





# DELIVERABLE 2.2

## TWO SITE SPECIFIC MANUALS ON MUSSEL FARMING



Co-funded by  
the European Union

Disclaimer: Baltic MUPPETS is co-funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the granting authority, European Innovation Council and SMEs Executive Agency (EISMEA). Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.

<b>Grant agreement number</b>	101083785
<b>Project title</b>	Baltic MUPPETS Baltic MUssel Products for PEt foodS
<b>Deliverable title</b>	Two site specifik manuals on mussel farming
<b>Deliverable number</b>	2.2
<b>Deliverable version</b>	1
<b>Contractual date of delivery</b>	28.02.2026
<b>Actual date of delivery</b>	27.02.2026
<b>Document status</b>	Final/draft
<b>Online access</b>	Yes
<b>Diffusion</b>	Public
<b>Nature of deliverable</b>	RE- Document, Report
<b>Work Package</b>	2
<b>Contributing partners</b>	SEA
<b>Author</b>	Per Dolmer (BLR), Mette Aaskov (BLR)
<b>Editor</b>	Contributors: Johanna Hofrén (SEA), Susanna Minnhagen (SEA), Martin Karlsson (SEA), Martin Reutgard (SEA) Editor: Maya Miltell (SUBNET),
<b>Keywords</b>	Mussel cultivation, blue mussels, Baltic Sea, low trophic aquaculture, sustainable aquaculture, production manual, monitoring



## CONTENT

1. Introduction .....	5
1.1 Mussel farming in Denmark and Sweden .....	5
1.2 Disclaimer .....	6
Annex I: Site specific production manual for Limfjorden (ENG)	
Annex II: Site specific production manual for Limfjorden (DK)	
Annex III: Site specific production manual for the Swedish east coast (ENG)	
Annex IV: Site specific production manual for the Swedish east coast (SE)	

## 1. INTRODUCTION

This manual provides an overview of the technological infrastructure, farming practices, and operational principles used in modern mussel farming in Denmark and Sweden. It draws on experiences from full-scale mussel farms developed under eutrophic coastal conditions and describes both established and newly developed technologies related to farm installation, operation, harvesting, and monitoring. The manual is intended to support practitioners, decision-makers, and new entrants by illustrating the production potential and practical considerations associated with investing in contemporary mussel farming systems.

Recent years have seen the development and testing of new technological solutions aimed at improving efficiency, scalability, and sustainability in mussel farming. These include innovations in farm infrastructure, anchoring and submerging systems, harvesting equipment adapted to vessel-based operation, and methods for monitoring mussel growth and biomass. This manual describes the design and use of such technologies, as well as the associated farming routines, with the aim of supporting knowledge exchange and development of mussel farming across Denmark and Sweden.

The manual is composed of two parts, a Swedish and a Danish manual, each describing the conditions and terms for mussel production in the two respective countries. The manual is in English, but it is also written in Swedish and Danish, respectively.

### 1.1 Mussel farming in Denmark and Sweden

Coastal waters in both Denmark and Sweden are, to varying degrees, influenced by nutrient inputs from surrounding catchment areas. Agricultural activities and other land-based sources contribute nitrogen and phosphorus through rivers, drainage systems, and diffuse runoff. Elevated nutrient concentrations stimulate primary production and can lead to increased phytoplankton biomass, reduced water clarity, and periodic oxygen depletion, particularly in enclosed or shallow waters. These environmental conditions form an important backdrop for mussel farming in the region.

Blue mussels (*Mytilus edulis*) are efficient filter feeders that utilise phytoplankton as their primary food source. In nutrient-rich waters, this can result in substantial biomass production, even where growth rates vary due to differences in salinity and temperature. Through the incorporation of nitrogen and phosphorus into their biomass, mussels also contribute to nutrient removal when harvested, giving mussel farming a potential role as a complementary measure for improving coastal water quality. At the same time, mussel farming must be carefully managed to minimise local organic loading and associated impacts on sediments and oxygen conditions.

Mussel farming practices differ across Danish and Swedish waters due to variations in salinity, growth rates, regulatory frameworks, and market conditions. In more saline environments, mussels may reach market size suitable for human consumption within shorter production cycles, while in low-salinity areas growth is slower and alternative value chains, such as feed

ingredients for animals and pets, may be more relevant. Nevertheless, shared challenges and opportunities exist across regions, including high nutrient availability, natural mussel recruitment, relatively low biofouling pressure in some areas, and increasing interest in large-scale, environmentally integrated production systems.

## 1.2 Disclaimer

In November 2025, during the preparation of this report, the company Wittrup Seafood A/S declared bankruptcy. As a partner in Baltic MUPPETS, the company has been responsible for developing technology that would make it possible to produce blue mussels in a submerged mussel farm with nets (Danish pilot). The company has also been responsible for demonstrating farming in submerged systems. For this reason, the present manual has been prepared without access to their crucial knowledge on methods and testing of equipment, and it is primarily based on the observations Blue Research has carried out during field work as well as information from project meetings wherein the project has been discussed. It is as such our understanding that the manual presents a true and fair view of the developed and demonstrated technology.



# DELIVERABLE 2.2

## Annex I

### SITE SPECIFIC PRODUCTION MANUAL FOR LIMFJORDEN (ENG)



Co-funded by  
the European Union

Disclaimer: Baltic MUPPETS is co-funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the granting authority, European Innovation Council and SMEs Executive Agency (EISMEA). Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.

## CONTENTS

1. Introduction .....	4
2. The established mussel farms .....	5
3. Introduction to the system's construction .....	6
3.1 Assembling the submerged mussel farms involves several stages .....	6
3.2 Establishing the pipe reaches .....	8
3.3 Development of new pipe-end .....	9
3.4 Attaching the concrete blocks .....	9
4. Introduction to the production phase .....	13
4.1 The production cycle.....	13
4.2 Preparing the systems for the collection of spat .....	13
4.3 Time for collecting the spat.....	14
4.4 The growth period .....	15
4.5 Autumn thinning and overwintering .....	15
4.6 Spring harvest of consumable mussels .....	15
4.7 Harvesting machine and systems for handling mussels aboard the vessel .....	16
5. Costs associated with establishing the facility.....	17
6. Production statistics 2025 .....	19
7. Drone monitoring in 2025 .....	20
References .....	25

## LIST OF FIGURES

Figure 1: The concentration of phytoplankton measured as Chl A in Skive Fjord. ....	4
Figure 2: The placement of the two mussel farms.....	6
Figure 3: Developed pipe-end.....	9
Figure 4: Concrete blocks.....	10
Figure 5: A net end with attachment to the anchor and pipe at the top.....	10
Figure 6: The production cycle for a submerged mussel farm.....	13
Figure 7: Settling of blue mussel larvae in Skive Fjord.....	14
Figure 8: Growth in biomass at farming facility using longlines in Skive Fjord.....	15
Figure 9: High amounts of biomass on nets in Skive Fjord on 22 August 2023 .....	15
Figure 10: Sigmoidal model for index of blue mussel biomass on long-lines.....	20

## LIST OF TABLES

Table 1: Specifications of the farming system delivered by SmartFarm, Norway. ....	6
Table 2: Investment costs for establishing a submerged mussel farm.. ....	17
Table 3: Harvested mussels in Skive Fjord.. ....	19
Table 4: Modelled index for biomass based on biomass on long-lines in 2010-2011. ....	20
Table 5: Images show the monitoring of station 1 from June – October 2025.....	21
Table 6: Images show the monitoring of station 2 from June – October 2025.....	22
Table 7: Images show the monitoring of station 3 from June – October 2025.....	24

# 1. INTRODUCTION

The purpose of this manual is to describe the technological infrastructure for mussel farming developed in the Limfjord in connection with Baltic MUPPETS. The manual describes the farming routines as well as the uses of technology developed in conjunction with the project. During the project, several new processes and technological solutions have been developed, including a machine that can handle the concrete blocks needed for submerging the pipes, a harvesting machine that can be attached to the side of a vessel, and a new end piece for pipes, used to attach pipes directly to a screw anchor. A subsidiary goal of the manual is to make clear to new users the production potential present in investing in this type of equipment.

The Limfjord is a eutrophicated system of fjords wherein the environmental conditions are highly characterised by the considerable discharge of nutrients, particularly nitrogen and phosphorus, from nearby agricultural areas. The surrounding areas are dominated by intensive agriculture, which entails a leaching out of nutrients via streams, drains, and diffuse run-off. This load of nutrients stimulates the primary production and often leads to algal bloom, increased turbidity, and, periodically, deoxygenation of the water, particularly in the more closed and shallow parts of the Limfjord.

Figure 1 shows the amount of chlorophyll A in Skive Fjord in the surface water in the period 2022-2025. Concentrations can be observed at 10-20 microgram per litre in the spring months, which is much higher than the average for Danish fiords (Hansen et al, 2025).

These conditions have direct bearings on mussel production. Blue mussels (*Mytilus edulis*) act as filters and utilise the high concentration of phytoplankton as a food basis, which may lead to high growth rates and biomass production in eutrophicated waters. At the same time, mussel farming can have a secondary function in removing nutrients, as nitrogen and phosphorus are bonded in the mussels' biomass and thus removed in harvesting. However, a high degree of organic impact from mussel production may contribute locally to sedimentation and reduction of oxygen by the microbial breaking down of organic material. All in all, mussel farming may facilitate improved water quality in the Limfjord.

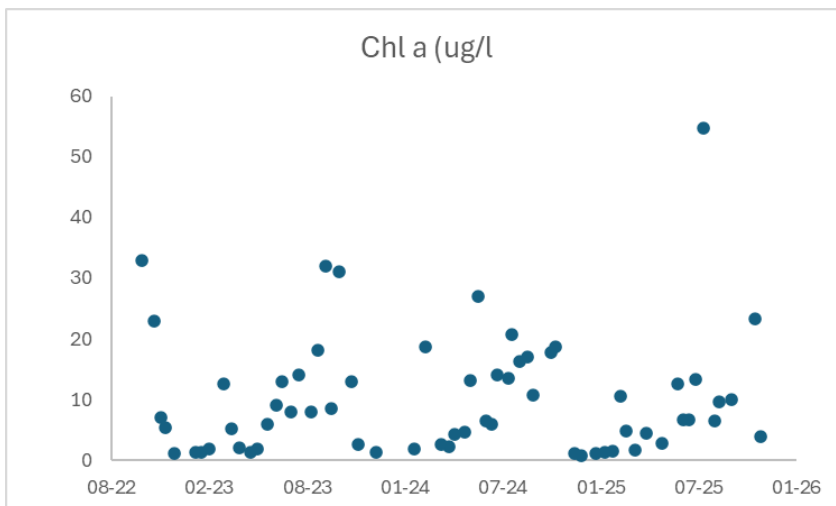


Figure 1: The concentration of phytoplankton measured as Chl A in Skive Fjord, 2022-2025 (Hansen et al, 2025).

## 2. THE ESTABLISHED MUSSELFARMS

As part of the EU-project Baltic MUPPETS, mussel farms have been established in two farming areas in the Limfjord, in Skive Fjord, situated in a relatively closed part of the Limfjord (Fig. 2). In each area, 60 production units have been established. Each unit consists of a 121.5 m long PEHD pipe with a diameter of 250 millimetre (Table 1). The nets for production of mussels have a mesh size of 175x175 millimetre and the nets have a height of three metres. The nets do not have weights attached at the bottom, as this is not necessary because they are submerged with concrete blocks. Each mussel farm has a distribution of 750x250 metres (18 hectare), and they are marked with yellow corner markings.

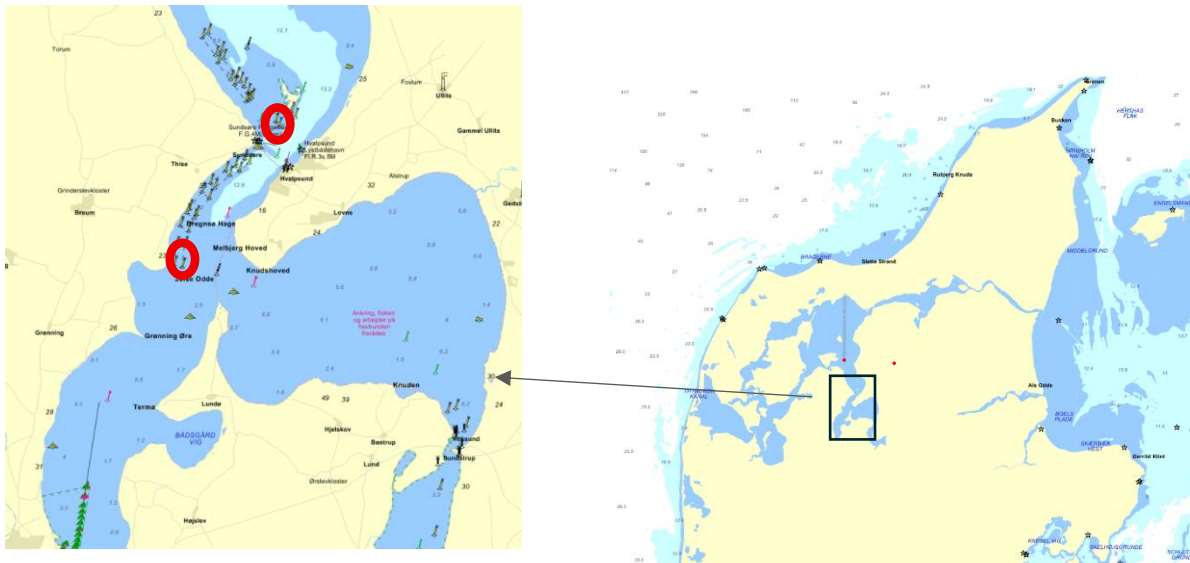


Figure 2: The placement of the two mussel farms (marked with red circles), which have been established in Skive Fjord as part of BalticMUPPETS. In each of the two areas, 60 reaches have been established with a closed PEHD pipe as buoyancy and a net on which the mussels are produced.

Table 1: Specifications of the farming system delivered by SmartFarm, Norway.

SmartUnits (P 121,5 m C 3 m - 14/14 mm - 3850 m collector rope)		
Description:	Drawing ref.	Dimension: Unit:
Head-rope length	Dimension A	126 m
Head-rope diameter	Dimension D	32 mm
Min. Head-rope strength (mbl)	Position 4	17 ton
Unit Pipe length	Dimension B	121,5 m
Pipe dimension, SDR - DN	26	250 mm
Volume pr. meter		41,8 litre pr. m
Total volume in one SmartUnit		5 083 litre pr. unit
Collector depth	Dimension E	3,0 m
Mesh opening - horizontal		175 mm
Mesh opening - vertical		175 mm
Vertical collector rope	Ref. Y	14 mm
Horizontal collector rope	Ref. X	14 mm
Collector ropes (horizontal & vertical)		3 852 meter
Collector ropes calculating only vertical ropes		1 869 meter

### 3. INTRODUCTION TO THE SYSTEM'S CONSTRUCTION

#### 3.1 Assembling the submerged mussel farms involves several stages

Stage 1: Before the mussel farms can be established, it is necessary to have a permit from the authorities. The regulatory processing involves an assessment of whether the mussel farm

causes an impact on the marine environment, and whether it causes conflicts with other uses of the marine area, including for ship traffic. A permit must go into hearing with several authorities and organisations. The naval authorities have requirements for how a mussel farm must be marked in order to avoid collisions. It has not been possible to apply for new permits for mussel farms since 2021 due to a lack of clarity in how the areas are to be managed. If a permit is granted, a bank guarantee must be provided, ensuring financial means for clean-up in the case of bankruptcy.

Stage 2: Before the placement of farming materials, the establishment must be announced on the naval authority's communication channels, so that shipping is aware of the establishment of the farm. Subsequently, the farming area must be marked with the necessary markings.

Stage 3: Screw anchors must be drilled into the seabed, making possible the anchoring of the farming pipes. In a farm of 60 pipes, 120 anchors must be drilled down. The anchors are drilled into solid ground, and a pull test is performed on the anchors.

Stage 4: The farming pipes are welded together in a working container on land, and the nets are attached to them. The pipes are then dragged to the farming area and attached to the anchors. This process is described in further detail later in this manual.

Stage 5: Concrete blocks of 150 kilogram are attached to the nets, thereby submerging them. Approximately 55 blocks are attached per pipe. This process is also described in further detail later in this manual.

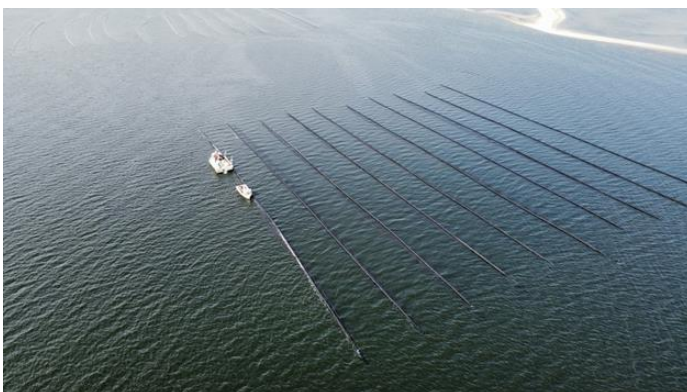
## 3.2 Establishing the pipe reaches



The mussel farms consist of 121,5 metres long pipes with attached nets. The pipes are standard PEHD pipes with a diameter of 250 millimetres. The pipes are delivered in standard lengths of 12 metres and are welded together on site.



The pipes are placed at one end of the 20-foot-long container, where the pipes are welded together, end pieces are welded to the pipes, and nets are attached to the pipes. The pipes are slowly transported into the water during the assembly process, and subsequently an anchor is attached to each individual production reach, and it will later be placed at the farming facility.



The pipes are placed at one end of the 20-foot-long container, where the pipes are welded together, end pieces are welded to the pipes, and nets are attached to the pipes. The pipes are slowly transported into the water during the assembly process, and subsequently an anchor is attached to each individual production reach, and it will later be placed at the farming facility.

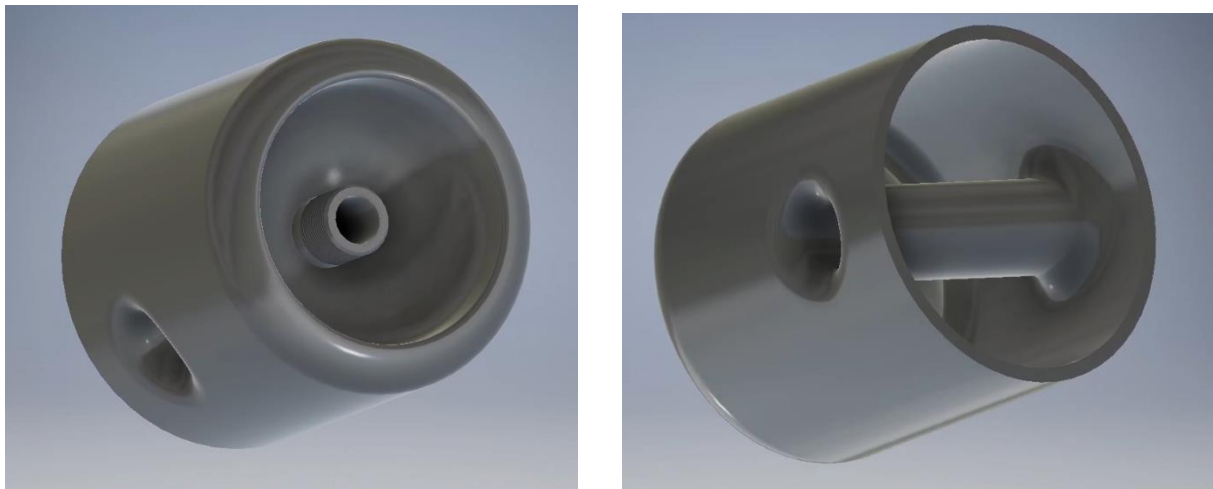
### 3.3 Development of new pipe-end

The PE pipes used in the submerged mussel farm should be pressurised. The excess pressure makes the submerged structure more robust and allows the system to be constructed with thinner pipes. A valve at the end of the pipe also makes it possible to empty the pipe in the case of a leak.

In existing farming systems using nets and pipes, the system is anchored via the net. This means that the pipe can slowly rotate within the net, keeping the pipe free from fouling. In surface systems, the pipes are therefore constructed to be longer and extend beyond the ends of the net to achieve a robust structure.

In a submerged system, the ability of the pipes to rotate adds no value. Therefore, material costs can be decreased if the pipe is no more than ten metres longer than the net. Anchoring directly to the pipe also eliminates the need for the strong rope that runs along the entire net and is used for anchoring. By using a pipe end to which the anchor line is attached directly, plastic material can be saved and work processes simplified.

In the project Baltic MUPPETS, a pipe-end has been developed that allows for direct attachment of the anchor line as well as attachment of a valve that enables pressurisation of the pipe. The pipe-end has been designed so it can be mass-produced via injection moulding.



*Figure 3: A pipe-end has been developed which allows for attachment of the anchor line directly to the pipe. It is also possible to attach a valve that enables pressurisation of the pipe.*

### 3.4 Attaching the concrete blocks

On each farming unit, approximately 55 concrete blocks are attached (Fig. 4). The concrete blocks are attached to the lower edge of the net with a long enough rope to ensure that the pipe is kept approximately one metre below the surface at normal water levels. Since the tidal range in Skive Fjord is very small, the mussel farm will remain submerged most of the time. Figures 8 to 12 show how the concrete blocks are attached to the nets. The heavy blocks (250 kg) are attached to the nets in the production area, and equipment has been developed to

support safe and efficient assembly processes. Describing this method as safe mainly refers to the ship crew's occupational safety, as handling heavy blocks in rough weather without lifting aids would present a high risk of workplace accidents.



Figure 4: Concrete blocks. Approximately 55 concrete blocks, each weighing 250 kg, are attached to each unit.

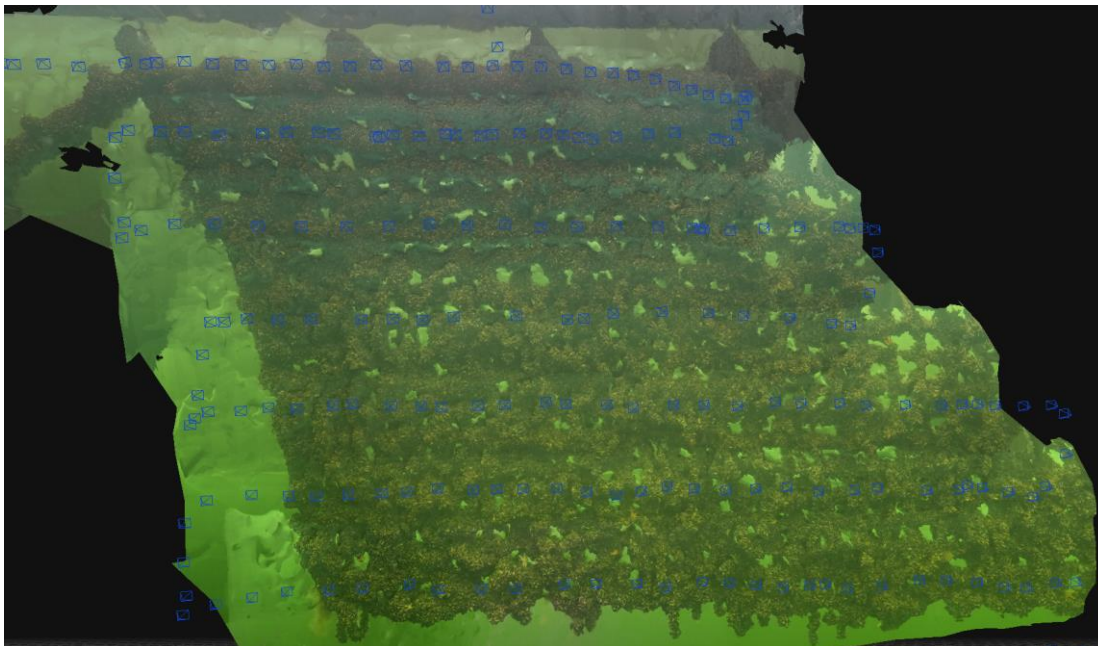


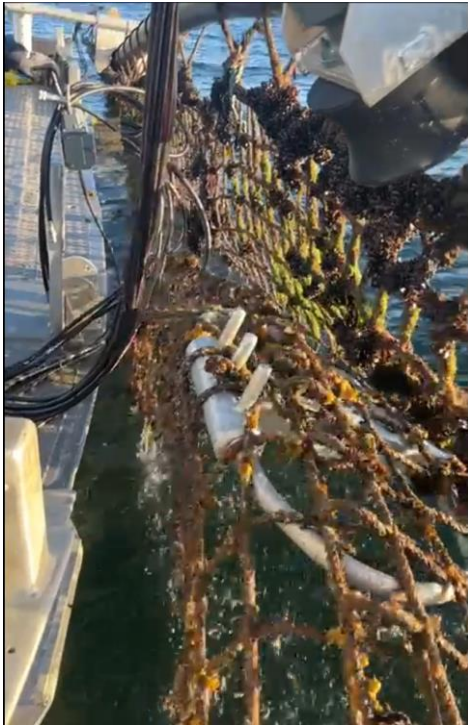
Figure 5: A net end with attachment to the anchor and pipe at the top. Four rope ends attached around the pipe are shown. The picture here has been constructed from 327 images taken on 13 October 2025. See the picture in 3D here: [LINK](#). The concrete blocks are attached to the bottom edge of the net with a length of rope long enough to ensure that the pipe is kept approximately 1 m below the surface.



A specially equipped boat moors at the pipe, to which the net is already attached.



The pipe is locked into two holders, one at each end of the boat, and the pipe is lifted from the surface. The holder is constructed with a propulsion engine that can pull the vessel forward over the pipe and lift the pipe clear of the water.



An attached arm with a comb can lift the net, in order for concrete blocks to be attached at the bottom of the net. The line between the block and the net is adjusted, so that the pipe sits horizontally at the desired depth below the surface.



Approximately 55 blocks are attached per pipe, each weighing 250 kilograms. A block handling machine is attached with a magazine with room for three blocks at a time. When a block has been attached to the net, it is pushed into the water by a hydraulic arm. In this way, the method can position the blocks without posing any risk for the crew.

## 4. INTRODUCTION TO THE PRODUCTION PHASE

### 4.1 The production cycle

Below is the production cycle for a submerged mussel farm. The advantage of a permanently submerged mussel farm is that the mussels can be thinned out in the autumn, and the remaining mussel biomass can continue to grow in late autumn and in spring, when feeding conditions are good, before being harvested for the profitable consumer market.

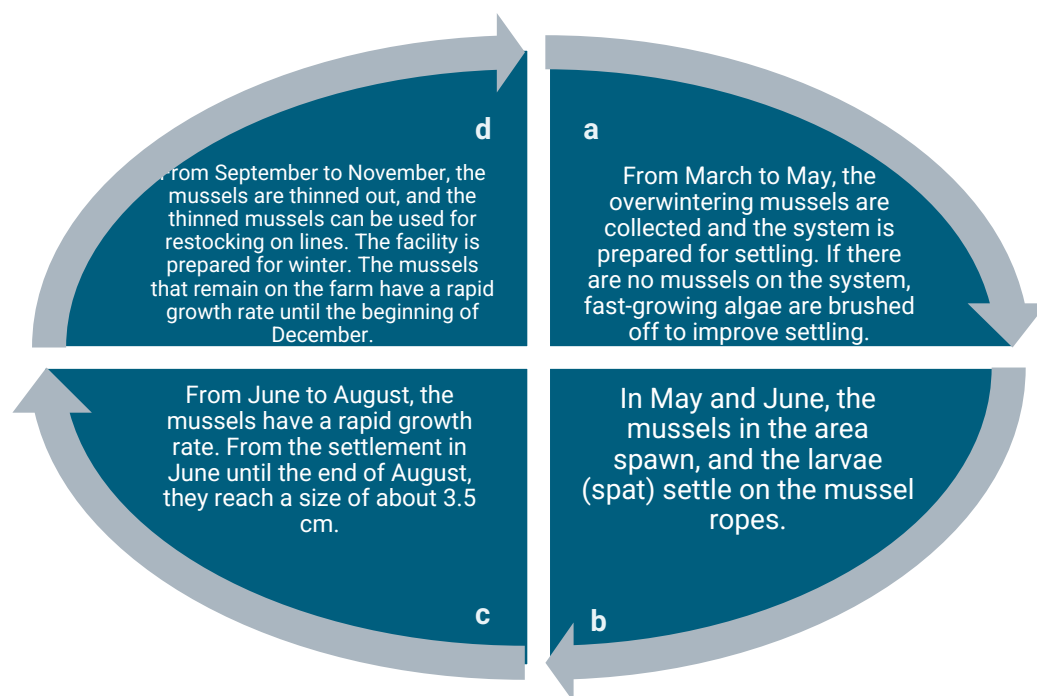


Figure 6: The production cycle for a submerged mussel farm includes harvesting small mussels in the autumn and harvesting larger mussels in the spring before the new settling of mussels.

### 4.2 Preparing the systems for the collection of spat

Before the settling of new blue mussels in early June, the nets should be brushed clean using the harvesting machine (see Fig. 6a). After the mussels have been harvested and until new settling occurs, a layer of fast-growing algae will develop on the nets. The mussel spawn will settle on these algae but fall off when the algae die. Thus, there will be a loss of production potential if the nets are not clean when mussel larvae settle. The settled larvae grow quickly, and already at the end of June the settling is noticeable as small black “grains of sand” on the net.

### 4.3 Time for collecting the spat

Beginning in May, there will be larvae in the water (see Fig. 6b). The spawning depends on temperature, and the larvae drift for two to four weeks before they are developed enough to settle. Mussels can spawn several times, and spawning may therefore also occur in late summer.

Studies from Skive Fjord (Figure 7, Dolmer and Stenalt (2009) show that settling occurs from mid-May to late July, and possibly even longer. However, the major peak in settling happens from early June, and declines toward early July. Figure 7 shows settling from only a single year, but weather conditions can cause variation in the general settling pattern.

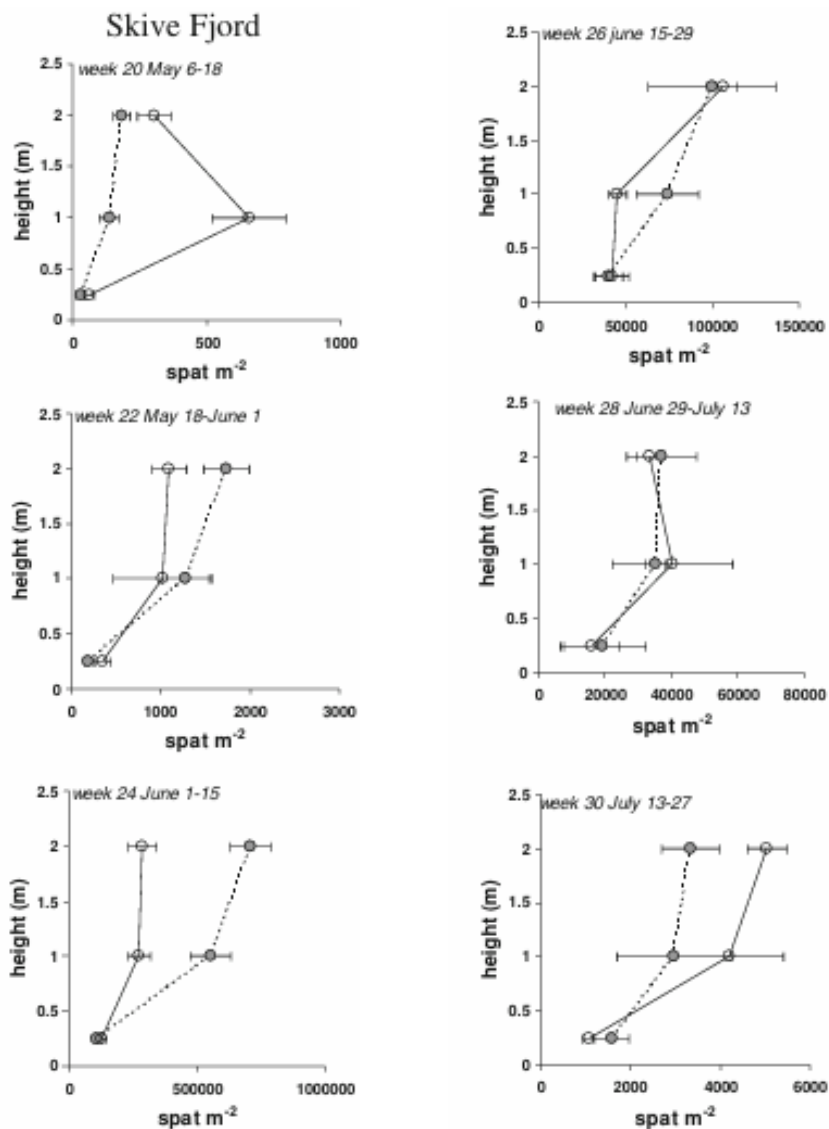


Figure 7: Settling of blue mussel larvae in Skive Fjord (Dolmer and Stenalt 2010). The settling was measured at three depths, both over a bare seabed and over a seabed covered in mussels (dashed line).

## 4.4 The growth period

After the mussels have settled on the nets, they grow very rapidly in Skive Fjord (Fig.6c). There is a high concentration of food particles, and the warm temperature of the water ensures a high level of biological activity in the mussels. In Skive Fjord, the biomass on a mussel farm with 90 longlines was studied as part of a project (Petersen et al., 2013). The study shows that after mussel settling, there is exponential growth in biomass until the end of September, when growth tapers off slightly. There is also significant growth from November to March, after which rapid growth is observed.

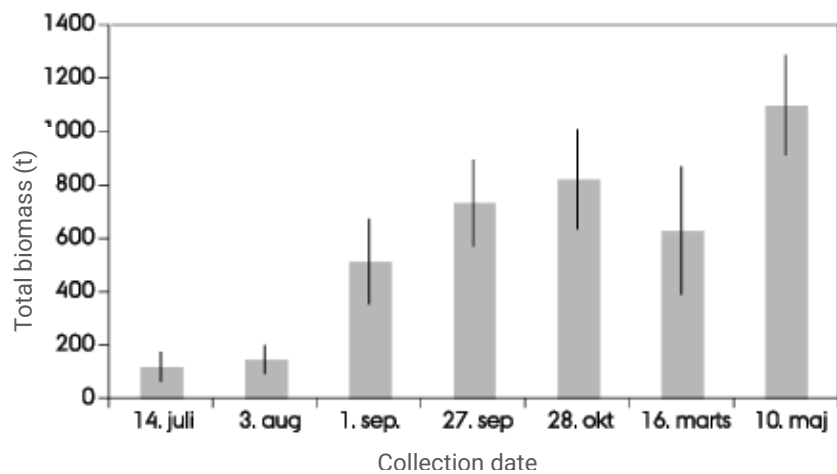


Figure 8: Growth in biomass at farming facility using longlines in Skive Fjord (Petersen et al 2013).

## 4.5 Autumn thinning and overwintering

During October, the biomass on the nets is so high that the buoyancy of the pipes is too low relative to the total weight of the system (Fig 6d). If the weight is not reduced, this will cause the farming system to sink to the bottom. Contact with the seabed should be avoided, as the growth conditions are reduced there, oxygen levels may be critical, and there is a risk that the mussels will crawl off the net and be lost. A portion of the biomass must therefore be harvested. After thinning, the remaining mussels will have a higher growth rate because the thinning lowers competition for food. Mussel growth continues into December until the water temperature reaches about five degrees. In early spring, growth resumes, and the mussels can take advantage of the spring bloom of phytoplankton that occurs from mid-February.

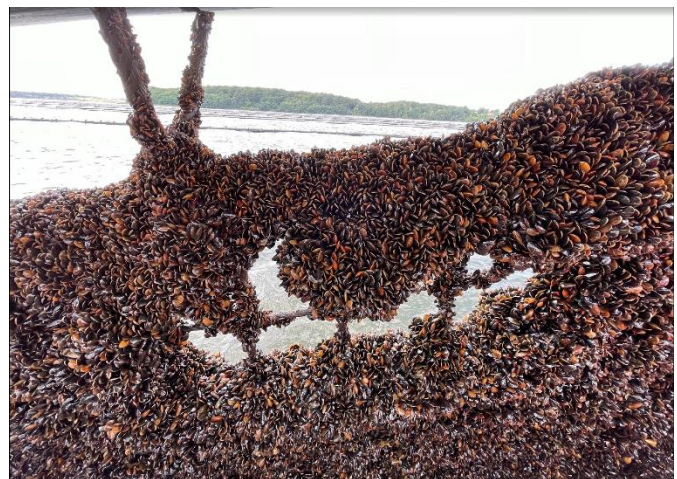


Figure 9: High amounts of biomass on nets in Skive Fjord on 22 August 2023 (Photo: Blue Research).

## 4.6 Spring harvest of consumable mussels

Blue mussels should preferably be harvested in spring with plenty of time left before spawning (Fig .6a). In the period leading up to spawning, mussels may spawn spontaneously if exposed to stress from handling or sudden temperature changes. Once they begin spawning, they can

no longer be sold on the consumer market. During spawning, the mussels also lose a large percentage of their meat and, they therefore have a lower market value after spawning if the price is based on meat content.

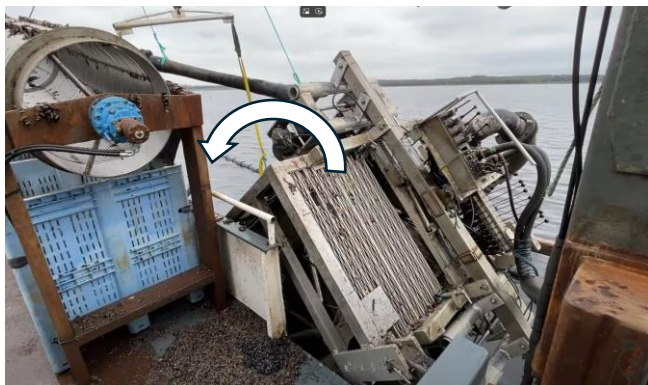
Harvesting after spawning can also be complicated by the new settling of mussels that occurs on the farm in June. Having two or more cohorts of mussels on the nets will result in large losses of undersized mussels, which will be discarded during harvest, as well as an increased competition for food, which will lead to mussels with a lower percentage of meat.

## 4.7 Harvesting machine and systems for handling mussels aboard the vessel

The harvesting machine consists of a brushing unit, a pumping unit that pumps the mussels into a sorting system, and a power pack that provides hydraulic pressure to operate the brushing and pumping functions. The harvesting machine is mounted around a shaft attached to the side of the vessel, allowing the machine to rotate around the shaft. During harvesting, the machine is lowered with a winch system over the pipes that are to be harvested. A platform is mounted on top of the harvesting machine, and operation of the machine happens from this platform. The harvested mussels are pumped through a hose (diameter of 150 millimetres) into the sorting machine, where the water is drained off and the mussels are sorted into different sections according to size, due to the placement of gaps of increasing size down through the machine.



During transportation, the harvesting machine sits in a horizontal position and is thus attached to the side of the vessel without being in contact with the water.



After arrival to the harvesting area, the vessel moves to the side of the pipe that is to be harvested. A locking mechanism at each end of the vessel secures the vessel to the pipe (Figure 10), and the harvesting machine is lowered in a rotating movement down over the pipe. Hydraulic hoses and hoses for pumping the harvested mussels are permanently attached to the harvesting machine.



When the pipe has been harvested, the harvesting machine is lifted, and the vessel is detached from the pipe. Then the vessel can move to the next pipe.

## 5. COSTS ASSOCIATED WITH ESTABLISHING THE FACILITY

As part of work package 1 in Baltic MUPPETS, an investment and operational budget has been prepared for mussel production in the western Baltic Sea. In connection to the establishment of a facility, quotes have been obtained for the supply of components for a submerged mussel farm. It is therefore possible to calculate a price for establishing a facility consisting of two screw anchors, 60 pipes with nets without weights, and submersion using 55 blocks of 250 kilograms each.

*Table 2: Investment costs for establishing a submerged mussel farm. The prices are based on specific supplier quotes. For the cost of marking systems, the price is taken from the business case for the western Baltic Sea developed in work package 1 of Baltic MUPPETS. The investment costs are stated excluding labour costs.*

	Per unit	Per farm	Pris per unit (DKK)	Total farm (DKK)	Total production (EUR)
Concrete blocks	55	3300	208	686.400	91.520
Pipes with net	1	60	58.500	3.510.000	468.000

<b>Anchor</b>	2	120	2100	252.000	33.600
<b>Marking system</b>	6	6		39375	5250
<b>Total</b>				4.487.775	598.370

We estimate that the total cost of establishing a submerged mussel farm is approximately 600,000 EUR. In addition, one to two working days are required for two workers and a vessel per pipe, as well as the working time needed for contract negotiations, documentation of deliveries, and other administrative tasks.

## 6. PRODUCTION STATISTICS 2025

The biomass of blue mussels was monitored four times in 2025. After the settling of new mussels in June, monitoring was carried out on 26 June, 24 July, 25 August, and 13 October. The biomass was monitored using an underwater drone with attached sonar, which could maintain a fixed distance to the mussel culture. A GoPro camera was attached to the underwater drone and captured one image per second. The images were used to create 3D models, which were used to assess the mussel biomass. Each 3D model was based on approximately 100–300 images. On each date, three 3D models were prepared for three different pipes, totalling nine 3D models per monitoring date, in the southern part of the production area.

During the harvest of the pipes between 21 October and 12 November 2025, the harvested biomass was weighed. The harvested mussels were registered as the number of pallet boxes filled with mussels. The mussel weight in one pallet box was 1050 kilograms. The harvested amount per double pipe averaged 29.8 tonnes, corresponding to a biomass of 42.2 kilograms of mussels per square metre of net (Table 3).

To link the biomass of harvested mussels to the mussel biomass assessed in the 3D models, it can be assumed that the biomass measured on the longline system in the same area in 2010–2011 (Petersen et al. 2013, Fig. 13) is representative of general biomass development in the area. When the biomass development from July to October in 2010–2011 is analysed, it

Table 3: Harvested mussels in Skive Fjord. The harvest is registered as the number of pallet boxes. For each pipe, the total harvested amount is registered. Note that these numbers apply to double pipes with a net length of approx. 220 metres.

Harvest date	Pipe nr.	Number of 1050 kg boxes	Weight (kg)	Total harvest per pipe (kg)
27.10	2	9	9450	
27.10	2	9	9450	
28.10	2	10	10500	29400
28.10	3	10	10500	
29.10	3	9	9450	
29.10	3	9	9450	29400
30.10	4	10	10500	
3.11	4	10	10500	
3.11	4	4	4200	
7.11	4	8	8400	33600
7.11	5	1	1050	
10.11	5	9	9450	
10.11	5	9	9450	
11.11	5	8	8400	28350
11.11	6	1	1050	
11.11	6	9	9450	
12.11	6	9	9450	
13.11	6	8,5	8925	28875
13.11	7	9	9450	
14.11	7	9	9450	
17.11	7	10	10500	29400

Average per pipe dimension of double net 220 m, 3.2 deep	29837,5
Area per net (m <sup>2</sup> )	704
Biomass per m <sup>3</sup> (kg/m <sup>3</sup> )	42,4

can be described in a sigmoidal model: biomass growth is initially exponential, but later in the year, when the water becomes colder and the mussels begin to experience food limitations, growth slows down. If the biomass in October is set to index 100, the biomass development as an index can be described by the sigmoidal model shown in Figure 10.

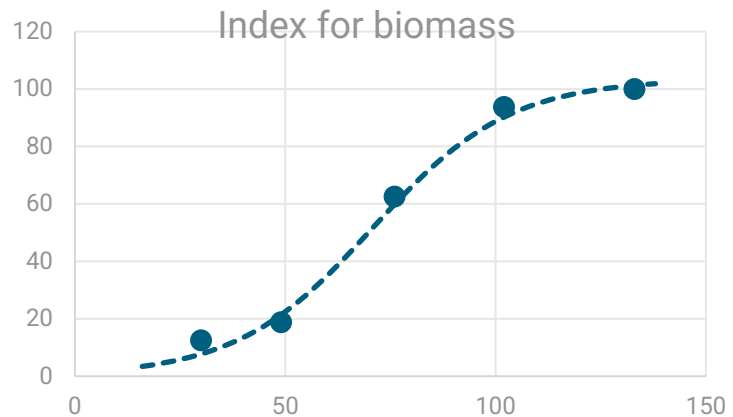


Figure 10: Sigmoidal model for index of blue mussel biomass on long-lines, where index in October is set at 100. Data comes from Petersen et al (2013).

Index(t)=  $K/(1+e^{-r(t-t_0)})$ , K is the maximum biomass, r is the production rate, and  $t_0$  is the day of maximum growth after which the biomass growth decreases, For the fitted model,  $K=103.48$ ,  $r=0.0615 \text{ days}^{-1}$ ,  $t_0=70.86$  days, and the final model will be this.

Table 4: Modelled index for biomass based on biomass on long-lines in 2010-2011. Furthermore, the estimated biomass has been calculated based on the registered biomass at harvesting in October 2025.

$$\text{Index}(t)= 103.48/(1+e^{-0.0615(t-70.86)}), R^2=99.3$$

Date	Estimated index (relative from 13 <sup>th</sup> Oct)	Biomass (kg/m <sup>3</sup> )
26.06	3	1.3
24.07	13	5.5
23.08	48.8	20.7
13.10	100	42,4

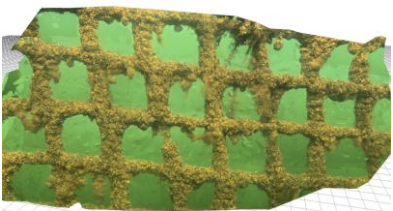
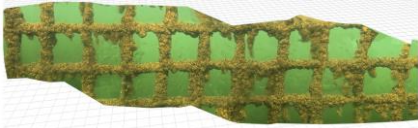

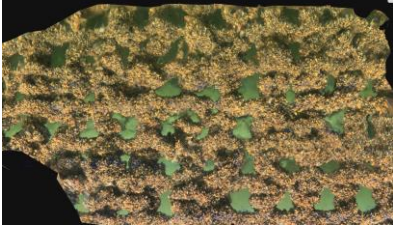
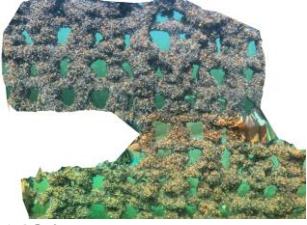
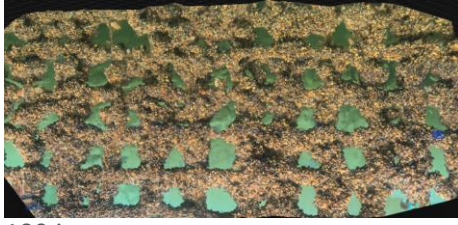



If the model is applied to the different monitoring dates and the developed 3D images, and with a biomass of 42.4 kilogram per square metre net on 13 October, the biomass densities shown below can be expected (Table 4). It should be noted that this refers to harvested biomass, where some loss may have occurred during the harvesting process. The harvested quantities are approximately 14.7 tonnes per standard net (110 metres), which is about five tonnes below the carrying capacity of the pipes. It can therefore be expected that there has been a substantial loss of biomass during harvest, which has not been registered. As part of the national project NIFIMU, a biomass of ten tonnes per net was measured on 22 August 2023 in the same area in Skive Fjord, corresponding to a biomass of 28 kilogram per square metre (NIFIMU 2024). This indicates that the actual biomass on the nets may be 50% higher than the harvested biomass.

## 7. DRONE MONITORING 2025

On the following pages, the prepared 3D models from three stations on three different pipes are shown. On each pipe, a 3D model was created for three different positions on the pipe: South – Middle – North. All image recordings were taken at depths between 1.5 and 3 metre.

The mesh size of the nets is 17.5 × 17.5 cm. Natural light was used for all recordings, and the August recordings were affected by the fact that the sun vanished during the recording of the north position at station 2 and during the entire recording of station 3 (South–Middle–North). At station 2, during the recording of station 2-South, footage was taken of the entire end of the net, and the pipe at the top is visible, as well as the line leading to the anchor, which is also clearly visible (Figure 5). The occurrence of starfish can be observed in the models, particularly in October. For each 3D model, the number of images included in its creation is indicated. Some of the 3D models have been uploaded to the website Sketchfab, where the models can be viewed in 3D. Here it is possible to examine the mussels on the nets from different angles and to see how the mussels are attached to the nets.

Table 5: Images show the monitoring of station 1 from June – October 2025.

	South	Middle	North
26. June 2025	 <p>50 images</p>	 <p>54 images</p>	 <p><a href="#">LINK</a> - 97 images</p>
24. July 2025	 <p><a href="#">LINK</a> - 148 images</p>	 <p>160 images</p>	 <p>109 images</p>
25. Aug 2025	 <p>219 images</p>	 <p>180 images</p>	 <p><a href="#">LINK</a> - 161 images</p>

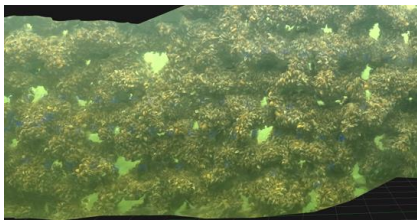
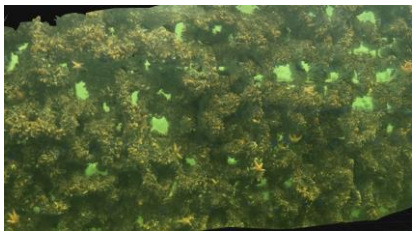
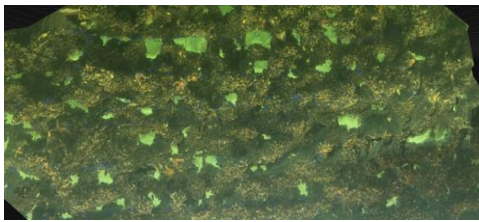
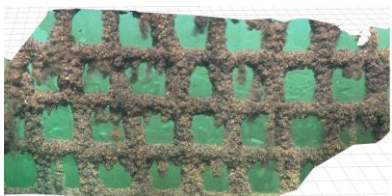
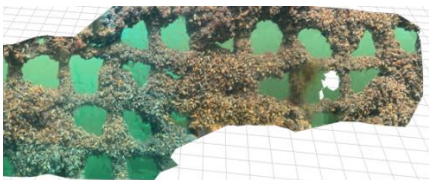

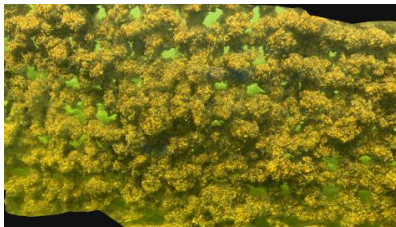
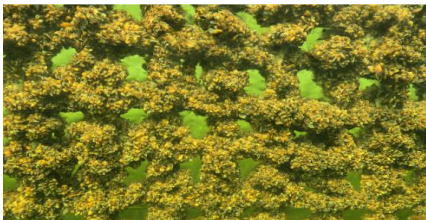
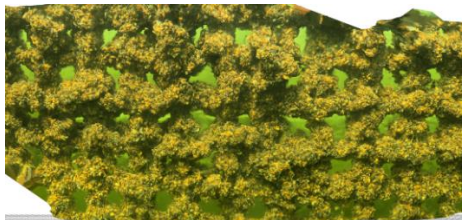
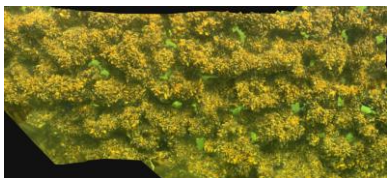


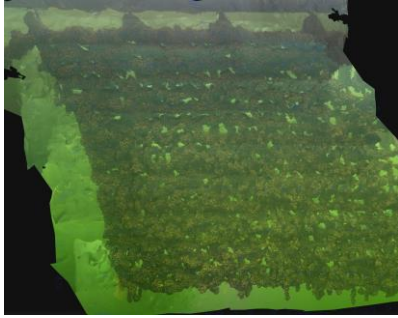
13. Oct 2025			
	112 images	109 images	<a href="#">LINK</a> - 183 images

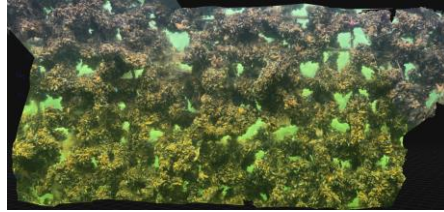
Table 6: Images show the monitoring of station 2 from June – October 2025.

	South	Middle	North
26. June 2025	 71 images	 65 images	 61 images
24. July 2025	 <a href="#">LINK</a> - 238 images	 <a href="#">LINK</a> - 106 images	 145 images
25. Aug 2025	 146 images	 133 images	 120 images

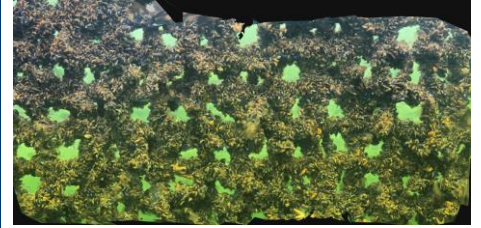
13. Oct 2025



[LINK](#) - 327 images – larger scale



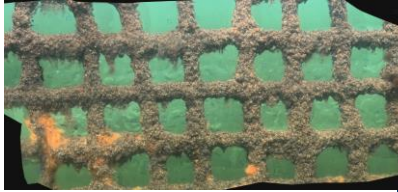
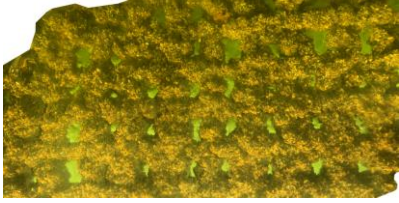
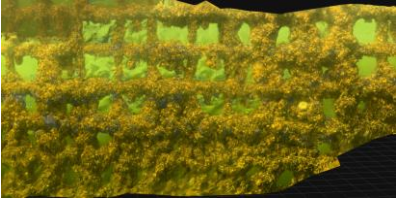






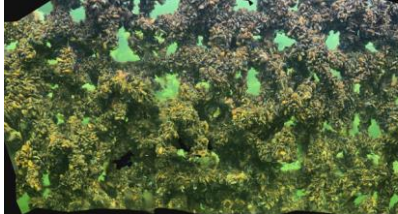


170 images



[LINK](#) - 120 images

Table 7: Images show the monitoring of station 3 from June – October 2025.

	South	Middle	North
26 June 2025	 <p>58 images</p>	 <p><a href="#">LINK</a> - 66 images</p>	 <p><a href="#">LINK</a> - 70 images</p>
24 July 2025	 <p><a href="#">LINK</a> 158 images</p>	 <p>106 images</p>	 <p>109 images</p>
25 Aug 2025	 <p>97 images</p>	 <p>122 images</p>	 <p>128 images</p>
13 Oct 2025	 <p><a href="#">LINK</a> - 176 images</p>	 <p>133 images</p>	 <p>126 images</p>

## REFERENCES

Dolmer, P., & Stenalt, E. (2009). The impact of the adult blue mussel (*Mytilus edulis*) population on settling of conspecific larvae. *Aquaculture International*, 18(1), 3–17. <https://doi.org/10.1007/s10499-009-9266-2>.

Hansen, J.W., & Høgslund, S. (ed.) (2025). *Marine områder 2024* (report no. 684). NOVANA, Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi. [https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Videnskabelige\\_rapporter\\_600-699/SR684.pdf](https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Videnskabelige_rapporter_600-699/SR684.pdf).

NIFIMU Arbejdspakke 2: Dataindsamling og modellering af effekten af muslingeopdræt på det marine miljø. Prepared by M. Lyngsgaard et al., 2024.

Petersen, J.K., Timmermann, K., Holmer, M., Hasler, B., Göke, C., & Zandersen, M., (2013). *Miljømuslinger – Muslinger som supplerende virkemiddel*. Aarhus Universitet.



# DELIVERABLE 2.2

## Annex II

### SITE SPECIFIC PRODUCTION MANUAL FOR LIMFJORDEN (DK)



Co-funded by  
the European Union

Disclaimer: Baltic MUPPETS is co-funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the granting authority, European Innovation Council and SMEs Executive Agency (EISMEA). Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.

## INDHOLD

1. Introduktion .....	4
2. De etablerede muslingeopdræt .....	5
3. Introduktion til opbygningen af anlægget .....	6
3.1 Montering af de undersænkede muslingeopdræt består af forskellige trin .....	6
3.2 Etablering af rørstræk .....	7
3.3 Udvikling af ny rørende .....	8
3.4 Montering af betonblokke .....	8
4. Introduktion til produktionsfasen .....	12
4.1 Produktionscyklussen .....	12
4.2 Klargøring af systemerne til indsamling af yngel .....	12
4.3 Tidspunkt for indsamling af yngel .....	13
4.4 Vækstperioden .....	14
4.5 Efterårsudtynding og overvintring .....	14
4.6 Forårshøst af konsummuslinger .....	14
4.7 Høstmaskine og systemer til håndtering af muslinger ombord på fartøjet .....	15
5. Omkostninger ved etablering af anlæg .....	16
6. Produktionsstatistik 2025 .....	17
7. Dronemonitering 2025 .....	18
Referencer .....	22

## LIST OF FIGURES

Figure 1: Koncentrationen af planteplankton målt som Chl A i Skive Fjord.....	4
Figure 2: Placeringen af de to muslingeopdræt.....	5
Figure 3: Udviklet rørende .....	8
Figure 4: Betonklodser. ....	9
Figure 5: Nettets øverste kant med føjning til anker og rør ses øverst. ....	9
Figure 6: Produktionscyklus for undersænket muslingeopdræt . ....	12
Figure 7: Settling af blåmuslingelarver i Skive Fjord.....	13
Figure 8: Vækst af biomasse i opdrætsanlæg med langliner i Skive Fjord. ....	14
Figure 9: Høj biomasse på net i Skive Fjord.....	14
Figure 10: Afhøstede muslinger i Skive Fjord. ....	18

## LIST OF TABLES

Table 1: Specifikation af opdrætssystem leveret af SmartFarm, Norge. ....	5
Table 2: Investeringsomkostninger .....	16
Table 3: Afhøstede muslinger i Skive Fjord. ....	17
Table 4: Modelleret index for biomasse .....	18
Table 5: Monitoring af station 1 i perioden juni – oktober 2025. ....	19
Table 6: Monitoring af station 2 i perioden juni – oktober 2025. ....	20
Table 7: Monitoring af station 3 i perioden juni – oktober 2025. ....	21

## 1. INTRODUKTION

Formålet med denne manual er at beskrive en teknologiplatform til muslingeopdræt, udviklet i Limfjorden i forbindelse med Baltic MUPPETS. Manualen beskriver både dyrkningsrutiner og anvendelsen af den teknologi, der er udviklet i forbindelse med projektet. Der er i projektet udviklet en række nye processer og tekniske løsninger, herunder en maskine til håndtering af betonklodser til undersænkning af rør, en høstmaskine, der monteres på siden af fartøj, og et nyt endestykke til rør, der anvendes til direkte forankring af rør på et skrueanker. Et delformål med manualen er også at tydeliggøre det produktionspotentiale, der findes i at investere i denne type udstyr for nye brugere.

Limfjorden er et eutrofieret fjordsystem, hvor miljøforholdene i høj grad er præget af betydelige tilførsler af næringsstoffer, især kvælstof og fosfor, fra de omkringliggende landområder. Oplandet domineres af intensivt landbrug, hvilket medfører udvaskning af næringsstoffer via vandløb, dræn og diffus afstrømning. Denne næringsstofbelastning stimulerer primærproduktionen og fører hyppigt til algeopblomstringer, øget turbiditet og periodisk iltsvind i bundvandet, særligt i de mere lukkede og lavvandede dele af fjorden.

Figur 1 viser mængden af Chl A i Skive Fjords overfladevand i perioden 2022-2025. Der ses koncentrationer i forårmånederne på 10-20 µg/l, hvilket er noget højere end gennemsnittet for danske fjorde (Hansen et al, 2025).

Disse forhold har direkte betydning for muslingeproduktion. Blåmuslinger (*Mytilus edulis*) er filtratorer, og de udnytter den høje koncentration af fytoplankton som fødegrundlag, hvilket kan give høj vækst og biomasseproduktion i eutrofierede farvande. Samtidig kan muslingeopdræt have en sekundær funktion i fjernelsen af næringsstoffer, idet kvælstof og fosfor bindes i muslingernes biomasse og dermed fjernes ved høst. Dog kan en høj organisk belastning fra muslingeproduktion bidrage til lokal sedimentation og iltforbrug ved nedbrydning af organisk materiale. Samlet set vurderes muslingeopdræt at fremme en forbedret vandkvalitet i Limfjorden.

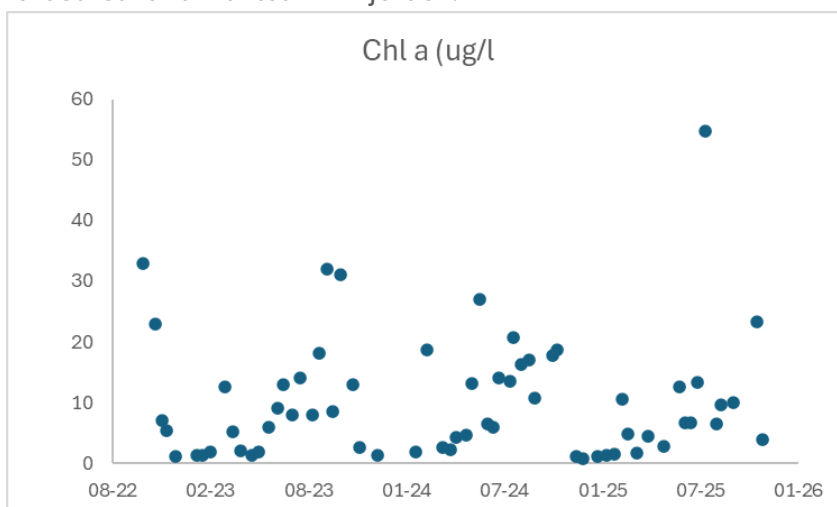


Figure 1: Koncentrationen af planteplankton målt som Chl A i Skive Fjord i perioden 2022-2025. (Hansen et al, 2025).

## 1. DE ETABLEREDE MUSLINGEOPDRÆT

Som en del af Baltic MUPPETS er der etableret muslingeopdræt på to lokationer i en forholdsvis lukket del af Skive Fjord (Fig 2). I hvert område er der etableret 60 stræk. Hvert stræk består af et PEHD-rør med en længde på 121,5 m og en diameter på 250 mm (Tabel 1). Nettet til muslingeproduktionen har en maskestørrelse på 175x175 mm og er 3 m dybt. Nettet er ikke monteret med vægte i bunden, da dette ikke er nødvendigt, når nettet undersænkes med betonklodser. Hvert muslingeopdræt har en udbredelse på 750x250 m (18 Ha) og er afmærket med gule hjørnemarkeringer.



Figure 2: Placeringen af de to muslingeopdræt (markeret med rød cirkel), der i forbindelse med Baltic MUPPETS er etableret i Skive Fjord. I hvert af de to områder er der etableret 60 stræk med et lukket PEHD-rør som opdrift og et net, hvorpå blåmuslingerne produceres.

Table 1: Specifikation af opdrætssystem leveret af SmartFarm, Norge.

SmartUnits (P 121,5 m C 3 m - 14/14 mm - 3850 m collector rope)		
Description:	Drawing ref.	Dimension: Unit:
Head-rope length	Dimension A	126 m
Head-rope diameter	Dimension D	32 mm
Min. Head-rope strength (mbl)	Position 4	17 ton
Unit Pipe length	Dimension B	121,5 m
Pipe dimension, SDR - DN	26	250 mm
Volume pr. meter		41,8 litre pr. m
Total volume in one SmartUnit		5 083 litre pr. unit
Collector depth	Dimension E	3,0 m
Mesh opening - horizontal		175 mm
Mesh opening - vertical		175 mm
Vertical collector rope	Ref. Y	14 mm
Horizontal collector rope	Ref. X	14 mm
Collector ropes (horizontal & vertical)		3 852 meter
Collector ropes calculating only vertical ropes		1 869 meter

## 2. INTRODUKTION TIL OPBYGNINGEN AF ANLÆGGET

### 3.1 Montering af de undersænkede muslingeopdræt består af forskellige trin

Trin 1: Inden der kan etableres muslingeopdræt, skal der opnås tilladelse fra myndighederne. Myndighedsbehandlingen omfatter en vurdering af, om muslingeopdrættet medfører påvirkninger på havmiljøet, og om det medfører ulemper for anden anvendelse af farvandsområdet, herunder for skibstrafik. En tilladelse skal i høring hos en række myndigheder og organisationer. Søfartsmyndighederne stiller krav til, hvordan et muslingeopdræt skal afmærkes for at undgå påsejling. Det har ikke været muligt at søge om nye tilladelser til muslingeopdræt siden 2021 pga. manglende afklaring af, hvordan området skal forvaltes. Hvis der gives en tilladelse, skal der stilles en bankgaranti, så der er økonomiske midler til oprydning ved en eventuel konkurs.

Trin 2: Inden udlægning af opdrætsmateriale skal etableringen offentliggøres på søfartsmyndighedens kommunikationskanal, så søfarten er orienteret om etableringen. Opdrætsområdet skal herefter markeres med angivne markeringer.

Trin 3: Skrueankre, der muliggør en forankring af opdrætsrørene, skal bores ned. I et anlæg med 60 rør skal 120 ankere bores ned. Ankrene bores ned til fast bund, og der udføres en træktest på de nedborede ankere.

Trin 4: Opdrætsrørene svejses sammen i en arbejdscontainer på land, og de monteres med net. Rørene trækkes herefter ud i opdrætsområdet og fastgøres til de nedborede ankere. Denne proces er beskrevet i det efterfølgende.

Trin 5: På nettene monteres betonklodser, der hver især vejer 250 kg, og dermed undersænkes nettene. Der monteres ca. 55 klodser per rør. Denne proces er ligeledes beskrevet i det efterfølgende.

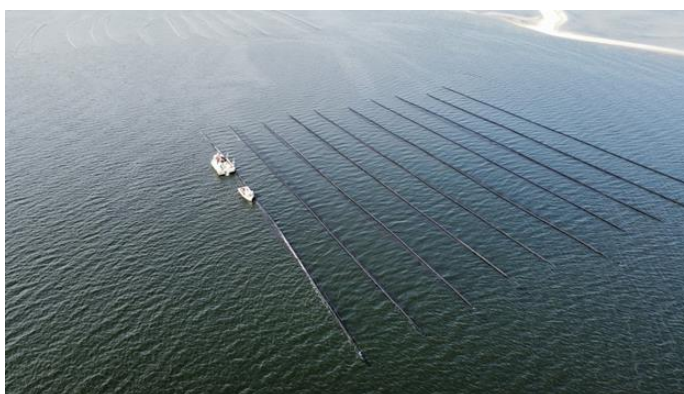
### 3.2 Etablering af rørstræk



Muslingeopdrættet består af rør med en længde på 120 m, hvorpå der monteres et net. Rørene er standard PEHD-rør med en diameter på 250 mm. Rørene leveres i standardlængder på 12 m og svejses sammen på lokaliteten.



Rørene skydes ind i den ene ende af en 20-fods container, hvor rørene svejses sammen, der svejses ender på, og røret monteres med net. Rørene skydes langsomt ud i vandet under monteringsprocessen, hvorefter det enkelte opdrætsstræk forankres til senere udlægning på opdrætsanlægget



Opdrætsstrækkene fastgøres til to skrueankre, der er monteret i bunden forinden. Nettene skal herefter monteres med ca. 55 klodser à 250 kg, så opdrætsstrækket står stabilt på bunden.

### 3.3 Udvikling af ny rørende

PEHD-rørene, der anvendes til det undersænkede muslingeopdræt, skal med fordel have et overtryk. Det overskydende tryk gør den undersænkede konstruktion mere robust og betyder,

at systemet kan konstrueres med tyndere rør. En ventil i enden af røret gør det desuden muligt at tømme røret i tilfælde af en lækage.

I de eksisterende opdrætssystemer med net og rør, er systemet forankret i nettet. Det betyder, at røret langsomt kan rotere i nettet, og at røret derfor holdes rent for begroning. I overfladesystemer er rørene derfor ekstra lange og rager dermed ud fra netenderne for at opnå en robust konstruktion.

I et undersænket system tilfører det ingen værdi, at rørene kan rotere. Der kan derfor spares på materiale, hvis røret ikke er mere end 10 meter længere end nettet. Forankring direkte i røret vil desuden betyde, at det kraftige reb, der løber hele vejen langs nettet og bruges til forankring, bliver overflødigt. Ved en rørende hvor ankerlinen fastgøres direkte, spares der plastmateriale, og arbejdsprocesserne forenkles.

I forbindelse med Baltic MUPPETS er der udviklet en rørende, der muliggør en direkte montering af ankerline. På denne kan også monteres en ventil, der muliggør etablering af overtryk i røret. Rørenden er udviklet, så denne kan masseproduceres ved sprøjttestøbning.

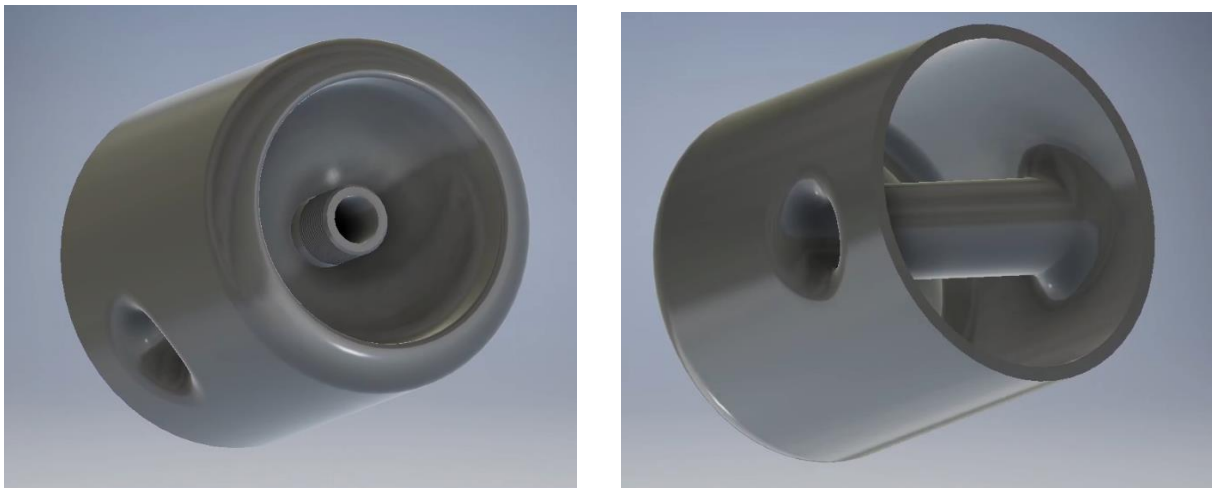


Figure 3: Der er udviklet en rørende, der muliggør montering af ankerline direkte på røret. Desuden kan der monteres en ventil, der muliggør etablering af overtryk i røret.

### 3.4 Montering af betonblokke

På hver dyrkningsenhed monteres der ca. 55 betonklodser (Fig. 7). Betonklodserne fastgøres på underkanten af nettet med en reblængde, der sikrer at røret holdes ca. 1 m under havoverfladen ved normalvande. Da tidevandsforskellen i Skive Fjord er meget lille, vil muslingeopdrættet være undersænket langt størstedelen af tiden. På figur 8 til 12 ses, hvordan betonblokkene monteres på nettene. De tunge blokke (250 kg) monteres på nettene i produktionsområdet, og derfor er udstyr blevet udviklet, der understøtter en sikker og effektiv montering. Denne sikkerhed relaterer sig især til arbejdssikkerhed for skibets besætning, da håndtering af tunge klodser i hårdt vejr uden hjælpemidler medfører en høj risiko for arbejdsulykker.



Figure 4: På hver enhed monteres ca. 55 betonklodser med en vægt på 250 kg.

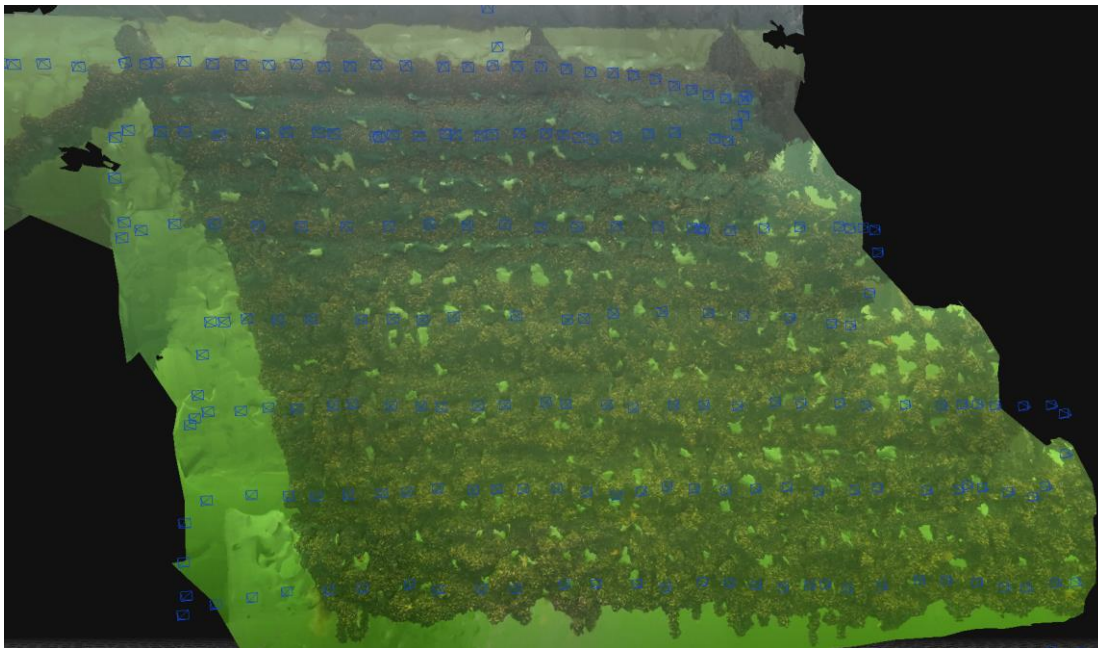


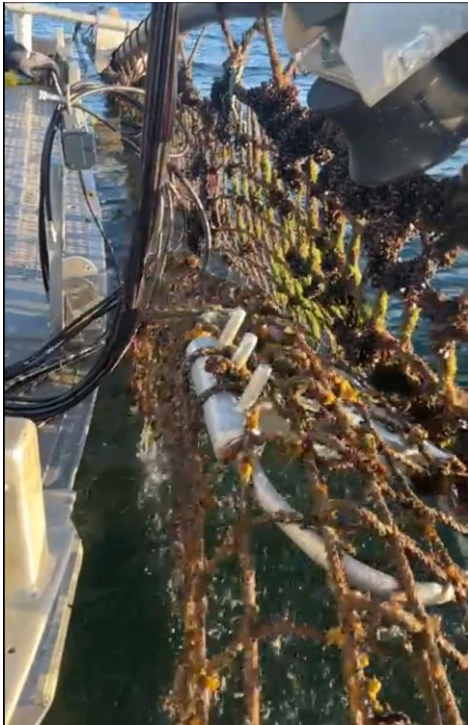
Figure 5: Nettets øverste kant med føjning til anker og rør ses øverst. Fire tovender, der monteres omkring røret, ses. Billedet er konstrueret ved en kombination af 327 billeder optaget den 13. oktober 2025. Se billedet i 3D her: [LINK](#). Betonklodserne bindes på underkanten af nettet, med en reb længde, der sikrer, at røret fastholdes ca. 1 m under havoverfladen.



Med en specialudstyret båd lægges der til røret, hvorpå nettet allerede er monteret.



Røret låses i to holdere – en i hver ende af båden – og røret løftes fri af havoverfladen. Holderen er konstrueret med en fremdriftsmotor, der kan trække fartøjet frem over røret og samtidig løfte røret fri.



Med en arm monteret med en kam kan nettet løftes op, så betonklodserne kan monteres på bunden af nettet. Linen mellem klodsen og nettet justeres, så røret kommer til stå vandret i den ønskede dybde under overfladen.



Der monteres ca. 55 klodser per rør, og hver klods vejer 250 kg. På båden er monteret en klodshåndterings-maskine, hvor der i magasin kan indsættes 3 klodser ad gangen. Når en klods er bundet fast på nettet, skubbes den ud i vandet med en hydraulisk arm. Metoden kan således udlægge klodserne uden risiko for medarbejderne.

### 3. INTRODUKTION TIL PRODUKTIONSFASEN

#### 4.1 Produktionscyklussen

Nedenfor beskrives produktionscyklussen for et undersænket muslingeopdræt. Fordelen ved et permanent undersænket muslingeopdræt er, at muslingerne i efteråret kan udtyndes, og at de tilbageblivende muslinger kan vokse videre i det sene efterår samt i foråret, hvor fødebetingelserne er gode, inden de høstes til et højt prissat konsummarked.

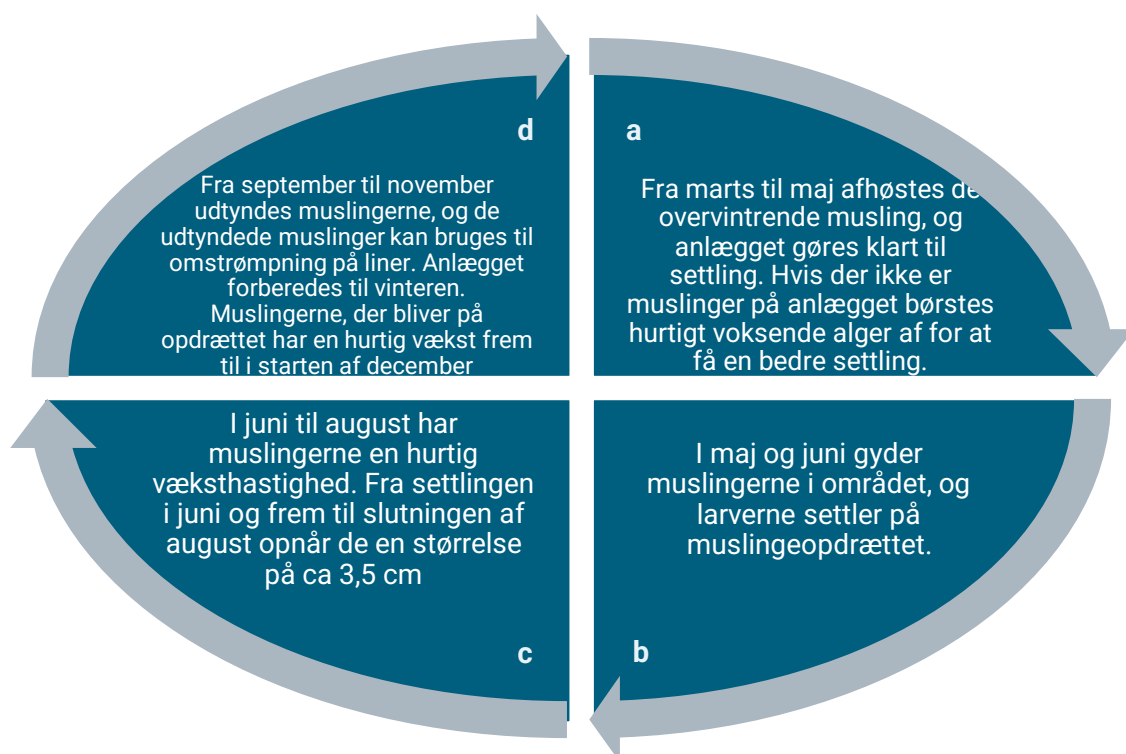


Figure 6: Produktionscyklus for undersænket muslingeopdræt omfatter høst af små muslinger i efteråret og høst af større muslinger i foråret inden ny settling af muslinger.

#### 4.2 Klargøring af systemerne til indsamling af yngel

Inden settling af nye blåmuslinger i starten af juni måned børstes nettene af med høstmaskinen (se Fig. 13a). Efter høst af muslingerne og frem til nysetling vil der danne sig en begroning på nettene af hurtigt voksende alger. Muslingeeyngelen vil settle på disse alger og falde af, når algerne dør. Der kan således ske et tab af produktionspotentiale, hvis nettene ikke er rene, når settlingen af muslingelarverne foregår.

De settlede larver vokser hurtigt, og allerede sidst i juni kan en settling observeres som små sorte "sandkorn," der har sat sig på nettet.

### 4.3 Tidspunkt for indsamling af yngel

Der vil være larver i vandet fra i løbet af maj måned (se Fig. 13b). Gydningen er temperaturafhængig, og larverne driver rundt i 2-4 uger, før de er kompetente til at settle. Muslingerne kan gyde flere gange, og der kan således også foregå en gydning i sensommeren.

Undersøgelser fra Skive Fjord (Figur 14; Dolmer og Stenalt (2009)) viser, at settlingen foregår fra midt i maj til sidst i juli og muligvis senere. Det store peak i settling sker dog fra starten af juni, og det klinger ud i starten af juli. Figur 14 viser kun settlingen for et enkelt år, og vejrforhold kan medføre variation i det generelle settlingsmønster.

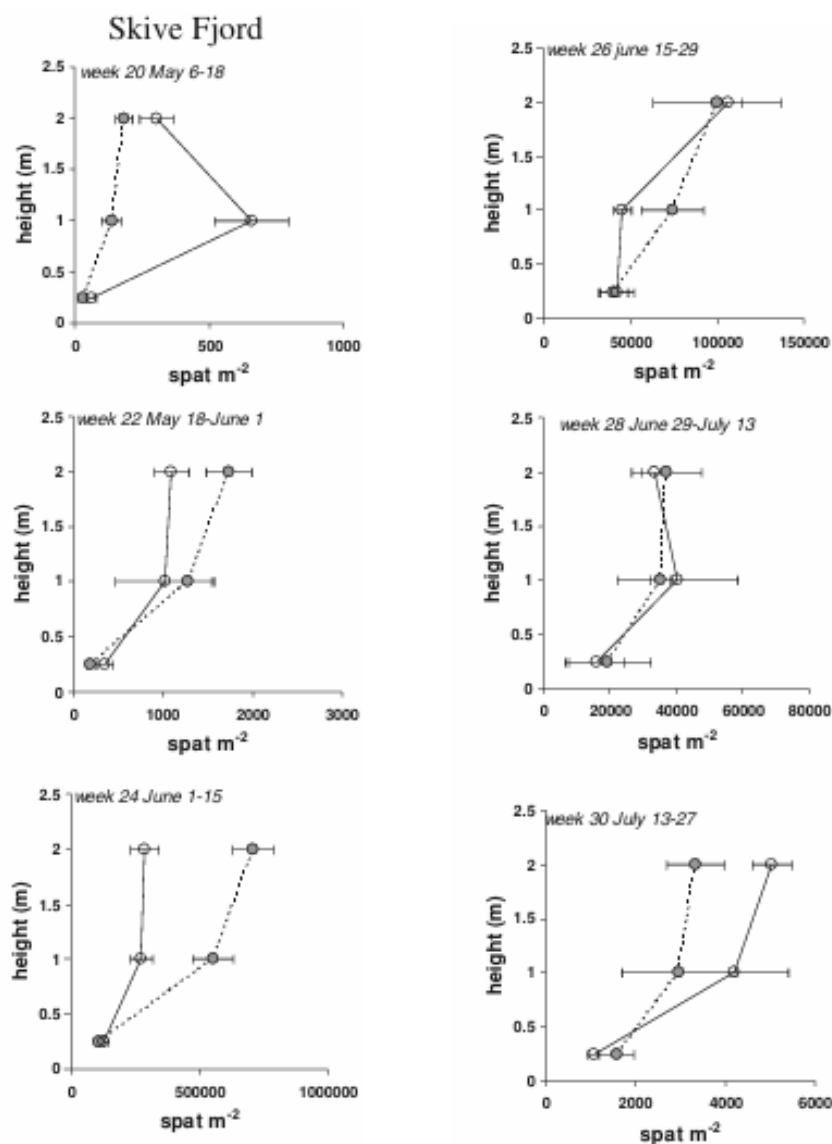


Figure 7: Settling af blåmuslingelarver i Skive Fjord (Dolmer og Stenalt, 2010). Settlingen er målt i tre højder over havbunden, og henholdsvis over en bar bund og over en bund med muslinger (stiplet linje).

## 4.4 Vækstperioden

Efter at muslingerne har etableret sig på nettene, har de en meget hurtig vækst i Skive Fjord. Der er en høj koncentration af fødepartikler, og en høj vandtemperatur sikrer en høj biologisk aktivitet i muslingerne. I Skive Fjord blev biomassen på et muslingeopdræt med 90 langliner undersøgt i forbindelse med et projekt (Petersen et al., 2013). Undersøgelsen viser (se Fig 13c-d), at der efter muslingernes settling sker en eksponentiel vækst i biomasse frem til ultimo september, hvor væksten flader lidt ud. Ligeledes er der en stor vækst fra november og frem til marts, hvorefter der ses en hurtig vækst.

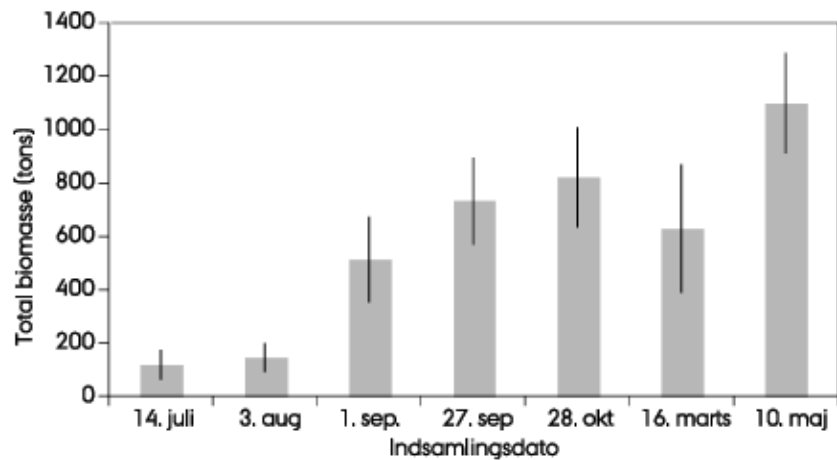


Figure 8: Vækst af biomasse i opdrætsanlæg med langliner i Skive Fjord (Petersen et al. 2013).



Figure 9: Høj biomasse på net i Skive Fjord d. 22. august 2023 (Foto: Blue Research).

## 4.5 Efterårsudtynding og overvintring.

I løbet af oktober måned er biomassen på nettene så høj, at opdriften i rørene er for lille i forhold til den samlede vægt af systemet. Hvis vægten ikke reduceres, vil opdrætssystemet synke ned på bunden. Kontakt med bunden er ikke hensigtsmæssig, idet vækstforholdene er reducerede, iltforholdene kan være kritiske, og der er risiko for, at muslingerne kravler af nettet og dermed går tabt. En del af biomassen skal derfor afhøstes. Efter en udtynding vil muslingerne vise en højere vækst, fordi udtyndingen reducerer muslingernes konkurrence om føde. Muslingernes vækst fortsætter til ind i december, indtil vandtemperaturen når ca. 5 grader. I det tidlige forår genoptages væksten, og muslingerne er i stand til at udnytte den forårsopblomstring af algeplankton, der ses fra midten af februar.

## 4.6 Forårshøst af konsummuslinger

Blåmuslingerne skal i foråret gerne høstes af i god tid, inden de gyder (Fig.13a). I perioden inden gydning kan de ved stress fra håndtering eller pludselige temperaturændringer gyde spontant. Er de først begyndt at gyde, kan de ikke afsættes på et konsummarked. I forbindelse med gydningen mister muslingerne ligeledes en stor andel af deres kød, og har dermed i

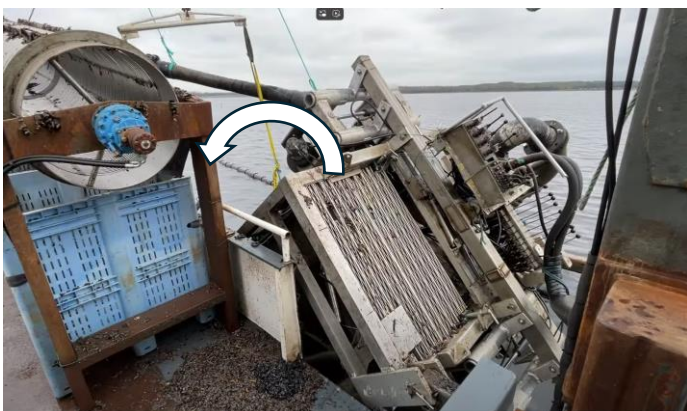
perioden efter gydningen en lavere prissætning, hvis der afregnes efter kødværdi. Høst efter gydning kan ligeledes vanskeliggøres af ny settling af de muslinger, der rekrutteres i juni. To eller flere kohorter af muslinger på samme net vil give store tab i frasorterede muslinger ved høst, og i en øget fødekonkurrence, der vil resultere i muslinger med en lav kødprocent.

## 4.7 Høstmaskine og systemer til håndtering af muslinger ombord på fartøjet

Høstmaskinen består af en afbørstningsdel, en pumpedel, der pumper muslingerne over i et sorteringsanlæg, og en powerpack, der leverer hydraulisk tryk til drift af afbørstning og pumpning. Høstmaskinen er monteret omkring en aksel på siden af skibet, så maskinen kan rotere omkring akslen. Ved høst sænkes høstmaskinen med et spil ned over det rør, der skal høstes. En platform er monteret oven på høstmaskine, og høstmaskinen styres fra denne platform. De høstede muslinger pumpes igennem en slange (diameter 150 mm) over i sorteringsmaskinen, hvor vandet ledes fra og muslingerne sorteres i forskellige størrelsesfraktioner, ved en øget spaltestørrelse ned gennem maskinen.



Under transport er høstmaskinen i vandret position og sidder således på siden af fartøjet uden at have kontakt med vandet.



Ved ankomst til høstområdet, sejler fartøjet op på siden af det rør, der skal høstes. En låsemekanisme i hver ende af fartøjet låser fartøjet fast på røret (Figur 10), og høstmaskinen sænkes i en roterende bevægelse ned over røret. Hydraulikslanger og pumpe-slange til de høstede muslinger er permanent monteret på høstmaskinen.



Når røret er afhøstes, løftes høstmaskinen, og fartøjet frigøres fra røret. Herefter kan fartøjet sejle til det næste rør.

#### 4. OMKOSTNINGER VED ETABLERING AF ANLÆG

I forbindelse med Arbejdspakke 1 i Baltic MUPPETS er der opstillet et investerings- og driftsbudget for muslingeopdræt i den vestlige Østersø. I forbindelse med etableringen af anlæg, er der modtaget tilbud på levering af elementer til et undersænket muslingeopdræt. Der kan derfor beregnes en pris for etableringen af et anlæg bestående af forankring med to skrueankre, 60 rør med net uden vægte, og en undersænkning med 55 klodser af 250 kg.

*Table 2: Investeringsomkostninger ved etablering af undersænket muslingeopdræt. Priserne er vurderet på baggrund af konkrete tilbud. For markering af området er prisen dog taget fra en business case for den vestlige Østersø, udarbejdet i Arbejdspakke 1 i Baltic MUPPETS. Investeringsomkostningerne er angivet uden omkostninger til arbejdskraft.*

	Per del	Per produktion	Pris per styk (DKK)	Total produktion (DKK)	Total produktion (EUR)
<b>Betonblokke</b>	55	3300	208	686.400	91.520
<b>Rør med net</b>	1	60	58.500	3.510.000	468.000
<b>Ankre</b>	2	120	2100	252.000	33.600
<b>Markeringsystemer</b>	6	6		39375	5250
<b>Total</b>				4.487.775	598.370

Det vurderes, at den samlede pris for at etablere et undersænket muslingeopdræt er ca. 600.000 EUR. Dertil kommer 1-2 arbejdsdage for to personer og en båd per rør og arbejdstid til indgåelse af kontrakter, dokumentation af leverancer og anden administration.

## 5. PRODUKTIONSSTATISTIK 2025

Biomassen af blåmuslinger blev monitoreret fire gange i 2025. Efter settingen af nye muslinger i juni, blev der gennemført monitorering henholdsvis d. 26. juni, d. 24. juli, d. 25. august og d. 13. oktober. Biomassen blev monitoreret med en undervandsdrone med påmonteret sonar, der kunne holde en fast afstand til muslingekulturen. På undervandsdronen blev der installeret et GoPro kamera, der optog et billede hvert sekund. Billederne blev anvendt til at lave 3D-modeller, der kan bruges til at vurdere biomassen af muslinger. I hver 3D-model indgår ca. 100-300 billeder. På hver dato blev der udarbejdet tre 3D-modeller på tre forskellige rør, i alt ni 3D-modeller per monitoreringsdato, i den sydlige del af produktionsområdet.

I forbindelse med høst af rørene i perioden mellem d. 21. oktober og d. 12. november 2025 blev den afhøstede biomasse vejet. De høstede muslinger blev registreret som antal pallekasser fyldt med muslinger. Muslingevægten i en pallekasse var 1050 kg. Den afhøstede mængde udgjorde per dobbelt-rør i gennemsnit 29,8 ton svarende til en biomasse på 42,2 kg muslinger per m<sup>3</sup> net (Tabel 3).

For at forbinde biomassen af høstede muslinger til muslingernes biomasse baseret på de udarbejdede 3D-modeller, kan det antages, at den biomasse, der blev målt på langlinesystem i det samme område i 2010-2011 (Petersen et al (2013); Fig. 13) er repræsentativ for biomasseudviklingen. Hvis udviklingen af biomasse i 2010-2011 fra juli til oktober analyseres,

Table 3: Afhøstede muslinger i Skive Fjord. Høsten er registreret som antallet af pallekasser. For hvert rør er den samlede afhøstede mængde registreret. Det skal bemærkes, at der er tale om dobbeltrør, dvs. rør med en netlængde på ca. 220 m.

høstdato	rør nr.	Antal kasser af 1050 kg	vægt (kg)	Samlet høst per rør (kg)
27.10	2	9	9450	
27.10	2	9	9450	
28.10	2	10	10500	29400
28.10	3	10	10500	
29.10	3	9	9450	
29.10	3	9	9450	29400
30.10	4	10	10500	
3.11	4	10	10500	
3.11	4	4	4200	
7.11	4	8	8400	33600
7.11	5	1	1050	
10.11	5	9	9450	
10.11	5	9	9450	
11.11	5	8	8400	28350
11.11	6	1	1050	
11.11	6	9	9450	
12.11	6	9	9450	
13.11	6	8,5	8925	28875
13.11	7	9	9450	
14.11	7	9	9450	
17.11	7	10	10500	29400

gennemsnit per rør dimension af dobbeltnet 220 m, 3,2 dybt	29837,5
Areal per net (m <sup>2</sup> )	704
Biomasse pr m <sup>3</sup> (kg/m <sup>3</sup> )	42,4

kan den beskrives med en sigmoidal model: Biomassevæksten er i starten eksponentiel, men senere på året, når vandet bliver koldere, og muslingerne begynder at blive fødebegrænsede, bremses væksten. Hvis biomassen i oktober sættes til index 100, så kan udviklingen i biomassen som index beskrives med sigmoidal model som vist i figur 17:

Index(t) =  $K/(1+e^{-r(t+t_0)})$ , K er maksimum biomasse, r er produktionsraten, og  $t_0$  er dagen med maksimal vækst, hvorefter biomassevæksten aftager. For den fittede model er

$K=103,48$ ,  $r=0,0615 \text{ dag}^{-1}$ ,  $t_0=70,86$  dage, og den færdige model ser sådan ud.

$$\text{Index}(t) = 103,48 / (1 + e^{-0,0615(t-70,86)}), R^2 = 99,3$$

Anvendes modellen på de dage, hvor der blev monitoreret og udviklet 3D-billeder, og på målinger fra 13. oktober hvor en biomasse på  $42,4 \text{ kg/m}^3$  net blev udregnet, kan nedenstående biomassetætheder forventes (Tabel 4). Det skal her bemærkes, at der er tale om en afhøstet biomasse, hvor der kan være sket et tab ifm. høst. De afhøstede mængder svarer til ca. 14,7 ton per standardnet (110 m), hvilket er ca. 5 tons under rørenes bæreevne.

Det kan således forventes, at der har været et væsentligt tab af biomasse ifm. høst, der ikke er registreret.

I forbindelse med det nationale projekt NIFIMU, blev der d. 22. august 2023 målt en biomasse på 10 ton per net i samme område af Skive Fjord, svarende til en biomasse på  $28 \text{ kg/m}^3$  (NIFIMU 2024). Dette indikerer, at den faktiske biomasse på nettene kan være 50 % større end den afhøstede biomasse.

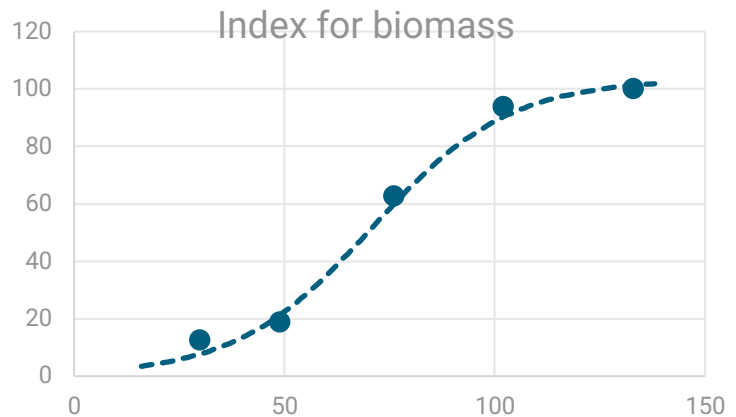


Figure 10: Afhøstede muslinger i Skive Fjord. Høsten er registreret som antallet af pallekasser. For hvert rør er den samlede afhøstede mængde registreret. Det skal bemærkes, at der er tale om dobbeltrør, dvs. rør med en netlængde på ca. 220 m.

Table 4: Modelleret index for biomasse på baggrund af biomasse på langline i 2010-2011. Biomasse er estimeret på baggrund af en målt biomasse ved afhøstning i oktober 2025.

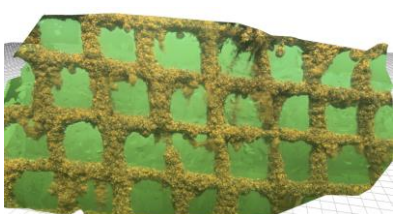
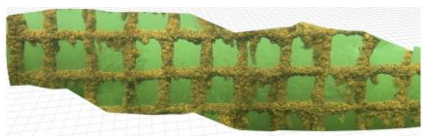
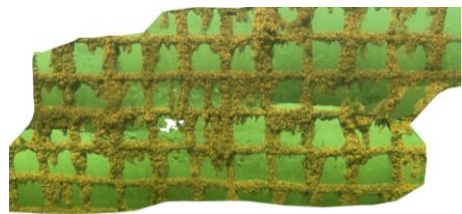

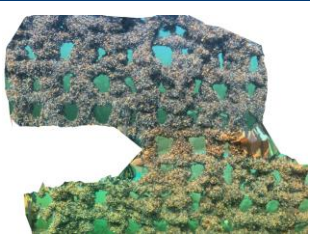
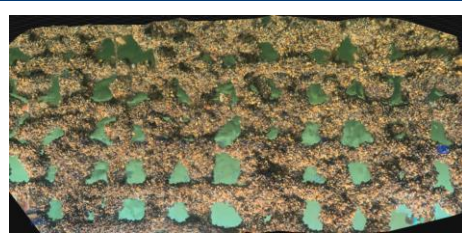


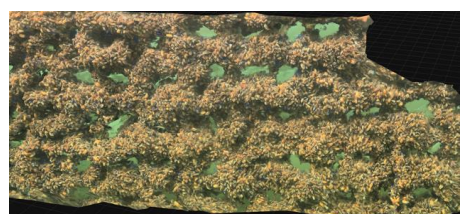
Dato	Estimeret index (relativt til målinger fra 13. oktober)	Biomasse ( $\text{kg/m}^3$ )
26. 06	3	1,3
24. 07	13	5,5
23. 08	48,8	20,7
13. 10	100	42,4

## 6. DRONEMONITERING 2025

På de følgende sider ses 3D-modeller, baseret på billeder fra tre stationer på tre forskellige rør. På hvert rør er der lavet en 3D-model for tre forskellige positioner på røret: Syd – Midt – Nord.

Alle billedoptagelserne er fra dybde mellem 1,5 og 3 meter. Maskestørrelsen på nettene er 17,5\*17,5 cm. Der er til optagelserne brugt naturligt lys, og optagelserne i august er påvirket af, at solen forsvandt under optagelserne af Nord-positionen på station 2 og under hele optagelsen af station 3 (Syd-Midt-Nord). På station 2 er der under optagelsen af Syd-positionen lavet optagelser af hele net-enden, og øverst kan tydeligt ses både røret og linen, der går ud til ankeret (Figur 6). På modellerne ses forekomster af søstjerner. Dette er særligt tydeligt i oktober. For hver af 3D-modellerne er det angivet, hvor mange billeder, der indgår i udarbejdelsen af den enkelte model. Nogle af 3D-modellerne er lagt op på hjemmesiden Sketchfab, hvor modellerne kan ses i 3D. Her er det muligt at betragte muslingerne fra forskellige vinkler, og se hvordan muslingerne sidder på nettene.

Table 5: Monitoring af station 1 i perioden juni – oktober 2025.

	SYD	MIDT	NORD
26. juni 2025	 50 billeder	 54 billeder	 <a href="#">LINK</a> - 97 billeder
24. juli 2025	 <a href="#">LINK</a> - 148 billeder	 160 billeder	 109 billeder
25. august 2025	 219 billeder	 180 billeder	 <a href="#">LINK</a> - 161 billeder

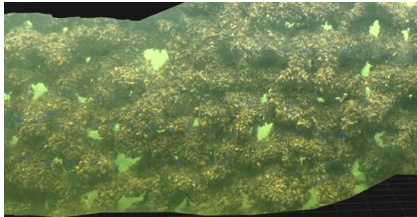
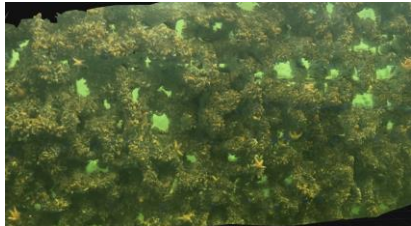
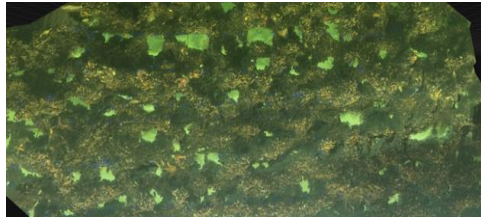
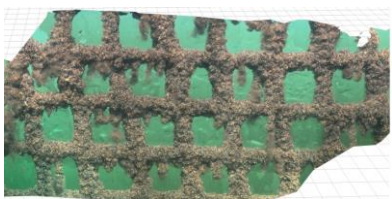
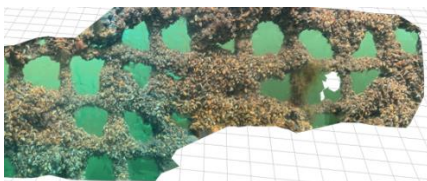

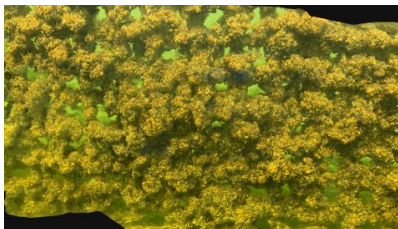
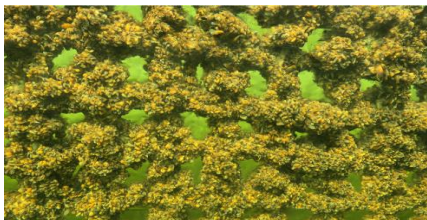
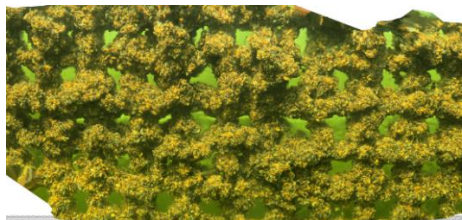
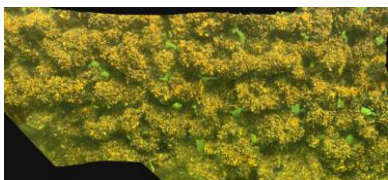


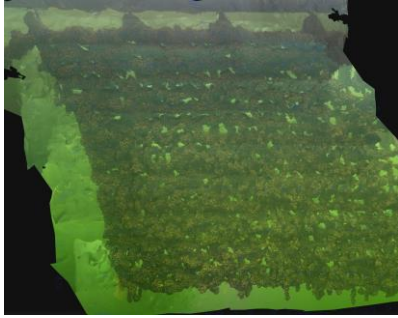
13. oktober 2025			
	112 billeder	109 billeder	<a href="#">LINK</a> - 183 billeder

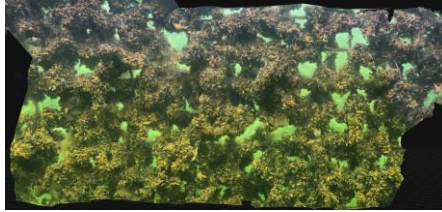
Table 6: Monitoring af station 2 i perioden juni – oktober 2025.

	SYD	MIDT	NORD
26. juni 2025	 <p>71 billeder</p>	 <p>65 billeder</p>	 <p>61 billeder</p>
24. juli 2025	 <p><a href="#">LINK</a> - 238 billeder</p>	 <p><a href="#">LINK</a> - 106 billeder</p>	 <p>145 billeder</p>
25. august 2025	 <p>146 billeder</p>	 <p>133 billeder</p>	 <p>120 billeder</p>

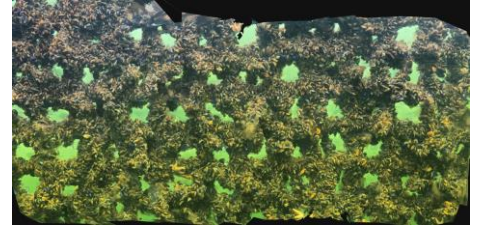
13. oktober 2025



[LINK](#) - 327 billeder – bemærk:  
større skala

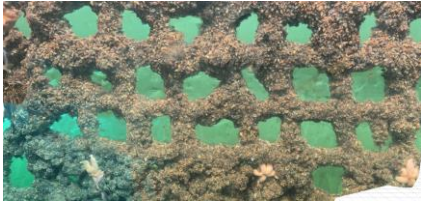
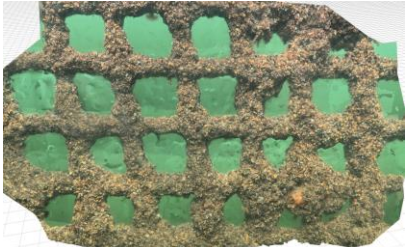
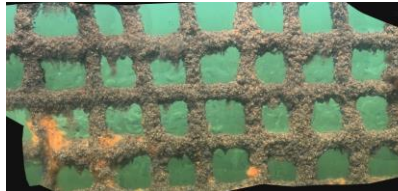
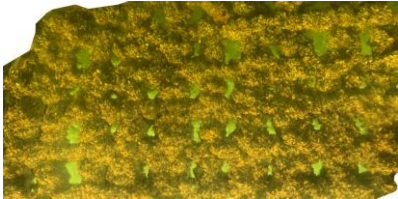
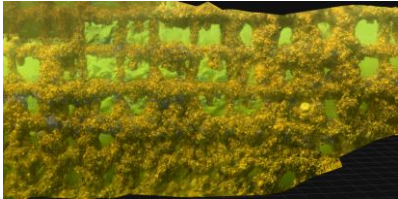
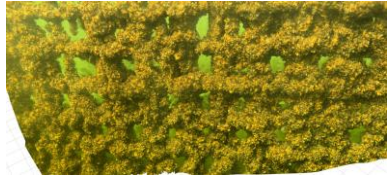
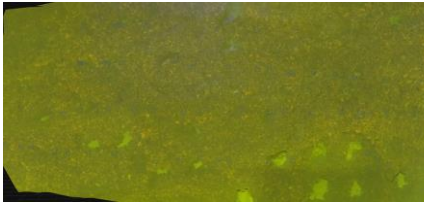

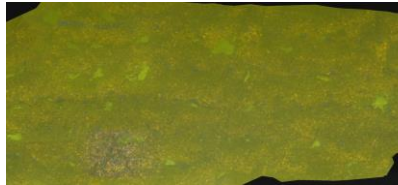
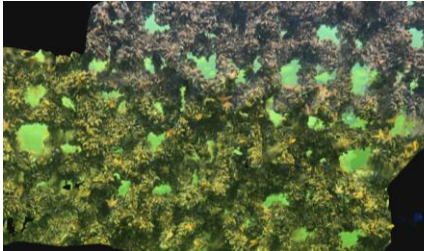
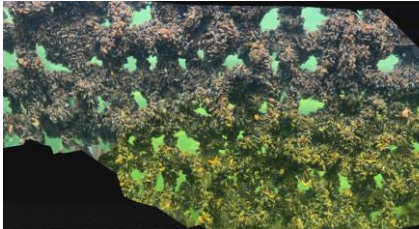
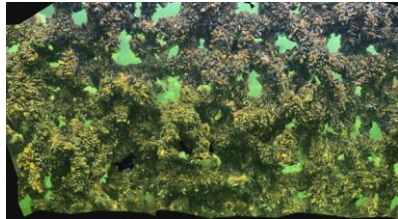


170 billeder



[LINK](#) - 120 billeder

Table 7: Monitoring af station 3 i perioden juni – oktober 2025.

	SYD	MIDT	NORD
26. juni 2025	 <p>58 billeder</p>	 <p><a href="#">LINK</a> - 66 billeder</p>	 <p><a href="#">LINK</a> – 70 billeder</p>
24. juli 2025	 <p><a href="#">LINK</a> 158 billeder</p>	 <p>106 billeder</p>	 <p>109 billeder</p>
25. august 2025	 <p>97 billeder</p>	 <p>122 billeder</p>	 <p>128 billeder</p>
13. oktober 2025	 <p><a href="#">LINK</a> - 176 billeder</p>	 <p>133 billeder</p>	 <p>126 billeder</p>

## REFERENCER

Dolmer, P., & Stenalt, E. (2009). The impact of the adult blue mussel (*Mytilus edulis*) population on settling of conspecific larvae. *Aquaculture International*, 18(1), 3–17. <https://doi.org/10.1007/s10499-009-9266-2>.

Hansen, J.W., & Høgslund, S. (red.) (2025). *Marine områder 2024* (rapport nr. 684). NOVANA, Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi. [https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Videnskabelige\\_rapporter\\_600-699/SR684.pdf](https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Videnskabelige_rapporter_600-699/SR684.pdf).

NIFIMU Arbejdspakke 2: Dataindsamling og modellering af effekten af muslingeopdræt på det marine miljø. Udarbejdet af M.Lyngsgaard et al. 2024

Petersen, J.K., Timmermann, K., Holmer, M., Hasler, B., Göke, C., & Zandersen, M., (2013). *Miljømuslinger – Muslinger som supplerende virkemiddel*. Aarhus Universitet.



# DELIVERABLE 2.2

## Annex III

### SITE SPECIFIC PRODUCTION MANUAL FOR THE SWEDISH EAST COAST (ENG)



Co-funded by  
the European Union

Disclaimer: Baltic MUPPETS is co-funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the granting authority, European Innovation Council and SMEs Executive Agency (EISMEA). Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.

## CONTENT

1. Introduction .....	4
2. Farmsite selection and permits .....	4
2.1 Site characteristics .....	4
2.2 Permitting process .....	6
3. Farm design and construction .....	7
3.1 Overall farm concept .....	7
3.2 Farm units and substrate system.....	8
3.3 Ice protection through submergence .....	9
3.4 Deployment operations .....	9
4. Developing the harvesting system .....	10
4.1 Background and objectives .....	10
4.2 Choice of harvesting method .....	10
4.3 Platform and structural modifications .....	11
4.4 Mechanical systems.....	11
4.5 Sorting and washing integration.....	11
4.6 Harvesting operation .....	12
5. Performance and efficiency.....	13
6. Monitoring .....	14
6.1 Development of a remote monitoring method to estimate mussel biomass, adjusted for longline system .....	14
6.2 Harvest data.....	19

6.3 Nutrient uptake .....	21
7. Investment and operational costs .....	24
8. Conclusions and outlook .....	25
9. References.....	25

## LIST OF FIGURES

Figure 1: Drone picture showing the establishment of the Västervik farm. ....	5
Figure 2: Close-up of farm. ....	5
Figure 3: Maps of area .....	6
Figure 4: 3D-illustration of the submerged longline system.....	8
Figure 5: Fuzzy ropes. ....	10
Figure 6: 3D illustration showing the submerged longline system. ....	9
Figure 7: Photos of the new Ecopelag harvester. ....	11
Figure 8: Two people work together on the harvester. ....	12
Figure 9: Size sorter .....	13
Figure 10: Comparison of 3D illustrations between Danish mussel farming nets (left) and Swedish mussel farming longline system (right). ....	14
Figure 11: Drone equipment.....	15
Figure 12: Sketch of the submerged longline system and monitoring method with the drone. ..	16
Figure 13: Regression analysis of projected area and mussel weight. ....	17
Figure 14: Regression analysis of projected area and mussel length.....	18
Figure 15: Regression analysis of projected area and mussel weight (AquaCut) .....	19
Figure 16: Harvest results from six separate farm units harvested on five different days. ....	22
Figure 17: Results from four harvest occasions at the St. Anna farm. ....	20
Figure 18: Results from five days of harvest in Oct-Nov 2024 at the St. Anna farm.....	21
Figure 19: Seasonal variation in nitrogen and phosphorus content in whole mussels.....	22
Figure 20: Summary of data on nitrogen and phosphorous content.....	23

## LIST OF TABLES

Table 1: List of the different permits, approvals, and registrations needed.....	7
Table 2: Data on mussel metrics and monitoring from test site.....	17
Table 3: Summary of costs for mussel production. ....	24

## 1. INTRODUCTION

Mussel farming in the Baltic Proper differs substantially from productions in more saline marine environments. The area's low salinity results in slow growth rates, with mussels typically reaching only 2.5-4 cm after 2-3 years. Combined with limited regulatory frameworks around farming mussels intended for human consumption on the eastern coast of Sweden, the traditional market pathways for mussel production are constrained. Nevertheless, the eutrophic conditions of the Baltic Sea, high natural mussel abundance, low biofouling pressure, and limited predation create favourable conditions for large-scale mussel cultivation aimed at alternative value chains, such as animal and pet food.

Within the Baltic MUPPETS project, Ecopelag has established a full-scale mussel farm outside Västervik and developed an optimised harvesting system adapted to the Baltic Sea conditions. Beginning in spring 2023, Ecopelag AB installed and tested a mussel cooker and meat-shell separation line in the Baltic Sea Factory in Västervik (see D3.1, Report on the production line). In addition, a new method for remote monitoring of mussel biomass has been developed at another of Ecopelag's mussel farms in Jungfrufjärden, a farm dedicated to the development and testing of new methods and research. The present manual explains the technical design and operation of both the farming infrastructure and harvesting technology. The manual also describes the newly developed method for remote monitoring of mussel growth.

## 2. FARMSITE SELECTION AND PERMITS

### 2.1 Site characteristics

The selected farm area (approximately 30 hectares) is located in the moderately exposed outer archipelago of Västervik on the eastern coast of Sweden. Water depth across the site ranges from 18 to 20 meter. The location was previously used for a municipal pilot farm that operated between 2014 and 2022.

The site is marked with eight yellow navigation marks (SSA special marks), and it accommodates 37 farm units, providing capacity for approximately 56,000 meter substrate rope. GIS data, sonar surveys, and nautical charts were used to map the seabed topography, anchor placement, property boundaries, and protected areas.



*Figure 1: Drone picture showing the establishment of the Västervik farm.*



*Figure 2: Close-up. When the arrangement of substrate ropes is completed, extra weights are added to submerge the headline to a depth of about 3 m, to keep the farm and buoys protected from ice.*

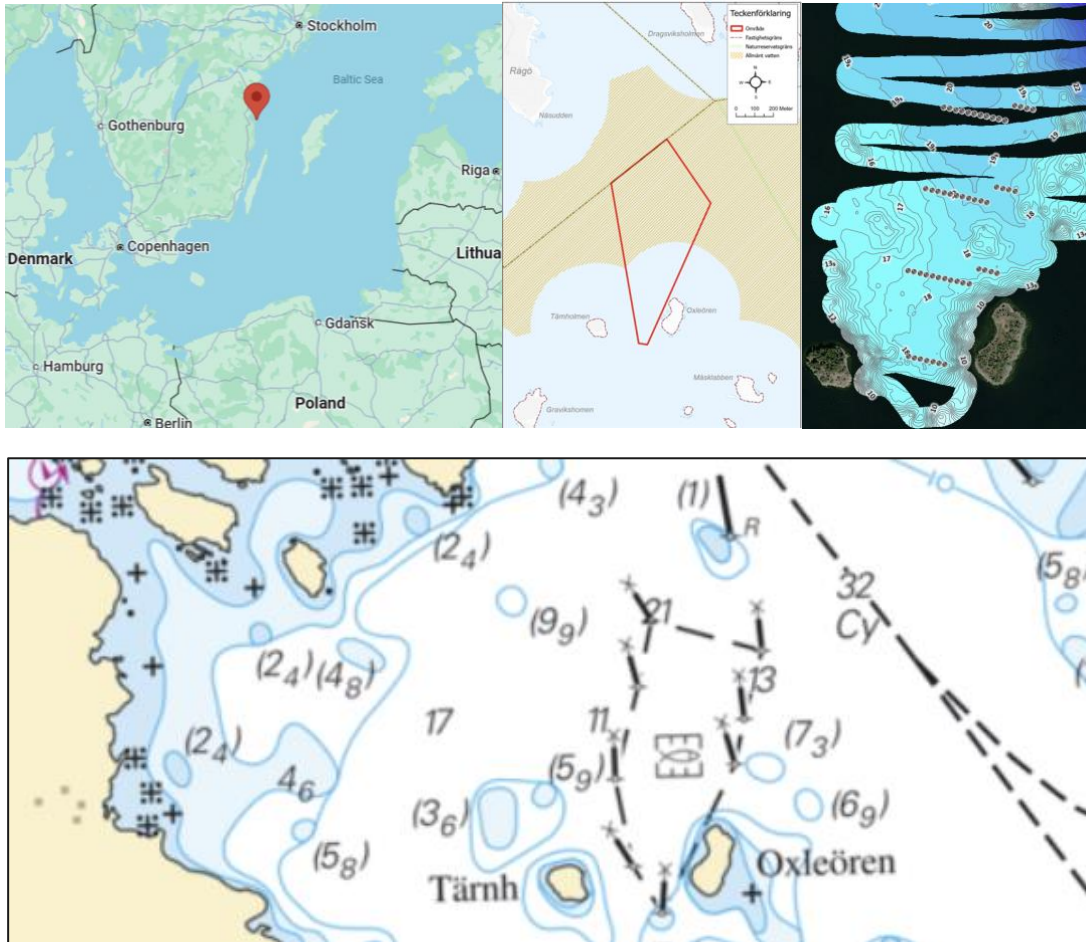


Figure 3: Top left: Västervik farm site. Middle: Shapefile from Västervik municipality, showing the property boundaries and protected areas of the water. Right: Sonar scan of the planned farm area, showing water depth and suggested placement of anchor stones. Bottom: Sea chart from the Swedish maritime administration showing the farm site with navigation aids

## 2.2 Permitting process

Ecopelag EF's first action was to apply for an overtake of the old pilot farm site and a renewal of the existing production permits in private waters. Secondly, Ecopelag applied for a permit to expand the farm area to national waters, which had to be granted by a Swedish State authority. Thirdly, Ecopelag applied for new mussel production permits, a process which involved several different approvals from different authorities.

The permitting process was conducted in three main steps:

1. Overtake of the former pilot farm site and renewal of existing production permits in private waters.
2. Application for expansion into national waters, requiring approval by a Swedish state authority.

3. Application for new mussel production permits, involving consultation and approvals from multiple authorities.

Table 1: List of the different permits, approvals, and registrations needed for the Västervik mussel farm.

Permit/registration/approval	Permitting authority
Farm permit	Kalmar county board
Establishment permit (for navigation aids)	The Swedish transport agency
Exception from shore protection	Västervik municipality
Approval of a bio safety plan	The Swedish agricultural agency
Registration of feed primary production	Kalmar and Stockholm County boards

This phased approach enabled the continuity of operations while scaling up to a full-scale production.

### 3. FARM DESIGN AND CONSTRUCTION

#### 3.1 Overall farm concept

The Västervik mussel farm is based on a submerged longline system, safe from ice (se Figs. 4 and 6). Mussels settle, grow, and complete their full life cycle on specially designed substrate ropes (Fig. 5) that remain submerged throughout the year.

Each farm unit consists of:

- Two concrete anchors (weighing 3 tonnes each). These are sometimes shared between adjacent units.
- Buoyed anchor lines.
- A headline, approximately 100-140 meter long.
- Weighted substrate ropes suspended in loops down to ~10 m depth.
- Buoys and compensation weights per unit to keep the headline and substrate ropes submerged.

The structural framework is constructed using 32 mm polypropylene rope designed for heavy abrasion, UV exposure, and long-term marine use.

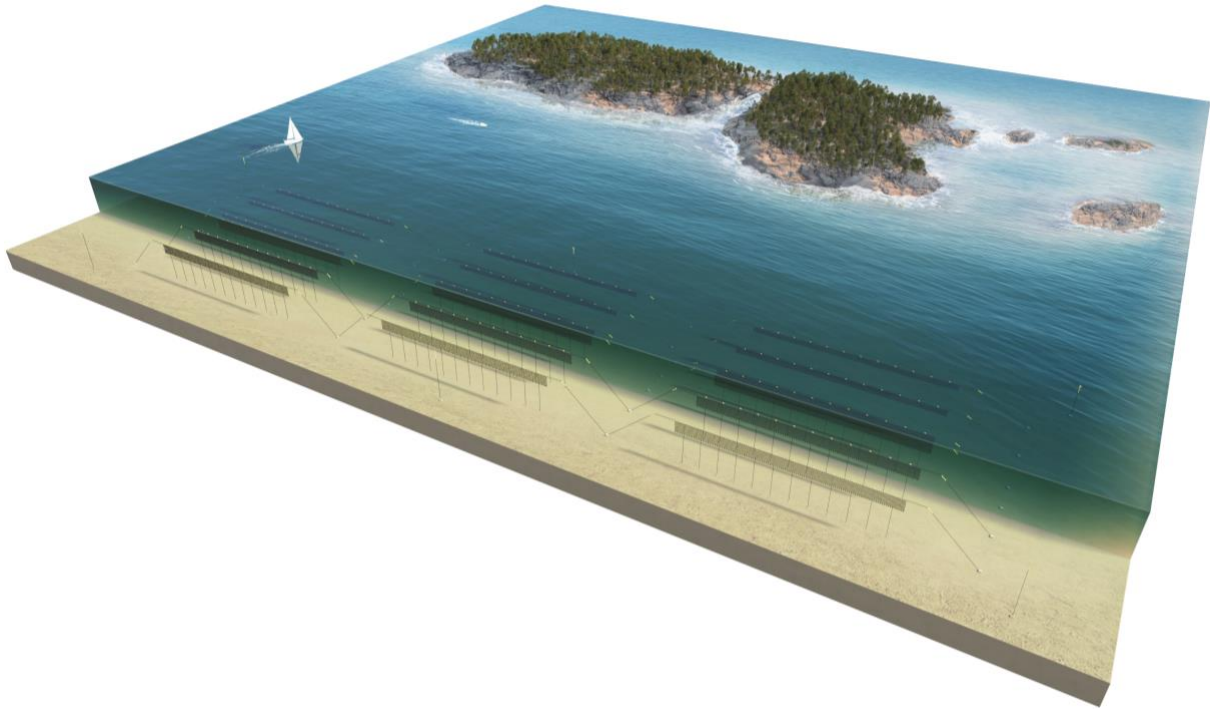


Figure 4: 3D-illustration of the submerged longline system of the mussel farm located in Jungfrufjärden. Illustration: Ecopelag (LIFEIP Rich WATERS).

## 3.2 Farm units and substrate system

Each headline carries approximately 1.5 km of substrate rope. The substrate ropes are a key innovation, adapted specifically to conditions in the Baltic Proper.

In contrast with higher salinity regions, where fuzzy ropes are used only for spat collection, Baltic mussels can remain on the same ropes for the whole growth cycle due to the smaller size and the very low levels of biofouling. Additionally, there are few competing organisms.

The substrate ropes can last for multiple growth cycles (~10) and do not need to be removed seasonally.



Figure 5: Fuzzy ropes. Top: "Christmas tree rope" used in earlier projects, originally designed for spat collection. Bottom: The combined collection and grow-out rope designed by Ecopelag for mussel farming in the Baltic Proper.

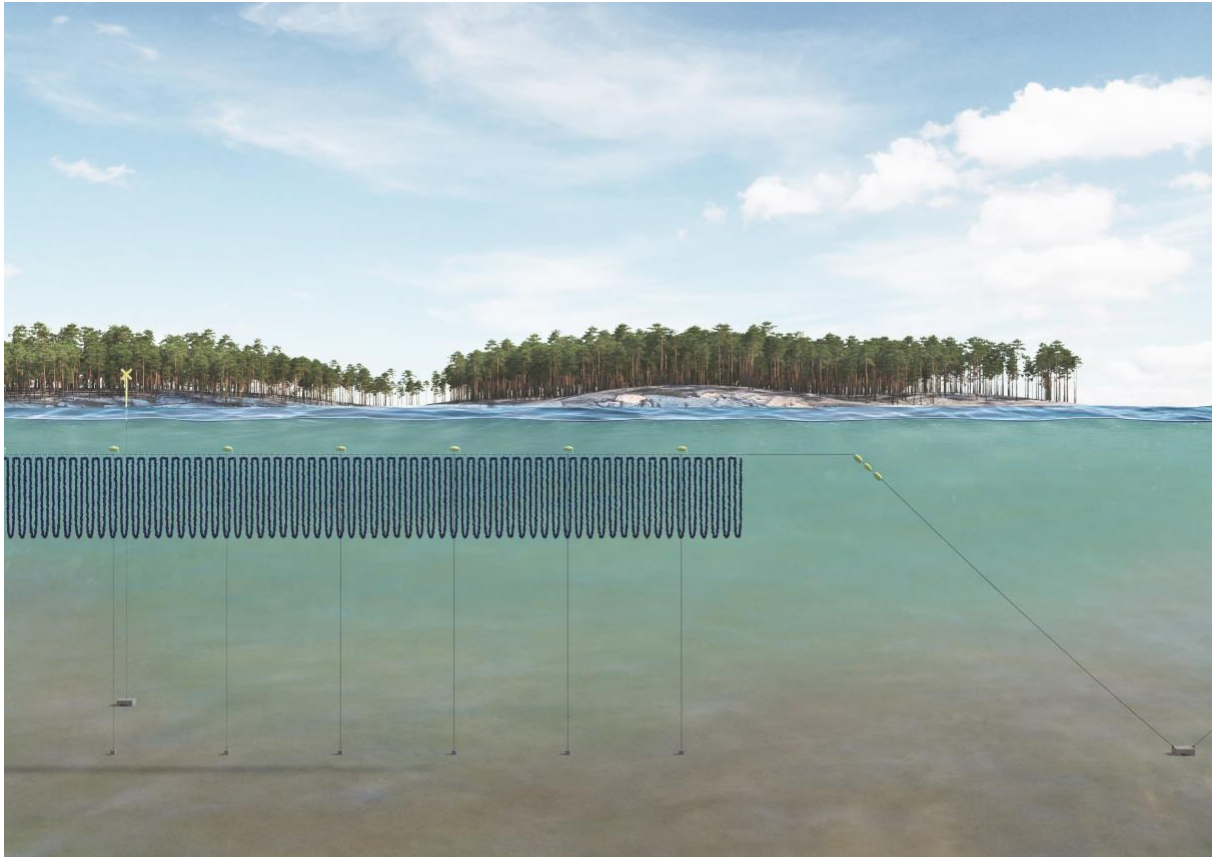


Figure 6: 3D illustration showing the submerged longline system with buoys, anchors, and substrate attached to a headline, which in turn connects to the anchor line and anchor. Illustration: Ecopelag LIFEIP Rich WATERS.

### 3.3 Ice protection through submergence

Ice and drift ice represent major risks to surface-oriented aquaculture systems in the Baltic Sea. To mitigate this, the headlines are ideally submerged to approximately 3 meters below the surface (adjustable between 2 and 8 meters depending on exposure). This can be achieved through a combination of distributed concrete weights and compensatory buoyancy floats.

This system accounts for increasing biomass load as mussels grow, ensuring stable depth throughout the production cycle.

### 3.4 Deployment operations

Farm components were prepared and partially assembled on land at the Baltic Sea Factory in Västervik. Deployment involved several vessel types and operational steps:

- **Anchor deployment:** 3-tonne anchors with attached anchor lines and buoys, and 1 tonne anchors for navigation aids were deployed using contracted marine services.
- **Headline:** installed using Ecopelag's own workboat.

- **Substrate mounting:** Performed using a locally adapted fishing vessel equipped with electric rope pulleys and winches Ecopelag's own workboat

By the end of the deployment phase, 37 farm units were installed at the Västervik site, alongside renewed additional sites on the eastern coast of Sweden.

## 4. DEVELOPING THE HARVESTING SYSTEM

### 4.1 Background and objectives

Historically, mussel farming on the eastern coast of Sweden has relied on labour-intensive, small-scale harvesting methods. While suitable for pilot projects, these methods are not economically viable for large-scale operations.

The objective within Baltic MUPPETS has therefore been to develop an optimised harvesting system that:

- Reduces labour requirements, from 3 workers to 2 workers.
- Handles large volumes more efficiently.
- Lifts and handles headline and farms in a more safe and controlled manner.
- Automates the forward propulsion while harvesting.
- Is compatible with submerged longline systems.
- Enables immediate redeployment of substrate ropes after harvest.

### 4.2 Choice of harvesting method

The starting point was the established longline harvesting technology used in countries such as the Netherlands. Existing Bakker harvesting equipment was evaluated and integrated with Swedish operational needs, building on experience from earlier EU projects (Baltic Blue Growth and Life IP Rich Waters) (Fig. 7).

In contrast with conventional systems, where substrate ropes are removed and stored ashore after harvest, Baltic conditions allow for an immediate redeployment of harvested ropes back into the sea.



Figure 7: Photos of the new Ecopelag harvester, with capstans and star wheels mounted on an aluminium barge. Left: Freshly delivered from the boatyard. Right: In action. Harvest equipment from Bakker was acquired from the former EU-project Baltic Blue Growth, mounted on the new harvesting pram and complemented with a specially designed mussel sorter/washer.

### 4.3 Platform and structural modifications

The optimised harvesting system was constructed on an aluminium barge acquired from the Life IP Rich Waters project and further modified within Baltic MUPPETS. New superstructures were designed by Ecopelag and constructed by a specialised Finnish boatyard.

Key design outcomes included the reduction of crew size from three to two people. The design also improved operational stability and safety and eliminated the need for a dedicated boat driver during harvesting.

### 4.4 Mechanical systems

The barge was equipped with three towers with capstans (winches) and hydraulic star wheels used to pull the harvester along the headline.

Once engaged, the system moves itself along the longline, allowing the main engine to be shut off. This results in smoother operation and lower fuel consumption.

The Bakker harvesting unit was transferred from the earlier wooden platform onto the new barge, maintaining a proven core technology while improving integration and ergonomics.

### 4.5 Sorting and washing integration

To improve product quality and downstream processing, the harvesting barge was equipped with a washing and sorting stage, using a modified drum washer originally designed for shrimp.

This system removes debris and algae and separates mussels from each other. Additionally, the system helps by discarding smaller mussels.

Larger mussels pass through the washer into collection bags, while smaller fractions are separated for alternative use or return to the sea (Figs. 8 and 9).

## 4.6 Harvesting operation

### 4.6.1 Operational workflow

A standard harvesting operation includes the following steps:

1. Catch and lift the headline onto the star wheels using a grapnel and capstan.
2. Move the barge along the headline to the substrate loops.
3. Cut the attachment rope of the first substrate loop.
4. Feed the substrate rope through the harvest scraper.
5. Continue cutting and feeding loops sequentially as the barge advances.
6. Reattach the scraped substrate rope to the headline and let it back into the sea.
7. Harvested mussels are fed through the washer and size sorter.
8. Mussels are collected in large bags and exchanged as they fill.
9. Transfer to the next farm unit once harvesting is complete.



*Figure 8: Two people work together on the harvester. Here, one person operates the machinery, and the other person is responsible for cutting loose substrate loops from the headline to feed above an elevator belt where the mussels are continuously scraped off. The scraped substrate rope is then re-attached to the headline, and the mussels pass through the sorter/washer.*



*Figure 9: Larger mussels will stay inside the rotating sorter/washer and flush into the collector bag (white), while debris and small mussels are collected in a black net-bag mounted under the sorter.*

#### 4.6.2 Workforce and safety on board

Although labour demand is reduced by using this system, safe and efficient operation requires a minimum crew of two trained operators. Tasks are clearly divided between machinery operation, rope handling, and monitoring of product flow.

## 5. PERFORMANCE AND EFFICIENCY

Under favourable conditions and with good mussel growth, the optimised system can harvest more than one tonne of mussels per hour. While this rate is hard to sustain over a full workday due to ongoing adjustments and troubleshooting, continuous improvements are being made towards achieving this rate on average.

Key efficiency advantages in Baltic conditions include:

- Immediate redeployment of substrate ropes, eliminating shore-based handling and storage.
- Reduced biofouling, lowering maintenance needs.
- Potential for further automation, such as eliminating the need to cut substrate loops during harvest.

## 6. MONITORING

### 6.1 Development of a remote monitoring method to estimate mussel biomass, adjusted for longline system

Within the Baltic MUPPETS project, a method was developed to estimate farmed blue mussel biomass using an underwater drone, Chasing M2 Pro Max.

The method was developed in one of Ecopelag's mussel farms specifically aimed at testing and developing new methods and research, located in the southern Stockholm archipelago. The farm was given this purpose due to its accessible location and lower biomass and growth rate compared to other newly established farms, such as the farm established in Västervik. Therefore, it should be noted that the numbers presented in this part of the manual are lower and not representative of an average mussel farm. The focus here is on the development of an easy-to-use and effective low-cost method for monitoring biomass production in the mussel farms.

In the proposed method, the drone is equipped with a sonar distance lock and a laser scaler for image processing and 3D illustrations to estimate biomass, growth rate, and current conditions of the mussels. The proposed method is more suitable for mussel farmers using nets that form a wall against which the sonar can lock distance, with detailed and functional 3D illustrations as the outcome. When the proposed method is applied on longline mussel farming systems, where the substrates hang in loops with a length of 9 meters, with about 75 to 100 cm between each loop (see Fig. 6 in part 3.2), the area that the sonar can lock on to is too small, making it hard for the sonar to lock in to a set distance. There was too little information and overlap in the pictures from the loop for the 3D programme to produce usable pictures, and the 3D illustrations came out blurry and with little detail (see Fig. 10).

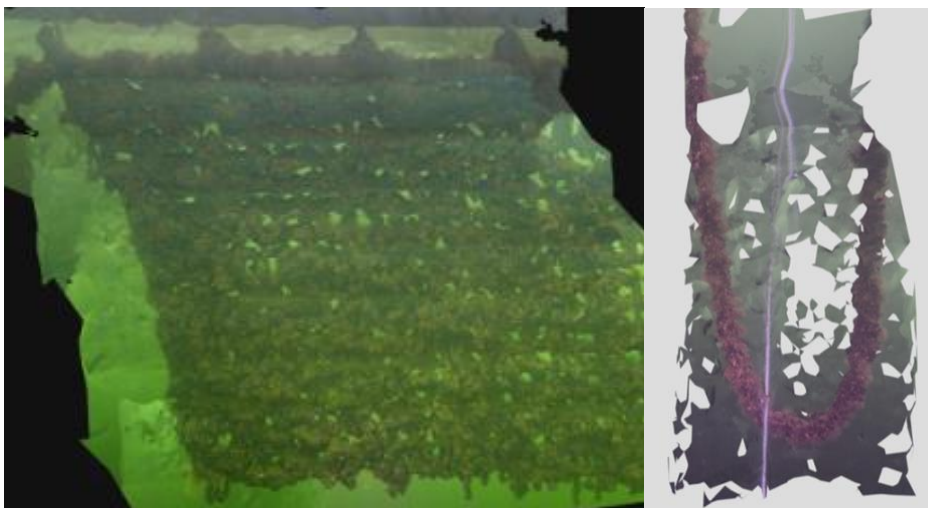


Figure 10: Comparison of 3D illustrations between Danish mussel farming nets (left) and Swedish mussel farming longline system (right). The left 3D illustration is based on 327 pictures and shows about 9 m<sup>2</sup> (approx. 3x3 m) of mussel farming net, and the right 3D illustration is based on 48 pictures and shows about 1.2 m of the lower part of a loop in the mussel farming longline system.

Because of the different farming techniques, an alternative method was developed and tested for the longline system using only the laser scaler and the drone. The method focused on determining a correlation between substrate cross-sectional area and biomass. The aim was to find a simple reliable method that could take representative photos of the farm, analyse them, compare the area in the area/weight-table, and thereby estimate if there is enough biomass to harvest.

The laser scaler has a set distance of 10 cm between the rays, and it was attached to the top of the drone. Both the internal drone camera and an additional GoPro camera was used to take photos (se Fig. 11).



*Figure 11: Left: Drone with GoPro camera attached on top, distance sonar lock attached under the drone, and handheld screen with cord E-reel. Right: Drone with laser scaler attached to the top of the drone. Pictures are from a test for mounting and driving the drone in a bay.*

The diameter of the bare substrate is 3.2 cm, and when mussels are growing on the substrate (from now on referred to as projected area), the diameter goes up to about 15 cm depending on the age group of the mussels. Therefore, the drone needs to be tilted so that the two rays from the laser scaler can fall on the projected area at the same time when taking the pictures (se Fig. 12) to be able to set the scale in the image processing programme.

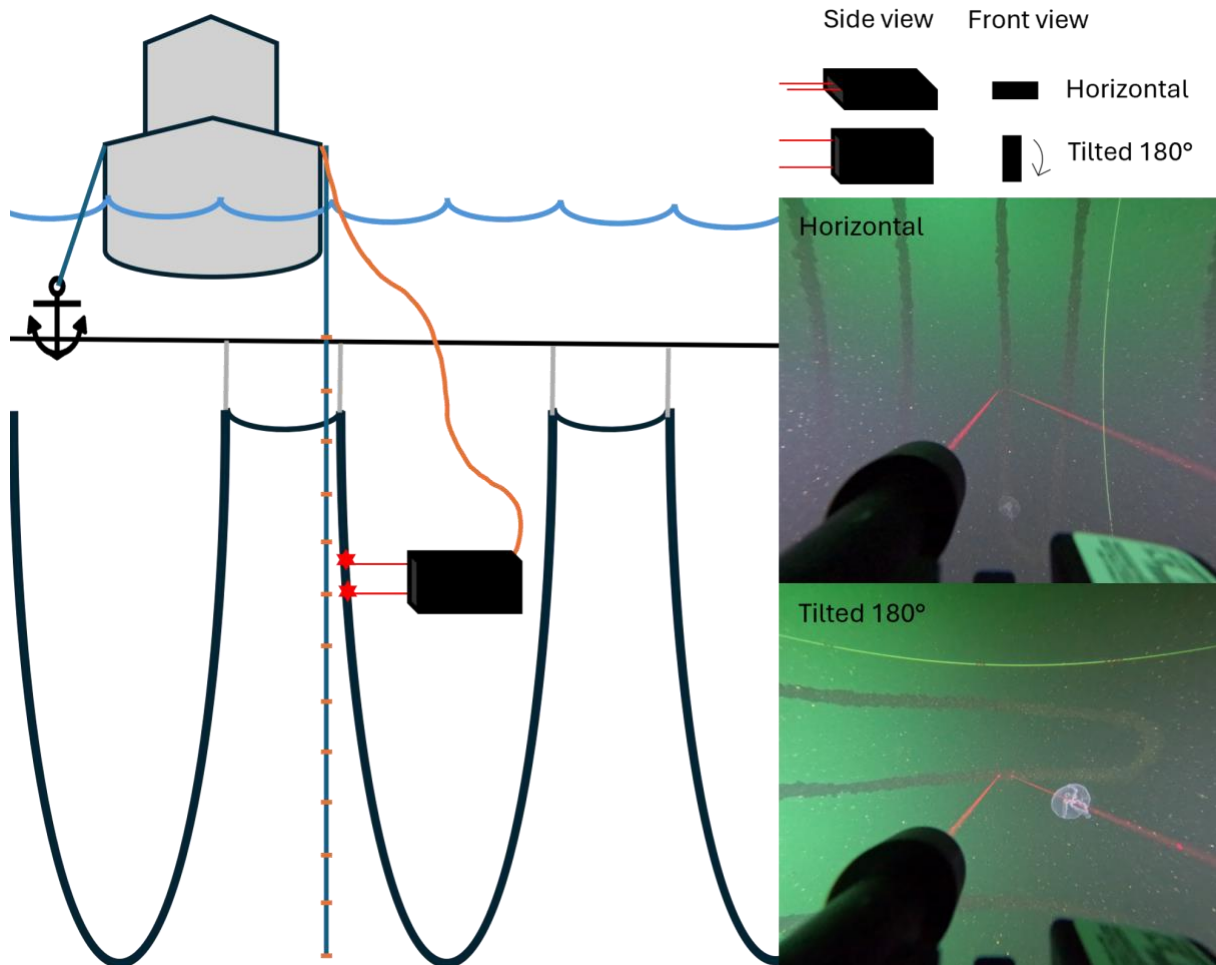


Figure 12: Left: A sketch of the submerged longline system and monitoring method with the drone. The boat is anchored at the headline to avoid drifting; the marked rope is lowered for identifying the pictures, and the drone is operated tilted from the boat. Upper right: Figure showing the drone's position in the water from side and front view; horizontal position when moving and tilted 180° when taking pictures. Middle right: Picture taken by the GoPro camera in a horizontal position with the laser beams going on each side of the projected area. Lower right: Picture taken by the GoPro camera in a 180° tilted position with the laser beams falling on the projected area.

By setting the scale on the picture in the picture processing programme ImageJ, the area of a certain length of the projected area could be calculated and correlated to the weight of the biomass in that specific picture. To know the weight of the biomass in that specific part of the projected area, a rope with marks every meter was lowered into the water next to the loop and pictures were taken at every mark from the surface to the end of the loop. When pictures were collected, the loop and marked rope were pulled out of the water and aligned, and mussels were collected and weighed at every marking.

The following data and results were collected at the test farm in Jungfrufjärden on 29 September 2025. Photos, mussel weight and length were documented at three loops at different depths (Table 2).

Table 2: The table shows the number of loops studied, depth of picture and mussel weight collected, average mussel length in centimetres, number of mussels measured, collected mussel weight in kilos per meter substrate rope, average substrate area of 28 centimetres of substrate in centimetres, and number of pictures analysed.

Date	Farm	Loop	m Depth	cm Average mussel length	n mussels	kg mussel/m Harvest weight	cm <sup>2</sup> Average area	n pictures
29-sep	Jungfrun	1	16	1.16	21	1.3	<b>252.80</b>	2
29-sep	Jungfrun	1	18	1.10	22	1.8	<b>205.37</b>	2
29-sep	Jungfrun	1	20	1.06	22	0.9	<b>175.03</b>	2
29-sep	Jungfrun	2	17	1.36	18	1.4	<b>230.32</b>	2
29-sep	Jungfrun	2	19	1.12	24	1.4	<b>216.95</b>	2
29-sep	Jungfrun	2	21	1.06	28	0.6	<b>169.01</b>	2
29-sep	Jungfrun	3	16	1.14	23	1.2	<b>232.71</b>	2
29-sep	Jungfrun	3	18	1.16	21	1.8	<b>214.82</b>	2
29-sep	Jungfrun	3	20	1.25	24	1.2	<b>250.28</b>	2
29-sep	Jungfrun	3	22	0.98	32	0.3	<b>164.02</b>	2
29-sep	Jungfrun	3	24	0.81	15	0.1	<b>135.00</b>	2

The regression analysis shows a strong and highly significant correlation between the mussel weight and projected area ( $R^2 = 0.56$ ,  $p = 0.008$ , see Fig. 13), and when considering mussel length and projected area, the correlation is even stronger ( $R^2 = 0.7202$ , see Fig. 14).

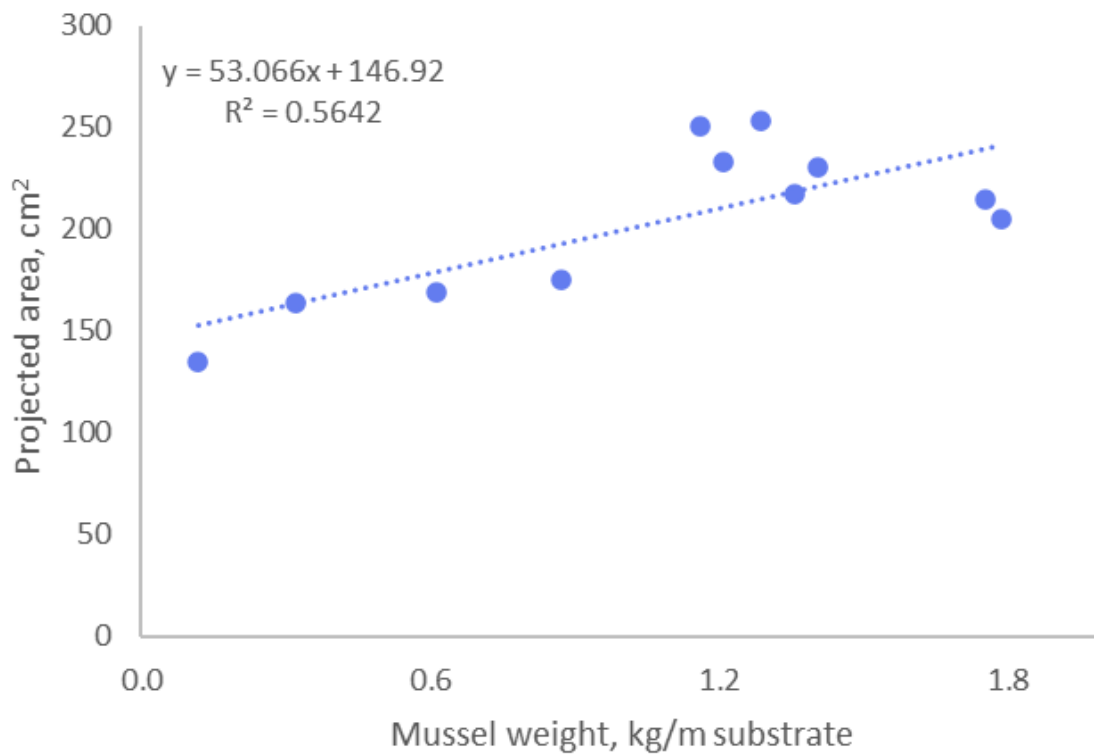


Figure 13: Figure showing regression analysis of projected area in cubic centimetres (cm<sup>2</sup>) and mussel weight in kilos per meter substrate (kg/m substrate) with an R value of 0.5642.

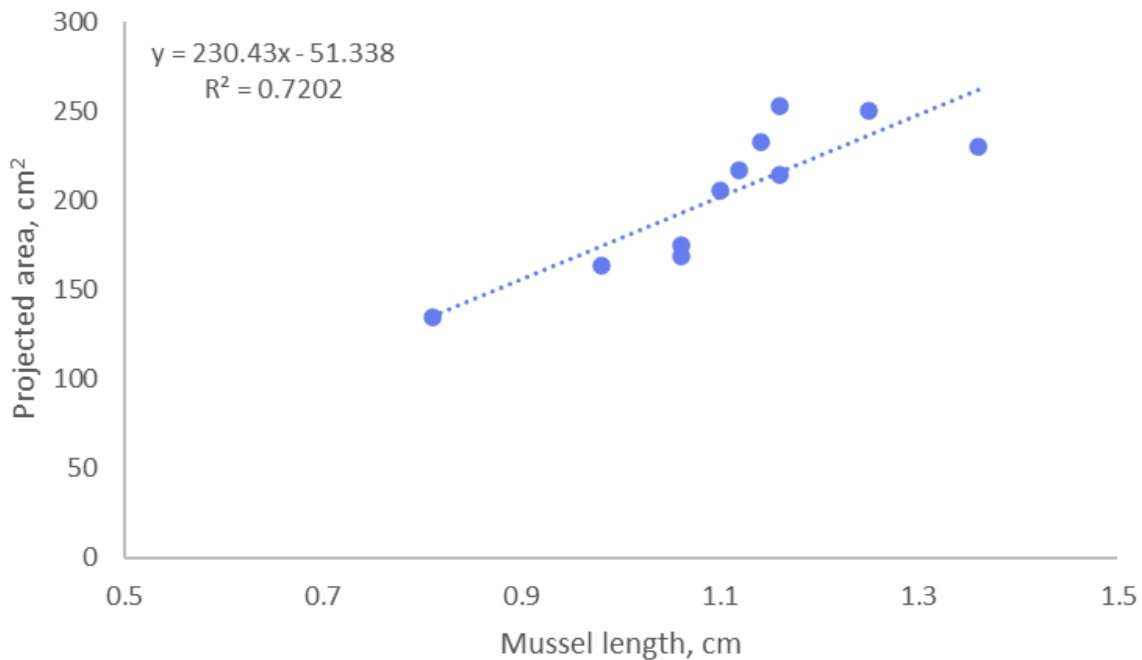


Figure 14: Figure showing regression analysis of projected area in cubic centimetres (cm<sup>2</sup>) and mussel length in centimetres (cm) with an R value of 0.7202.

The main conclusion is that the method is promising and will be able to successfully monitor growth and be used as a tool for planning harvests.

It should however be noted that the sampling data is limited, and thus far, it does not include weights and area measurements of fully grown mussels. This data will be collected in 2026 to further improve the method and its ability to accurately estimate the biomass and readiness for harvest.

The results confirm that the use of drones can have many benefits. Results can be available within a few hours and does only require one to two people and a small boat. The use of drones can therefore save time, money, environmental footprint and workload. Earlier methods were time-consuming and required larger and dependent on slow moving boats that could lift the farm and pull up the substrates with the risk of losing mussels when handling the substrates. The use of drones also greatly facilitates the work between our geographically wide-spread farms compared to using the large slow harvesting barge.

Furthermore, the benefits of using an underwater drone also include the ease of monitoring the physical farm integrity, such as checking the knots on the anchors and checking if any of the loops are tangled. Drones also give the ability to observe and monitor the growth of competing species, such as barnacles, and signs of predation from eider ducks.

To simplify the methodology of image processing, a prototype of an AI-driven app called AquaCut was developed by Ecopelag. AquaCut can quickly and accurately process photos in batches with the help of AI instead of manually go through the pictures one by one in different steps in ImageJ. By uploading all pictures from one day of operating the drone in

AquaCut, the processing takes 15 minutes instead of hours of tedious work when using ImageJ. Initial results shows that there is no meaningful difference in projected areas in comparison between ImageJ and AquaCut (R-values:ImageJ R2: 0.5642, AquaCut R2: 0.5480, se figure 15).

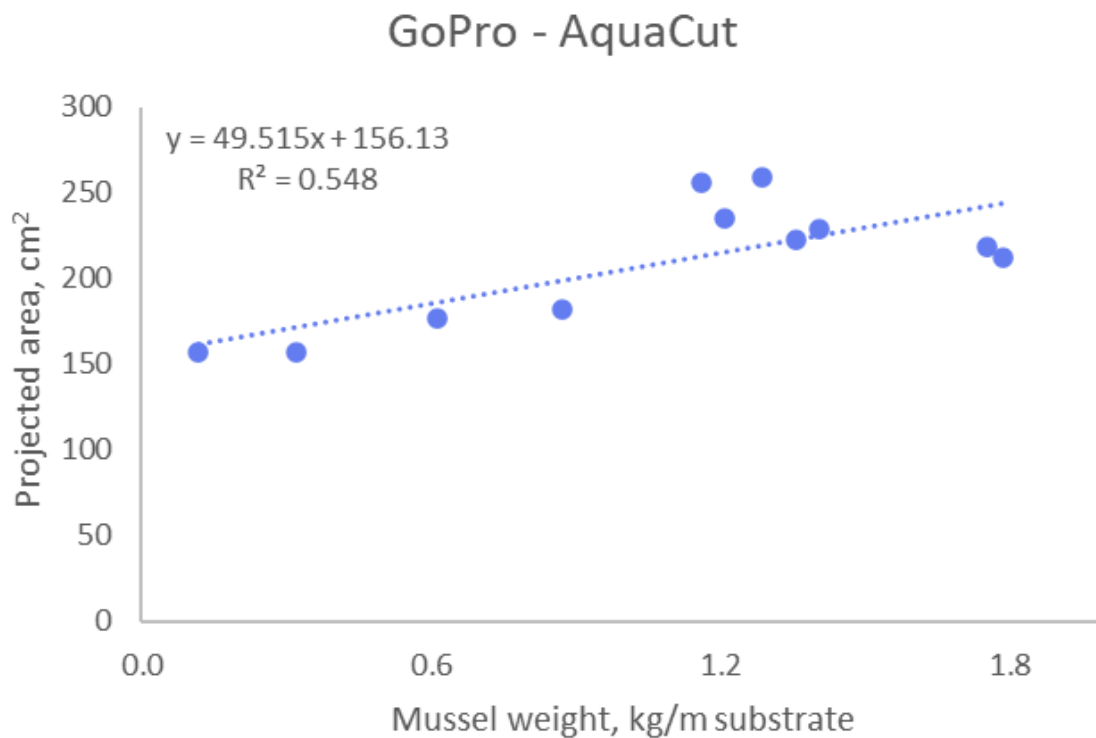


Figure 15: Shows regression analysis of projected area in square centimetres (cm<sup>2</sup>) and mussel weight in kilograms per meter of substrate (kg/m substrate) from images taken with the GoPro camera and analysed in ImageJ (left) and AquaCut (right), with R<sup>2</sup> values: ImageJ R<sup>2</sup> = 0.5642, AquaCut R<sup>2</sup> = 0.5480.

AquaCut also has a built-in function to automatically retrieve information from the images, such as date, time, water depth, and GPS position. This information can be displayed directly on the images when using the drone’s built-in camera and can, with the help of AquaCut, be exported in table format and used for traceability within the company’s internal control program.

## 6.2 Harvest data

In the Baltic Proper it takes at least two growth seasons (18 - 24 months) for the mussels to reach an adequate size for harvest (> 15 mm). On the eastern coast of Sweden, harvested mussels will often be between 2.5 and 3.5 cm, mixed with smaller mussels from subsequent settlings. Although mussels down to a size of 1 cm can be processed by the methods developed in Baltic MUPPETS, most biomass per effort is achieved with harvesting in April-May, after 22-23 months of growth. Ideally, mussels should be harvested before spawning, and before new mussels settle on the ropes in June. Figure 16 shows the results from five

small harvests in May 2025 at the Västervik farm, where the substrates had been out since the spring of 2023. The harvested biomass totalled 27 tonnes, on average three kilogram per meter of substrate rope, with a standard deviation of 0.77 kg/m between harvest occasions (Fig. 16). Although the lines had started to sink due to insufficient floatation and were partly resting on the sea floor at 20 meters depth, likely resulting in slower growth, the results were comparable with earlier harvest results of 3.3 kg per meter substrate rope from the nearby St. Anna farm (Fig. 17).

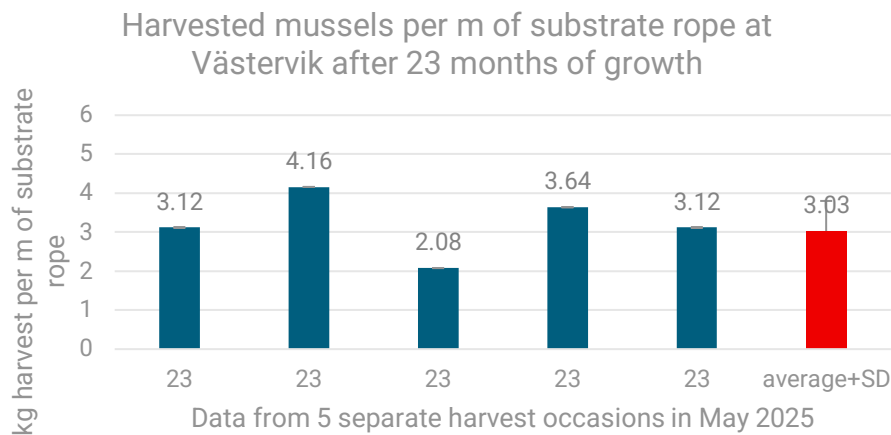


Figure 16: Harvest results from six separate farm units harvested on five different days. Each stack represents data from a separate farm unit, except point 2.08 which is an average from two units that were harvested on the same day. Biomass was measured after harvesting, sorting/washing, and transporting the mussels to the quay. Small (1 cm) mussels were collected in a net bag under the sorter, and their weight is included. The farm units started to sink to varying degrees to a sub-optimal depth before harvest, which may explain some of the variation in biomass between lines.

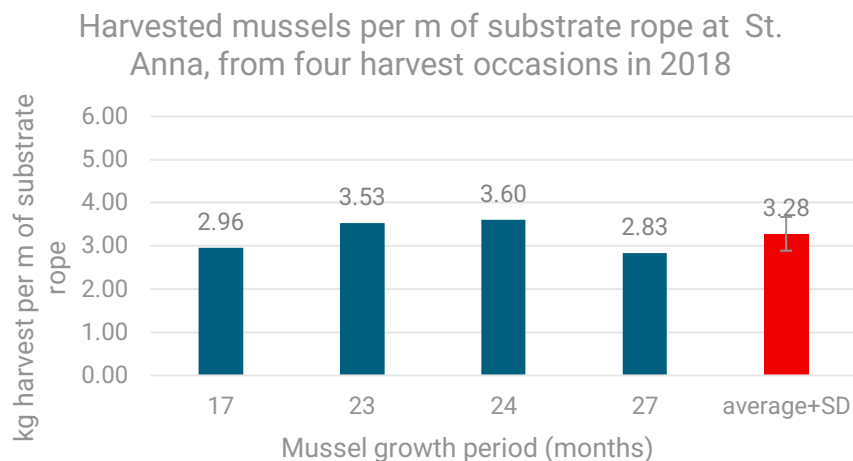


Figure 17: Results from four harvest occasions at the St. Anna farm, 60 km north of Västervik. Farm conditions are similar, as both farms are situated in the outer archipelago, and they use similar substrate ropes and the same harvesting equipment. The substrate is Christmas tree ropes (Fig. 5, left), hanging down from 1 m to 10 m below surface. A total of 79 tonne mussels was harvested from 16 units between December 2017 and September 2018. There was no sorting/washing of the biomass. (Data from Baltic Blue Growth, Interreg Baltic Sea Region Project 2016-2019, <https://projects.interreg-baltic.eu/projects/baltic-blue-growth-11.html>).

The data presented in Figs. 15 and 16 shows that it is possible to achieve harvests of four kilogram per meter per growth cycle in the Baltic Proper. However, considering the non-optimal conditions and loss of mussels at harvest, it is safer to plan for three kilograms. For continuous production, it will be necessary to also harvest mussels in the autumn. In that case, the growth cycle will increase with a full year, because farm units harvested in autumn will have to wait until June for the next mussel settling. Small mussels left on the ropes after harvest will however continue to produce biomass all year round. Reused substrate ropes that are put back into the water immediately after harvest will therefore likely produce a higher biomass than new ones.

The highest biomass harvested from longlines in eastern Sweden so far was in October-November 2024 at St. Anna (Fig. 18), reaching a maximum of 5.2 kilograms. This was however after more a very long growth cycle of more than 36 months. A total of 50 tonne was harvested from eight farm units in five days.

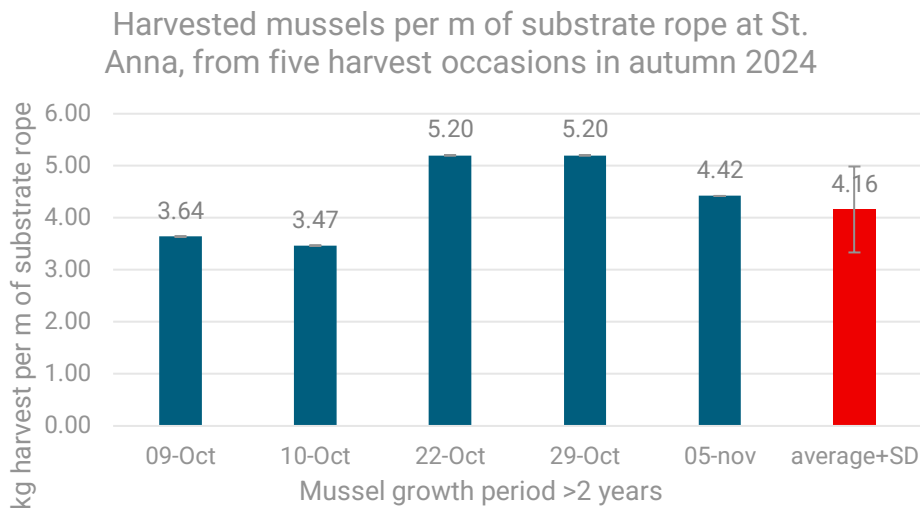


Figure 18: Results from five days of harvest in Oct-Nov 2024 at the St. Anna farm. In total, 50 tonne was harvested from eight units. Some mussels were considerable larger in size than those harvested in Västervik 2025, likely because they were older. The substrate ropes used were eight years old, proving the equipment’s long durability.

In contrast, in 2018 the harvested biomass at St. Anna was lower in the autumn than in the spring. The reason for this is unknown, but a common experience among mussel farmers is that clumps of growing mussels will fall off the substrate if the biomass becomes too heavy. Thus, even if the mussels grow bigger with time, there is no guarantee that the biomass will be higher in the autumn than in the spring. There is also a risk of losing mussels in the autumn and wintertime due to storms, occasional ice, and migrating eider ducks.

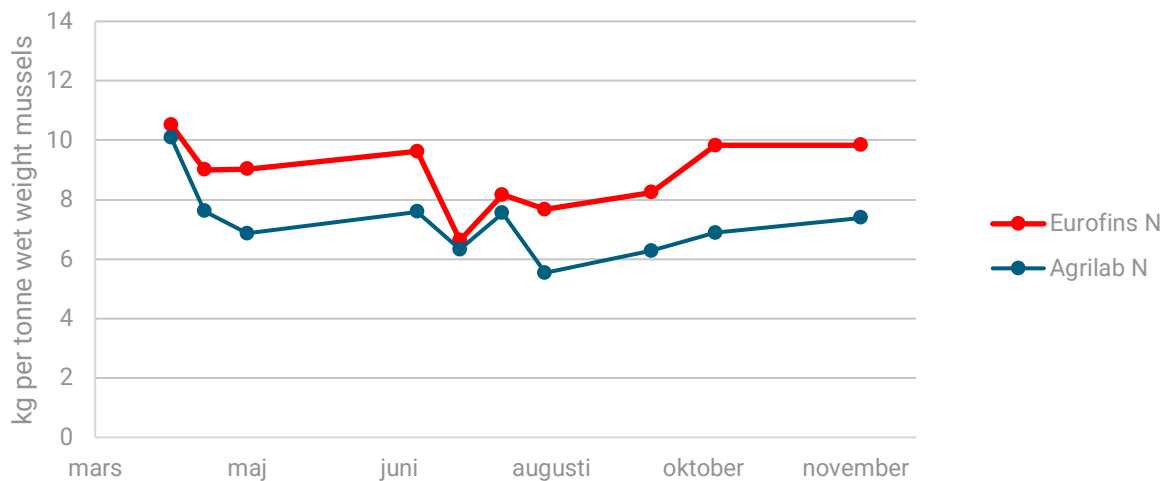
### 6.3 Nutrient uptake

Mussel samples were taken continuously from April through November at the Västervik farm site in 2022 from the pilot farm belonging to Västervik municipality, predecessor to the Baltic MUPPETS farm. This was mainly done to check for cyanotoxins in a project with the Swedish

Food Agency, but extra samples were sent for nutrient analyses as part of the Rich Water, EU Life project 2016-2024.

Because analyses of nitrogen and phosphorus are challenging, each sample was split and were submitted to two laboratories, Agrilab AB and Eurofins AB. The levels indeed show a significant discrepancy between the laboratories for unknown reasons (Fig. 19). The average value between the two laboratories for phosphorus (P) was 0.76 kilogram per tonne of mussel and varied between 0.58 and 1.12 kilogram. Nitrogen (N) had an average of 8.0 kilograms per tonne of mussel and varied between 6.5 and 10.3 kilograms.

### Nitrogen content in mussels Västervik 2022



### Phosphorus content in mussels Västervik 2022

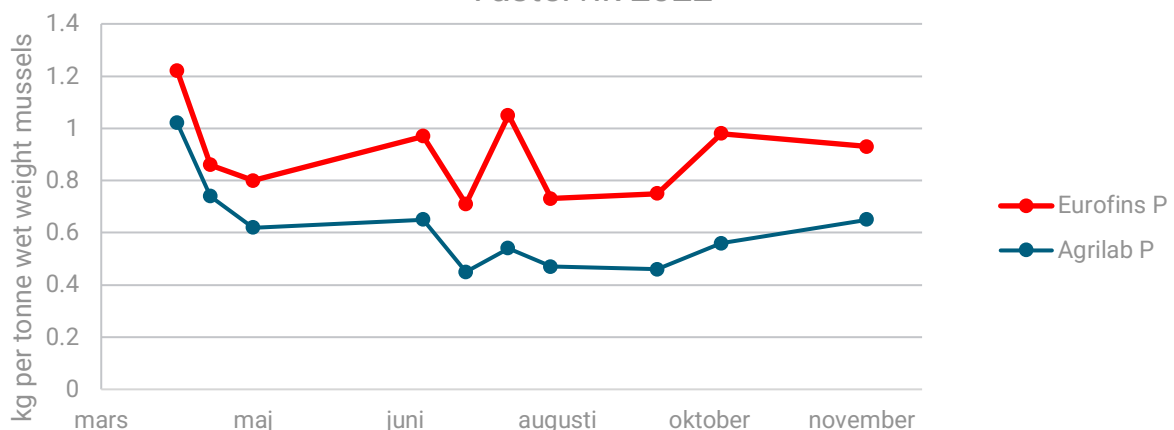
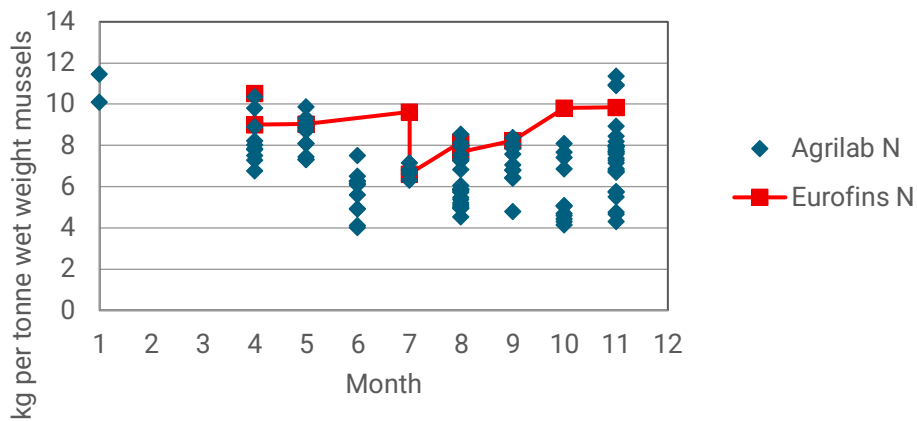


Figure 19: Seasonal variation in nitrogen (top) and phosphorus (bottom) content in whole mussels, including shell, epiphytes, and water between the shells, reflecting possible nutrient uptake from mussel harvest as a measure to mitigate eutrophication. The results show a pattern of slightly lower nutrient content in mussels sampled in the warmer season, but there is also a discrepancy in results between the two different laboratories, with results from Agrilab AB being consistently lower than those from Eurofins.

In September 2019, the SUBMARINER Network Mussels Working Group summarised data from measurements of phosphorous and nitrogen in whole mussels from the Baltic Sea, from the EU projects Baltic Blue Growth, Life IP Rich waters and Nutri trade ([LINK](#)). Fig. 19 shows a plot of raw data from this summary, representing samples from the eastern coast of Sweden in comparison to the results from Eurofins 2022. All other analyses of samples shown in Fig. 19 (blue dots) were made by Agrilab. The average value for nitrogen content in mussels from the working group summary was 7.3 kilograms per tonne nitrogen and varied between 11.5 and 4.6 kilograms per tonne. phosphorous had an average value of 0.61 kilograms per tonne and varied between 1.1 and 0.37 kilograms per tonne.

Nitrogen content, seasonal variation from 14 locations, eastern coast of Sweden



Phosphorus content, seasonal variation from 14 locations, eastern coast of Sweden

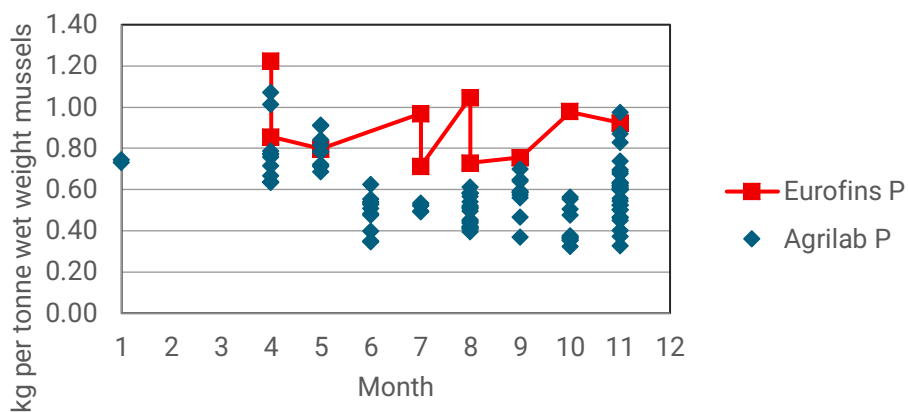


Figure 20: Blue points in the diagrams show a compilation from previous EU projects of data on nitrogen content (top) and phosphorus content (bottom) in whole mussels from the Swedish east coast. All of these samples have been analyzed by Agrilab. For comparison, the results from Västervik 2022, analyzed by Eurofins, are shown as red lines. (same as in Figure 19)

It is hard to draw any conclusions about levels of nitrogen and phosphorous in mussels from the analysed data, other than the fact that the method should be better standardised. It may be that the samples from Eurofins show results that are too high due to deviations in the method compared to Agrilab, but it may also be that nutrient uptake was underestimated in earlier projects. The handling of mussels at sampling impacts the results, but in the case of Fig. 19, we handled the samples equally before sending them to different labs.

## 7. INVESTMENT AND OPERATIONAL COSTS

According to the calculation below, based on costs from establishment and operation of the Baltic MUPPETS farm in Västervik and others, the cost for mussel production in the low salinity part of the Baltic Sea is 126,000 EUR per year (Table 3). This calculation includes a loan of 770,000 EUR and an interest cost of approximately 385,000 EUR over 20 years. The farms can be expected to produce an average of 245 tonnes of mussels per year, which would give a production cost of 0.52 EUR per kilogram.

Table 3: Summary of costs for mussel production (in thousand EUR).

	Y0	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	...	Y20
<b>Farm components</b>	6	22	22	22	22	22	...	17
<b>Establishment costs</b>	2	9	9	9	9	9	...	7
<b>Harvest equipment/boat</b>	3	12	12	12	12	12	...	9
<b>Operation costs</b>	6	63	63	63	63	63	...	57
<b>Financing (5 %, 20 years)</b>	19	19	19	19	19	19	...	0
<b>Total</b>	<b>37</b>	<b>126</b>	<b>126</b>	<b>126</b>	<b>126</b>	<b>126</b>	...	<b>90</b>
<b>Production (tonnes)</b>	0	0	244.9	244.9	244.9	244.9	...	244.9
<b>EUR/kg mussel</b>			0.52	0.52	0.52	0.52	...	0.37

For more details about the costs of longline farming on the eastern coast of Sweden, see Deliverable 1.1, Annex 2: Business and investment plan Baltic Proper, from Baltic MUPPETS.

## 8. CONCLUSIONS AND OUTLOOK

The integrated development of full-scale farming infrastructure and an optimised harvesting system demonstrates the technical feasibility of large-scale mussel farming in the Baltic Proper. Key innovations include submerged longline design, safe from ice, long-term reusable substrate ropes, and a self-propelled harvest barge with integrated washing and sorting.

Together, these elements significantly reduce operational costs and labour requirements, bringing mussel farming on the eastern coast of Sweden closer to economic sustainability. Continued technical refinement and scaling of operations are expected to further improve efficiency and reliability, supporting the long-term goals of the Baltic MUPPETS project.

## 9. REFERENCES

Baltic Blue Growth, Interreg Baltic Sea Region Project 2016-2019 <https://projects.interreg-baltic.eu/projects/baltic-blue-growth-11.html>

Mussel farming in the Baltic Sea as an environmental measure – a positive outlook based on new data. Edited by: Angela Schultz-Zehden and Lisa Simone de Grunt, SUBMARINER Network for Blue Growth EEIG

NutriTrade, Interreg Central Baltic project. [Piloting a Nutrient Trading Scheme in the Central Baltic | Central Baltic Project Database](#)

Rich Water, EU Life project 2016-2024  
[http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=search.dspPage&n\\_proj\\_id=6104](http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=search.dspPage&n_proj_id=6104)



# DELIVERABLE 2.2

## Annex IV

### SITE SPECIFIC PRODUCTION MANUAL FOR THE SWEDISH EAST COAST (SE)



Co-funded by  
the European Union

Disclaimer: Baltic MUPPETS is co-funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the granting authority, European Innovation Council and SMEs Executive Agency (EISMEA). Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.

## INNEHÅLL

1. Introduktion .....	4
2. Val av odlingsplats och tillståndprocesser .....	4
2.1 Platsens egenskaper .....	4
2.2 Tillståndprocess .....	6
3. Odlingsdesign och konstruktion .....	7
3.1 Övergreipande odlingskoncept.....	7
3.2 Odlingsenherer och substrat .....	8
3.3 Isskydd genom nedsänkning.....	9
3.4 Etablering .....	9
4. Utveckling av skördsystem .....	10
4.1 Bakgrund och mål.....	10
4.2 Val av skördemetod .....	10
4.3 Design av skördeplattform .....	11
4.4 Mekaniska system.....	11
4.5 Integrering av sortering och tvättning .....	11
4.6 Arbetsbeskrivning vid skörd .....	12
5. Prestanda och effektivitet.....	13
6. Övervakning.....	14
6.1 Utveckling av en metod för fjärrövervakning för att uppskatta musselbiomassa anpassad till långlinesystem .....	14
6.2 Skördedata.....	19

6.3 Näringsupptag .....	21
7. Investment and operational costs .....	24
8. Slutsatser och framtidsutsikter .....	24
Referenser .....	25

## LISTA ÖVER FIGURER

Figur 1: Drönarbild från etableringen av Västerviksodlingen.....	5
Figur 2: Närbild på odlingen .....	5
Figur 3: Kartor över odlingsområde .....	6
Figur 4: 3D-illustration av det nedsänkta långlinesystemet.....	8
Figur 5: Fuzzy ropes.....	8
Figur 6: 3D-illustration som visar det nedsänkta långlinesystemet, närbild.....	9
Figur 7: Fotografier av den nya Ecopelag-skördaren .....	11
Figur 8: Två personer arbetar tillsammans på skördaren.....	12
Figur 9: Storlekssorterare.....	13
Figur 10: Jämförelse av 3D-illustrationer mellan danska musselodlingsnät (ovan) och det svenska långlinesystemet.....	14
Figur 11: Övervakningsutrustning .....	15
Figur 12: Utförande av övervakning med drönare. ....	16
Figur 13: Regressionsanalys av projicerad area och musselvikt .....	17
Figur 14: Regressionsanalys av projicerad area och mussellängd .....	18
Figur 15: Regressionsanalys av projicerad area och musselvikt, AquaCut.....	19
Figur 16: Skörderesultat från sex separata odlingsenheter. ....	20
Figur 17: Resultat från fyra skördetillfällen vid odlingen i S:t Anna .....	20
Figur 18: Resultat från fem dagars skörd i oktober–november 2024 .....	21
Figur 19: Säsongsvariation i kväve- och fosforhalt i hela musslor.....	22
Figur 20: Jämförelse av kväve- och fosfordata. ....	23

## LISTA ÖVER TABELLER

Tabell 1: Förteckning över tillstånd, godkännanden och registreringar som krävdes för musselodlingen i Västervik.....	7
Tabell 2: Statistik från musselövervakning.....	17
Tabell 3: Sammanställning av kostnader för musselproduktion.....	24

## 1. INTRODUKTION

Musselodling i Egentliga Östersjön skiljer sig avsevärt från produktion i saltare marina miljöer. Den låga salthalten leder till långsam tillväxt, där musslorna vanligtvis endast når 2,5 till 4 centimeters längd efter ungefär två till tre år. I kombination med en tidigare avsaknad av regulatoriska ramverk för odling av musslor till humankonsumtion på den svenska östkusten begränsar detta traditionella marknadsvägar. Trots detta skapar Östersjöns eutrofa förhållanden med låg påväxtbelastning samt begränsat predationstryck en hög naturlig förekomst av musslor som ger gynnsamma förutsättningar för storskalig musselodling inriktad mot alternativa värdekedjor, såsom foder till djur och sällskapsdjur.

Inom I3 projektet Baltic MUPPETS har Ecopelag etablerat en fullskalig musselodling utanför Västervik och utvecklat ett optimerat skördesystem anpassat till Östersjöns förhållanden. Med start våren 2023 installerade och testade Ecopelag AB en musselkokare för separering av musselkött och skal vid Östersjöfabriken i Västervik (se D3.1 Rapport om produktionslinjen). Därutöver har en ny metod för övervakning av musselbiomassa utvecklats, vilken är avsedd för testning och utveckling av nya metoder samt forskning. Denna manual beskriver utformning och drift av både musselodlingarna och den skördeteknologi som används. Manualen beskriver även den nyutvecklade metoden för övervakning av musseltillväxt.

## 2. VAL AV ODLINGSPLATS OCH TILLSTÅNDSPROCESSER

### 2.1 Platsens egenskaper

Det valda odlingsområdet (cirka 30 hektar) är beläget i den måttligt exponerade yttre skärgården utanför Västervik på den svenska östkusten. Vattendjupet inom området varierar mellan 18 och 20 meter. Lokaliseringen bygger vidare på tidigare erfarenheter från en kommunal pilotodling som var i drift mellan 2014 och 2022.

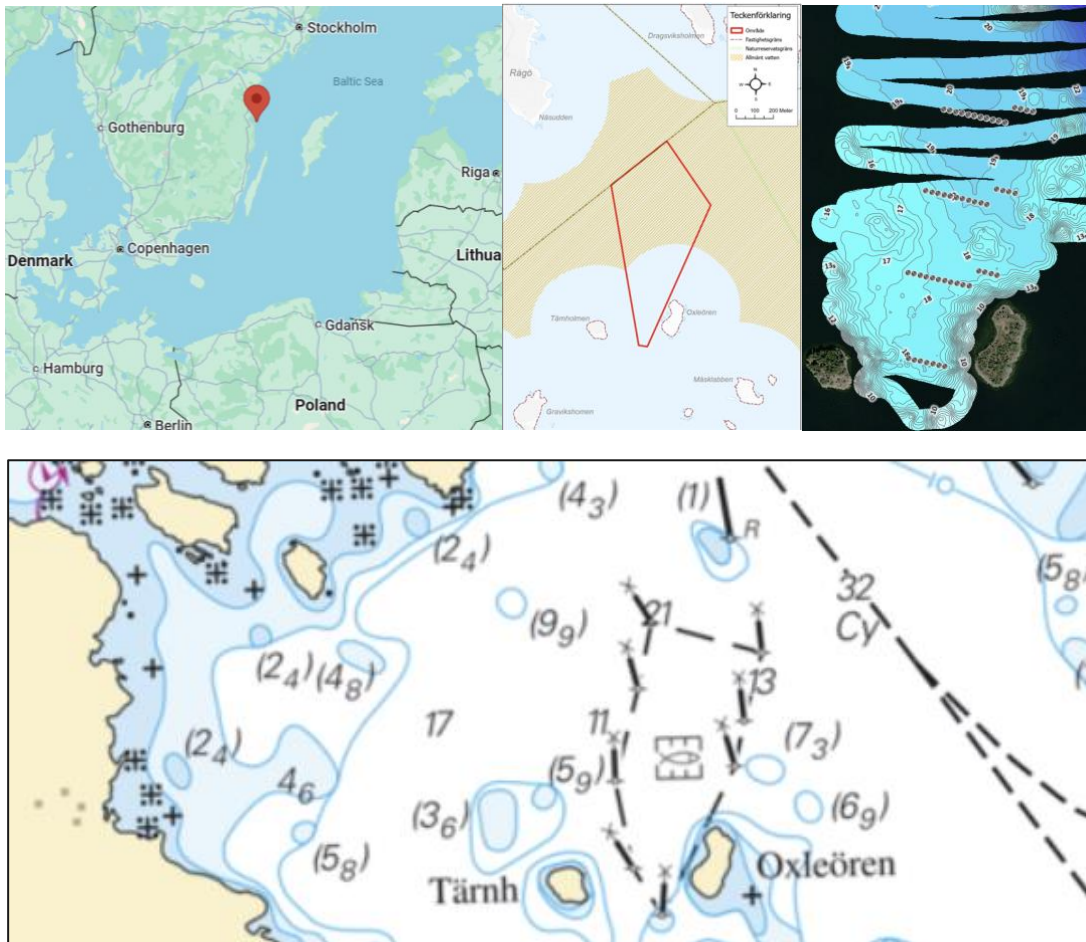
Platsen är markerad med åtta gula sjömärken (SSA-specialmärken) och rymmer 37 odlingsenheter, vilket ger kapacitet för cirka 56.000 meter substratlina. GIS-data, sonarundersökningar och sjökort har använts för att kartlägga bottenpografi, placering av ankare, fastighetsgränser samt skyddade områden.



*Figur 1: Drönbild från etableringen av Västerviksodlingen.*



*Figur 2: När utläggningen av substratlinor är färdigställs tillförs extra vikter för att sänka bärlinan till cirka 3 meters djup, för att skydda odlingen och bojarna mot is.*



Figur 3: Övre: vänster: Västerviks odlingsområde, mitten: Shape-fil från Västerviks kommun som visar vattenägares fastighetsgränser och skyddade områden, höger: Sonarskanning över det planerade odlingsområdet som visar bottendjup och föreslagen placering av ankarstenar. Nederst: Sjökort från Sjöfartsverket som visar odlingsområdet med sjömärken.

## 2.2 Tillståndprocess

Ecopelag EF ansökte initialt om övertagande av den tidigare pilotodlingens plats samt förnyelse av befintliga produktionstillstånd i enskilt vatten. I ett andra steg ansökte Ecopelag om tillstånd att utöka odlingsområdet till allmänt vatten, vilket krävde beslut av en statlig svensk myndighet. I det tredje steget ansökte Ecopelag om nya tillstånd för musselproduktion, en process som innefattade flera olika godkännanden från olika myndigheter.

Tillståndsprocessen genomfördes i tre huvudsteg:

1. Övertagande av den tidigare pilotodlingens plats och förnyelse av befintliga produktionstillstånd i enskilt vatten.
2. Ansökan om utvidgning till allmänt vatten, vilket krävde godkännande av en statlig myndighet.

3. Ansökan om nya tillstånd för musselproduktion, inklusive samråd och godkännanden från flera myndigheter.

Tabell 1: Förteckning över tillstånd, godkännanden och registreringar som krävdes för musselodlingen i Västervik.

Tillstånd/registrering/godkännande	Tillståndsgivande myndighet
Odlingstillstånd	Länsstyrelsen i Kalmar län
Etableringstillstånd (sjömärken)	Transportstyrelsen
Dispens från strandskydd	Västerviks kommun
Godkännande av biosäkerhetsplan	Jordbruksverket
Registrering av primärproduktion för foder	Länsstyrelsen i Kalmar län och Länsstyrelsen i Stockholms län

Denna stegvisa ansats möjliggjorde kontinuitet i verksamheten samtidigt som produktionen skalades upp till fullskalig drift.

### 3. ODLINGSDESIGN OCH KONSTRUKTION

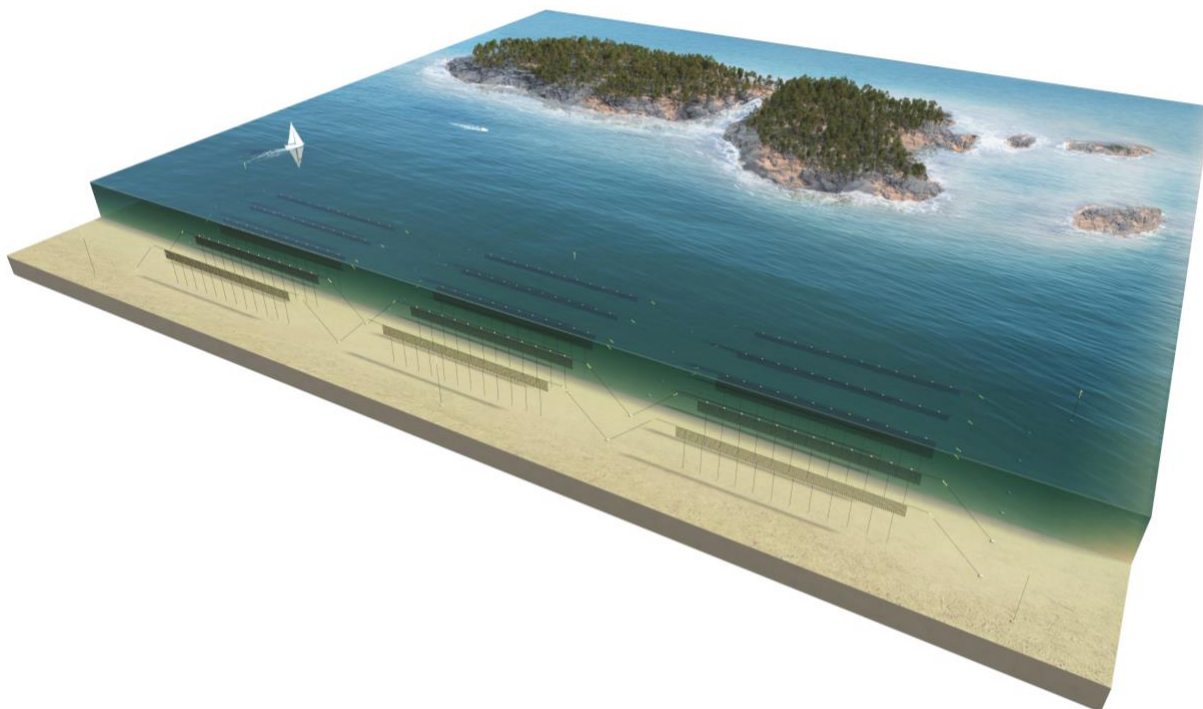
#### 3.1 Övergripande odlingskoncept

Musselodlingen i Västervik är baserad på ett issäkert, nedsänkt långlinesystem (se figur 4 och 6). Musslorna sätter sig, växer och genomgår hela sin livscykel på särskilt utformade substratlinor (figur 5) som hålls nedsänkta under hela året.

Varje odlingsenhet består av:

- Två betongankare (ungefär tre ton vardera), vilka i vissa fall delas mellan intilliggande enheter.
- Förankringslinor med bojar.
- En bärlina med en längd på cirka hundra meter.
- Viktade substratlinor upphängda i öglor ned till cirka tio meters djup.
- 21 bojar och 10 kompensationsvikter per enhet för att hålla bärlinan och substratlinorna nedsänkta.

Den bärande strukturen är konstruerad av 32 milimeter treslagen polypropenlina, utformad för att tåla kraftigt slitage, UV-exponering och långvarig användning i marin miljö.



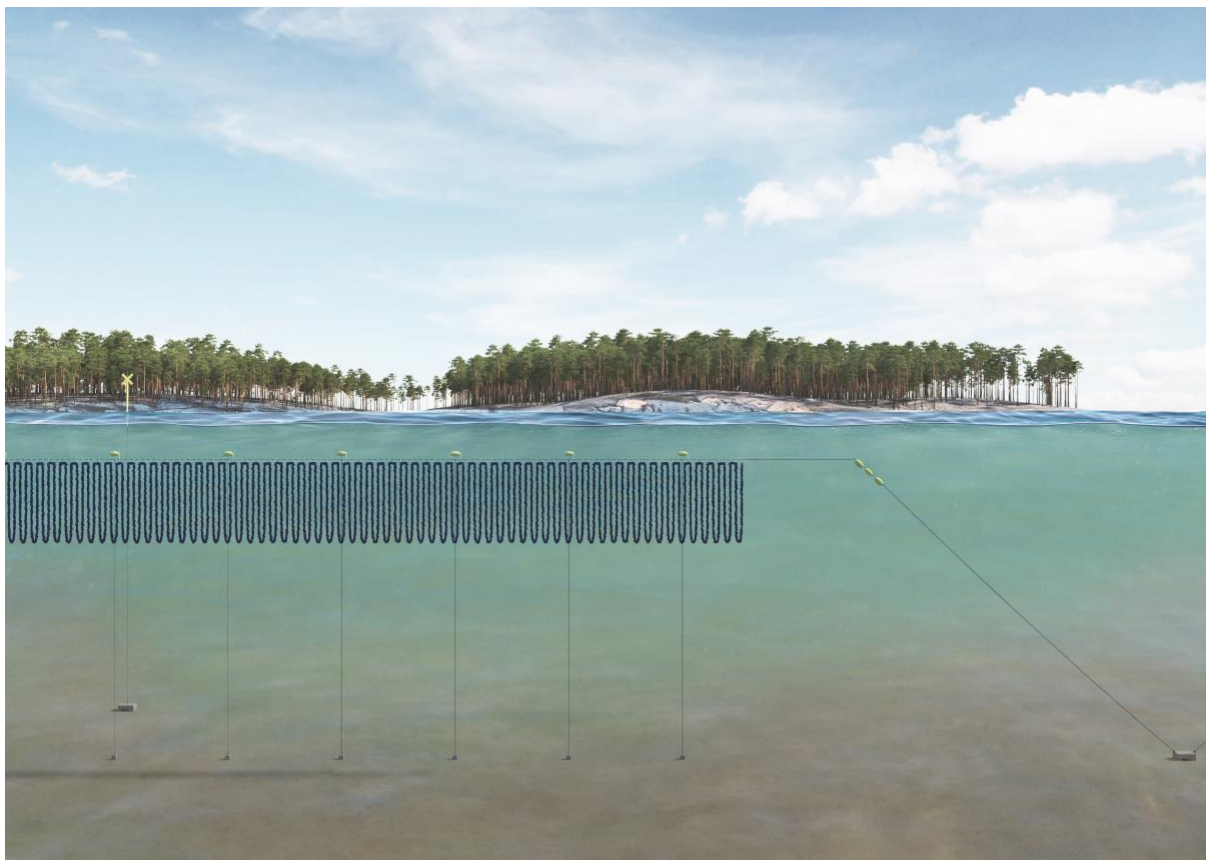
Figur 4: 3D-illustration av det nedsänkta långlinesystemet för musselodlingen belägen i Jungfrufjärden. Illustration: Ecopelag (LIFEIP Rich WATERS).

## 3.2 Odlingseenheter och substrat

Varje bärlina bär cirka 1,5 kilometer substratrep. Substratrepen är en viktig innovation, särskilt anpassad till förhållandena i egentliga Östersjön. Till skillnad från områden med högre salthalt, där så kallade "fuzzy ropes" endast används för insamling av mussellarver, kan blåmusslor i Östersjön sitta kvar på samma rep under flera tillväxtcykler. Detta tack vare den mjukare infästningen hos musslor i låg salthalt, samt de mycket låga nivåerna av påväxt. Dessutom finns det endast ett fåtal konkurrerande organismer. Detta möjliggör att substratrepen kan återanvändas under lång tid utan att behöva tas upp på land i perioder.



Figur 5: Fuzzy ropes. Till vänster: "Christmas tree rope" som användes i tidigare projekt, ursprungligen utformad för insamling av mussellarver. Till höger: Det kombinerade insamlings- och tillväxtrepet som utformats av Ecopelag för musselodling i egentliga Östersjön.



Figur 6: 3D-illustration som visar det nedsänkta långlinesystemet med bojor, ankare och substrat fästa vid bärlinan, som i sin tur är kopplad till ankarlinan och ankaret. Illustration: Ecopelag, LIFEIP Rich WATERS.

### 3.3 Isskydd genom nedsänkning

Is och drivis utgör stora risker för ytbaserade vattenbrukssystem i Östersjön. För att minska dessa risker sänks huvudlinorna till cirka tre meter under ytan (justerbart mellan två och åtta meter beroende på exponering). Detta uppnås genom en kombination av fördelade betongvikter och flytkroppar för kompensationsflytkraft. Systemet tar hänsyn till den ökande biomassabelastningen i takt med att musslorna växer, vilket säkerställer ett stabilt djup under hela produktionscykeln.

### 3.4 Etablering

Odlingens komponenter förbereddes och monterades delvis på land vid Östersjöfabriken i Västervik. Utplaceringen omfattade flera fartygstyper och operativa moment:

- Ankarutläggning: Tunga ankare med tillhörande ankarlinor och bojor lades ut med hjälp av kontrakterade marina entreprenörer.
- Specialmärken: Installerades med assistans från fiskefartyg.

- Installation av bärlinor: Genomfördes med Ecopelags egen arbetsbåt.
- Montering av substrat: Utfördes med ett lokalt anpassat fiskefartyg utrustat med elektriska lindragare.

Vid slutet av utplaceringsfasen hade 37 odlingsenheter installerats vid anläggningen i Västervik, samtidigt som musselodlingar på flera ytterligare platser längs den svenska östkusten renoverats

## 4. UTVECKLING AV SKÖRDESYSTEM

### 4.1 Bakgrund och mål

Historiskt har musselodling längs den svenska östkusten varit beroende av arbetsintensiva skördemetoder i liten skala. Även om dessa metoder är lämpliga för pilotprojekt är de inte ekonomiskt hållbara för storskalig produktion.

Målet inom Baltic MUPPETS är därför att utveckla ett optimerat skördesystem som:

- minskar arbetskraftsbehovet,
- hanterar stora volymer effektivt,
- Lyfter och hanterar liner och anläggning på ett säkrare och mer kontrollerat sätt.
- Automatiserar framdrivningen vid skörd.
- är kompatibelt med nedsänkta långlinesystem,
- bevarar och möjliggör återanvändning av substratrep in situ.

### 4.2 Val av skördemetod

Utgångspunkten var etablerad långlineskördeteknik som används i länder såsom Nederländerna. Befintlig skördeutrustning från Bakker utvärderades och integrerades med svenska driftsförutsättningar, baserat på erfarenheter från tidigare EU-projekt (Baltic Blue Growth och Life IP Rich Waters) (Figur 7).

Till skillnad från konventionella system, där substratrep tas upp och lagras på land efter skörd, möjliggör Östersjöns förhållanden att rengjorda rep omedelbart återplaceras i havet.



Figur 7: Fotografier av den nya Ecopelag-skördaren, med kapstaner och stjärnhjul monterade på en aluminiumpråm. Till vänster: nyss levererad från varvet. Till höger: i drift. Skördeutrustning från Bakker förvärvades från det tidigare EU-projektet Baltic Blue Growth, monterades på den nya skördepråmen och kompletterades med en specialutformad musselsorterare/musselvtätt

### 4.3 Design av skördeplattform

Det optimerade skördesystemet är byggt på en aluminiumbaserad plattform som förvärvades inom Life IP Rich Waters-projektet och vidareutvecklades inom Baltic MUPPETS. Nya tillbyggnader designades och konstruerades av ett specialiserat finskt varv. Viktiga resultat av den nya konstruktionen innebar en minskning av besättningsstorleken från tre till två personer. Utformningen förbättrade även den operativa stabiliteten och säkerheten samt eliminerade behovet av en dedikerad båtförare under skördearbetet.

### 4.4 Mekaniska system

Plattformen utrustades med tre torn med kapstaner och hydrauliska starwheels som används för att dra skördaren längs långlinan (bärinan). När systemet väl är igång förflyttar pråmen sig själv längs linan, vilket gör att huvudmotorn kan stängas av. Detta resulterar i en jämnare drift och lägre bränsleförbrukning. Skördeaggregatet från Bakker flyttades från den tidigare träplattformen till den nya plattformen, vilket kombinerade en beprövad teknik med förbättrade arbetsförhållanden

### 4.5 Integrering av sortering och tvättning

För att förbättra produktkvaliteten och efterföljande hantering utrustades skördepråmen med ett tvätt- och sorteringssteg baserat på en modifierad trumtvätt, ursprungligen utvecklad för räkor. Systemet avlägsnar påväxt och alger samt separerar musslorna från varandra. Systemet bidrar även till att sortera bort mindre musslor. Större musslor passerar genom tvätten till uppsamlings säckar, medan mindre fraktioner separeras för alternativ användning (figur 8 och 9).

## 4.6 Arbetsbeskrivning vid skörd

### 4.6.1 Operativt arbetsflöde

En standardiserad skördeoperation omfattar följande steg:

1. Fånga upp bärlinan med hjälp av en dragg och kapstan (lindragare), lägg upp den på draghjulen (starwheels).
2. Förflytta pråmen längs bärlinan fram till substraten.
3. Kapa fästrepet för den första loopen av substrat.
4. Mata substrat-repet genom skrapan med hjälp av transportbandet.
5. Fortsätt kapa och mata ögla efter ögla med substrat genom skördemaskinen i takt med att pråmen förflyttas framåt.
6. Fäst det avskrapade substratet åter i loopar på bärlinan och lägg tillbaks i havet.
7. Kör musslorna genom den roterande trumman för tvätt och storleks-sortering
8. Samla de sorterade musslorna i storsäckar, som byts ut efterhand som de fylls.
9. Förflytta pråmen till nästa odlingsenhet när skörden är slutförd.



*Figur 8: Två personer arbetar tillsammans på skördaren. Den ena opererar maskineriet, medan den andra ansvarar för att kapa loss substratlooparna från bärlinan och mata dem genom skördaren där musslorna skrapas av. Det tomma substratrepet återfästs därefter som loopar på bärlinan, och musslorna förs vidare till sorteraren/tvätten.*



Figur 9: Större musslor stannar kvar i den roterande trumman och spolats vidare till uppsamlings säck (vit), medan små musslor åker genom gallret och samlas upp i en svart nätpåse som är monterad under sorteraren.

#### 4.6.2 Bemanning och säkerhet ombord

Även om arbetskraftsbehovet har minskat kräver säker och effektiv drift en minimibesättning om två utbildade operatörer. Arbetsuppgifterna är tydligt fördelade mellan maskinhantering, rephantering och övervakning av produktflödet.

## 5. PRESTANDA OCH EFFEKTIVITET

Under gynnsamma förhållanden och vid god tillväxt av musslor kan det optimerade systemet skörda cirka ett ton musslor per timme. Denna kapacitet upprätthålls ännu inte under en hel arbetsdag på grund av pågående justeringar av skördemetoden, men kontinuerliga förbättringar genomförs.

Viktiga effektivitetsfördelar för förhållanden i Östersjön inkluderar:

- Omedelbar återutplacering av substratrep, vilket eliminerar landbaserad hantering och lagring.
- Minskad påväxt, vilket reducerar behovet av underhåll.
- Potential för ytterligare automatisering, exempelvis att eliminera behovet av att kapa loss substratrep från bärlinan vid skörd.

## 6. ÖVERVAKNING

### 6.1 Utveckling av en metod för fjärrövervakning för att uppskatta musselbiomassa anpassad till långlinesystem

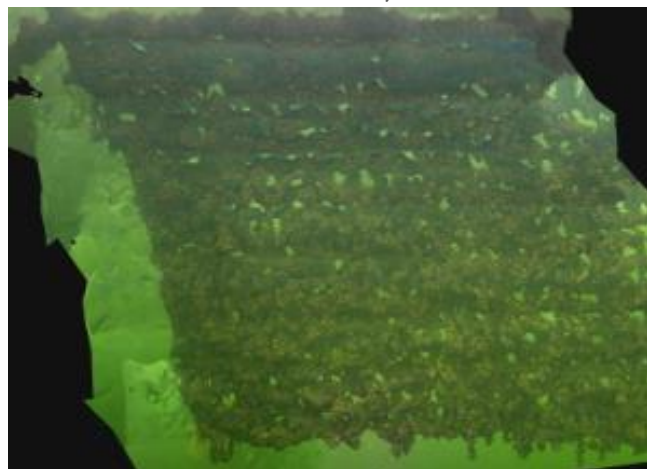
Inom Baltic MUPPETS utvecklades en metod för att uppskatta biomassan av odlad blåmussla med hjälp av en undervattensdrönare, Chasing M2 Pro Max.

Utvecklingen av metoden genomfördes vid en av Ecopelags musselodlingar i Stockholms södra skärgård, Jungfrufjärden, som används för testning, metodutveckling och forskning. Odlingen i Jungfrufjärden används som försöksodling på grund av sitt lättillgängliga läge samt lägre biomassa och tillväxttakt jämfört med andra nyetablerade odlingar, såsom odlingen i Västervik. Det bör därför noteras att de siffror som presenteras i detta avsnitt är lägre och inte representativa för en genomsnittlig musselodling. Fokus har varit att utveckla en lättanvänd, effektiv och kostnadseffektiv metod för att övervaka biomassatillväxten i musselodlingar.

I den föreslagna metoden var drönaren tänkt att utrustas med sonar för distanslåsning samt laser för att sätta en skala på bilden för bildbearbetning och framtagning av 3D-illustrationer. Detta i syfte att uppskatta biomassa, tillväxttakt och aktuellt tillstånd hos musslorna. Den föreslagna metoden är mer lämpad för musselodlare som använder nät, där näten bildar en sammanhängande yta som sonaren kan låsa avstånd mot, och där detaljerade och funktionella 3D-illustrationer kan genereras av överlappande bilder.

Vid tillämpning av den föreslagna metoden på långlinebaserade musselodlingssystem, där substraten hänger i loopar med cirka 75 - 100 cm mellanrum och en längd på 9 meter (se figur 6 i avsnitt 3.2), hade sonaren för liten yta att låsa mot och metoden visade sig svår att använda. Det fanns för lite information och överlappning i bilderna från öglorna för att 3D-programmet skulle kunna producera användbara bilder, och de resulterande i att 3D-illustrationerna blev otydliga och suddiga (se figur 10).

På grund av de olika odlingsteknikerna utvecklades en metod anpassad till långlinesystem, där endast lasern och drönaren användes. Denna förändring innebar även att ett samband mellan



Figur 10: Jämförelse av 3D-illustrationer mellan danska musselodlingsnät (ovan) och det svenska långlinesystemet för musselodling (höger). Den vänstra 3D-illustrationen baseras på 327 bilder och visar cirka 9 m<sup>2</sup> (ca 3 × 3 m) av ett musselodlingsnät, medan den högra 3D-illustrationen baseras på 48 bilder och visar cirka 1,2 m i höjd av den nedre delen av en ögla i långlinesystemet för musselodling.

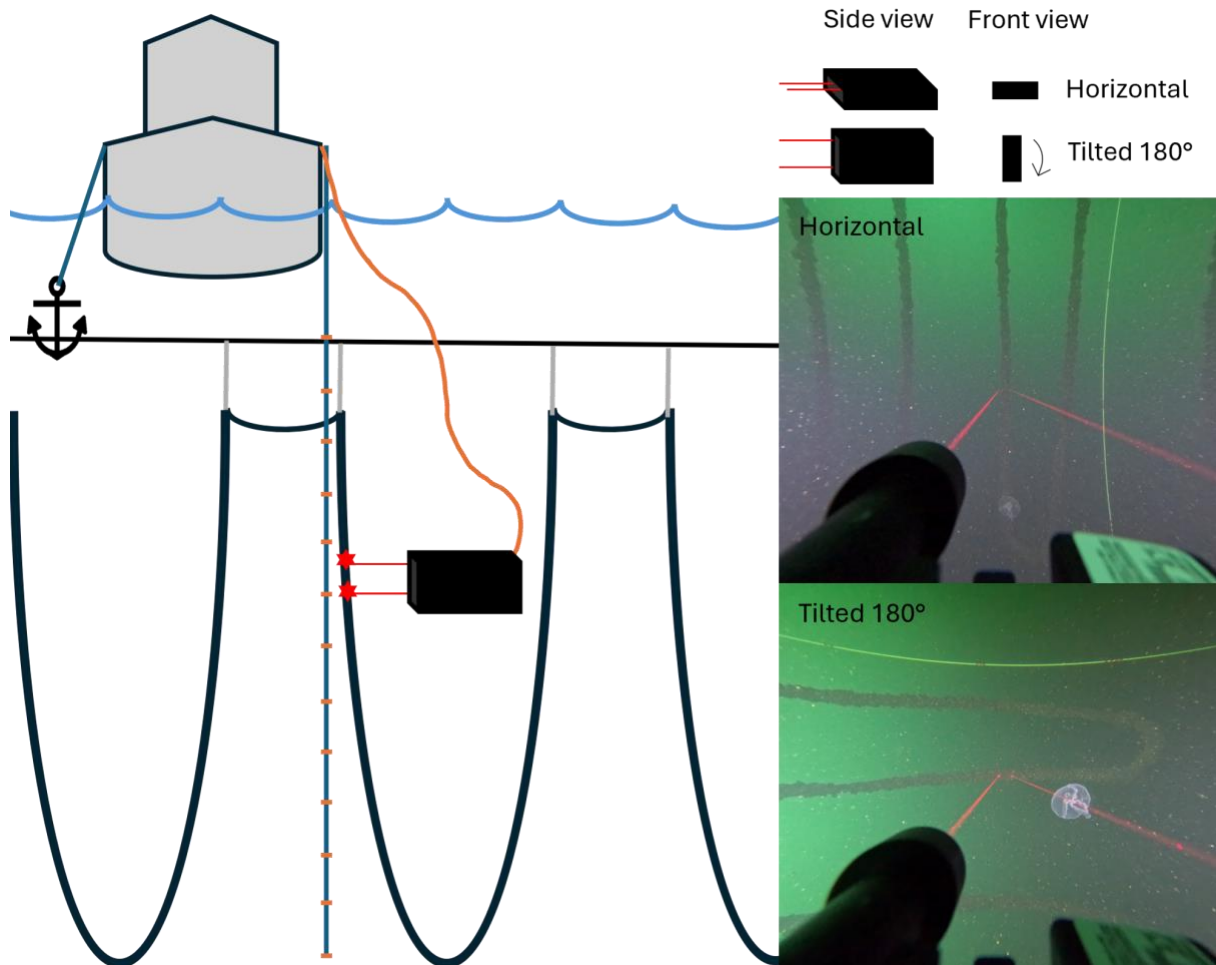


substratyta och biomassa på olika djup identifierades, vilket resulterade i en area-/vikttabell för bestämning av biomassa. Syftet var att ta fram en metod som innebär att bilder tas med drönaren, bilderna analyseras, ytan jämförs mot area-/vikttabellen och en direkt uppskattning kan läsas av om det finns tillräcklig biomassa för skörd. Lasern har ett fast avstånd på 10 centimeter mellan laserstrålarna och monterades ovanpå drönaren. Både drönarens interna kamera och en extra GoPro-kamera användes för att ta bilder (se figur 11).



*Figur 11: Vänster: Drönare med GoPro-kamera monterad på ovansidan och distanssonar monterad under drönaren samt handhållen skärm med kabeltrumma (E-reel). Höger: Drönare med laser monterad på ovansidan. Bilderna är tagna vid testmontering och -körning av drönaren i en vik.*

Diametern på det rena substratet är 3,2 centimeter, och när musslor växer på substratet (hädanefter benämnt projicerad area) ökar diametern till cirka 15 centimeter beroende på musslornas åldersklass. Därför behöver drönaren vinklas så att de två strålarna från laserskalaren samtidigt träffar den projicerade arean vid fotografering (se fig. 12), för att kunna fastställa skalan i bildbehandlingsprogrammet.



Figur 12: Vänster: Skiss över det nedsänkta långlinesystemet och övervakningsmetoden med drönare.. Båten är förankrad vid bärbärslinjan för att undvika drift; ett markerat rep sänks ned för att identifiera bilderna, och drönaren manövreras från båten i vinkeläge på 180°. Övre höger: Illustration som visar drönarens position i vattnet från sid- och frontvy; horisontellt läge vid förflyttning och 180° lutning vid fotografering. Mitten höger: Bild tagen med GoPro-kameran i horisontellt läge med laserstrålarna på vardera sidan om substratet. Nedre höger: Bild tagen med GoPro-kameran i 180° lutning med båda laserstrålarna på substratet.

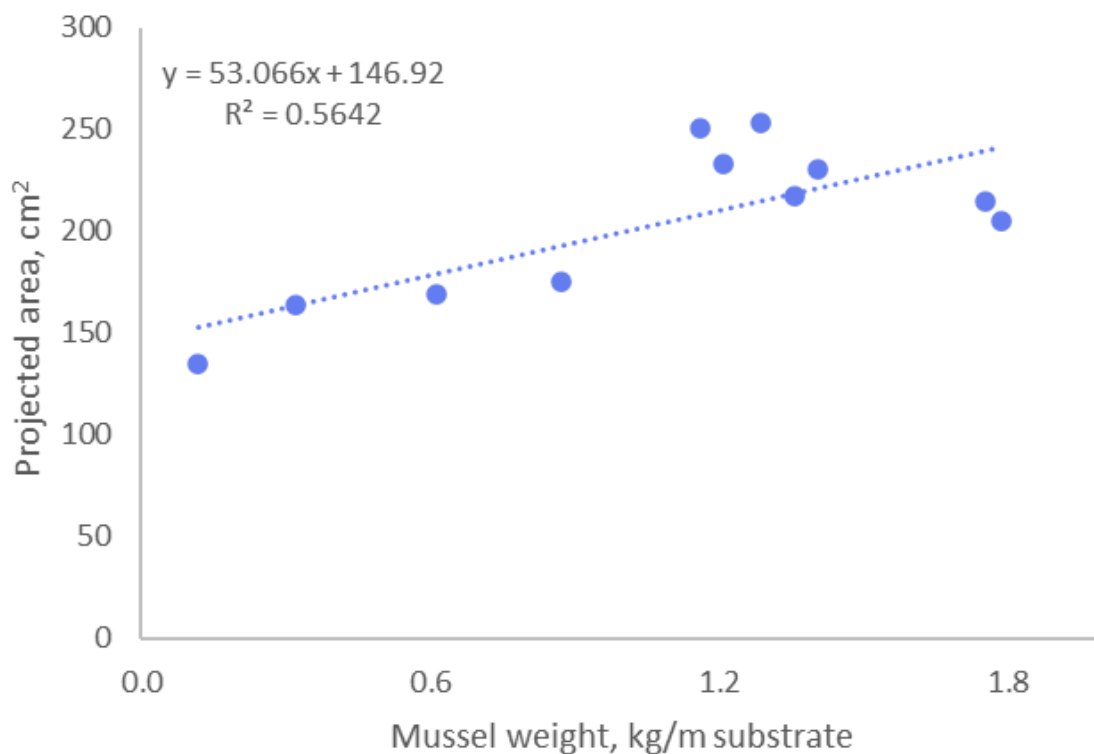
Genom att ställa in skalan i bilden i bildbehandlingsprogrammet ImageJ kunde arean av en viss längd av den projicerade arean beräknas och korreleras till biomassans vikt i den specifika bilden. För att fastställa biomassans vikt i den aktuella delen av den projicerade arean sänktes ett rep med markeringar för varje meter ned i vattnet bredvid loopen, och bilder togs vid varje markering från ytan till loopens slut. När bilderna hade samlats in drogs loopen och det markerade repet upp ur vattnet och lades i linje, varefter musslor samlades in och vägdes vid varje markering.

Följande data och resultat har samlats in vid testodlingen i Jungfrufjärden den 29 september 2025. Bilder samt data om musslornas vikt och längd samlades in från tre loopar på tre till fem olika djup (tabell 2).

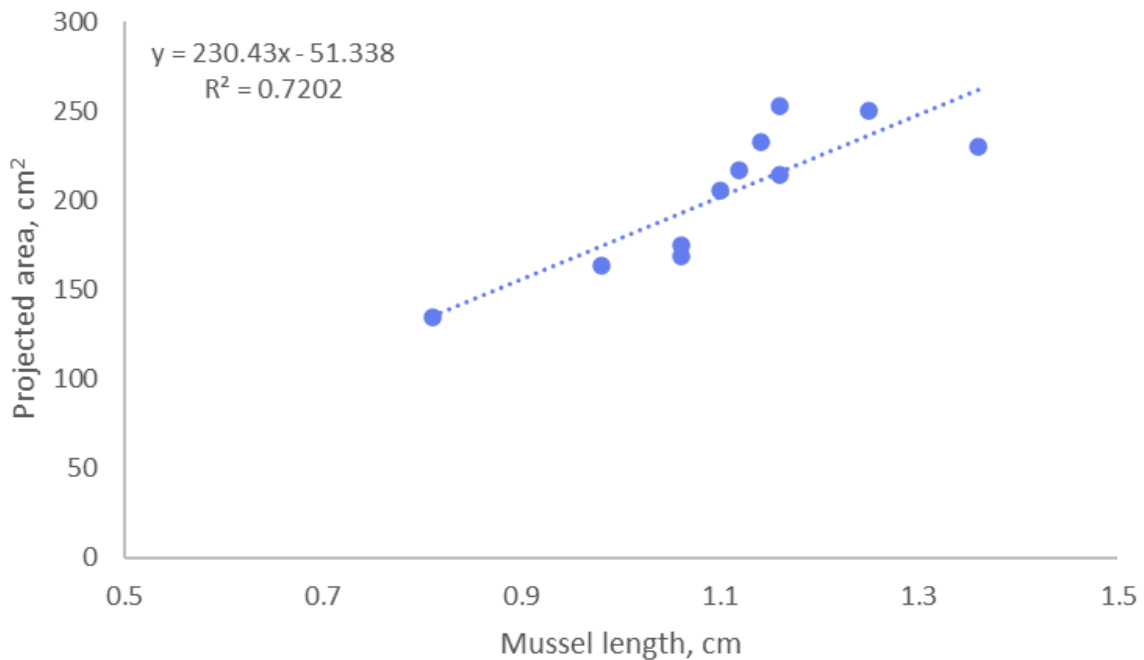
Tabell 2: Tabellen visar antalet studerade öglor, djup för fotografering och insamling av musslor, musselvikt i kilogram per meter substrat, genomsnittlig mussellängd i centimeter, antal uppmätta musslor, genomsnittlig substratyta för 28 centimeter substrat (i kvadratcentimeter) samt antal analyserade bilder.

Datum	Odling	Loop	Djup	m	cm	n	kg mussel/m	cm <sup>2</sup>	n
					Medel mussellängd	Musslor	Skördevikt	Medelarea	Bilder
29-sep	Jungfrun	1	16		1.16	21	1.3	<b>252.80</b>	2
29-sep	Jungfrun	1	18		1.10	22	1.8	<b>205.37</b>	2
29-sep	Jungfrun	1	20		1.06	22	0.9	<b>175.03</b>	2
29-sep	Jungfrun	2	17		1.36	18	1.4	<b>230.32</b>	2
29-sep	Jungfrun	2	19		1.12	24	1.4	<b>216.95</b>	2
29-sep	Jungfrun	2	21		1.06	28	0.6	<b>169.01</b>	2
29-sep	Jungfrun	3	16		1.14	23	1.2	<b>232.71</b>	2
29-sep	Jungfrun	3	18		1.16	21	1.8	<b>214.82</b>	2
29-sep	Jungfrun	3	20		1.25	24	1.2	<b>250.28</b>	2
29-sep	Jungfrun	3	22		0.98	32	0.3	<b>164.02</b>	2
29-sep	Jungfrun	3	24		0.81	15	0.1	<b>135.00</b>	2

Regressionsanalysen visar en stark och högsignifikant korrelation mellan musselvikt och projicerad area ( $R^2 = 0,56$ ,  $p = 0,008$ , se fig. 13). När även mussellängd och projicerad area beaktas är korrelationen ännu starkare ( $R^2 = 0,7202$ , se fig. 14).



Figur 13: Figur som visar regressionsanalys av projicerad area i kvadratcentimeter (cm<sup>2</sup>) och musselvikt i kilo per meter substrat (kg/m substrat) med ett R<sup>2</sup>-värde på 0,5642.



Figur 14: Figur som visar regressionsanalys av projicerad area i kvadratcentimeter (cm<sup>2</sup>) och mussellängd i centimeter (cm) med ett R<sup>2</sup>-värde på 0,7202.

Den huvudsakliga slutsatsen är att metoden är lovande och kommer att kunna användas framgångsrikt för att övervaka tillväxt samt fungera som ett verktyg för att planera skörd.

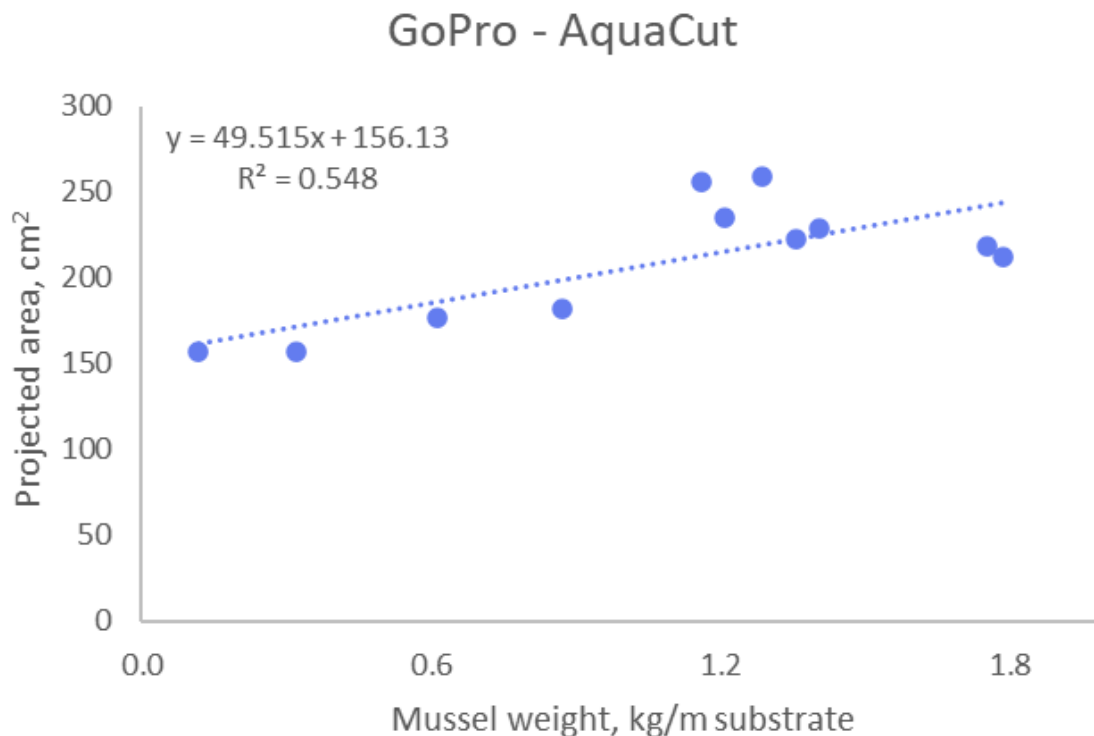
Det bör dock noteras att provtagningsunderlaget är begränsat och att det hittills inte inkluderar vikt- och areamätningar av fullvuxna musslor. Dessa data kommer att samlas in under 2026 för att ytterligare förbättra metoden och dess förmåga att noggrant uppskatta biomassa och skördemognad.

Resultaten bekräftar att användningen av drönare kan ge många fördelar. Resultat kan erhållas inom några timmar och arbetet kräver endast en till två personer samt en mindre båt. Användningen av drönare kan därmed spara tid, pengar, minska miljöavtrycket och reducera arbetsbelastningen. Tidigare metoder var tidskrävande och krävde större, långsamtgående båtar som kunde lyfta odlingen och dra upp substraten, med risk för att musslor tappades vid hantering. Användningen av drönare underlättar också arbetet mellan våra geografiskt spridda odlingar jämfört med att använda den stora och långsamma skördebargen.

Ytterligare fördelar med att använda en undervattensdrönare är möjligheten att enkelt övervaka odlingens fysiska integritet, såsom att kontrollera knutar vid ankare och se om några slingor har trasslat sig. Drönare ger även möjlighet att observera och följa tillväxten av konkurrerande arter, såsom havstulpaner, samt tecken på predation från ejder.

För att förenkla metodiken för bildbehandling utvecklade Ecopelag en prototyp av en AI-driven app kallad AquaCut. AquaCut kan snabbt och noggrant bearbeta foton i batcher med hjälp av AI, istället för att manuellt gå igenom bilderna en och en i flera steg i ImageJ. Genom att ladda upp samtliga bilder från en dags drönararbete i AquaCut tar bearbetningen cirka 15 minuter,

istället för flera timmars tidskrävande arbete i ImageJ. Inledande resultat visar att det inte finns någon betydande skillnad i projicerad area vid jämförelse mellan ImageJ och AquaCut (R<sup>2</sup>-värden: ImageJ R<sup>2</sup> = 0,5642, AquaCut R<sup>2</sup> = 0,5480, se figur 15).



Figur 15: Visar regressionsanalys av projicerad area i kvadratcentimeter (cm<sup>2</sup>) och musselvikt i kilo per meter substrat (kg/m substrat) av bilderna tagna med GOPro-kameran och analyserade i ImageJ till vänster och AquaCut till höger med R<sup>2</sup>-värden: ImageJ R<sup>2</sup> = 0,5642, AquaCut R<sup>2</sup> = 0,5480.

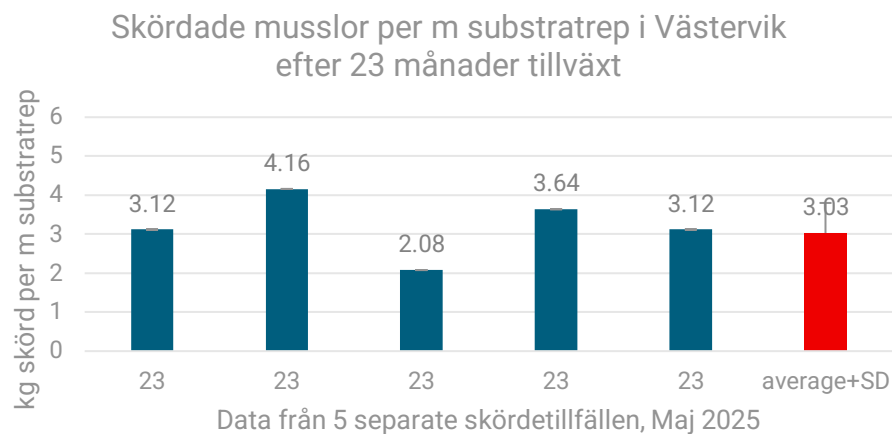
AquaCut har även en inbyggd funktion för att automatiskt hämta information från bilderna, såsom datum, tid, vattendjup och GPS-position. Denna information kan visas direkt på bilderna när man fotograferar med drönarens inbyggda kamera och kan med hjälp av AquaCut hämtas ut i tabellformat och användas för spårbarhet i verksamhetens egenkontrollprogram.

## 6.2 Skördedata

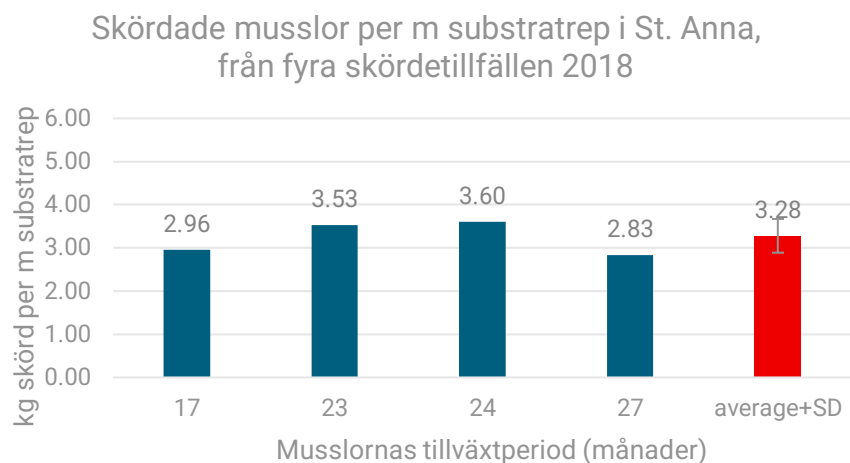
I egentliga Östersjön tar det cirka två år för musslorna att nå en målstorlek på upp till fyra centimeter. Längs den svenska östkusten är de skördade musslorna ofta mellan 2,5 och 3,5 centimeter, blandade med mindre musslor från efterföljande sättningar. Även om musslor ner till en storlek av en centimeter kan bearbetas med de metoder som utvecklats inom Baltic MUPPETS, uppnås störst biomassa per arbetsinsats vid skörd i april–maj, efter cirka 22–23 månaders tillväxt. Idealt bör musslorna skördas före lek, och innan nya musslor sätter sig på repen i juni.

Figur 16 visar resultaten från fem mindre skördar i maj 2025 vid odlingen i Västervik, där substraten hade varit utlagt sedan våren 2023. Den skördade biomassan uppgick totalt till 27

ton, i genomsnitt tre kilo per meter substratrep, med en standardavvikelse på 0,77 kilo per meter mellan skördetillfällena. Trots att linorna hade sjunkit och delvis vilade på botten på 20 meters djup, vilket sannolikt resulterade i långsammare tillväxt, var resultaten jämförbara med tidigare skörderesultat på 3,3 kilo per meter substratrep från den närliggande odlingen i S:t Anna (Figur 17).



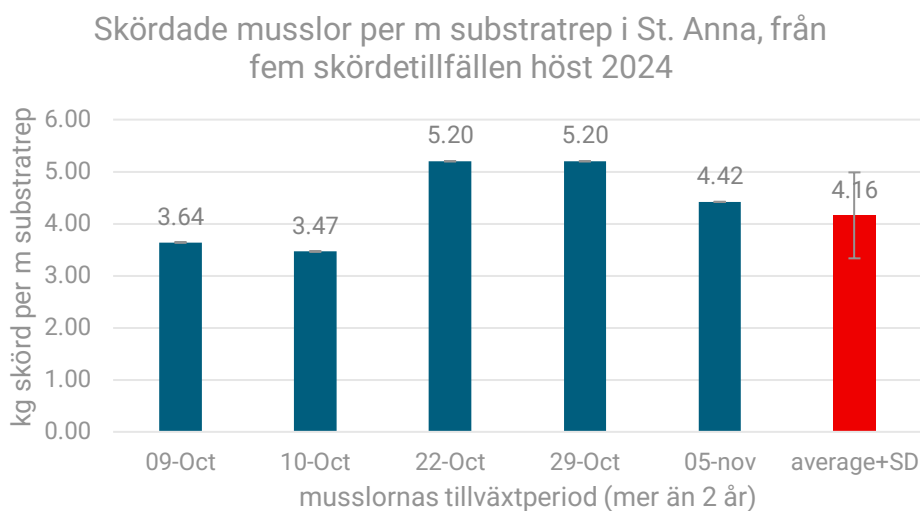
Figur 16: Skörderesultat från sex separata odlingsenheter som skördades vid fem olika tillfällen. Varje stapel representerar data från en separat odlingsenhet, förutom värdet 2,08 som är ett medelvärde från två enheter skördades vid samma tillfälle. Biomassan mättes efter det att musselodlingarna skördats och musslorna, sorterats, tvättats och transporterats till kaj. Små musslor (1 cm) samlades upp i en nätpåse under sorteraren och deras vikt har inkluderats. Odlingsenheterna hade sjunkit till olika djup före skörd, vilket sannolikt förklarar en del av variationen i biomassa mellan de olika enheterna.



Figur 17: Resultat från fyra skördetillfällen vid odlingen i S:t Anna, 60 km norr om Västervik. Odlingsförhållandena är likartade; båda odlingarna är belägna i yttre skärgården, använder liknande substratrep och samma skördeutrustning. Substratet utgörs av så kallade "Christmas tree"-rep (Figur 5, vänster), som hängt ned till 10 m djup och inte berört havsbotten. Totalt skördades 79 ton musslor från 16 odlingsenheter mellan december 2017 och september 2018. Ingen sortering eller tvättning av biomassan genomfördes. (Data från Baltic Blue Growth, Interreg Baltic Sea Region Project 2016–2019, <https://projects.interreg-baltic.eu/projects/baltic-blue-growth-11.html>).

Data som presenteras i figur 16 och 17 visar att det är möjligt att uppnå skördar på fyra kilo per meter per tillväxtcykel i egentliga Östersjön. Med hänsyn till icke-optimala förhållanden och förluster av musslor vid skörd är det dock säkrare att planera för tre kilo per meter. För kontinuerlig produktion kommer det att vara nödvändigt att även skörda musslor under hösten. Detta innebär att tillväxtcykeln förlängs med ett helt år, eftersom odlingsenheter som skördas på hösten måste vänta till juni för nästa musselsättning. Små musslor som lämnas kvar på repen efter skörd kommer dock att fortsätta producera biomassa året runt. Återanvändna substratreper, som sätts tillbaka i havet omedelbart efter skörd, förväntas därför producera högre biomassa än nya rep.

Den högsta biomassa som hittills skördats från långlinesystem i östra Sverige uppnåddes i oktober–november 2024 vid S:t Anna (figur 18), med upp till 5,2 kilo per meter. Totalt skördades då 50 ton från åtta odlingsenheter under fem dagar.



*Figur 18: Resultat från fem dagars skörd i oktober–november 2024 vid odlingen i S:t Anna. Totalt skördades 50 ton från åtta odlingsenheter. Vissa musslor var avsevärt större än de som skördades i Västervik 2025, sannolikt eftersom de var äldre. De använda substratrepen var åtta år gamla, vilket visar på utrustningens långa hållbarhet.*

Trots den höga biomassa som skördades på hösten 2024 (Figur 18) var den skördade biomassan vid S:t Anna år 2018 (Figur 17) lägre på hösten (månad 27, september) än på våren (månad 23, maj). Orsaken till detta är okänd, men en vanlig erfarenhet bland musselodlare är att klumpar av växande musslor kan lossna från substratet om biomassan blir för tung. Det innebär att även om musslorna hunnit växa sig större på hösten finns det ingen garanti för att skörden blir större på hösten än på våren. Det finns dessutom en risk för förluster av musslor under höst- och vinterperioden till följd av stormar, isbildning och predation från ejdrar.

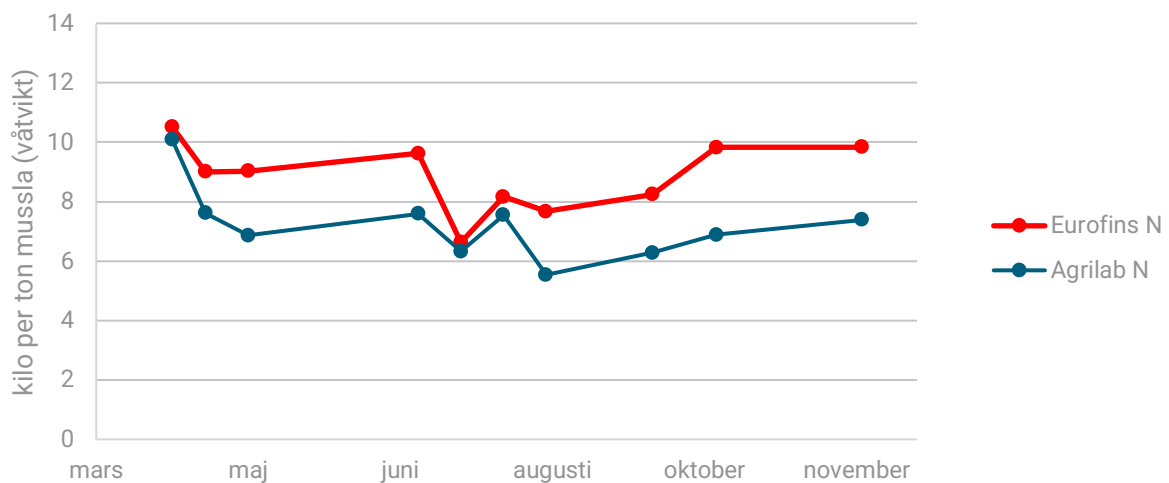
## 6.3 Näringsupptag

Musselprover togs kontinuerligt från april till november vid odlingen i Västervik år 2022, från en pilotodling som tillhörde Västerviks kommun och som var föregångare till Baltic MUPPETS-odlingen. Provtagningen genomfördes huvudsakligen för att analysera cyanotoxiner inom ett

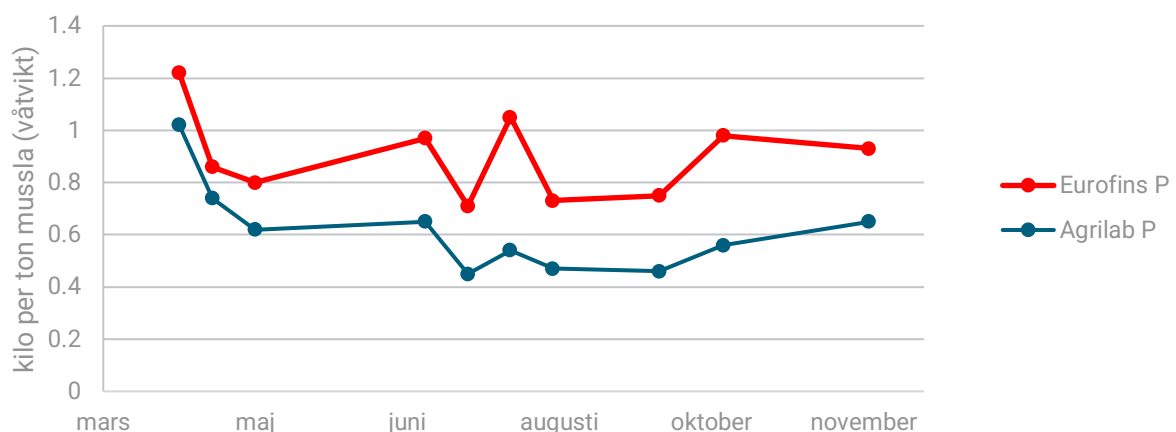
projekt tillsammans med Livsmedelsverket, men extra prover skickades även för näringsanalyser inom EU Life-projektet Rich Waters 2016–2024.

Eftersom analyser av kväve och fosfor är kända för att vara metodiskt utmanande delades varje prov upp och skickades till två laboratorier, Agrilab AB och Eurofins AB. Resultaten visar en tydlig diskrepans mellan laboratorierna av okänd anledning (Figur 19). Medelvärdet av alla provsvar från samtliga prover, inklusive båda laboratoriernas analyser, varför fosfor (P) 0,76 kilo fosfor per ton mussla och varierade mellan 0,58 och 1,12 kilo. För kväve (N) var medelvärdet 8,0 kilo kväve per ton musslor, med variation mellan 6,5 och 10,3 kilo.

### Kväveinnehåll i musslor Västervik 2022

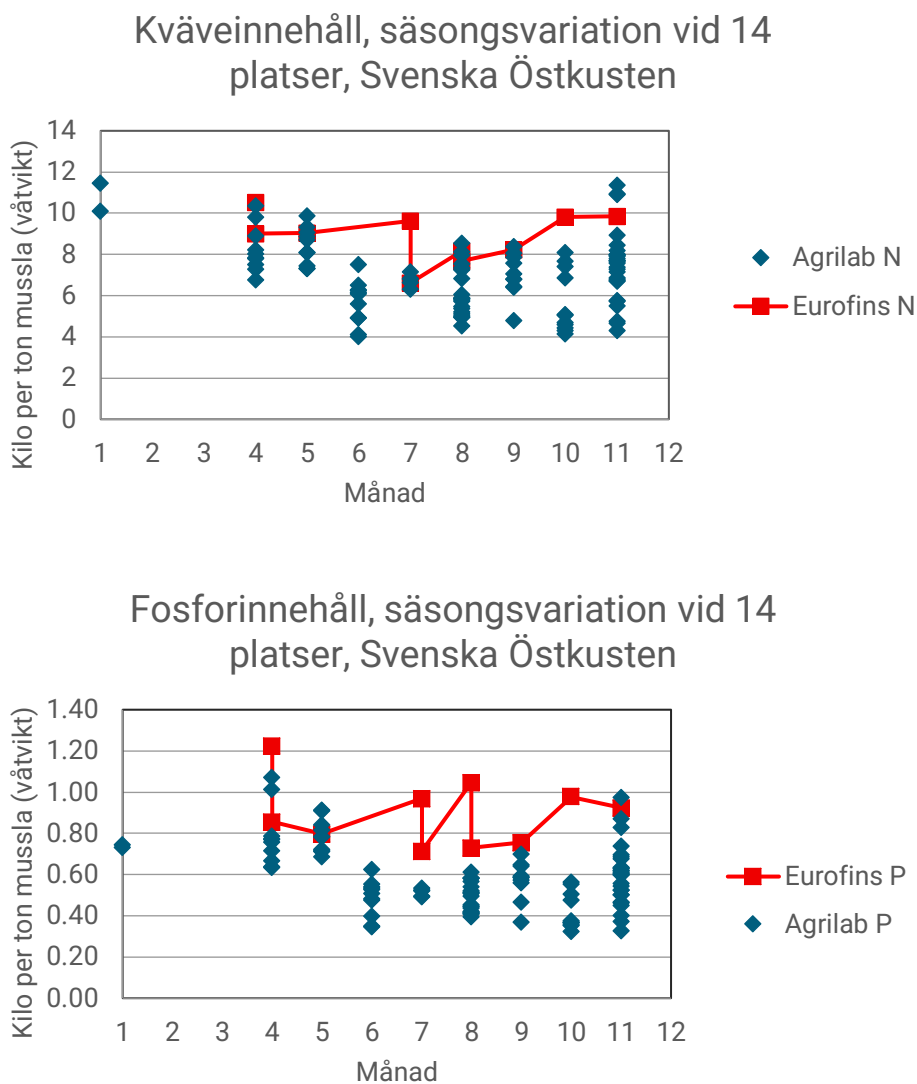


### Fosforinnehåll i musslor, Västervik 2022



Figur 19: Säsongsvariation i kväve- och fosforhalt i hela musslor, inklusive skal, epifyter och vatten mellan skalen, vilket speglar potentiellt näringsupptag från musselskörd som en åtgärd för att motverka övergödning. Resultaten visar ett mönster med något lägre näringshalter i musslor provtagna under den varmare säsongen, men också en tydlig skillnad mellan resultaten från de två laboratorierna, där Agrilab AB konsekvent redovisar lägre värden än Eurofins.

I september 2019 sammanställde SUBMARINER Network Mussels Working Group data från mätningar av fosfor och kväve i hela musslor från Östersjön, som tagits fram inom EU-projekten Baltic Blue Growth, Life IP Rich Waters och NutriTrade. Figur 20 visar data från 14 odlingar längs svenska östkusten från denna sammanställning som blå punkter. Analyserna gjordes av Agrilab. Det genomsnittliga kväveinnehållet från svenska östkusten i Working Group-sammanställningen var 7,3 kilo kväve per ton och varierade mellan 4,6 och 11,5 kilo per ton. Fosfor hade ett medelvärde på 0,61 kilo per ton och varierade mellan 0,37 och 1,1 kilo per ton. De röda linjerna i Figur 20 visar våra analysresultat från Eurofins 2022 som jämförelse (samma som i Figur 19).



Figur 20: Blå punkter i diagrammen visar en sammanställning från tidigare EU-projekt av data på kväveinnehåll (övre) och fosforinnehåll (nedre) i hela musslor från svenska östkusten. Samtliga av dessa prov har analyserats av Agrilab. Som jämförelse visas resultaten från Västervik 2022, analyserat av Eurofins, som röda linjer. (samma som i Figur 19)

Det är svårt att dra några tydliga slutsatser, om nivåerna av kväve och fosfor i musslor, baserat på det analyserade materialet, annat än att metoden behöver standardiseras bättre. Det kan

vara så att resultaten från Eurofins visar för höga värden på grund av metodavvikelser jämfört med Agrilab, men det kan också vara så att näringsupptaget underskattades i tidigare projekt. Hur musslorna hanteras vid provtagning kan påverka resultaten, men i fallet som visas i Figur 19 hanterades proverna på exakt samma sätt innan de delades upp och skickades till olika laboratorier för analys.

## 7. INVESTMENT AND OPERATIONAL COSTS

Enligt beräkningen nedan, baserad på kostnader för etablering och drift av Baltic MUPPETS-odlingen i Västervik samt andra odlingar, uppgår kostnaden för musselproduktion i den låg-salina delen av Östersjön till 1,42 miljoner SEK per år (Tabell 3). Beräkningen inkluderar ett lån på 8,69 miljoner SEK samt räntekostnader på cirka 4,34 miljoner SEK över 20 år. Odlingarna förväntas producera i genomsnitt 245 ton musslor per år, vilket ger en produktionskostnad på 5,9 SEK per kilo.

Tabell 3: Sammanställning av kostnader för musselproduktion (i tusen euro).

	Y0	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	...	Y20
<b>Odlingsdelar</b>	6	22	22	22	22	22	...	17
<b>Etableringskostnader</b>	2	9	9	9	9	9	...	7
<b>Skördeutrustning/båt</b>	3	12	12	12	12	12	...	9
<b>Operativa kostnader</b>	6	63	63	63	63	63	...	57
<b>Finansiering (5 %, 20 år)</b>	19	19	19	19	19	19	...	0
<b>Total</b>	<b>37</b>	<b>126</b>	<b>126</b>	<b>126</b>	<b>126</b>	<b>126</b>	...	<b>90</b>
<b>Produktion (ton)</b>	0	0	244.9	244.9	244.9	244.9	...	244.9
<b>EUR/kg mussla</b>			0.52	0.52	0.52	0.52	...	0.37

För mer detaljer om kostnader för långlineodling längs den svenska östkusten, se Baltic MUPPETS D1.1, bilaga 2: **Affärs- och investeringsplan för egentliga Östersjön.**

## 8. CONCLUSIONS AND OUTLOOK

Den integrerade utvecklingen av fullskalig odlingsinfrastruktur och ett optimerat skördesystem visar på den tekniska genomförbarheten för storskalig musselodling i egentliga Östersjön. Viktiga innovationer inkluderar ett nedsänkt och issäkert långlinesystem, långsiktigt

återanvändbara substratrep samt en självgående skördepråm med integrerad tvättning och sortering.

Tillsammans bidrar dessa komponenter till en betydande minskning av driftskostnader och arbetskraftsbehov, vilket för svensk musselodling längs östkusten närmare ekonomisk hållbarhet. Fortsatt teknisk vidareutveckling och uppskalning av verksamheten förväntas ytterligare förbättra effektivitet och driftsäkerhet samt stödja Baltic MUPPETS-projektets långsiktiga mål.

## REFERENCES

Baltic Blue Growth, Interreg Baltic Sea Region Project 2016-2019 <https://projects.interreg-baltic.eu/projects/baltic-blue-growth-11.html>

Mussel farming in the Baltic Sea as an environmental measure –a positive outlook based on new data. Edited by: Angela Schultz-Zehden and Lisa Simone de Grunt, SUBMARINER Network for Blue Growth EEIG

NutriTrade, Interreg Central Baltic project. [Piloting a Nutrient Trading Scheme in the Central Baltic | Central Baltic Project Database](#)

Rich Water, EU Life project 2016-2024  
[http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=search.dspPage&n\\_proj\\_id=6104](http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=search.dspPage&n_proj_id=6104)