

Kostnads- och nyttoanalys av musselodling i Norra Östersjöns vattendistrikt som en miljöåtgärd

Delrapport 4 av LIFE IP Rich Waters delprojekt C14 Innovative mussel farming to reduce nutrients

Diarienummer: 501-51604-2018



Figur 1. Små musslor med stort värde - redo att skördas!



ecopelag

Sista delrapporten (del 4) av LIFE IP Rich Waters

Statligt LOVA-stöd och stöd från EU:s LIFE-program har finansierat genomförandet av detta projekt

Författare: Martin Reutgard, Martin Karlsson & Johanna Hedberg

2024-10-31

Dokumentationen, inklusive fotografier, får fritt användas och spridas av Länsstyrelsen och andra aktörer

Sammanfattning

Östersjön är ett av världens mest övergödda hav. På grund av mänskliga aktiviteter såsom effektiviseringar inom jordbruket, konstgödning, utdikning av våtmarker med mera förvandlades Östersjön under 1900-talet från att vara ett näringsfattigt innanhav med klart vatten till ett övergött innanhav med förändrad artsammansättning, onaturliga algbloomningar och bottendöd som följd.

För ca 15 år sedan föreslogs musselodling som en ny kompletterande åtgärd mot övergödningen i Östersjön av Gren *et al.* (2009) och Lindahl och Kollberg (2008). Sedan dess har betydande ansträngningar gjorts för att utveckla och utvärdera musselodling ur olika aspekter, ekonomiska, miljömässiga såväl som tekniska.

I denna kostnads- och nyttoanalys utvärderas dessa aspekter. Rapporten utgår från Ecopelags kontinuerliga provtagningar under projektets gång, diverse litteratur samt den socio-ekonomiska analys som utförts av Tyréns med avseende på både miljömässiga och samhällsekonomiska effekter (Franzén & Svensson 2024). Den gör emellertid inte anspråk på att ge en fullständig bild av samtliga potentiella för- och nackdelar med musselodling i Östersjön. Områden som utvärderats är:

- Kostnad miljö - potentiellt negativa miljöeffekter
- Nyttä miljö - potentiellt positiva miljöeffekter
- Kostnad musselodling (ekonomisk)
- Nyttä musselodling - samhällseffekter

Den sammanvägda bedömningen av kostnader och nyttor som tas upp i denna rapport visar på en tydligt positiv bild där nyttan ser ut att väga tyngre än kostnaden. De negativa miljöeffekterna tycks inte vara betydande samtidigt som det finns ett flertal potentiella positiva effekter både miljömässigt och samhällsekonomiskt. Man bör emellertid framhålla att musselodling som enbart en åtgärd för närsaltsreduktion bör komplettera, inte ersätta, landbaserade åtgärder. Musselodling ska framför allt ses som en metod för att återcirkulera den näring som redan har läckt ut och/eller den näring som inte går att stoppa innan den når kusten. Musselodling skulle även kunna användas som komplement/kompensation för områden och vattensystem som har dåliga förutsättningar att implementera andra åtgärder till rimlig kostnad, eller att ens nå åtgärdsbehovet. I dessa fall skulle musselodling kunna nyttjas som en kompletterande åtgärd som förutom att bidra till åtgärdsbehovet, även ser ut att kunna skapa en helt ny socialt, miljömässigt och ekonomiskt hållbar blå näring.

Sammanfattning	3
1. Inledning.....	5
1.1 Bakgrund	5
1.2 Avgränsning	6
2. Kostnad miljö - potentiellt negativa miljöeffekter	7
2.1 Uppbyggnad av organiskt material	7
2.2 Påverkan på bentisk makrofauna.....	8
2.3 Påverkan på planktonsammansättning	8
3. Nytt miljö – potentiellt positiva miljöeffekter	9
3.1 Näringsupptag	9
3.2 Biodiversitet	10
3.3 Klimat och minskat överfiske	10
4. Kostnad musselodling (Ekonomisk)	10
4.1 Kostnadsberäkning	10
4.2 Anskaffningsvärden och årliga avskrivningskostnader för odling och etablering	11
4.3 Anskaffningsvärden och årliga avskrivningskostnader för utrustning/inventarier	12
4.4 Löpande kostnader	13
4.5 Kostnad för upptag av kväve och fosfor med musselodling	13
5. Nytt musselodling - samhällseffekter.....	15
5.1 Sociala och ekonomiska effekter	15
6. Diskussion.....	16
7. Referenser	19
8. Bilaga 1	21
8.1 Material och metod	21
8.1.1 Projektets gång/musselodling	21
8.1.2 Näringsinnehåll.....	21
8.1.3 Sedimentanalys	21
8.1.4 Makrofauna	22
8.2 Resultat.....	22
8.2.1 Projektets gång/Musselodling	22
8.2.2 Sedimentanalys	22
8.2.3 Makrofauna	23

1. Inledning

1.1 Bakgrund

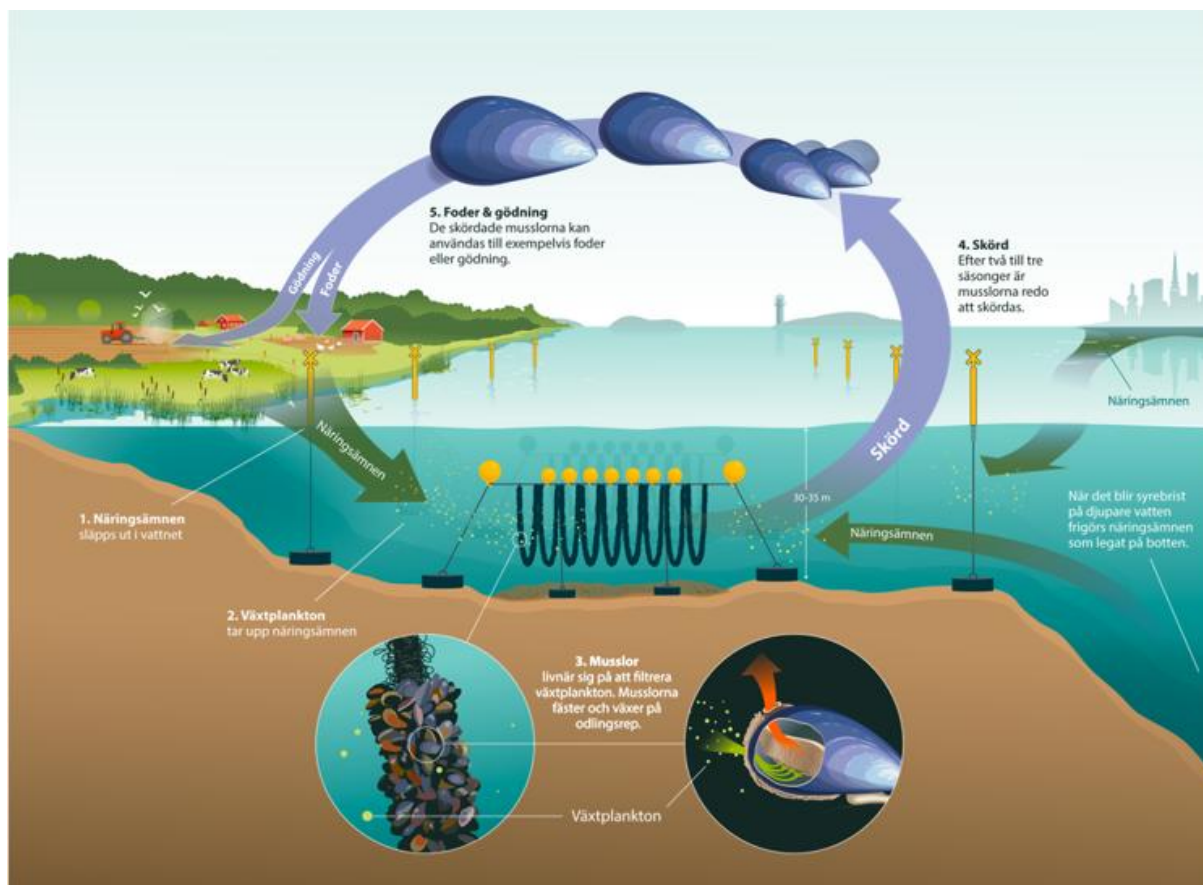
Östersjön är ett av världens mest övergödda hav. På grund av mänskliga aktiviteter såsom effektiviseringar inom jordbruket, konstgödning, utdikning av våtmarker med mera förvandlades Östersjön under 1900-talet från att vara ett näringsfattigt innanhav med klart vatten till ett övergött innanhav med förändrad artsammansättning, onaturliga algbloomingar och bottendöd som följd.

Trots flertalet insatser som till exempel effektivare reningssystem och åtgärder inom jordbruket har effekterna av den minskade näringstillförseln till Östersjön till stor del uteblivit (HELCOM 2018). HELCOM skriver, i sin senaste rapport med fokus på övergödning, att det finns tecken till förbättring i sydvästra och norra delarna av Östersjön men för de centrala delarna av Östersjön ser man fortsatta alarmerande försämringar (HELCOM 2023). Dessa försämringar sker trots att näringsinflödet inte ökat och visar på effekten av den interna belastningen, det vill säga återläckaget av historisk näring från syrefria bottenar. Denna interngödning förstärker övergödningens problematiken genom en feedback-loop när de onaturliga algbloomingarna bryts ned och orsakar syrebrist vilket i sin tur medför att sedimentbundna näringsämnen frisläpps och blir tillgängliga för nya algbloomingar (Vahtera *et al.* 2007, Snoeijs-Leijonmalm & Andrén 2017).

För ca 15 år sedan föreslogs musselodling som en ny kompletterande åtgärd mot övergödningen i Östersjön av Gren *et al.* (2009) och Lindahl och Kollberg (2008). Sedan dess har betydande ansträngningar gjorts för att utveckla och utvärdera musselodling ur olika aspekter, ekonomiska, miljömässiga såväl som tekniska. Dessa tidiga initiativ stod inför många utmaningar såsom långsam tillväxt, låg kostnadseffektivitet samt en mängd tekniska problem. Fram till i dag har emellertid många viktiga framsteg gjorts. Bland de viktigaste är: (1) Ökad produktion - studier har visat att musselproduktionen kan öka mer än 300% med odlingssubstrat som är avsedda för små musslor (2) Tekniska framsteg - nedsänkt odlingsteknik minskar tidigare problem på grund av is och hårda väderförhållanden, och (3) Avsättning - produkter baserade på musslor från svenska östkusten har börjat generera intäkter.

Principen för musselodling är enkel. Naturligt förekommande mussellarver fäster in till utplacerade odlingssubstrat (Figur 2). På substraten livnär sig musslorna genom att filtrera vattnet på alger och organiska partiklar och lagrar in näringsämnen under sin tillväxt. Genom att skörda musslorna och därmed flytta den inlagrade näringen tillbaka till land så skulle musselodling kunna minska närsaltsbelastningen och på så sätt bidra till en mer cirkulär ekonomi där näringen kan återanvändas.

Även om principen för musselodling är enkel så finns det ett antal parametrar och förutsättningar som man bör ta hänsyn till och väga in när man utvärderar huruvida musselodling är en lämplig åtgärd för ett aktuellt vattenområde. Denna rapport syftar därför till att göra en kostnads- och nyttoanalys baserat på potentiella fördelar och nackdelar med avseende på både miljömässiga och samhällsekonomiska effekter.



Figur 2. Principen för musselodling går ut på att naturligt förekommande mussellarver fäster in till utplacerade odlingssubstrat. Där livnär de sig genom att filtrera vattnet på alger och organiska partiklar och lagrar in näringsämnen från sin föda under tillväxt. Genom odling, skörd och effektiv avsättning kan blåmusslan hjälpa till att återföra näringsämnen från hav till land och samtidigt omvandla miljöproblem till en hållbar jobbskapande naturresurs.

1.2 Avgränsning

Denna kostnads- och nyttoanalys gör inte anspråk på att ge en fullständig bild av samtliga potentiella för- och nackdelar med musselodling i Östersjön. Analysen försöker emellertid inbegripa de områden som vi anser vara av stor vikt och fokuserar på fyra huvudsakliga områden:

- Kostnad miljö - potentiellt negativa miljöeffekter
- Nyttå miljö - potentiellt positiva miljöeffekter
- Kostnad musselodling (ekonomisk)
- Nyttå musselodling - samhällseffekter

Kostnad miljö - utgår från litteratur och från de kontinuerliga provtagningarna som har varit genomgående under hela projektets gång och som syftat till att undersöka och öka kunskapen om hur musselodling påverkar kringliggande ekosystem i Östersjön.

Nyttå miljö - utgår också från litteratur, kontinuerliga provtagningar och observationer som skett under projektets gång.

Kostnad musselodling – denna del av rapporten utgår från tidigare kostnadsberäkningar från EU-projektet *Baltic Blue Growth*. I denna rapport har vi uppdaterat och anpassat beräkningsmodellen och försöker ge en bild av hur ekonomin och kostnaden för musselodling skulle se ut givet vår nuvarande

produktionskapacitet, tekniska mognad och det förmodade marknadsvärdet för de skördade musslorna.

Nytta musselodling – utgår från erfarenheter under projektets gång, effekter av en eventuell framtida uppskalad odlingsverksamhet samt en undersökning av sociala och ekonomiska effekter utförd av Tyréns (Franzén & Svensson 2024).

Rapporten avslutas med en sammanfattande diskussion där musselodling jämförs med andra åtgärder samt en slutsats om huruvida musselodling ger en så kallad kostnad eller nytta som helhet.

2. Kostnad miljö - potentiellt negativa miljöeffekter

2.1 Uppbyggnad av organiskt material

Risken för negativ påverkan på ekosystem i anslutning till musselodlingar är framför allt en konsekvens av den kraftiga förändring som sker i det lokala näringsflödet (Cranford *et al.* 2007, McKindsey *et al.* 2011, Nizzoli *et al.* 2005, Petersen & Loo 2004) där ca 25 % av näringen lagras i musslorna medan ca 30 % sedimenterar till botten i form av fekalier och pseudofekalier och ca 25 % utsöndras som lösta näringsämnen tillbaka till vattenkolumnen (Brigolin *et al.* 2009).

På vilket sätt den ökande sedimentationen från en musselodling påverkar den bentiska miljön beror på flera faktorer såsom vattenutbyte, djup, temperatur, skiktning och syresättning samt odlingens produktivitet, storlek, ålder och densitet (Schröder *et al.* 2014). Faktum är att flera studier har noterat en positiv inverkan på biomassa, biodiversitet och individantal vid ökad belastning (McKindsey *et al.* 2011, Kraufvelin & Díaz 2015). Emellertid har ett stort antal studier från marina miljöer visat att den ökade sedimentationen under musselodlingar kan leda till kraftigt negativa förändringar i den bentiska miljön (McKindsey *et al.* 2011, Matisson & Lindén 1983). Vartefter sedimentation och organisk belastning ökar ersätts generellt sett känsliga arter med opportunistiska detritusätande organismer som till exempel havsborstmaskar. Dessa samhällen kan sedan övergå till att domineras av nematoder för att slutligen bli helt anoxiska med exempelvis mattor av svavelbakterierna *Beggiatoa spp.*

För att hantera riskerna av en ökad sedimentation har odlingarna inom LIFE IP Rich Waters placerats på områden med förhållandevis stort djup (>25 m) och ett gott vattenutbyte. Detta gör att den ökade sedimentationen sprids ut över större yta, och att eventuell påverkan på områden med särskild skyddsvärd bentisk flora och fauna undviks.

Sedimentanalyserna från odlingarna inom detta projekt indikerar inga tecken på uppbyggnad av organiskt material. Resultaten visar att den organiska halten i sediment kan skilja sig markant åt mellan odlingar, mellan odlingar och referensstationer och mellan år på samma referensstation. År 2023 i Jungfruffjärden låg sedimentetens glödförlust i snitt på 3,95 % TS under odlingen. Tre år tidigare (2020) låg halten på 7,05 % TS på samma plats i samma odling (Karlsson & Reutgard 2021). Under 2020 låg dessutom endast en nedsänkt odlingsenhet inom odlingsområdet, medan det 2023 fanns en betydligt större odling på plats med 15 enheter som var inne på sin andra tillväxtsång, trots detta var alltså den organiska halten högre år 2020 än 2023. Resultaten antyder därmed att den naturliga variationen i organisk halt mellan år är större och mer betydelsefull än den eventuellt ökade sedimentation till följd av odlingen.

2.2 Påverkan på bentisk makrofauna

Kunskapen om hur ökad sedimentation från Östersjöns förhållandevis lågproduktiva musselodlingar (mindre musslor och långsammare tillväxt än i marina miljöer) kommer att påverka den underliggande bottenfaunan är förhållandevis låg. Om musselodlingar i Östersjön kommer ge konsekvenser för exempelvis känsliga sedimentlevande nyckelarter såsom vitmärlor (*Monoporeia affinis* och *Ponoporeia femorata*) och i stället gynna de mindre känsliga och mer opportunistiska arterna som till exempel havsborstmaskarna *Marenzelleria sp.*, eller om det till och med kan leda till problem med syrebrist och anoxi är därför exempel på angelägna frågor.

I samma studie som nämnt ovan undersökte sedimentation och organisk belastning undersöktes också den bentiska makrofaunan i Jungfrufjärdens försöksodling (Karlsson & Reutgard 2021). Undersökningarna visade på totalt 4 respektive 6 arter i medel under hösten 2019 och våren 2020, medan det nu, 2023, efter fullskalig etablering hittades totalt 8 olika arter med ett medel på 7 (se figur B1 i bilaga 1). Dessa observationer ligger i linje med antalet arter under 2023 i Södermanlands läns odlingar, Kråmö och Hållsvikens försöksodlingar. I dessa odlingar återfann man i medel 6 respektive 7 olika arter. Inom det regionala provtagningsprogrammet visar provtagningarna att referensstationen Björkskärsfjärden har ett varierande antal arter, från 6 till 9 (6, 7, 9) mellan åren 2016 och 2020, det vill säga, i paritet med antalet arter under odlingen i Jungfrufjärden. I referensstationen Svartlögefjärden varierar det totala antalet arter mellan åren 2015 och 2023 från 6 till 13 (13, 12, 6, 8, 8) arter. Den längre tidsserien från Svartlögefjärden visar att det totala antalet arter kan variera stort mellan år inom samma område och att det ännu är för tidigt att säga om etableringen av en fullskalig musselodling i Jungfrufjärden kan ha en negativ påverkan på antalet arter makrofauna levande i sedimentet.

Ett alternativ till att undersöka *antal arter* är att titta på specifika arters förekomst, vilket ofta kan ge mer information om eventuell påverkan. Olika arter av bentisk makrofauna har nämligen olika tolerans mot störningar och kan därmed fungera som en typ av indikator för påverkan. Den sedimentlevande vitmärlan (*M. affinis*) är ett gott exempel då den är en av Östersjöns mer känsliga arter för syrebrist och störningar i bottenmiljön. Resultaten inom ramen för detta projekt, och kompletterande musselodlingsprojekt i Södermanlands län, har återfunnit vitmärla i sedimentet under samtliga odlingar, Jungfrufjärden (160–280 ind./m²), Erstaviken (enstaka individ/er i rörprovtagare, Kayak corer 50 mm) samt i referensodlingarna Kråmö (medel, n=3, 93 ind./m²) och Hållsviken (medel, n=3, 413 ind./m²). De långa tidserierna inom den regionala provtagningen visar även att den naturliga variationen i individantal varierar stort mellan olika år och ligger inom ramarna för vad som kan anses normalt i regionen. Som exempel varierar individtätheten av vitmärla mellan 26–1252 ind./m² i Björkskärsfjärden och 51–952 ind./m² i Svartlögefjärden (se figur B1 i bilaga 1). Sammanfattningsvis ger dessa provtagningar en god indikation om att sedimenten under dessa odlingar är förhållandevis opåverkade och håller tillräckligt god kondition som kan uppehålla denna känsliga art.

2.3 Påverkan på planktonsammansättning

Täta bestånd av musslor, som exempelvis i en musselodling, har en mycket hög filtreringskapacitet som generellt sett leder till en lokalt minskad biomassa av växtplankton. Paradoxalt nog kan musselodlingar även leda till en stimulerad tillväxt av växtplankton (Prins *et al.* 1997, Nizzoli *et al.* 2005). Anledningen är ett ökat näringsläckage från de underliggande bottenarna i kombination med

den näring (framför allt urin) som musslorna utsöndrar direkt tillbaka till vattenkolumnen (Kautsky & Wallentinus 1980). Den tillkommande näringen förändrar sammansättningen i vattnet och kan på så sätt leda till förändringar i planktonsamhället. Detta förstärks av att musslorna saknar förmågan att ta upp de minsta växtplanktonen, de s.k. picoplanktonen, däribland flera arter av cyanobakterier. Resultatet är att dessa små arter kan komma att dominera planktonsamhället och det finns hypoteser om att musselodlingar till och med kan leda till oönskade algblomningar (Cranford *et al.* 2008, Kumblad & Wikström 2018).

I tidigare nämnda studie där fokus var att samla in kunskap om hur musselodlingar kan påverka ekosystem i Östersjön (Karlsson & Reutgard 2021) undersöktes också huruvida musslornas exkretion av lösta näringsämnen och selektiva födointag kan ge en förändring i växtplanktonsamhällets biomassa och sammansättning, samt om detta kan leda till en ökad förekomst av oönskade algblomningar. Där samlades det in högupplösta fluorescensmätningar av klorofyll (växtplanktonbiomassa) och fykobilin (cyanobakteriebiomassa) i tid och rum med integrerade geografiska referenspunkter vid två odlingar, Jungfrufjärden, Haninge kommun och St. Anna, Söderköpings kommun. Resultatet gav ett kartlager som täcker in hela odlingsområdet samt en bit utanför för att täcka in eventuella naturliga variationer. Denna metod har använts tidigare för att kvantifiera och kartlägga eventuell påverkan från vattenbruk på biomassan av växtplankton (Cranford *et al.* 2008, Seppälä 2009) men till vår vetskap inte i Östersjön. Som första försök i Östersjön att undersöka klorofyll A- och fykobilinhalter, var resultaten begränsade men indikerar på 25–30 % lägre halter klorofyll A inom odlingarna jämfört med uppmätta värden i motstående änden av provtagningsområdet. Resultatet är i linje med andra liknande studier som visar att det kan förväntas en bättre vattenkvalitet långt utanför odlingsområdet (ex. Schröder *et al.* 2015). Mätningarna visar även att det inte finns några tecken på förhöjda halter av fykoerytrin vilket är ett pigment som återfinns hos vissa cyanobakterier. Mätningar är begränsade, men indikerar snarare lägre förekomst av cyanobakterier i odlingsområdet, det vill säga, att odlingen inte ger upphov till oönskade algblomningar.

3. Nyttja miljö – potentiellt positiva miljöeffekter

3.1 Näringsupptag

Den kanske mest uppenbara effekten av musselodling är näringsupptaget då musslorna skördas. I större skala skulle därmed musselodling kunna vara med och bidra till att minska mängden näring i vattenmassan, vilket reducerar ekosystemets produktion, och i förlängningen utbredningen av döda och syrefria bottenar. Minskad utbredning av syrefria bottenar ger i sin tur en kaskad av positiva földeffekter. Återflödet av näring som sker till följd av syrebristen i bottenarna skulle minska. Biodiversiteten skulle öka när den bentiska faunan återetableras i de tidigare döda områdena. Och en återkolonisation av bottenfauna skulle i sin tur leda till en bioturbation och en djupare syresättning av sedimentet och därmed ytterligare minska återläckage från de tidigare syrefria sedimenten. Vidare skulle en minskad mängd näring kunna leda till mindre algblomningar, och mindre tillväxt av fintrådiga alger på blåstång (*Fucus vesiculosus*) och ålgräs (*Zostera marina*) vilket orsakar problem då det hämmar dess tillväxt och utbredning. Just blåstång och ålgräs är synnerligen viktiga arter i Östersjön. Blåstången är hemvist och skydd för många olika arter i hårbottnade områden. Ålgräset fyller en liknande funktion i mjukbottnade områden. Dessutom fungerar ålgräs även som en viktig kolsänka samt minskar vågfrekvensen och därmed minskar erosion av stränder.

3.2 Biodiversitet

Musselodlingar skapar noder med relativt hög biodiversitet i pelagialen dit andra djur och organismer kan bege sig för uppehålle, födointag och reproduktion där odlingsrepen fungerar som små biotoper med inslag av olika arter (Haamer 1999).

Vid odlingen i Jungfrufjärden har, under 2023, olika arter observerats som mossdjuret Tångbark (*Einhornia crustulenta*) och kräftdjuret Slät havstulpan (*Amphibalanus improvisus*) som växer på blåmusslans skal och filtrerar vattnet på föda, samt frisimmande kräftdjur (*Gammaridae*) som hittar föda, gömställen från predatorer samt reproduktionspartner. Även kantnålar och spigg har observerats vid ett flertal gånger i provtagningsburar för musslor. På musslorna har också andra arter av bivalver hittats som Nordlig Hjärtmussla (*Cerastoderma glaucum*) och Sandmussla (*Mya arenaria*) i storlekar upp till ca 5 millimeter. Studier har visat att musslorna även påverkar den bentiska miljön. I en studie av Lauringson och Kotta (2016) där man undersökte *in situ* hur närvaro av musslor i grunda vikar, med sediment blandat med grus, påverkade artsammansättningen, ökade både biomassan och abundansen av makrofauna samt den taxonomiska och funktionella strukturen i de testlådor där musslor adderats jämfört med testlådor utan musslor. Det mest påtagliga resultatet var den stora ökningen i abundans och biomassa av betare nära musslorna (något som även vi har observerat vid arbete med odlingarna). De skriver vidare att det är en betydande effekt med tanke på den förhållandevis låga densiteten av musslor (8 och 16 individer per testlåda) som adderades och det högt eutrofierade området där studien utfördes.

På öarna runt odlingen har ett flertal observationer skett av olika fågelarter så som exempelvis Ejder (*Somateria mollissima*) och predation av sjöfågel har förekommit. Inga riktade ansträngningar har gjorts för att undersöka fiskesamhället i och kring odlingen men flertalet observationer av rom har gjorts.

3.3 Klimat och minskat överfiske

Klimat – Musselodling är precis som uppfödning av boskap primärproduktion, men produktionen kräver varken foder eller omfattande skötselsystem vilket betyder att musslor har ett mycket litet klimatavtryck jämfört med andra proteinkällor. Svenskodlade musslor skulle dessutom kunna ersätta importerat protein till foder och därmed minska klimatavtrycket genom minskade transporter.

Minskat överfiske - Svenskodlade blåmusslor som foderråvara skulle också minska beroendet av varor från andra länder så som exempelvis fiskmjöl. Fiskmjöl används som basingrediens till flertalet djurfoder och importeras varje år i stora kvantiteter till länderna kring Östersjön. Ofta kommer fiskmjölet från överfiskade bestånd som inte bara påverkar den enskilda arten i sig utan även har effekter på associerade ekosystem till följd av bifångst, trålskador och minskad föda för predatorer (Engvall 2012).

4. Kostnad musselodling (Ekonomisk)

4.1 Kostnadsberäkning

I denna del av rapporten uppdateras och utvecklas kostnadsberäkningar som genomfördes 2018/2019 inom EU-projektet Baltic Blue Growth (Minnhagen *et al.* 2018/2019). Dessa tidigare

beräkningar utgick framför allt utifrån erfarenheter och kostnader från den musselodling som etablerades i Sankt Annas skärgård som ägdes och drevs av Vattenbrukscentrum ost (VCO). I denna beräkning är utgångspunkten i stället den teknik som utvecklats inom LIFE IP Rich Waters och ytterligare ett antal av Ecopelag EF:s kompletterande musselodlingsprojekt. Dessutom inkluderar denna kostnadsberäkning de resultat och målsättningar som är uppsatta inom det nu pågående investeringsprojektet Baltic Mussel Products for Pet-foods (Baltic MUPPETS). Förutom att investera i nya odlingar syftar detta projekt till att investera i processteknik, produktutveckling, marknadsföring och försäljning, kort och gott framtagandet av en helt ny marknad baserad på dessa små blåmusslor från Östersjön. Ett huvudsakligt fokus ligger på att ta fram foder till husdjur (hund och katt) av musslornas kött, och jordförbättringsmedel av skalen, men projektet tittar även på andra alternativa intäktsmöjligheter. Målsättningen på kort sikt är att dessa intäkter ska täcka merparten av kostnaden för musselodlingarna och därmed skapa en mycket kostnadseffektiv åtgärd för att återta överskottsnäring från Östersjön. På något längre sikt är målsättningen att nå full kostnadstäckning, och så småningom, att förutsättningarna ska finnas för en ekonomiskt hållbar verksamhet med avkastning.

Denna rapport kan ses som en ögonblicksbild av de kostnader och intäkter som förväntas vid Baltic MUPPETS projektslut 2025/2026. De mest betydande skillnaderna från den tidigare kostnadsberäkningen i BBG och denna är:

1. Effektivare skördeteknik – skörden är mer automatiserad så att det krävs färre mantimmar (ca 33 %) per skördat ton.
2. Fler och större odlingar – Ecopelag driver 6 odlingar som har drygt 6 gånger mer odlings rep jämfört med VCOs odling i Sankt Anna.
3. Högre intäkter – Baltic Blue Growth utgick från att musslorna skulle levereras till danska storskaliga fiskmjölstillverkare vilket innebar kostsamma transporter och låg betalningsvilja. Baltic MUPPETS inriktar i stället sig på att skapa högvärdesprodukter i förhållandevis liten skala till marknader som har bättre betalningsvilja såsom hund- och kattfoder och trädgårdsgödning.
4. Modellen/beräkningen är förenklad och räknar inte med effekter av investeringsstöd likt beräkningen inom BBG.

4.2 Anskaffningsvärden och årliga avskrivningskostnader för odling och etablering

Ecopelag har idag 6 aktiva odlingar: (1) Jungfrufjärden, Haninge kommun; (2) Norstensfjärden, Haninge kommun; (3) Kråmö, Trosa Kommun; (4) Hållsviken, Trosa kommun; (5) Sankt Anna, Söderköpings kommun och (6) Hasselö, Västerviks kommun. Odlingarna innefattar totalt 98 bärlinor med ca 1000 – 1500 meter odlingsrep på varje bärlina. Se utformning i Ecopelags tidigare delrapport inom LIFE IP Rich Waters (Karlsson, Reutgard och Hedberg, 2021). Det totala anskaffningsvärdet beräknas vara ca 5,1 mnkr. Givet att odlingarna håller för 10 skördar (enligt tillverkare), vilket innebär 20 år eftersom skörd sker vartannat år, ger det en årlig avskrivning på 255 tkr/år under 20 år (Tabell 1). Kostanden för förberedande arbeten (tillstånd/samråd/bentiska undersökningar), tillverkning och utplacering av betongankare, beräknas uppgå till 2,0 mnkr, det vill säga en avskrivningskostnad på ca 100 tkr/år under 20 år (Tabell 2).

Tabell 1. Anskaffningsvärde samt årlig avskrivningskostnad (i tusen kronor, tkr) för odlingskomponenter i en odling med 98 bärlinor. Avskrivningskostnad är baserad på 20 års avskrivning.

Komponent	Antal/bärlina	Totalt (tkr)	Y0	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	...	Y 20
Betongvikt (3 ton dubbelögla)	1,3	612	8	31	31	31	31	31	...	23
Bärlina (32 mm)	220	293	4	15	15	15	15	15	...	11
Boj hörn (70 l)	6	333	4	17	17	17	17	17	...	13
Boj bärlina (70 l)	21	1 166	15	58	58	58	58	58	...	43
Odlingsrep (Spat rope)	1 500	1 617	20	81	81	81	81	81	...	61
Vikter (57 kg)	10	118	1	6	6	6	6	6	...	5
Lina infästning odlingsrep (4 mm lina)	200	31	0	2	2	2	2	2	...	2
Lina infästning bojar (16 mm)	200	141	2	7	7	7	7	7	...	5
Sjömärken (SSA)	0	277	3	14	14	14	14	14	...	11
Frakt	1	519	6	26	26	26	26	26	...	20
Totalt		5 107	64	255	255	255	255	255	...	191

Tabell 2. Kostnader (i tusen kronor, tkr) för etablering av 98 bärlinor inklusive tillstånd och platsundersökningar. Avskrivningskostnad är baserad på 20 års avskrivning.

Etableringskostnader	Totalt (tkr)	Y0	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	...	Y20
Utplacering betongankare	640	8	32	32	32	32	32	...	24
Områden/tillstånd/tillverkning	1 362	17	68	68	68	68	68	...	51
Totalt	2 002	25	100	100	100	100	100	...	75

4.3 Anskaffningsvärden och årliga avskrivningskostnader för utrustning/inventarier

Delar av Ecopelags nuvarande skördesystem härstammar från VCO och driften av odlingen i Sankt Anna. Systemet har emellertid utvecklats i flera steg. Under sista fasen i LIFE IP Rich Waters investerade Ecopelag i en ny aluminiumplattform, och under starten av BalticMUPPETS har systemet utvecklats med vinschtor, drivhjul ("star wheels") och vinschar som effektiviserat arbetet avsevärt och gjort det mycket säkrare. Om allt skulle införskaffas samtidigt skulle kostnaden uppgå till strax under 1,7 mnkr och innebära en årlig kostnad på 142 tkr vid en 10-årig avskrivningstid (Tabell 3).

Tabell 3. Anskaffningsvärde, avskrivningstid och årlig avskrivningskostnad för ett motsvarande skördesystem som nyttjas inom Ecopelag EF (i tusen kronor, tkr).

Utrustning/Inventarier	Totalt (tkr)	Y0	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	...	Y10
Pråm inkl. motorer och kran	678	17	68	68	68	68	68	...	51
Skördeutrustning	540	14	54	54	54	54	54	...	40
Anpassning pråm	98	2	10	10	10	10	10	...	7
Vinschar och linhjul	109	3	11	11	11	11	11	...	8
Debyss-, tvätt- och sortering	100	3	10	10	10	10	10	...	8

Hydrauliksystem	164	4	16	16	16	16	16	...	12
Totalt	1 689	35	14	142	142	142	142	...	135

4.4 Löpande kostnader

Löpande kostnader för tillsyn, underhåll och skörd uppskattas till ca 723 tkr/år. Det inkluderar 1960 timmar arbete, varav cirka en tredjedel för skörd och två tredjedelar för tillsyn och underhåll (Tabell 4).

Tabell 4. Löpande kostnader för drift, underhåll och skörd (i tusen kronor, tkr).

Löpande kostnader	Y0	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	...	Y10
Lönekostnader (1960 h a 250 kr)	54	327	327	327	327	327	...	327
Arbetsgivaravgifter (31,42 %)	0	103	103	103	103	103	...	103
Bränsle (6952 l á 17 kr)	19	118	118	118	118	118	...	118
Förbrukningsmaterial m.m.	0	61	61	61	61	61	...	61
Provtagning	0	10	10	10	10	10	...	10
Administration och Indirekta kostnader (20 %)	0	103	103	103	103	103	...	103
Totalt	73	723	723	723	723	723	...	723

4.5 Kostnad för upptag av kväve och fosfor med musselodling

Enligt den här beräkningen landar den totala årliga kostnaden för allt på 1440 tkr/år (Tabell 5). Beräkningen inkluderar ett lån på 8,8 mnkr och en räntekostnad på ca 4,4 mnkr under 20 år. Odlingen kan förväntas producera i genomsnitt 245 ton mussla/år vilket skulle ge en kostnad på 5,88 kr/kg mussla.

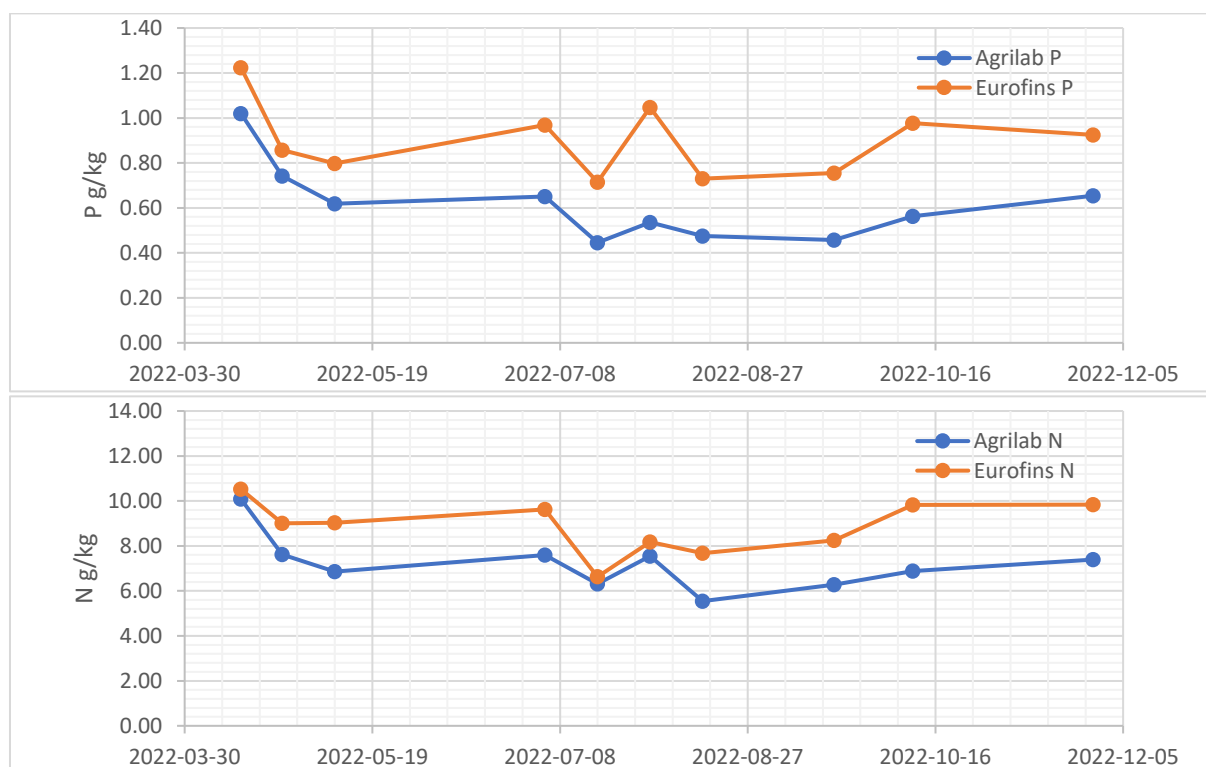
Tabell 5. Sammanställning av kostnader, potentiell intäkt samt underskott (i tusen kronor, tkr).

	Y0	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	...	Y20
Odlingskomponenter	64	255	255	255	255	255	...	192
Etableringskostnader	25	100	100	100	100	100	...	75
Utrustning/Inventarier	35	142	142	142	142	142	...	106
Löpande kostnader	73	723	723	723	723	723	...	650
Finansiering (5 %, 20 år)	220	220	220	220	220	220	...	0
Totalt	418	1 440	1 440	1 440	1 440	1 440	...	1 023
							...	
Produktion (ton)	0	0	244,9	244,9	244,9	244,9	...	244,9
Kr/kg mussla			5,88	5,88	5,88	5,88	...	4,18
							...	
Intäkt (5000 kr/ton mussla)	0	0	1224	1224	1224	1224	...	1224
Underskott			215,8	215,8	215,8	215,8	...	-201,9
Underskott/ton mussla			0,88	0,88	0,88	0,88	...	-0,82

Förutsatt att Ecopelag säljer musslorna för ett snittpris på 5 kr/kg, vilket är riktpriiset för nuvarande investeringsprojekt BalticMUPPETS, så skapas ett underskott på ca 88 öre/kg musslor (Tabell 5). För

att förstå hur denna kostnad kan översättas till kostnad för upptag av fosfor och kväve, analyserades halterna i mussla löpande under stora delar av 2022 (Figur 3).

Då det är känt att analyserna av kväve och fosfor är utmanande lämnades prover in på två laboratorier, Agrilab AB och Eurofins AB. Halter visar mycket riktigt en betydande diskrepans av okänd anledning mellan laboratorierna (Figur 3). För denna studie använder vi därför ett snitt mellan de två laboratorierna. Snittet för fosfor (P) ligger på 0,76 g P/kg mussla och varierar mellan 0,58 och 1,12 g P/kg mussla, medan kväve (N) har ett snitt på 8,0 g N/kg mussla och varierar mellan 6,5 och 10,3 g N/kg mussla.



Figur 3. Halter av fosfor (P) respektive kväve (N) i skördade råa musslor under 2022.

Undviker man den varmare delen av året med lägre halter, som också är mindre lämpad för skörd på grund av algblooming så ligger halterna något högre. Fosfor ligger då på ett snitt på 0,84 g P/kg mussla och varierar mellan 0,71 och 1,12 g P/kg mussla, medan kväve har ett snitt på 8,7 g N/kg mussla och varierar mellan 7,95 och 10,3 g N/kg mussla.

Använder man de mer relevanta värdena under skördeperioderna, tillsammans med det beräknade underskottet på 88 öre/kg mussla så bli kostnaden för fosforupptag i snitt 1050 kr/kg fosfor (min 784 kr, max 1243 kr) och i snitt 101 kr/kg kväve (min 85 kr, max 111 kr) (Tabell 6).

Tabell 6. Kostnad per kilo kväve respektive fosfor.

	Medel	Max	Min
Kväve (kr/kg)	101	111	85
Fosfor (kr/kg)	1050	1243	784

5. Nytt musselodling - samhällseffekter

5.1 Sociala och ekonomiska effekter

Inom ramarna för LIFE IP Rich Waters har konsultfirman Thyréns genomfört en utvärdering av de sociala och ekonomiska effekterna kopplade till musselodling i Östersjön (Franzén & Svensson 2024). Utvärderingen utgår från Ecopelags nuvarande verksamhet men även de sociala och ekonomiska effekter som är möjliga vid en framtida mer långsiktig utveckling av musselodling utmed Sveriges ostkust diskuteras. Nedan följer en sammanfattning av denna rapport där vissa av resonemangen har utvecklats. För mer information kring sociala och ekonomiska effekter se "Sociala och ekonomiska effekter av Rich Waters delprojekt" (Franzén & Svensson 2024).

Idag finns det endast ett fåtal aktörer som driver musselodlingar längs Sveriges ostkust, där Ecopelag EF verksamhet är den mest omfattande. Föreningen har idag sex aktiva odlingar spridda längs kusten och fokus ligger på att utveckla musselodling till en kostnadseffektiv miljöåtgärd som bidrar till en livskraftig Östersjö.

Även om produktionen i Östersjön mångdubblats de senaste åren så får omfattningen, ur ett internationellt perspektiv, fortfarande betraktas som liten och därmed miljöeffekterna än så länge begränsade. Som ett exempel så producerar Ecopelag idag runt 200 ton per år vilket ska sättas i perspektiv till Danmarks ambitioner om 300 000 ton per år. I ett framtida scenario med en utökad produktion skulle förutsättningarna för att motverka övergödningen och bidra till Östersjöns aktuella status öka markant. Detta skulle framför allt lokalt (men även mer omfattande, beroenden på skala) kunna bidra till en attraktiv miljö för rekreation både boende och turism.

Sedan starten 2016 har Ecopelags verksamhet stadigt vuxit och 2024 sysselsatte föreningen (med kompletterande verksamhet inom Ecopelag AB) sex personer på heltid, och närmare 30 i form av inhyrd personal och tjänster (till stor del fiskare och skärgårdsbor). Förhoppningen är därför att en tillväxt av näringen skulle kunna förstärka denna utveckling och bland annat bidra till en levande kust och skärgård.

Förutsättningarna som krävs för att bedriva musselodling betyder att de framför allt är placerade i skärgårdsmiljö, i många fall i glesbebyggda områden som tidigare kretsade kring fisket. I och med fiskets situation i Östersjön idag skulle en utökad musselodling kunna vara med och skapa nya och kompletterande verksamheter och jobbtillfällen i dessa områden. På längre sikt skulle det kunna leda till att fler bor kvar och att det då finns en stabil ekonomisk grund för andra företag att stanna kvar, vilket skulle leda till fler levande samhällen längs med kusten.

Då musselodling på ostkusten är en relativt ny företeelse har även utvecklingsarbetet fram till dagens datum genererat en mängd arbetstillfällen. Bland annat har ny odlings- och skördeteknik behövts tas fram och anpassas efter Östersjöns mindre musslor med en långsammare tillväxt. Parallellt har nya processtekniker tagits fram för hanteringen av musslorna dels som råvara, dels vid vidare processer till marknadsklara produkter. Utvecklingen av produkter från musslorna är en viktig pusselbit för att kunna skapa intäkter till odlarna och på så sätt öka kostnadseffektiviteten för musselodling som miljöåtgärd. Här är det framför allt två utvecklingsområden som Ecopelag har fokuserat på - djurfoder och livsmedel.

Inom foderindustrin är efterfrågan idag stor efter produkter som kan ersätta fiskmjöl då detta ofta kommer från hotade fiskbestånd samt att prisbilden tenderar att öka i framtiden. Mjöl gjort på

musslor har samtidigt ett högt innehåll av proteiner och nyttiga fetter samtidigt som det har ett lågt klimatavtryck vilket gör det attraktivt för branschen.

Kopplat till livsmedel så ingick Ecopelag under 2022 och 2023 som partner i ett projekt tillsammans med Jordbruksverket och Livsmedelsverket för att undersöka potentialen av att odla mussla för humankonsumtion på ostkusten. Utgången blev positiv och det fanns även flera intressenter i form av framtida musselodlare.

För att driva arbete med foder och livsmedel framåt har kompetenser från flera olika håll i samhället (universitet, entreprenörer, näringsliv, myndigheter etc.) involverats – något som skapat en mängd arbetstillfällen både nationellt och internationellt. Här har Ecopelag både initierat och varit en del av ett flertal EU-projekt så som Baltic MUPPETS, AquaGOOD och Cool Blue Baltic. Även om dessa projekt varit mycket framgångsrika finns det fortfarande mycket utvecklingsarbete kvar vilket även framöver kommer kräva kompetens inom ett flertal specialismråden. Vår förhoppning är emellertid att detta arbete inom några år kommer att ha lett till etableringen av en livskraftig ny näring som både bidrar till en förbättrad miljö och arbetstillfällen inom ett flertal sektorer såväl lokalt som regionalt.

Ytterligare en samhällseffekt värd att nämna är självförsörjning - blåmusslor från Östersjön skulle också kunna ersätta importerade mer resursintensiva livsmedel och råvaror. Ecopelag har genom olika projekt slagit sig samman med ett flertal aktörer för att ta fram nya innovativa lokala produkter baserade på just blåmussla från Östersjön. Här har vi bland annat utvecklat foderprodukter för katt och hund (<https://balticmuppets.eu/>) men även titta på möjligheten att använda små odlade musslor som livsmedel (AquaGOOD).

6. Diskussion

Studier på hur musselodlingar påverkar Östersjöns miljö är begränsade och det är därför för tidigt för att dra säkra slutsatser. De studier som hittills finns visar emellertid inga tecken på försämrad miljö i eller runt odlingarna utan tvärtom pekar de på en ökad biodiversitet och en förbättrad vattenkvalité (McKindsey *et al.* 2011, Kraufvelin & Díaz 2015, Schröder *et al.* 2015). De data och erfarenheter som samlats in från projektets odlingar, och från kompletterande projektodlingar är samstämmiga och ger inga indikationer på att närmiljön påverkas negativt, varken ansamling av organiskt material, påverkad bottenfauna eller oönskade algbloomningar. Detta betyder dock inte att negativa effekter inte *kan* uppstå med tiden, och/eller med en betydande uppskalning av odlingsverksamheten i Östersjön. Rekommendation måste därför vara att skala upp succesivt, övervaka miljön löpande, och framför allt, lägga stor vikt vid val av lokal. Att välja platser med god vattengenomströmning samt att undvika grunda bottnar (<15 m) med skyddsvärd bentisk flora och fauna är fortsatt viktigt.

I kontrast till andra åtgärder för minskad övergödning är det förhållandevis enkelt att mäta miljönytta vad gäller näringsreduktion. Musslorna har ett känt näringsinnehåll och vägs som ett naturligt steg i samband med skörd. Mängden näring varierar förvisso med säsong, men det får ett relativt litet genomslag på den slutliga kostnadseffektiviteten (totalt procent) om man jämför med andra åtgärder som exempelvis våtmarker där kostnaden kan variera tusentals procent (Djodjic *et al.* 2022).

Andra potentiellt sett positiva effekter såsom ökad biologisk mångfald är mindre väl dokumenterade och består till viss del av anekdotisk natur. Att tillskriva ett precist värde för dessa nyttor är därför svårt, men att odlingarna skapar nya habitat för en mängd olika organismer och utgör en refug och skydd från fiske är likväl otvivelaktigt.

Musselodling skulle även kunna vara en del av klimatarbetet. I dagsläget behöver vi minska vårt klimatavtryck från bland annat vår köttkonsumtion och musselkött är som tidigare nämnts ett hållbart protein med låga koldioxidutsläpp. Även skalen är en hållbar resurs som kan användas till bland annat jordförbättringsmedel och ersätta mindre bra produkter så som bruten kalk. Intäkterna från försäljningen av musselprodukter kan sedan nyttjas till att driva och utöka musselodlingen i Östersjön och som följd ökar sysselsättningen i de mer glesbefolkade områdena. Dessutom lever viktig kompetens och lokalkännedom vidare då samarbeten med lokala fiskare och entreprenörer är en central del i utbyggnaden av musselodling.

Vid sidan om miljö och socioekonomiska effekter är den stora knäckfrågan huruvida musselodling är, rent ekonomiskt sett, ett kostnadseffektivt verktyg för att minska närsaltsbelastningen i förhållande till andra landbaserade alternativ. I denna analys har vi utgått från ett scenario där musslorna som odlas kan säljas för 5 kr/kg vilket inte riktigt räcker för att täcka hela produktionskostnaden som idag förväntas hamna strax under 6 kr/kg. Enligt detta scenario skulle ett "underskott" på strax under 1 kr/kg mussla uppstå. Underskottet har sedan använts för att uppskatta ungefär hur omfattande ett stöd för musselodling behöver vara för att verksamheten ska kunna nå en ekonomiskt hållbar kalkyl. Utifrån vår senaste data på musslans kväve- och fosforinnehåll motsvarar det stödet en kostnad på ca 100 kr/kg kväve, och drygt 1000 kr/kg fosfor.

Att jämföra denna kostnadseffektivitet för musselodling rakt av är emellertid vanskligt, framför allt eftersom olika åtgärdsalternativs kostnad och genomförbarhet kan variera betydligt mellan områden med olika beskaffenhet och förutsättningar.

I en rapport från Länsstyrelsen i Västmanland (Gyllström *et al.* LS Västmanland Rapport 2026:19) har man därför utgått från fiktiva vattenområden med en viss storlek och åtgärdsbehov och listat åtgärderna efter kostnadseffektivitet (Tabell 7). I jämförelse med dessa siffror kan man konstatera att musselodling i scenariot ovan skulle kunna nå en kostnadseffektivitet i paritet med fosfordammar som är det tredje mest kostnadseffektiva åtgärden utav elva olika alternativ.

Tabell 7. Uppskattad kostnadseffektivitet i kronor per kilo fosfor (kr/kg P) för olika åtgärder. Data är hämtad från Länsstyrelsen i Västmanland Rapport 2026:19 och är baserade på fiktiva vattenområden med ett visst åtgärdsbehov. Musselodling har lagts till utifrån beräkningarna från denna rapport.

Åtgärd	Kostnadseffektivitet (kr/kg P)
Strukturkalkning	0
Anpassade skyddszoner	700
Fosfordammar	1 000
Musselodling	1 050
Anpassad stallgödselspridning	1 700
Våtmarker	2 900
Öka P-rening i avloppsreningsverk	4 000
Kalkfilterdiken	4 400
Tvåstegsdiken	8 000
Skyddszoner	10 100
Enskilda avlopp åtgärdade till normal skyddsnivå	17 500
Enskilda avlopp åtgärdade från normal till hög skyddsnivå	20 000

Man bör dock framhålla att det precis som för andra miljöåtgärder finns osäkerheter i kostnadsuppskattningen för musselodling. Musselodling är en ny förhållandevis outvecklad verksamhet i Östersjön och idag saknar vi därför erfarenheter kring hur produktionen kan variera från ett år till ett annat, hur länge odlingarna håller, hur mycket underhåll och tillsyn som kommer krävas och så vidare. Dessutom saknas det erfarenhet av hur musslan kommer tas emot som produkt samt vilket pris marknaden är villig att betala - något som naturligtvis påverkar hur kostnadseffektivt verktyg musselodling kan vara som miljöåtgärd.

Det faktum att musselodling i Östersjön är en outvecklad verksamhet betyder emellertid samtidigt att det finns ett stort antal "långt hängande frukter" vad gäller potentiella förbättringar och effektiviseringar. Det gäller allt från odlingsteknik, skördeteknik, logistik, processteknik och produktutveckling/valorisering av musslan. I en rapport från 1999 (Haamer *et al.* 1999) räknade man på att färska odlade musslor innehåller 1,1 % kväve och 0,07 % fosfor och vid skörd av ett kilo avlägsnas då kväve och fosfor till ett reningsvärde av 1,5–2 kr från havet. Där räknade man också på att om produktionspriset för ett kilo odlade musslor är 1,5–2 kr (motsvarar 2,4–3,2 idag) och marknadspriset är mellan 3–10 kr (motsvarar 4,9–16,2 kr idag) skulle musselodling kunna fungera som en lönsam kretsloppsanpassad och miljövänlig livsmedelsproduktion. Framtiden får utvisa, men, vår bedömning är att dessa produktionspriser inte är realistiska även för Östersjön. Musselodling skulle därmed kunna ge en kostnad på 0 kr/kg kväve och fosfor så länge det finns en bärande marknad.

Avslutningsvis bör man framhålla att musselodling som enbart en åtgärd för närsaltsreduktion bör komplettera, inte ersätta, landbaserade åtgärder. Att eliminera eller minska näringsläckage/näringsstillförsel vid eller nära källan ger miljövinster utmed hela vattensystem, inte bara i Östersjön. Musselodling ska framför allt ses som en metod för att återcirkulera den näring som redan har läckt ut och/eller den näring som inte går att stoppa innan den når kusten. Musselodling skulle även kunna användas som komplement/kompensation för områden och vattensystem som har dåliga förutsättningar att implementera andra åtgärder till rimlig kostnad, eller att ens nå åtgärdsbehovet. I dessa fall skulle musselodling kunna nyttjas som en kompletterande åtgärd som förutom att bidra till åtgärdsbehovet, även ser ut att kunna skapa en helt ny socialt, miljömässigt och ekonomiskt hållbar blå näring.

Med det sagt, den sammanvägda bedömningen av kostnader och nyttor som tas upp i denna rapport målar upp en tydligt positiv bild där nyttan ser ut att väga tyngre än kostnaden. De negativa miljöeffekterna tycks inte vara betydande medan det finns ett flertal positiva effekter både miljömässigt och samhällsekonomiskt.

7. Referenser

- Brigolin, D., Dal Maschio, G., Rampazzo, F., Giani, M., & Pastres, R. (2009). An individual-based population dynamic model for estimating biomass yield and nutrient fluxes through an off-shore mussel (*Mytilus galloprovincialis*) farm. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 82(3), 365-376. doi: 10.1016/j.ecss.2009.01.029
- Cranford PJ, Strain PM, Dowd M, Hargrave BT, Grant J, Archambault M (2007) Influence of mussel aquaculture on nitrogen dynamics in a nutrient enriched coastal embayment. *Mar Ecol Prog Ser* 347:61–78. <https://doi.org/10.3354/meps06997>
- Cranford, P. J., Li, W., Strand, Ø., & Strohmeier, T. (2008). Phytoplankton depletion by mussel aquaculture: high resolution mapping, ecosystem modeling and potential indicators of ecological carrying capacity. ICES.
- Djodjic, F., Geranmayeh, P., Collentine, D., Markensten, H., & Futter, M. (2022). Cost effectiveness of nutrient retention in constructed wetlands at a landscape level. *Journal of Environmental Management*, 324, 116325. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116325>
- Engvall, M. (2012) *VET DU VAD DIN MIDDAG ÅT TILL FRUKOST?* Available at: www.swedwatch.org.
- Franzén, F. & Svensson, M. (2024). Sociala och ekonomiska effekter av Rich Waters delprojekt. Rich Waters. Tyréns Sverige AB
- Gren, I.M., Lindahl, O., Lindqvist, M., 2009. Values of mussel farming for combating eutrophication: An application to the Baltic Sea. *Ecol. Eng.* 35, 935–945. doi: 10.1016/j.ecoleng.2008.12.033
- Gyllström, M., Larsson, M., Mentzer, J., Petersson, J. F., Cramér, M., Boholm, P. och Witter, E. Länsstyrelsen Västmanland. Rapportserie 2016:19. Åtgärder mot övergödning för att nå god ekologisk status. [Åtgärder mot övergödning för att nå god ekologisk status](#)
- Haamer, J. (1999). Strategisk musselodling för att skapa kretslopp och balans i ekosystemet: kunskapsöversikt och förslag till åtgärder. [Åtgärder mot övergödning för att nå god ekologisk status](#)
- HELCOM (2018). Implementation of the Baltic Sea Action Plan 2018.
- HELCOM (2023). Eutrophication – Thematic assessment 2016 – 2021. Baltic Sea Environment Proceedings, 192. [HELCOM-Thematic-assessment-of-eutrophication-2016-2021.pdf](#)
- Karlsson, M. & Reutgard, M. (2021). Ökad kunskap om hur musselodlingar kan påverka ekosystem i Östersjön. Havs och Vattenmyndigheten.
- Kautsky, N., & Wallentinus, I. (1980). Nutrient release from a Baltic *Mytilus*-red algal community and its role in benthic and pelagic productivity. *Ophelia*, 1(Suppl), 17–30.
- Kraufvelin, P., & Diaz, E. R. (2015). Sediment macrofauna communities at a small mussel farm in the northern Baltic proper. *Boreal environment research*, 20(3).
- Kumblad & Wikström (2018). Musselodling i Östersjön – en ineffektiv åtgärd mot övergödning. Policy brief framtagen av Östersjöcentrum. [musselodlingSVEwebb.pdf \(su.se\)](#) (Hämtad 2024-07-09).

- Lauringson, V., & Kotta, J. (2016). Mussels of a marginal population affect the patterns of ambient macrofauna: a case study from the Baltic Sea. *Marine Environmental Research*, 116, 10-17.
<https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2016.02.010>
- Lindhahl, O. & Kollberg, S. 2008. How mussels can improve coastal water quality. *Bioscience Explained*, vol. 5, no. 1, 1-14. http://www.bioscience-explained.org/ENvol5_1/pdf/musseleng.pdf
- Mattsson, J., & Lindén, O. (1983). Benthic macrofauna succession under mussels, *Mytilus edulis* L. (Bivalvia), cultured on hanging long-lines. *Sarsia*, 68(2), 97-102.
<https://doi.org/10.1080/00364827.1983.10420561>
- McKindsey, C. W., Archambault, P., Callier, M. D., & Olivier, F. (2011). Influence of suspended and off-bottom mussel culture on the sea bottom and benthic habitats: a review. *Canadian Journal of Zoology*, 89(7), 622-646. <http://dx.doi.org/10.1139/z11-037>
- Minnhagen, S., Ozolina, Z., Emilsson, M., & Bailey, J. (2018/2019). BUSINESS SITUATION ANALYSIS for a mussel farm located in east-coast Sweden.
- Nizzoli, D., Welsh, T., Bartoli, M., & Viaroli, P. (2005). Impacts of mussel farming on oxygen consumption and nutrient recycling in a eutrophic coastal lagoon (*Mytilus galloprovincialis*). *Hydrobiologia*, 550, 183–198.
- Petersen, J. K., & Loo, L. O. (2004). Miljøkonsekvenser af dyrkning af blåmuslinger. Rapport til Interreg-projekterne ”Gränslöst samarbete” og ”Forum Skagerrak II”.
- Prins, T. C., Smaal, A. C., & Dame, R. F. (1997). A review of the feedbacks between bivalve grazing and ecosystem processes. *Aquatic Ecology*, 31, 349-359.
- Schröder, T., Stank, J., Schernewski, G., & Krost, P. (2014). The impact of a mussel farm on water transparency in the Kiel Fjord. *Ocean & coastal management*, 101, 42-52.
<https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2014.04.034>
- Seppälä, J. (2009). Fluorescence properties of Baltic Sea phytoplankton.
- Snøeijs-Leijonmalm, P. and Andrén, E. (2017) ‘Environmental gradients’, in *Biological Oceanography of the Baltic Sea*, pp. 23–84. Available at: <https://doi.org/10.1007/978-94-007-0668-2>.
- Vahtera, E. *et al.* (2007) ‘Internal Ecosystem Feedbacks Enhance Nitrogen-fixing Cyanobacteria Blooms and Complicate Management in the Baltic Sea’, *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 36(2), pp. 186–194. Available at: [https://doi.org/10.1579/0044-7447\(2007\)36\[186:IEFENC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1579/0044-7447(2007)36[186:IEFENC]2.0.CO;2).

8. Bilaga 1

8.1 Material och metod

Nedan följer en kort beskrivning av de material och metoder som använts inom projektet, för mer utförligare beskrivning se delrapport 1 samt miljöövervakningsrapport (Karlsson & Reutgard 2021). Stycket kring den generella utformningen av Ecopelags nedsänkta odlingsteknik är delvis hämtat ur Delrapport 2 av LIFE IP Rich Waters delprojekt C14 "Innovative mussel farming to reduce nutrients".

Data hämtades även in för två referensodlingar från tidigare egna projekt samt för två referensstationer i det regionala miljöövervakningsprogrammet från sharkwebb.se.

8.1.1 Projektets gång/musselodling

Under fas 1 undersöktes förutsättningarna för musselodling i Norra Östersjöns vattendistrikt med hjälp av 28 pilotodlingar längs kusten i de deltagande kommunerna Norrtälje, Nacka, Haninge och Trosa. Lokalerna valdes utifrån en geografisk fördelning som förenklat sett representerar en nord-sydlig transekt. Lokalerna har valts för att representera ett brett spektrum av de olika förhållanden som förekommer inom vattendistriktet, framför allt gällande salthalt, näringshalt (klorofyll), temperatur och exponeringsgrad. Pilotodlingarna i form av burar med olika infästa substrat utvärderade området, substratet och om odlingsdjupet var lämpligt för musselodling. Under fas 1 sattes också de första nedsänkta enheterna ut i Jungfrufjärden, Haninge kommun, samt Erstaviken, Nacka kommun, efter analys av insamlade data gällande bland annat skördevik och batymetriska undersökningar.

Under fas 2 utökades den nedsänkta odlingen i Jungfrufjärden med 4 enheter. Fokus under fas 2 var odlingsteknikutveckling på områden som praktisk utplacering av enheter och infästning av substrat. Vidare under fas 2 och i fas 3 etablerades en fullskalig odling i Jungfrufjärden med totalt 15 enheter medan odlingen i Erstaviken avetablerades.

Under fas 3 har teknikutvecklingen fortsatt i den fullskaliga odlingen i Jungfrufjärden som också kommer förbli den odling som används för utveckling av alla områden som sedan överförs till de andra odlingarna. I fas 3 utfördes även miljöövervakning för makrofauna samt sediment. Vid arbete vid odlingarna observeras även kontinuerliga förändringar och iakttagelser rörande miljön i området.

8.1.2 Näringsinnehåll

Musslor från ett parallellt projekt (Livsmedelsmussla) i Västervik skickades för analys av kväve och fosfor. Detta för att projektet hade en serie av musselprover över tre säsonger, från april till och med november, som kan ge indikationer på säsongsvariation. För att veta den totala mängden N och P som tas upp vid skörd analyserades musslorna med skal samt eventuell påväxt och andra associerade organismer som följer med upp vid skörd.

8.1.3 Sedimentanalys

Sedimentprover på de översta fem centimetrarna togs med en Kajak-hämtare från odlingen i Jungfrufjärden. Två replikat togs och sedimentkärnorna skivades upp i två delar (0–2 cm och 3–5 cm) som sedan lades i separata burkar och frystes in i -20°C snarast möjligt. Proverna skickades sedan för analys av total organisk kolhalt beräknad från glödförlust.

8.1.4 Makrofauna

Sediment togs upp med en van Veen-grab (0,1 m²) som därefter silades med ett 1 mm såll för att sortera ut makrofauna. Djuren lades i separata burkar för identifiering och beräkning av antal så snart som möjligt.

8.2 Resultat

8.2.1 Projektets gång/Musselodling

Se separata rapporter: Delrapport 2 - Teknisk beskrivning om musselodlingar och Delrapport 3 - Teknisk beskrivning av skörd, logistik, processteknik och avsättning.

8.2.2 Sedimentanalys

Data från ett kompletterande projekt i Trosa kommun sammanställdes tillsammans med odlingen i Jungfrufjärden och en referensstation från den regionala miljöövervakningen för jämförelse av glödförlust och total organisk kolhalt. Sammanställningen visar att odlingen i Jungfrufjärden har lägre halter av alla glödförlustvärden i procent torrsustans (% TS) utom på en punkt i referensstationen. Referensodlingarna har högre halter än odlingen i Jungfrufjärden och ligger mellan halterna analyserade i referensstationen.

Total organisk kolhalt (TOC) beräknad från glödförlust visar en genomsnittlig halt på 2,30 % TS i de översta 2 centimetrarna och 1,39 % TS (n=2, tabell B1) i de efterföljande 3 centimetrarna i sedimentet under odlingen Jungfrufjärden.

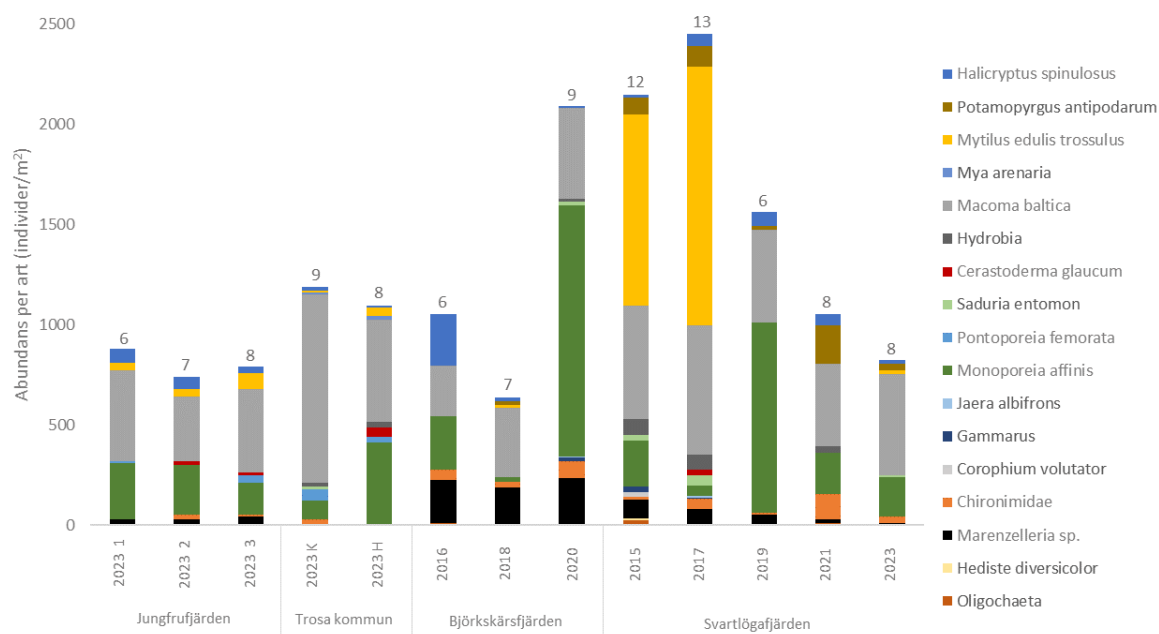
I sedimenten under referensodlingen i Kråmö var den genomsnittliga totala organiska kolhalten 5,41 % TS i de översta 2 centimetrarna och 4,73 % TS (n=3, tabell B1) i de efterföljande 3 centimetrarna och 7,13 % TS i de översta 2 centimetrarna och 6,14 % TS (n=3, tabell B1) i de efterföljande 3 centimetrarna i referensodlingen i Hållsviken.

Tabell B1. Sedimentprover från odlingen i Jungfrufjärden jämförs med sediment från odlingarna i Kråmö och Hållsviken i kompletterande projekt samt referensstation, Björkskärsfjärden, från det regionala miljöövervakningsprogrammet (sharkwebb.se). Tabellen visar antal replikat per station, provets del av sedimentkärnan i centimeter djup, halten torrsustans i % (procent), glödförlust i enheterna % TS (procenttorrsustans) och beräknad TOC (total organisk halt) i % (procent), vattendjupet på provtagningslokalen i enheten meter och året då provtagningen utfördes och halterna visas som medel per provtagnings år.

	Jungfrufjärden	Kråmö	Hållsviken	Björkskärsfjärden		
	Musselodling	Referensodling	Referensodling	Referensstation		
År	2023	2023	2023	2016	2018	2020
Vattendjup m	42	16	28	40		
	Medel, n=2	Medel, n=3	Medel, n=3	n=1		
0–2 cm						
Torrsustans % TS	55.95	27.10	23.17			
Glödförlust % TS	3.95	9.34	12.27	-	15.0	4.15
TOC, beräknad %	2.30	5.41	7.13			
2–5 cm						
Torrsustans % TS	62.55	31.97	27.13			
Glödförlust % TS	2.4	8.16	10.57	17.03	4.71	2.23
TOC, beräknad %	1.39	4.73	6.14			

8.2.3 Makrofauna

Det totala antalet arter som observerades i odlingen i Jungfrufjärden är 8 och antalet arter per hugg är 6, 7, och 8 vilket ger ett medel på 7 arter per bottenhugg (Figur B1).

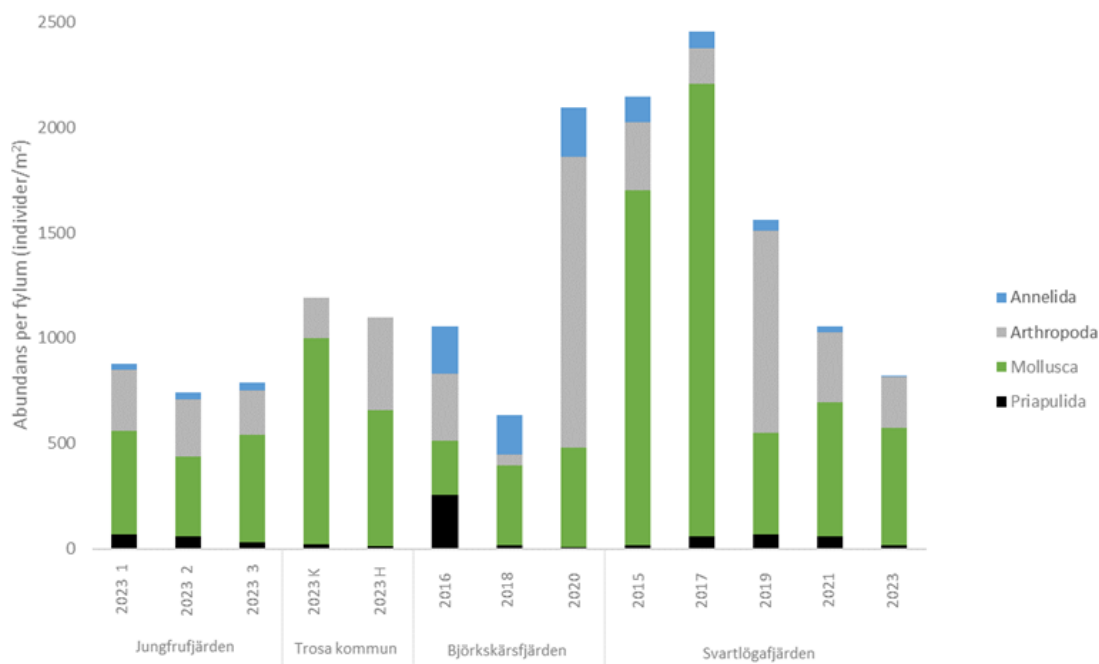


Figur B1. Abundans på artnivå (individer/m²) per replikat (1–3) för odlingen i Jungfrufjärden, Haninge kommun, och i medel för referensodlingarna Kråmö (2023 K, n=3) och Hållsviken (2023 H, n=3) i Trosa kommun från ett kompletterande projekt samt referensstationerna Björkskärsfjärden (n=1) och Svartlögefjärden (n=1) från det regionala miljöövervakningsprogrammet. Under staplarna står vilket år provet är taget och ovan staplarna står det totala antalet arter per provhugg utom i Trosa kommun där det är ett medel (n=3).

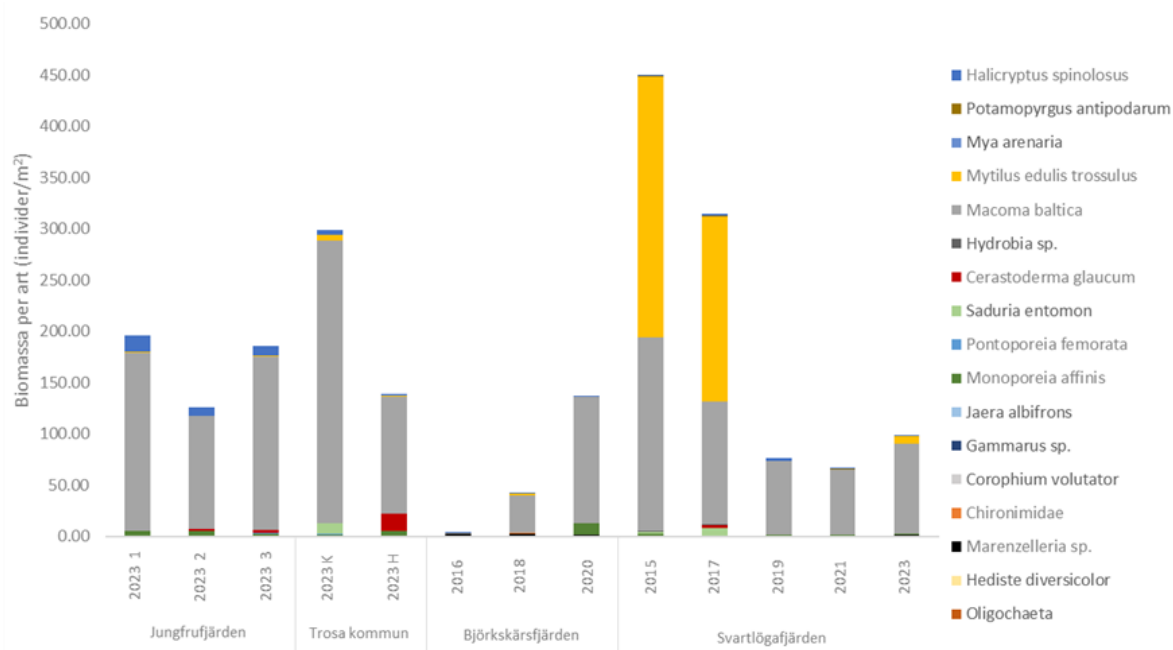
Referensodlingarna Kråmö och Hållsviken har ett totalt antal observerade arter på 8 respektive 9 och 5, 5 och 9 respektive 6, 6 och 8 arter per hugg vilket ger ett medel på 6 respektive 7 arter per referensodling.

I referensstationen Björkskärsfjärden var det totala antalet arter per år 6, 7 och 9 från år 2016 till 2020 och i Svartlögefjärden från år 2015 till 2023 var det totala antalet arter 13, 12, 6, 8 och 8 per år.

Abundansen på fylumnivå visar att det är *Mollusca* och sedan *Arthropoda* som har de flesta antalet individer per fylum oavsett station och därefter är det *Annelida* och *Priapulida* som innehar ett mindre antal individer (figur B2).



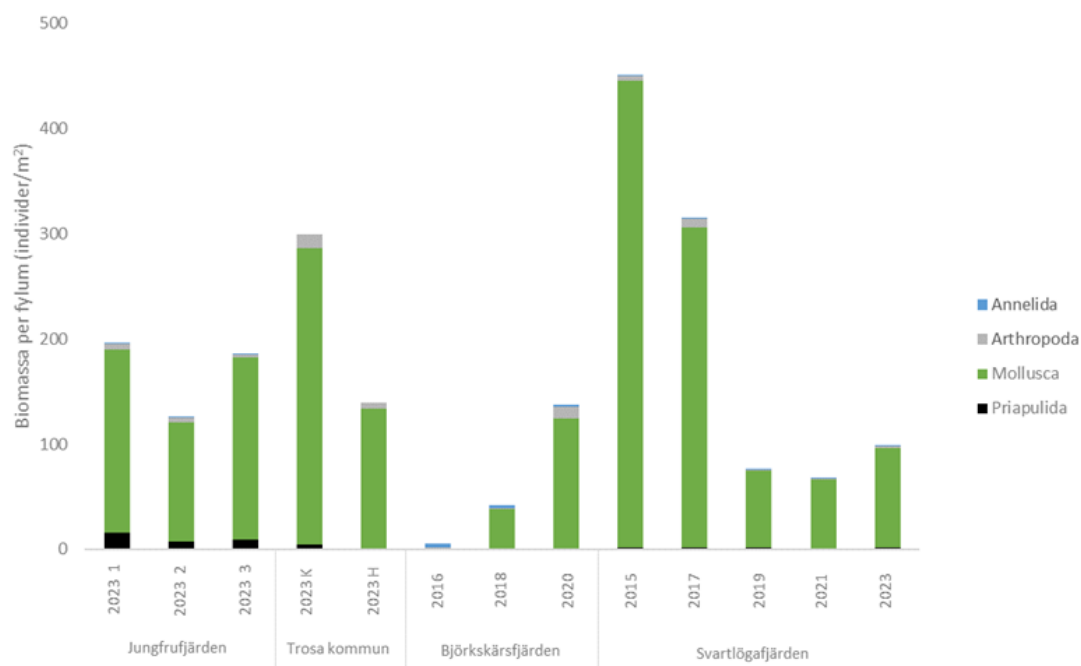
Figur B2. Abundans på fylumnivå (individer/m²) per replikat (1–3) för odlingen i Jungfrufjärden, Haninge Kommun, och i medel för referensodlingarna Krämö (2023 K, n=3) och Hållsviken (2023 H, n=3) i Trosa kommun från ett kompletterande projekt samt referensstationerna Björkskärsfjärden (n=1) och Svartlögfjärden (n=1) från det regionala miljöövervakningsprogrammet och vilket år provet är taget.



Figur B3. Biomassa på artnivå (gram våtvikt/m²) per replikat (1–3) för odlingen i Jungfrufjärden, Haninge Kommun, och i medel för referensodlingarna Krämö (2023 K, n=3) och Hållsviken (2023 H, n=3) i Trosa kommun från ett kompletterande projekt samt referensstationerna Björkskärsfjärden (n=1) och Svartlögfjärden (n=1) från det regionala miljöövervakningsprogrammet och vilket år provet är taget.

Vid samtliga provtagningar var biomassan störst hos arten *Macoma baltica* (figur B3). I Jungfrufjärden kom därefter *Halicryptus spinolosus*, i svartlögafjärden *Mytilus edulis trossulus* och därefter var det ingen art vars biomassa utmärkte sig viktligt.

När det gäller biomassan per fylumnivå är det *Mollusca* som dominerar (figur B4).



Figur B4. Biomassa på fylumnivå (gram våtvikt/m²) per replikat (1–3) för odlingen i Jungfrufjärden, Haninge kommun, och i medel för referensodlingarna Krämö (2023 K, n=3) och Hållsviken (2023 H, n=3) i Trosa kommun från ett kompletterande projekt samt referensstationerna Björkskärsfjärden (n=1) och Svartlögafjärden (n=1) från det regionala miljöövervakningsprogrammet och vilket år provet är taget.