technical report QO.20130203.01.RAP.001.01B, Brest, France, December 2016
- Fowler AM, Jørgensen A-M, Svendsen JC, Macreadie PI, Jones DO, Boon AR, Booth DJ, Brabant R, Callahan E, Claisse JT, Dahlgren TG, Degraer S, Dokken QR, Gill AB, Johns DG, Leewis RJ, Lindeboom HJ, Linden O, May R, Murk AJ, Ottersen G, Schroeder DM, Shastri SM, Teilmann J, Todd V, Van Hoey G, Vanaverbeke J, Coolen JW (2018) Environmental benefits of leaving offshore infrastructure in the ocean. *Frontiers in Ecology and the Environment* 16: 571-578
- Fox AD, Petersen IK (2019) Offshore wind farms and their effects on birds. *Dansk ornithologisk forenings tidsskrift* 113: 86-101
- Fredriksson R, Erlandsson M, Bergström U (2021) Kartering av uppväxtomraden för fisk och större kräftdjur i grunda områden i Västerhavet. Aqua Reports 2021:15. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för akvatiska resurser, Öregrund, Drottningholm, Lysekil.

- Gall AB, Graham IM, Merchant ND, Thompson PM (2021) Broad-scale response of harbour porpoises to pile-driving and vessel activities during offshore windfarm construction. *Frontiers in Marine Science* 8: 664724
- Gallagher CA, Grimm V, Kyhn LA, Kinze CC, Nabe-Nielsen J (2021) Movement and Seasonal Energetics Mediate Vulnerability to Disturbance in Marine Mammal Populations. *The American Naturalist* 197: 296-311
- Giakoumi S, Scianna C, Plass-Johnson J, Micheli F, Grorud-Colvert K, Thiriet P, Claudet J, Di Carlo G, Di Franco A, Gaines SD, García-Charton JA, Lubchenco J, Reimer J, Sala E, Guidetti P (2017) Ecological effects of full and partial protection in the crowded Mediterranean Sea: a regional meta-analysis. *Scientific Reports* 7(1): 1-12
- Glarou M, Zrust M, Svendsen JC (2020) Using artificial-reef knowledge to enhance the ecological function of offshore wind turbine foundations: Implications for fish abundance and diversity. *Journal of Marine Science and Engineering* 8(5): 332
- Glasby TM, Connell SD (1999) Urban Structures as Marine Habitats. *Ambio* 28: 595-598
- Gollasch S, Rosenthal H (2006) The Kiel Canal. The world's busiest man-made waterway and biological invasions. I: Gollasch S, Falil BS, Cohen AN (Red) *Bridging Divides: maritime canals as invasion corridors. Monographiae Biologicae* 83. Springer.
- Graham IM, Merchant ND, Farcas A, Barton TR, Cheney B, Bono S, Thompson PM (2019) Harbour porpoise responses to pile-driving diminish over time. *Royal Society Open Science* 6: 190335
- GWEC (2021) Global Wind Energy Council. Global Wind Report 2021. <https://gwec.net/wp-content/uploads/2021/03/GWEC-Global-Wind-Report-2021.pdf>
- Halpern BS, Lester SE, Kellner JB (2009) Spillover from marine reserves and the replenishment of fished stocks. *Environmental Conservation* 36: 268-276.
- Halvorsen MB, Casper BM, Woodley CM, Carlson TJ, Popper AN (2011) Predicting and mitigating hydroacoustic impacts on fish from pile installations. NCHRP Research Results Digest 363, Project 25-28, National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington D.C. <http://www.trb.org/Publications/Blurbs/166159.aspx>
- Hammar J, Johansson A, Axelsson M (2021) Underlag kring seismiska undersökningar till havs och dess påverkan på tumlare i Östersjön. Medins Havs och Vattenkonsulter AB
- Hammar L, Magnusson M, Rosenberg R, Granmo Å (2009) Miljöeffekter vid muddring och dumpning: en litteratursammanställning. Naturvårdsverket. Rapport No. 5999
- Hammar, L, Wikström A, Molander S (2014) Assessing ecological risks of offshore wind power on Kattegat cod. *Renewable Energy* 66: 414-424
- Hammar L, Perry D, Gullström M (2016) Offshore Wind Power for Marine Conservation. *Open Journal of Marine Science* 6: 66-78



- Hammar L, Molander S, Pålsson J, Schmidtbauer Crona J, Carneiro G, Johansson T, Hume D, Kågesten G, Mattsson D, Törnqvist O, Zillén L, Mattsson M, Bergström U, Perry D, Caldow C, Andersen JH (2020) Cumulative impact assessment for eco-system-based marine spatial planning. *Science of The Total Environment* 734: 139024
- Hanke W, Römer R, Dehnhardt G (2006) Visual fields and eye movements in a harbour seal (*Phoca vitulina*). *Vision Research* 46: 2804-2814
- Hanke F, Dehnhardt G (2009) Aerial visual acuity in harbor seals (*Phoca vitulina*) as a function of luminance. *Journal of Comparative Physiology A-Neuroethology Sensory Neural and Behavioral Physiology* 195: 643-650
- Harris RE, Miller GW, Richardson WJ (2001) Seal responses to air gun sounds during summer seismic surveys in the Alaskan Beaufort Sea. *Marine Mammal Science* 17: 795-812
- Hastie GD, Lepper P, McKnight JC, Milne R, Russel DJF, Thompson D (2021) Acoustic risk balancing by marine mammals: anthropogenic noise can influence the foraging decisions by seals. *Journal of Applied Ecology* 58: 1854-1863
- Havs- och vattenmyndigheten (2018) Marin strategi för Nordsjön och Östersjön 2018–2023. Bedömning av miljötillstånd och socioekonomisk analys. Havs- och vattenmyndighetens rapport 2018:27
- Havs- och vattenmyndigheten (2019) Havsplaner för Bottniska viken, Östersjön och Västerhavet Statlig planering i territorialhav och ekonomisk zon. Havs- och vattenmyndigheten DNr 3628-2019, <https://www.havochvatten.se/download/18.4705beb516f0bcf57ce1b184/1604327609565/forslag-till-havsplaner.pdf>
- Havs- och vattenmyndigheten (2021) (Havs- och vattenmyndigheten) Fisk- och skaldjursbestånd i hav och sötvatten 2020 – Resursöversikt. Havs- och vattenmyndigheten rapport 2021:6
- Hawkins AD, Roberts D, Chessman S (2014) Responses of free-living coastal pelagic fish to impulsive sounds. *Journal of the Acoustical Society of America* 135: 3101
- Hawkins, AD (2020) The potential impact of offshore wind farms on fishes and invertebrates. *Advances in Oceanography and Marine Biology* 2: 1-2
- Hawkins AD, Hazelwood RA, Popper AN, Macey PC (2021) Substrate vibrations and their potential effects upon fishes and invertebrates. *Journal of the Acoustic Society of America* 149: 2782-2790
- Heery EC, Sebens KP (2018) Artificial structures as a source of elevated detrital loads for sedimentary environments. *Bulletin of Marine Science* 94: 1429–1446
- Heinänen S, Skov H (2018) Offshore Wind Farm Eneco Luchterduinen. Ecological monitoring of Seabirds. T3 (Final) report
- HELCOM (2013) HELCOM Red List Species Information Sheets (SIS). Macrophytes
- HELCOM (2018) State of the Baltic Sea report. Second HELCOM holistic assessment 2011–2016. *Baltic Sea Sea Environment Proceedings* 155
- HELCOM, Baltic Earth (2021) Climate Change in the Baltic Sea. 2021 Fact Sheet. *Baltic Sea Environment Proceedings* 180
- HELCOM (2022). Cumulative impact assessment toolbox. <https://github.com/helcomsecretariat/Cumulative-impact-Assessment-Toolbox>

- Henry L-A, Mayorga-Adame CG, Fox AD, Polton JA, Ferris JS, McLellan F, McCabe C, Kutti T, Roberts JM (2018) Ocean sprawl facilitates dispersal and connectivity of protected species. *Scientific Reports* 8: 11346
- Herbert-Read JF, Kremer L, Bruintjes R, Radford AN, Ioannou CC (2017). Anthropogenic noise pollution from pile-driving disrupts the structure and dynamics of fish shoals *Proc Biol Sci* 284(1863):20171627. doi: 10.1098/rspb.2017.1627.
- Hermanssen L, Beedholm K, Tougaard J, Madsen PT (2014) High frequency components of ship noise in shallow water with a discussion of implications for harbor porpoises (*Phocoena phocoena*). *Journal of the Acoustic Society of America* 136: 1640-1653
- Hermans A, Bos OG, Prusina I (2020) Nature inclusive Design: A Catalogue for Offshore Wind Infrastructure: Technical report no. 114266/20-004.274, Den Haag: Witteveen+Bos, 120 s.
- Hiddink JG, Moranta J, Balestrini S, Sciberras M, Cendrier M, Bowyer R, Kaiser MJ, Sköld M, Jonsson P, Bastardie F, Hinz H (2016) Bottom trawling affects fish condition through changes in the ratio of prey availability to density of competitors. *Journal of Applied Ecology* 53: 1500-1510
- Hinz H, Moranta J, Balestrini S, Sciberras M, Pantin JR, Monnington J, Zalewski A, Kaiser MJ, Sköld M, Jonsson P, Bastardie F, Hiddink JG (2017) Stable isotopes reveal the effect of trawl fisheries on the diet of commercially exploited species. *Scientific Reports* 7: 6334
- Hoekeendijk JPA, Spitz J, Read AJ, Leopold MF, Fontaine MC (2018) Resilience of harbor porpoises to anthropogenic disturbance: Must they feed continuously? *Marine Mammal Science* 34: 258-264
- Højgård Petersen A, Clausen P, Gamfelt L, Hansen JLS, Norling P, Roth E, Svedäng H, Tunón H (2018) The Sound: Biodiversity and ecosystem services in a densely populated and heavily exploited area. I: Tunón (Red): Biodiversity and ecosystem services in Nordic coastal ecosystems: an IPBES-like assessment. Volume 2. The geographical case studies. *TemaNord* 2018:532. Nordic Council of Ministers
- Hutchison ZL, Bartley M, Degraer S, English P, Khan A, Livermore J, Rumes B, King J (2020a) Offshore Wind Energy and Benthic Habitat Changes: Lessons from Block Island Wind Farm. *Oceanography* 33: 58–69, <https://doi.org/10.5670/oceanog.2020.406>
- Hutchison ZL, Gill AB, Sigray P, He H, King JW (2020b) Anthropogenic electromagnetic fields (EMF) influence the behaviour of bottom-dwelling marine species. *Scientific Reports* 10: 4219
- Hüffmeier J, Goldberg M (2019) 2030 and 2050 Baltic Sea Energy Scenarios. Report from the EU Interreg project for the Baltic Sea Region: BalticLINes. Date 22 March 2019. <https://vasab.org/wpcontent/uploads/2019/05/Baltic-LINes-2030-and-2050-Baltic-Sea-Energy-Scenarios.pdf>
- Hylkema A, Debrot AO, Osinga R, Brona PS, Heesink DB, Izioka AK, Reida CB, Rippena JC, Treibitze T, Matan Yuvale M, Murk AJ (2020) Fish assemblages of three common artificial reef designs during early colonization. *Ecological Engineering* 157: 105994

- Hüttner T, von Fersen L, Miersch L, Czech NU, Dehnhardt G (2021) Behavioral and anatomical evidence for electroreception in the bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*). *Anatomical Records* 2021: 1-17
- Hvidt CB, Brunner L, Knudsen FR (2005) Hydroacoustic monitoring of fish communities in offshore wind farms. Annual Report 2004, Horns Rev Offshore Wind Farm: 33
- IPBES (2019) Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Brondizio, E S, Settele, J, Díaz, S, Ngo, HT (red). IPBES secretariat, Bonn, Germany
- IPCC (2019) IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. Pörtner H-O, Roberts DC, Masson-Delmotte V, Zhai P, Tignor M, Poloczanska E, Mintenbeck K, Alegría A, Nicolai M, Okem A, Petzold J, Rama B, Weyer NM (red.)
- IPCC (2021) Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte V, Zhai P, Pirani A, Connors SL, Péan C, Berger S, Caud N, Chen Y, Goldfarb L, Gomis MI, Huang M, Leitzell K, Lonnoy E, Matthews JBR, Maycock TK, Waterfield T, Yelekçi O, Yu R, Zhou B(red)]. Cambridge University Press
- IPCC (2018) Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty
- Ivanov E, Capet A, De Borger E, Degraer S, Delhez EJM, Soetaert K, m.fl. (2021) Offshore wind farm footprint on organic and mineral particle flux to the bottom. *Frontiers in Marine Science*. doi:10.3389/fmars.2021.631799
- JNCC (2010) (Joint Nature Conservation Committee) Statutory nature conservation agency protocol for minimising the risk of injury to marine mammals from piling noise. Aberdeen.
- JNCC (2017) (Joint Nature Conservation Committee) JNCC guidelines for minimising the risk of injury and disturbance to marine mammals from seismic surveys, Aberdeen.
- Jack T (2022) Offshore Wind Energy Permitting Processes in the European Union. An examination of Danish, German, Scottish and Swedish permitting processes, and case study of acoustic impact on marine mammals. MSc Avhandling. Stockholms universitet, Sverige.
- Jansen JK, Brady GM, Ver Hoef JM, Boveng PL (2015) Spatially Estimating Disturbance of Harbor Seals (*Phoca vitulina*). *PLoS ONE* 10(7): e0129798
- Jézéquel Y, Bonnel J, Chauvaud L (2021) Potential for acoustic masking due to shipping noise in the European lobster (*Homarus gammarus*). *Marine Pollution Bulletin* 173: 112934
- Jones EL, Hastie GD, Smout S, Onoufriou J, Merchant ND, Brookes KL, Thompson D (2017) Seals and shipping: quantifying population risk and individual exposure to vessel noise. *Journal of Applied Ecology* 54: 1930-1940

- Jonsson L (2010) Inventering med ROV av epibottenfauna – för uppföljning av effekterna av det reglerade räkrålsket i Gullmarn. Länsstyrelsen Västra Götalands län. Rapport 2011:02 <https://www.lansstyrelsen.se/vastra-gotaland/tjanster/publikationer/2011/inventering-med-rov-av-epibottenfauna.html>
- Jonsson, PR, Hammar L, Wåhlström I, Pålsson J, Hume D, Almroth-Rosell E, Mattsson M (2021) Combining seascape connectivity with cumulative impact assessment in support of ecosystem-based marine spatial planning. *Journal of Applied Ecology* 58: 576-586
- Johnston DD, Wildish DJ (1982) Effect of suspended sediment on feeding by larval herring (*Clupea harengus*). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 29: 261-267
- Kaiser MJ, Clarke KR, Hinz H, Austen MCV, Somerfield PJ, Karakassis I (2006) Global analysis of response and recovery of benthic biota to fishing. *Marine Ecology Progress Series* 311: 1-14
- Karlsson L (1985) Behavioural responses of European silver eel (*Anguilla anguilla*) to the geomagnetic field. *Helgolander Meeresuntersuchungen* 39: 71-81
- Karlsson M, Kraufvelin P, Östman Ö (2020) Kunskapsmanställning om effekter på fisk och skaldjur av muddring och dumpning i akvatiska miljöer. En syntes av grumlingens dos och varaktighet. *Aqua Reports 2020:1*. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för akvatiska resurser, Öregrund Drottningholm Lysekil.
- Kastelein RA, Bunschoek P, Hagedoorn M, Au WWL, de Haan D (2002) Audiogram of a harbour porpoise (*Phocoena phocoena*) measured with narrow-band frequency-modulated signals. *Journal of the Acoustical Society of America* 112: 334-344
- Kastak D, Southall BL, Schusterman RJ, Reichmuth Kastak C (2005) Underwater temporary threshold shift in pinnipeds: Effects of noise level and duration. *Journal of the Acoustical Society of America* 118: 3154-3163
- Kastak D, Mulsow J, Ghaul A, Reichmuth C (2008) Noise-induced permanent threshold shift in a harbor seal. *Journal of the Acoustical Society of America* 123: 2986
- Kastelein RA, Hoek L, de Jong CAF, Wensveen PJ (2010) The effect of signal duration on the underwater detection thresholds of a harbor porpoise (*Phocoena phocoena*) for single frequency-modulated tonal signals between 0.25 and 160 khz. *Journal of the Acoustical Society of America* 128: 3211-3222
- Kastelein RA, Gransier R, Hoek L, Olthuis J (2012) Temporary threshold shifts and recovery in a harbor porpoise (*Phocoena phocoena*) after octave-band noise at 4khz. *Journal of the Acoustical Society of America* 132: 3525–3537
- Kastelein RA, Gransier R, Hoek L (2013) Comparative temporary threshold shifts in a harbor porpoise and harbor seal, and severe shift in a seal (L). *Journal of the Acoustical Society of America* 134: 13-16
- Kastelein RA, Gransier R, Schop J, Hoek L (2015a) Effects of exposure to intermittent and continuous 6–7 kHz sonar sweeps on harbor porpoise (*Phocoena phocoena*) hearing. *Journal of the Acoustical Society of America* 137: 1623-1633
- Kastelein RA, Gransier R, Marijt MAT, Hoek L (2015b) Hearing frequency thresholds of harbor porpoises (*Phocoena phocoena*) temporarily affected by played back off-shore pile driving sounds. *Journal of the Acoustical Society of America* 137: 556-564

- Kastelein RA, Helder-Hoek L, Covi J, Gransier R (2016) Pile driving playback sounds and temporary threshold shift in harbour porpoises (*Phocoena phocoena*): Effect of exposure duration. *Journal of the Acoustical Society of America* 139: 2842-2851
- Kastelein RA, Helder-Hoek L, Van de Voorde S, von Benda-Beckmann AM Lam F-PA, Jansen E, de Jong CAF, Ainslie MA (2017) Temporary hearing threshold shift in a harbor porpoise (*Phocoena phocoena*) after exposure to multiple airgun sounds *Journal of the Acoustical Society of America* 142: 2430-2442
- Kastelein RA, Helder-Hoek L, Van de Voorde S, de Winter S, Janssen S, Ainslie MA (2018) Behavioral responses of harbor porpoises (*Phocoena phocoena*) to sonar playback sequences of sweeps and tones (3.5–4.1 kHz). *Aquatic Mammals* 44: 389-404
- Kastelein R.A, Helder-Hoek L, van Kester R, Huisman R, Gransier R (2019) Temporary hearing threshold shift in harbor porpoises (*Phocoena phocoena*) due to one-sixth octave noise band at 16 kHz. *Aquatic Mammals* 45: 280-292
- Ketten DR (2004) Experimental measures of blast and acoustic trauma in marine mammals Office of Naval Research. ONR Final Report N000149711030.
- Ketten DR (2012) Marine mammal auditory system noise impacts: evidence and incidence. I: AN Popper och A Hawkins (Red) *The Effects of Noise on Aquatic Life, Advances in Experimental Medicine and Biology* 730. Springer Science + Business Media, LLC 2012
- Kautsky L, Kautsky N (2000) The Baltic Sea, including Bothnian Sea and Bothnian Bay (chapter 8). I: Sheppard CRC (Red.) *Seas at the millennium: an environmental evaluation: 1. Regional chapters: Europe, The Americas and West Africa.* s. 121–133
- Kerckhof F, Rumes B, Degraer S (2019) About “mytilisation” and “slimeification”: A decade of succession of the fouling assemblages on wind turbines off the Belgian coast. I: Degraer S, Brabant R, Rumes B, Vigin L (Red.) *Environmental Impacts of Offshore Wind Farms in the Belgian Part of the North Sea: Marking a Decade of Monitoring, Research and Innovation.* Royal Belgian Institute of Natural Sciences, OD Natural Environment, Marine Ecology and Management, Brussels, s. 73–84
- Kikuchi R (2010) Risk formulation for the sonic effects of offshore wind farms on fish in the EU region. *Marine Pollution Bulletin* 60(2): 172-177
- Kinlan BP, Gaines SD (2003) Propagule dispersal in marine and terrestrial environments: a community perspective. *Ecology* 84: 2007-2020
- Kjelland ME, Woodley CM, Swannack TM, Smith DL (2015) A review of the potential effects of suspended sediment on fishes: potential dredging-related physiological, behavioral, and transgenerational implications. *Environment Systems and Decisions* 35: 334-350
- Klinowska M (1990) Geomagnetic orientation in cetaceans: behavioural evidence. I: *Sensory Abilities of Cetaceans* (JA Thomas and RA Kastelein, Eds.): s. 651-663
- Koehler B, Erlandsson M, Karlsson M, Bergström L (2022). Species richness and functional attributes of fish assemblages across a large-scale salinity gradient in shallow coastal areas. *Biogeosciences* 19(8): 2295-2312.
- Korpinen S, Laamanen L, Bergström, L, Nurmi, M, Andersen, JH, Haapaniemi, J, Harvey ET, Myrreay CJ, Reker J (2021). Combined effects of human pressures on Europe’s marine ecosystems. *Ambio* 50: 1325–1336

- Kotta J, Futter M, Kaasik A, Liversage K, Rätsep M, Barboza FR, Bergström L, Bergström P, Virtanen E (2020) Response to a letter to editor regarding Kotta et al. 2020: Cleaning up seas using blue growth initiatives: Mussel farming for eutrophication control in the Baltic Sea. *Science of the Total Environment* 739: 138712
- Kraufvelin P, Bryhn A, Kling J, Olsson J (2021) Fysisk påverkan i kusten och effekter på ekosystemen. Havs- och vattenmyndighetens rapport 2020:27
- Kraufvelin P, Bergström L, Sundqvist F, Ulmestrand M, Wennhage H, Wikström A, Bergström U (under bearbetning) Rapid re-establishment of top-down control at a no-take artificial reef.
- Krone R, Gutow L, Brey T, Dannheim J, Schröder A (2013) Mobile demersal megafauna at artificial structures in the German Bight – Likely effects of offshore wind farm development. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 125: 1–9
- Krone R, Dederer G, Kanstinger P, Krämer P, Schneider C, Schmalenbach I (2017) Mobile demersal megafauna at common offshore wind turbine foundations in the German Bight (North Sea) two years after deployment – increased production rate of *Cancer pagurus*. *Marine Environmental Research* 123: 53-61
- Krylov VV, Izyumov YG, Izvekov EI, Nepomnyashchikh VA (2014) Magnetic fields and fish behaviour. *Biology Bulletin Reviews* 4: 222–231
- Lagenfelt I, Andersson I, Westerberg H (2012) Blankalsvandring, vindkraft och växelströmsfält. Naturvårdsverket. Rapport No. 6479. En rapport från kunskapsprogrammet Vindval.
- Lagerveld S, Noort CA, Meesters L, Bach L, Bach P, Geelhoed SCV (2020) Assessing fatality risk of bats at offshore wind turbines. Wageningen Marine Research report C025/20
- Langhamer O, Wilhelmsson D (2009) Colonisation of fish and crabs of wave energy foundations and the effects of manufactured holes – A field experiment. *Marine Environmental Research* 68: 151-157
- Langhamer O, Dahlgren T, Rosenqvist G (2018) Effect of an offshore wind farm on the viviparous eelpout: Biometrics, brood development and population studies in Lillgrund, Sweden. *Ecological Indicators* 84. 10.1016/j.ecolind.2017.08.035
- Larsen F, Kindt-Larsen L, Kirk Sørensen T, Glemarec G (2021) Bycatch of marine mammals and seabirds. Occurrence and mitigation. DTU-AQUA Report 389-2021
- Last K, Hendrick V, Beveridge C, Davies AJ (2011) Measuring the effects of suspended particulate matter and burial on the behaviour, growth and survival of key species found in areas associated with aggregate dredging. ISBN 9780907545682
- Lefaible N, Colson L, Braeckman U, Moens T (2019) Evaluation of turbine-related impacts on macrobenthic communities within two offshore wind farms during the operational phase. I: Degraer S, Brabant R, Rumes B, Vigin L (Eds.) *Environmental Impacts of Offshore Wind Farms in the Belgian Part of the North Sea: Marking a Decade of May*, R et al. (2021) Life-cycle impacts of wind energy development on bird diversity in Norway. *Environmental Impact Assessment Review* 90 Monitoring, Research and Innovation. Royal Belgian Institute of Natural Sciences, OD Natural Environment, Marine Ecology and Management, Bryssel, s. 47–64

Lester SE, Halpern BS, Grorud-Colvert K, Lubchenco J, Ruttenberg BI, Gaines SD, Airmamé S, Warner RR (2009) Biological effects within no-take marine reserves: a global synthesis. *Marine Ecology Progress Series* 384: 33-46

Lindeboom HJ, Kouwenhoven HJ, Bergman MJN, Bouma S, Brasseur S, Daan R, Fijn RC, de Haan D, Dirksen S, van Hal R, Hille Ris Lambers R, ter Hofstede R, Krijgsveld KL, Leopold M, Scheidat M (2011) Short-term ecological effects of an offshore wind farm in the Dutch coastal zone; a compilation. *Environmental Research Letters* 6: 035101

Linley EAS, Wilding TA, Black K, Hawkins AJS, Mangi S (2007) Review of the reef effects of offshore wind farm structures and their potential for enhancement and mitigation. Report from PML Applications Ltd and the Scottish Association for Marine Science to the Department for Business, Enterprise and Regulatory Reform (BERR), Contract No: RFCA/005/0029P

Lowe ML, Morrison MA, Taylor RB (2015) Harmful effects of sediment-induced turbidity on juvenile fish in estuaries. *Marine Ecology Progress Series* 539: 241-254

Lucke K, Siebert U, Lepper PA, Blanchet MA (2009) Temporary shift in masked hearing thresholds in a harbor porpoise (*Phocoena phocoena*) after exposure to seismic airgun stimuli. *Journal of the Acoustic Society of America* 125: 4060-4070

Malafray M, Öhman MC (2022) Rättsliga förutsättningar för havsbaserad vindkraft. Naturvårdsverket. Rapport No. 7028. En rapport från kunskapsprogrammet Vindval.

Malm T, Engkvist R (2011) Bentiska processer på och runt artificiella strukturer i Sveriges kustvatten. Naturvårdsverket. Rapport No. 6414. En rapport från kunskapsprogrammet Vindval.

Matthews LP, Fournet MEH, Gabriele C, Klinck H, Parks SE (2020) Acoustically advertising male harbour seals in southeast Alaska do not make biologically relevant acoustic adjustments in the presence of vessel noise. *Biology Letters* 16: 20190795.

Mauck B, Gläser N, Schlosser W, Dehnhardt G (2008) Harbour seals (*Phoca vitulina*) can steer by the stars. *Animal Cognition* 11: 715-71

Mavraki N, Degraer S, Vanaverbeke J (2021) Offshore wind farms and the attraction-production hypothesis: insights from a combination of stomach content and stable isotope analyses. *Hydrobiologia* 848: 1639-1657

May R, Nygård t, Falkdalen U, Åström J, Hamre Ø, Stokke BG (2020) Paint it black: efficacy of increased wind turbine rotor blade to reduce avian fatalities. *Ecology and Evolution* 10: 8927-8935

McGregor RM, King S, Donovan CR, Caneco B, Webb A (2018) A stochastic collision risk model for seabirds in flight. HiDef and BioConsult SH for Marine Scotland. Document number: HC0010-400-001

McLean D L, Ferreira LC, Benthuisen JA, Miller KJ, Schläppy M-L, Ajemian MJ, Berry O, Birchenough SNR, Bond T, Boschetti F, Bull AS, Claisse JT, Condie SA, Consoli P, Coolen JWP, Elliott M, Fortune IS, Fowler AM, Gillanders BM, ... Thums M (2022) Influence of offshore oil and gas structures on seascape ecological connectivity. *Global Change Biology*, 28(11): 3515-3536

- Meißner K, Sordyl H (2006) Literature review of offshore wind farms with regard to benthic communities and habitats. Ecological Research on Offshore Wind Farms: International Exchange of Experiences 1.
- Metcalf JD, Holford BH, Arnold GP (1993) Orientation of plaice (*Pleuronectes platessa*) in the open sea: evidence for the use of external directional clues. Marine Biology 117: 559-566
- Mikkelsen L, Mouritsen KN, Dahl K, Teilmann J, Tougaard J (2013) Re-established stony reef attracts harbour porpoises *Phocoena phocoena*. Marine Ecology Progress Series 481: 239-248
- Mikkelsen L, Hermannsen L, Beedholm K, Madsen PT, Tougaard J (2017) Simulated seal scarer sounds scare porpoises, but not seals: species-specific responses to 12 kHz deterrence sounds. Royal Society Open Science 4: 170286
- Mikkelsen L, Johnson M, Wisniewska DM, van Neer A, Siebert U, Madsen PT, Teilmann J (2019) Long-term sound and movement recording tags to study natural behavior and reaction to ship noise of seals. Ecology and Evolution 9: 2588-2601
- Ministry of Agriculture, Nature and Food Quality, The Netherlands (2020) Nature-Inclusive Design: a catalogue for offshore wind infrastructure
- Mizuguchi D, Tsunokawa M, Kawamoto M, Kohshima S (2016) Underwater vocalizations and associated behavior in captive ringed seals (*Pusa hispida*). Polar Biology 39: 659–669
- MMO (2018) Displacement and habituation of seabirds in response to marine activities. Rapport gjord för Marine Management Organisation. MMO Project No: 1139
- Montgomery JC, Walker MM (2001) Orientation and navigation in elasmobranchs: which way forward? In The behaviour and sensory biology of elasmobranch fishes: an anthology in memory of Donald Richard Nelson. Springer, Dordrecht. s. 109–116
- Moore PG (1977) Inorganic particulate suspension in the sea and their effects on marine animals. Oceanography Marine Biology Annual Review 15: 225–363
- Moriyasu M, Allain R, Benhalima K, Claytor R (2004) Effects of seismic and marine noise on invertebrates: A literature Review. Fisheries and Oceans Canada 126
- Mustonen M, Klauson A, Anderson M, Clorennec D, Folegot T, Koza R, Pajala J, Persson L, Tegowski J, Tougaard J, Wahlberg M, Sigray P (2019) Spatial and Temporal Variability of the Ambient Underwater Noise in the Baltic Sea. Scientific reports 9(1): 1-13
- Nabe-Nielsen J, Sibly RM, Tougaard J, Teilmann J, Sveegaard S (2014) Effects of noise and by-catch on a Danish harbour porpoise population. Ecological Modelling 272: 242-251
- Nabe-Nielsen J, van Beest FM, Grimm V, Sibly RM, Teilmann J, Thompson PM (2018) Predicting the impacts of anthropogenic disturbances on marine populations. Conservation Letters 2018(11): e12563
- Nachtigall PE, Supin AY, Pacini AF, Kastelein RA (2016) Conditioned hearing sensitivity change in the harbor porpoise (*Phocoena phocoena*). Journal of the Acoustic Society of America 140(2): 960-967



- Naisbett-Jones LC, Putman NF, Stephenson JF, Ladak S, Young KA (2017) A magnetic map leads juvenile European eels to the Gulf Stream. *Current Biology* 27: 1236-1240
- National Marine Fisheries Service (NMFS) (2018) Revisions to: Technical Guidance for Assessing the Effects of Anthropogenic Sound on Marine Mammal Hearing (Version 2.0): Underwater Thresholds for Onset of Permanent and Temporary Threshold Shifts. U.S. Dept. of Commer, NOAA. NOAA Technical Memorandum NMFS-OPR-59
- Naturvårdsverket (2008) Miljömässig optimering av fundament för havsbaserad vindkraft. Rapport No. 5828
- Naturvårdsverket (2010) Undersökning av utsjöbankar: inventering, modellering och naturvärdesbedömning. Rapport No. 6385
- Naturvårdsverket (2006) Inventering av marina naturtyper på utsjöbankar. Rapport No. 5576
- Naturvårdsverket (2021) <https://www.naturvardsverket.se/lagar-och-regler/beslut/sal/vikare/>
- Naturvårdsverket (2022) VINDVAL – forskningsprogram om vindkraftens miljöpåverkan. Rapporter och projekt 2005–2023. <https://www.naturvardsverket.se/om-miljoarbetet/forskning/vindval/>
- Newcombe CP, MacDonald DD (1991) Effects of suspended sediments on aquatic ecosystems. *North American Journal of Fisheries Management* 11: 72–82
- Ojaveer H, Kotta J (2015) Ecosystem impacts of the widespread non-indigenous species in the Baltic Sea: literature survey evidences major limitations in knowledge. *Hydrobiologia* 750: 171–185
- Ojaveer H, Olenin S, Naršćius A, Florin AB, Ezhova E, Gollasch S, Jensen KR, Lehtiniemi M, Minchin D, Normant-Saremba M, Stråke S (2017) Dynamics of biological invasions and pathways over time: a case study of a temperate coastal sea. *Biological Invasions* 19: 799–813
- OSPAR (2017) Intermediate Assessment 2017, <https://oap.ospar.org/en/ospar-assessments/intermediate-assessment-2017/>
- Pace F, Robinson C, Lumsden CE, Martin SB (2021) Underwater Sound Sources Characterisation Study: Energy Island, Denmark. Document 02539, Version 2.1. Technical report by JASCO Applied Sciences for Fugro Netherlands Marine B.V.
- Pangerc T, Theobald PD, Wang LS, Robinson SP, Lepper PA (2016) Measurement and characterisation of radiated underwater sound from a 3.6 MW monopile wind turbine. *Journal of the Acoustic Society of America* 140: 2913–2922
- Paxton AB, Shertzer KW, Bacheler NM, Kellison GT, Riley KL, Taylor JC (2020) Meta-analysis reveals artificial reefs can be effective tools for fish community enhancement but are not one-size-fits-all. *Frontiers in Marine Science* 7: 282
- Pearce B, Fariñas-Franco JM, Wilson C, Pitts J, deBurgh A, Somerfield PJ (2014) Repeated mapping of reefs constructed by *Sabellaria spinulosa* Leuckart 1849 at an offshore wind farm site. *Continental Shelf Research* 34: 3–13

- Perus J, Bäck A, Strand Å, (2007) Gränsregion Kvarken. – Översikt och tillämpningsmöjligheter av tillgängligt fjärrkarteringsdata i Kvarkenregionens kust- och havsområden. Rapport från Kvarken under ytan, ett INTERREG IIIA-projekt. Vasa, Finland
- Pirotta E, Brookes KL, Graham IM, Thompson PM (2014) Variation in harbour porpoise activity in response to seismic survey noise. *Biology Letters* 10: 20131090
- Peschko V, Mendel B, Mercker M, Dierschke J, Garthe S (2021) Northern gannets (*Morus bassunus*) are strongly affected by operating offshore wind farms during the breeding season. *Journal of Environmental Management* 279: 111509
- Pettersson J (2005) The Impact of Offshore Wind Farms on Bird Life in Southern Kalmar Sound, Sweden – A final report based on studies 1999–2003. At the request of the Swedish Energy Agency. A reference group collaboration with its principal centre at The Department of Animal Ecology, Lund University
- Popov VV, Supin AY, Wang D, Wang K, Dong L, Wang S (2011) Noise-induced temporary threshold shift and recovery in Yangtze finless porpoises *Neophocaena phocaenoides*. *Journal of the Acoustical Society of America* 130: 574-584
- Popper AN, Hawkins AD, Sand O, Sisneros JA (2019) Examining the hearing abilities of fish. *Journal of the Acoustical Society of America* 146: 948-955
- Quillfeldt P, Morkunas J, Kruckenberg H, Kondratyev A, Loschchagina J, Aarvak T, Øien IJ, Bellebaum J, Glazov P (2021) Year-round movements of Long-tailed Ducks *Clangula hyemalis* from Kolguev Island, Barents Sea. *Polar Biology* 45(1): 71-87
- Qvarfordt S, Kautsky H, Malm T (2006) Development of fouling communities on vertical structures in the Baltic Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 67: 618-628
- Regeringen (2022), <https://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2022/02/sveriges-forsta-havsplaner-mojliggor-snabbare-utbyggnad-av-havsbaserad-vindkraft/>
- Reichart GJ, Mienis F, Duineveld G, Soetaert K, Fillipidi A (2017) Measuring the SHADOW of an Artificial Structure in the North Sea and Its Effect on the Surrounding Soft Bottom Community. Report NIOZ Royal Netherlands Institute for Sea Research and Utrecht University, The Netherlands
- Reichmuth C, Holt MM, Mulsow J, Sills JM, Southall BL (2013) Comparative assessment of amphibious hearing in Pinnipeds. *Journal of Comparative Physiology A* 199(6): 491-507
- Reichmuth C, Ghoul A, Sills JM, Rouse A, Southall BL (2016) Low-frequency temporary threshold shift not observed in spotted or ringed seals exposed to single air gun impulses. *Journal of the Acoustical Society of America* 140: 2646-2658
- Reichmuth, C., Sills, J.M., Mulsow, J., Ghoul, A (2019) Long-term evidence of noise-induced permanent threshold shift in a harbor seal (*Phoca vitulina*). *Journal of the Acoustical Society of America* 146: 2552-2561.
- Reubens JT, Degraer S, Vincx M (2011) Aggregation and feeding behaviour of pouting (*Trisopterus luscus*) at wind turbines in the Belgian part of the North Sea. *Fisheries Research* 108: 223-227
- Reubens JT, Braeckman U, Vanaverbeke J, Van Colen C, Degraer S, Vincx M (2013) Aggregation at windmill artificial reefs: CPUE of Atlantic cod (*Gadus morhua*) and

- pouting (*Trisopterus luscus*) at different habitats in the Belgian part of the North Sea. *Fisheries Research* 139: 28-34
- Reubens JT, Degraer S, Vincx M (2014a) The ecology of benthopelagic fishes at offshore wind farms: a synthesis of 4 years of research. *Hydrobiologia* 727: 121-136
- Reubens JT, Maarten DR, Degraer S, Vincx M (2014b) Diel variation in feeding and movement patterns of juvenile Atlantic cod at offshore wind farms. *Journal of Sea Research* 85: 214-221
- Richardson WJ, Greene CR. Jr, Malme CI, Thomson DH (1995) *Marine mammals and noise*. Academic Press, New York
- Rojano-Doñate L, McDonald BI, Wisniewska DM, Johnson M, Teilmann J, Wahlberg M, Højer-Kristensen J, Madsen PT (2018) High field metabolic rates of wild harbour porpoises. *Journal of Experimental Biology* 221(23): jeb185827
- Rose A, Brandt MJ, Vilela R, Diederichs A, Schubert A, Kosarev V, Nehls G, Volkenandt M, Wahl V, Michalik A, Wendeln H, Freund A, Ketzner C, Limmer B, Laczny M, Piper W (2019) Effects of noise-mitigated offshore pile driving on harbour porpoise abundance in the German Bight 2014-2016 (Gescha 2) Assessment of Noise Effects. Final Report. BioConsult
- Rosenberg R, Blomqvist M, Nilsson HC, Cederwall H, Dimming A (2004) Marine quality assessment by use of benthic species-abundance distributions: a proposed new protocol within the European Union Water Framework Directive. *Marine Pollution Bulletin* 49: 728-739
- Russell DJF, Brasseur SMJM, Thompson D, Hastie GD, Janik VM, Aarts G, McClintock BT, Matthiopoulos J, Moss SEW, McConnell B (2014) Marine mammals trace anthropogenic structures at sea. *Current Biology* 24(14): R638-R639
- Russell DJF, Hastie GD, Thompson D, Janik VM, Hammond PS, Scott-Hayward LAS, Matthiopoulos J, Jones EL, McConnell BJ (2016) Avoidance of wind farms by harbour seals is limited to pile driving activities. *Journal of Applied Ecology* 53: 1642-1652
- Rydell J, Ottvall R, Pettersson S, Green M (2017) Vindkraftens paverkan på faglar och fladdermöss. Uppdaterad syntesrapport 2017. Naturvårdsverket. Rapport No. 6740. En rapport från kunskapsprogrammet Vindval.
- Rølvåg T, Hagen AB, Hagen TB (2020) Shark attacks on offshore streamer cables. *Engineering Failure Analysis* 110: 104403
- Schaffeld T, Ruser A, Woelfing B, Baltzer J, Kristensen JH, Larsson J, Schnitzler JG, Siebert U (2019) The use of seal scarers as a protective mitigation measure can induce hearing impairment in harbour porpoises. *Journal of the Acoustical Society of America* 146: 4288-4298.
- Scheidat M, Tougaard J, Brasseur S, Carstensen J, Polanen PT v, Teilmann J, Reijnders P (2011). Harbour porpoises (*Phocoena phocoena*) and wind farms: a case study in the Dutch North Sea. *Environmental Research Letters* 6: 025102
- Schusterman RJ, Kastak D, Levenson DH, Reichmuth CJ, Southall BL (2000) Why pinnipeds don't echolocate. *Journal of the Acoustical Society of America* 107(4): 2256-2264

- Schusterman RJ, Van Parijs SM (2003) Pinniped vocal communication: an introduction. *Aquatic Mammals* 29: 177-180
- Schwemmer P, Mendel B, Sonntag N, Dierschke V, Garthe S (2011) Effects of ship traffic on seabirds in offshore waters: implications for marine conservation and spatial planning. *Ecological Applications* 21: 1851-1860
- Sherwood J, Chidgey S, Crockett P, Gwyther D, Percival H, Stewart S, Strong D, Whitely B, Williams A (2016) Installation and operational effects of a HVDC submarine cable in a continental shelf setting: Bass Strait, Australia. *Journal of Ocean Engineering and Science* 1: 337-353
- Siddagangaiah S, Chen E-F, Hu W-C, Pieretti N (2021) Impact of pile-driving and offshore windfarm operational noise on fish chorusing. *Remote Sensing in Ecology and Conservation* 8: 119-134
- Siebert U, Pawliczka I, Benke H, von Vietinghoff V, Wolf P, Piläts V, Kesselring T, Lehnert K, Prenger-Berninghoff E, Galatius A, Kyhn LA, Teilmann J, Hansen MS, Sonne C, Wohlsein P (2020) Health assessment of harbour porpoises (*Phocoena phocoena*) from Baltic area of Denmark, Germany, Poland and Latvia. *Environment International* 143: 105904
- Siebert U, Stürznickel J, Schaffeld T, Oheim R, Rolvien T, Prenger-Berninghoff E, Wohlsein P, Lakemeyer J, Rohner S, Schick LA, Gross S, Nachtsheim D, Ewers C, Becher P, Amling M, Morell M (2022) Blast injury on harbour porpoises (*Phocoena phocoena*) from the Baltic Sea after explosions of deposits of World War II ammunition. *Environment International* 159: 107014
- Sierra-Flores R, Atack T, Migaud H, Davie A (2015) Stress response to anthropogenic noise in Atlantic cod *Gadus morhua* L. *Aquacultural Engineering* 67: 67-76
- Sills JM, Southall BL, Reichmuth C (2015) Amphibious hearing in ringed seals (*Pusa hispida*): underwater audiograms, aerial audiograms and critical ratio measurements. *The Journal of Experimental Biology* 218: 2250-2259
- Skaret G, Axelsen BE, Nøttestad L, Fernö A, Johannessen A (2005) The behaviour of spawning herring in relation to a survey vessel. *ICES Journal of Marine Science* 62: 1061-1064
- Skjellerup P, Maxon CM, Tarpgaard E, Thomsen F, Schack HB, Tougaard J, Teilmann J, Madsen KN, Mikaelson MA, Heilskov NF (2015) Marine mammals and underwater noise in relation to pile driving – report of working group. [Energinet.dk](http://energinet.dk)
- Skov H, Heinänen S, Norman T, Ward R, Méndez-Roldán S, Ellis I (2018). ORJIP Bird Collision and Avoidance Study. Report by Offshore Renewables Joint Industry Programme (ORJIP). Report for Carbon Trust.
- Sköld M, Nilsson HC, Jonsson P (2018) Bottentrålning – effekter på marina ekosystem och åtgärder för att minska bottenpåverkan. *Aqua Reports* 2018:7. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för akvatiska resurser, Öregrund, Drottningholm, Lysekil
- Slavik K, Lemmen C, Zhang W, Kerimoglu O, Klingbeil K, Wirtz KW (2019) The large-scale impact of offshore wind farm structures on pelagic primary productivity in the southern North Sea. *Hydrobiologia* 845: 35-53

- SLU (2021) Fisk- och skaldjursbestånd i hav och sötvatten 2020. Resursöversikt. Havs- och vattenmyndigheten rapport 2021:6
- SLU (2022), <https://artfakta.se/artbestamning>
- Smyth K, Christie N, Burdon D, Atkins JP, Barnes R, Elliott M (2015) Renewables-to-reefs? – Decommissioning options for the offshore wind power industry. *Marine Pollution Bulletin* 90: 247-258
- Southall BL, Bowles AE, Ellison WT, Finneran JJ, Gentry RL, Greene CRJ, Kastak D, Ketten DR, Miller JH, Nachtigall PE, Richardson WJ, Thomas JA, Tyack P (2007) Marine mammal noise exposure criteria: initial scientific recommendations. *Aquatic Mammals* 33: 411-521
- Southall BL, Finneran JJ, Reichmuth C, Nachtigall PE, Ketten DR, Bowles AE, Ellison WT, Nowacek DP, Tyack PL (2019) Marine mammal noise exposure criteria: Updated scientific recommendations for residual hearing effects. *Aquatic Mammals* 45: 125-232
- Southall BL, Nowacek DP, Bowles AE, Senigaglia V, Bejder L, Tyack PL (2021) Marine Mammal Noise Exposure Criteria: Assessing the Severity of Marine Mammal Behavioral Responses to Human Noise. *Aquatic Mammals* 47: 421-464
- Stelzenmüller V, Gimpel A, Letschert J, Kraan C, Döring R (2020) Research for PECH Committee – Impact of the use of offshore wind and other marine renewables on European fisheries. European Parliament, Policy Department for Structural and Cohesion Policies, Brussels.
- Stelzenmüller V, Gimpel A, Haslob H, Letschert J, Berkenhagen J, Brüning S (2021) Sustainable co-location solutions for offshore wind farms and fisheries need to account for socio-ecological trade-offs. *Science of The Total Environment* 776: 145918
- Stenberg C, Støttrup JG, van Deurs M, Berg CW, Dinesen GE, Mosegaard H, Grome TM, Leonhard SB (2015) Long-term effects of an offshore wind farm in the North Sea on fish communities. *Marine Ecology Progress Series* 528: 257-265
- Sveegaard S, Galatius A, Dietz R, Kyhn L, Koblitz JC, Amundin M, Nabe-Nielsen J, Sinding MHS, Andersen LW, Teilmann J (2015) Defining management units for cetaceans by combining genetics, morphology, acoustics and satellite tracking. *Global Ecology and Conservation* 3: 839-850
- Sveriges regering (2021) Mål för energipolitiken. <https://www.regeringen.se/regeringens-politik/energi/mal-och-visioner-for-energi/>
- SVK (2021) [www.svk.se/om-kraftsystemet/om-transmissionsnatet/transmissionsnatskarta](http://www.svk.se/om-kraftsystemet/om-transmissionsnatet/transmissionsnatskarta)
- SWECO (2017) Havsbaserad vindkraft – potential och kostnader. En rapport till Energimyndigheten. <https://www.energimyndigheten.se/globalassets/fornybart/framjande-av-vindkraft/underlagsrapport-sweco---havsbaserad-vindkraft---potential-och-kostnader.pdf>
- Sørensen PM, Wisniewska DM, Jensen FH, Johnson M, Teilmann J, Madsen PT (2018) Click communication in wild harbour porpoises (*Phocoena phocoena*). *Scientific Reports* 8: 9702

- Teilmann, J., Carstensen, J. 2012a. Negative long term effects on harbour porpoises from a large scale offshore wind farm in the baltic – evidence of slow recovery. *Environmental Research Letters* 7(4): 045101
- Teilmann J, Tougaard J, Carstensen J (2012b) Effects on harbour porpoises from Rødsand 2 Off-shore Wind Farm. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 66 pp. Scientific Report from DCE – Danish Centre for Environment and Energy No. 42, <http://www.dmu.dk/Pub/SR42.pdf>
- Tesch FW, Wendt T, Karlsson L (1992) Influence of geomagnetism on the activity and orientation of eel, *Anguilla anguilla*, as evident from laboratory experiment. *Aquatic Ecology Freshwater Fish* 1: 52-60
- Thompson PM, Brookes KL, Graham IM, Barton TR, Needham K, Bradbury G, Merchant ND (2013) Short-term disturbance by a commercial two-dimensional seismic survey does not lead to long-term displacement of harbour porpoises. *Proceedings of the Royal Society B* 280: 20132001
- Tjørnløv RS, Skov H, Armitage M, Barker M, Cuttat F, Thomas K (2020) Resolving key uncertainties of seabird flight and avoidance behaviours at offshore wind farms. *AOWFL*
- Thrush SF, Dayton PK (2002) Disturbance to marine benthic habitats by trawling and dredging: implications for marine biodiversity. *Annual Review of Ecology and Systematics* 33: 449-473
- Tougaard J, Carstensen J, Wisz M, Jespersen M, Teilmann J, Bech N, Skov H (2006) Harbour porpoises on Horns Reef – Effects of the Horns Reef Wind Farm. Final Report to Vattenfall A/S. NERI
- Tougaard J, Carstensen J, Teilmann J, Skov H, Rasmussen P (2009) Pile driving zone of responsiveness extends beyond 20 km for harbour porpoises (*Phocoena phocoena* (L.)). *Journal of the Acoustic Society of America* 126: 11-14
- Tougaard J, Wright AJ, Madsen PT (2015) Cetacean noise criteria revisited in the light of proposed exposure limits for harbour porpoises. *Marine Pollution Bulletin* 90: 196-208
- Tougaard J, Hermanssen L, Madsen PT (2020) How loud is the underwater noise from operating offshore wind turbines? *Journal of the Acoustic Society of America* 148: 2885-2893
- Tougaard, J. 2021. Thresholds for noise induced hearing loss in marine mammals. Background note to revision of guidelines from the Danish Energy Agency. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 34 s. – Scientific note no. 2021|28 [https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notater\\_2021/N2021|28.pdf](https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notater_2021/N2021|28.pdf)
- Tsouvalas A, Metrikine AV (2016) Noise reduction by the application of an air-bubble curtain in offshore pile driving. *Journal of Sound and Vibration* 371: 150-170
- Tunón H, Sandell K (2021) Biologisk mångfald, naturnyttor, ekosystemtjänster. Svenska perspektiv på livsviktiga framtidsfrågor. CBM:s skriftserie 121, SLU Centrum för biologisk mångfald, Uppsala & Naturvårdsverket, Stockholm

Törnqvist O, Jonsson PR, Hume D (2019) Climate refugia in the Baltic sea. Modelling future important habitats by using climate projections. Pan Baltic Scope report, Uppsala & Gothenburg

UN (2021) Second world ocean assessment (WOAII). United Nations Division for Ocean affairs and Law of the Sea

Vallejo GC, Grellier K, Nelson EJ, McGregor RM, Canning SJ, Caryl FM, McLean N (2017) Responses of two marine top predators to an offshore wind farm. *Ecology and Evolution* 7: 8698-8708

Vanagt T, Faasse M (2014) Development of hard substratum fauna in the Princess Amalia. Monitoring six years after construction. eCOAST Report No. 2013009

van Beest FM, Kindt-Larsen L, Bastardie F, Bartolino V, Nabe-Nielsen J (2017) Predicting the population-level impact of mitigating harbor porpoise bycatch with pingers and time-area fishing closures. *Ecosphere* 8(4): e01785

van der Meij H, Kastelein R, van Eekelen E, van Koningsveld M (2015) FaunaGuard: a scientific method for deterring marine fauna. *Terra et Aqua* 138: 17-24

Vandeperre F, Higgins RM, Sánchez-Meca J, Maynou F, Goñi R, Martín-Sosa P, Pérez-Ruzafa A, Afonso P, Bertocci I, Crec'hriou R, D'Anna G, Dimech M, Dorta C, Esparza O, Falcón JM, Forcada A, Guala I, Le Direach L, Marcos C, Ojeda-Martínez C, Pipitone C, Schembri PJ, Stelzenmüller V, Stobart B, Santos RS (2011) Effects of no-take area size and age of marine protected areas on fisheries yields: a meta-analytical approach. *Fish and Fisheries* 12: 412-426

van Hal R, Griffioen AB, van Keeken OA (2017) Changes in fish communities on a small spatial scale, an effect of increased habitat complexity by an offshore wind farm. *Marine Environmental Research* 126: 26-36

Vieira M, Amorim CP, Sundelo A, Prista N, Fonseca PJ (2020) Underwater noise recognition of marine vessels passages: two case studies using hidden Markov models. *ICES Journal of Marine Science* 77: 2157-2170

Villadsgaard A, Wahlberg M, Tougaard J (2007) Echolocation signals of wild harbour porpoises, *Phocoena phocoena*. *Journal of Experimental Biology* 210: 56-64

Vinther M, Larsen F (2004) Updated estimates of harbour porpoise (*Phocoena phocoena*) bycatch in the Danish North Sea bottom set gillnet fishery. *Journal of Cetacean Research and Management* 6: 19-24.

Von Benda-Beckmann AM, Aarts G, ôzkan Sertlek H, Lucke K, Verboom WC, Kastelein RA, Ketten DR, van Bemmelen R, Lam FPA, Kirkwood RJ, Ainslie MA (2015) Assessing the impact of underwater clearance of unexploded ordnance on harbour porpoises (*Phocoena phocoena*) in the southern North Sea. *Aquatic Mammals* 41: 503-534

Welcker J, Vilela R (2019) Weather-dependence of nocturnal bird migration and cumulative collision risk at offshore wind farms in the German North and Baltic Seas. Technical report. BioConsult SH, Husum

Wahlberg M, Westerberg H (2005) Hearing in fish and their reactions to sounds from offshore wind farms. *Marine Ecology Progress Series* 288: 295-309

- Westerberg H, Rönnbäck P, Frimansson H (1996) Effects of suspended sediment on cod egg and larvae and the behaviour of adult herring and cod. ICES Marine Environmental Quality Committee, CM 1996/E:26
- Westerberg H, Begout-Anras M-L (2000) Orientation of silver eel (*Anguilla anguilla*) in a disturbed geomagnetic field. Proc. 3rd conference on fish telemetry in Europe. Norwich 20–25 juni, 1999
- Westerberg H, Lagenfelt I (2008) Sub-Sea power cables and the migration behaviour of the European eel. Fisheries Management and Ecology 15: 369-375
- Wilber DH, Clark DG (2001) Biological effects of suspended sediments: A review of suspended sediment impacts of fish and shellfish with relation to dredging activities in estuaries. North American Journal of Fisheries Management, 21: 855–875
- Wilson, KL, Tittensor, DP, Worm, B, Lotze, HK (2020) Incorporating climate change adaptation into marine protected area planning. Global Change Biology, 26: 3251–3267,
- Wikström A, Granmo A (2008) En studie om hur bottenlevande fauna påverkas av ljud från vindkraftverk till havs. Naturvårdsverket. Rapport No. 5856. En rapport från kunskapsprogrammet Vindval.
- Wilhelmsson D, Malm T, Öhman MC (2006) The influence of offshore windpower on demersal fish. ICES Journal of Marine Science 63: 775-784
- Wilhelmsson D, Malm T (2008) Fouling assemblages on offshore wind power plants and adjacent substrata. Estuarine, Coastal and Shelf Science 79: 459-466
- Wilson JC, Elliott M (2009) The habitat-creation potential of offshore wind farms. Wind Energy 12: 203-212
- Wisniewska DM, Johnson M, Teilmann J, Rojano-Doñate L, Shearer J, Sveegaard S, Miller LA, Siebert U, Madsen PT (2016) Ultra-high foraging rates of harbor porpoises make them vulnerable to anthropogenic disturbance. Current Biology 26: 1441-1446
- Wisniewska DM, Johnson M, Teilmann J, Siebert U, Galatius A, Dietz R, Madsen PT (2018) High rates of vessel noise disrupt foraging in wild harbour porpoises (*Phocoena phocoena*). Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences 285(1872): 20172314.
- Wählström I, Pålsson J, Törnqvist O, Jonsson P, Groger M, Almroth-Rosell E (2020). Bringing climate change into ecosystem based management of the sea: Data and methods for the Symphony framework: Symphony – a cumulative assessment tool developed for Swedish Marine Spatial Planning. Report Oceanography 68
- Yu Q, Liu K, Teixeira AP, Guedes Soares CG (2020) Wind farms on ship traffic flow based on AIS data. The Journal of Navigation 73: 131-148
- Zingel P, Paaver T (2010) Effects of turbidity on feeding of the young-of-the-year pikeperch (*Sander lucioperca*) in fishponds. Aquaculture Research 41: 189–197
- Öhman MC, Wilhelmsson D (2005a) Vindrev – Havsbaserade vindkraftverk som artificiella rev: effekter på fisk. Zoologiska institutionen Stockholms universitet. Vindforsk FOI/Energimyndigheten Rapport
- Öhman MC, Wilhelmsson D (2005b) Vindrev – Havsbaserade vindkraftverk som artificiella rev. Medvind 2: 14-15



Öhman MC (2006) Konstgjorda marina rev och fiskbiotoper. Kustfiske och fiskevård, redaktörer Lindgren B, Carlstrand H, s. 187–191

Öhman MC, Sigray P, Westerberg H (2007) Offshore windmills and the effects of electromagnetic fields on fish. *Ambio* 36: 630-633

Öhman MC, Bergström L (under bearbetning) Fisk och havsbaserad vindkraft. Naturvårdsverket rapport

Rapporten uttrycker nödvändigtvis inte Naturvårdsverkets ställningstagande. Författaren svarar själv för innehållet och anges vid referens till rapporten.

# Effekter av havsbaserad vindkraft på marint liv

## En syntesrapport om kunskapsläget 2021

Havsbaserad vindkraft har en viktig roll för att öka tillgången på förnybar energi. Rapporten samlar befintlig kunskap om effekter av vindkraft på marina organismer och föreslår åtgärder för att minska påverkan. Fokus ligger på miljöer i Västerhavet, Egentliga Östersjön och Bottniska viken och de arter som lever inom det djupintervall som är intressant för etablering av vindkraft. Det senaste decenniet har den tekniska utvecklingen medfört att vindparker kan anläggas på större djup än tidigare. Flytande fundament som klarar ännu större djup, förväntas bli vanligare.

Temamässigt omfattar rapporten bottennära miljöer, fisk, marina däggdjur och sjöfågel. Forskarna har också strävat efter att belysa kunskapsläget kring kumulativa effekter, samt frågor om under vilka förutsättningar havsbaserad vindkraft skulle kunna gynna marint liv.

Utifrån det befintliga kunskapsläget och planerad omfattning kan risken för att havsbaserade vindparker bidrar med negativa kumulativa effekter på havsmiljön förväntas vara låg. Detta förutsätter att skadelindrande åtgärder tillämpas och bästa möjliga hänsyn tas.