



Potentiella åtgärder för minskad övergödning och näringsupptag i svenska vatten

– Återföring av näring från havet

AquaBiota Report 2019:01

Författare: Martin Dahl, Antonia Nyström-Sandman,
Linus Hasselström och Martin Isaeus

AquaBiota Water Research



AquaBiota

Stockholm, Januari 2019

Beställare:

Rapporten är utförd av AquaBiota Water Research och Anthesis Enveco för *Utredningen om minskad övergödning genom stärkt lokalt åtgärdsarbete (M 2018:02), Regeringskansliet.*

Bilder framsidan: Rödalger och musslor i Stockholms skärgård.

Foto: Martin Isaeus, AquaBiota.

Kontaktinformation:

AquaBiota Water Research AB
Adress: Löjtnantsgatan 25, 115 50 Stockholm
Tel: +46 8 522 302 40
Mail: info@aquabiota.se
www.aquabiota.se

Kvalitetsgranskad av:

Martin Isaeus (martin.isaeus@aquabiota.se)

Distribution:

Fri

Internetversion:

Nedladdningsbar hos www.aquabiota.se

Citera som:

Dahl, M. Nyström-Sandman, A. Hasselström, L. & Isaeus, M. 2019. Potentiella åtgärder för minskad övergödning och näringsupptag i svenska vatten – Återföring av näring från havet. AquaBiota Report 2019:01. 28 sid.

Ämnesord: näringsupptag, återföring av näring, kväve, fosfor, Östersjön, Västerhavet, åtgärder mot övergödning, blåa fångstgrödor

AquaBiota Report 2019:01
Projektnummer: 2018028
ISBN: 978-91-85975-88-4
ISSN: 1654-7225

© AquaBiota Water Research 2019



INNEHÅLL

Innehåll.....	3
Sammanfattning.....	4
1. Inledning	5
2. Material och Metoder	6
2.1. Insamling av data	6
2.2. Beräkningar av potentialen för huvudsakliga åtgärdsmetoder	6
3. Resultat och diskussion	8
3.1. Beskrivning av olika åtgärdsmetoder för näringsupptag	8
3.2. Marina vattenbruk – omfattning och produktion	12
3.3. Prioriterade åtgärdsmetoder	13
4. Slutsats och utvecklingsbehov för metoderna	21
Referenser	23

SAMMANFATTNING

Ökande halter av näringsämnen i kustzonen är ett stort problem globalt och i Sverige har övergödningen i synnerhet påverkat Östersjön negativt med cyanobakterieblomningar förändrade artsammansättningar och döda bottenar som resultat. Att minska näringsläckaget har hög prioritet för att minska övergödningen men i kombination med åtgärder på land kan även återföring av näring ske genom blåa fångstgrödor (odling och insamling av marina och limniska växter och djur). I denna rapport, som utgör ett delunderlag till Regeringskansliets *Utredningen om minskad övergödning genom stärkt lokalt åtgärdsarbete (M 2018:02)*, sammanställs och beskrivs potentialen för olika åtgärdsmetoder för upptag och återföring av näringsämnen i svenska vatten. Rapporten är begränsad till att undersöka kväve- och fosforupptaget men även miljöeffekter, klimatnytta och samhällsekonomiska aspekter har till viss del inkluderats. Dock har inte effekter på miljön och ekologin fullständigt utvärderas och inte heller kostnadseffektiviteten eller ekonomisk lönsamhet. Utav de elva granskade åtgärdsmetoderna bedömdes *musselodling, sjöpungsodling, algodling och insamling av alger (på stränder eller lösliggande och fastsittande på botten)* ha störst potential i den närmaste framtiden för upptag och återföring av näring. Sammantaget för Västkusten bedöms musselodling ha den största potentialen för fosforupptag medan sjöpungar har högst kapacitet för kväveupptag. Odling av musslor i Östersjön har en försumbar effekt på näringsnivåerna och i rapporten framgår det också att det är brist på metoder för Egentliga Östersjön, vilket är det havsområde med störst övergödningsproblem. De enda åtgärdsmetoderna som presenteras i denna rapport för Egentliga Östersjön är insamling av alger och växtbiomassa från stränder och bottenar. Potentialen för insamling av filamentösa alger på bottenar går inte att kvantifiera inom föreliggande uppdrag men insamling av alger och växtbiomassa på stränderna bedöms dock ha stor potential för i synnerhet fosforupptag. Resultaten visar även att det inte enbart är en metod som bör användas utan en kombination av flera för att minska näringshalterna.

1. INLEDNING

Övergödning är ett stort problem i kustzonen globalt (Diaz & Rosenberg 2008). I Östersjön och längst med kusten i Västerhavet har förhöjda näringshalter i vattnet lett till minskat siktdjup och minskad utbredning av viktiga habitatbyggande arter (såsom blåstång [*Fucus vesiculosus*] och ålgräs [*Zostera marina*]) (Kautsky & Kautsky 2000; Baden et al. 2003), vilket påverkat den generella artsammansättningen och de ekosystemtjänster som dessa miljöer bidrar med. I Östersjön har också cyanobakterieblomningar och utbredningen av döda bottnar ökat kraftigt, vilket i sin tur lett till fosforutlakning från sedimenten som gynnar tillväxten av cyanobakterier (Kautsky & Kautsky 2000)

Egentliga Östersjön är ett av de havsområden med störst övergödningssproblematik och där det krävs stora åtgärder för att minska näringsbelastningen. För de mål som fastställts inom Baltic Sea Action Plan (BSAP) för att uppnå en god ekologisk status ska Sverige reducera näringshalterna med 8356 ton kväve och 530 ton fosfor i Egentliga Östersjön (HELCOM 2013). Näringsläckagen från land måste således minska och utsläppen måste begränsas genom att exempelvis anlägga våtmarker eller skyddszoner i jordbruket som fungerar som filter för näringsämnen eller åtgärder i reningsverk och privata avlopp för effektivare rening. En del av det kväve och fosfor som dock redan finns i havet kan potentiellt tas upp av blåa fångstgrödor (ex. olika typer av odlingar eller skörd av naturligt växande biomassa) och återföras till land genom insamling eller skörd för att återanvända näringsämnena inom industri eller jordbruk där mineralfosfor kan komma att bli en brist. Marin biomassa kan även potentiellt hjälpa till att lösa även andra samhällsutmaningar, t.ex. behov av råvaror för mat och foder, energi och material.

I denna rapport, som är ett underlag till Regeringskansliets *Utredningen om minskad övergödning genom stärkt lokalt åtgärdsarbete (M 2018:02)*, beskrivs olika metoder för upptag av näring och en bedömning av dess potential för Östersjön och Västerhavet. Vidare har de metoder som bedömts ha haft störst potential beskrivits i mer detalj och dess potentiella näringsupptag kvantifierats (i mån av data). I bedömningen har även klimatnyttan, miljökonsekvenser och samhällsekonomiska aspekter (såsom arbetstillfällen och turistnäringen) beskrivits och i viss mån tagits i beaktning. Dock finns givetvis risker för negativa miljöeffekter som behöver utredas vidare och i denna rapport begränsar vi perspektivet till vilken potential som finns för kväve- och fosforupptag.

2. MATERIAL OCH METODER

2.1. Insamling av data

I denna litteraturstudie har rapporter och vetenskapliga publikationer granskats för att kunna sammanställa information om olika åtgärdsmetoder för näringsupptag och för de huvudsakliga metoderna kvantifiera dess potential. Utöver litteraturundersökningen har även ett antal intervjuer med forskare, odlare och tjänstemän genomförts. Vid kvantifiering av näringsupptag har information samlats in från olika källor och för att synliggöra osäkerheten i datasetet presenteras minimum- och maximumvärden.

2.2. Beräkningar av potentialen för huvudsakliga åtgärdsmetoder

Beräkningarna för area av huvudsakliga metoder är baserade på faktiska och beräknade potentiella värden från litteraturen. För att beräkna potentiellt näringsupptag multiplicerades ytan (ha) med uppmätta kväve (N) - och fosforvärden (P) för respektive art och organismgrupp (tabell 1). Beroende på de olika arternas utbredning och på arternas påverkan av skillnader i salthalt så har vissa områden exkluderats, exempelvis bedömdes området Kattegatt-Bälthavet inte var lämpligt för odling av Skräppe-tare (*Saccharina latissima*). Arten växer i detta område men tillgängliga uppgifter om produktion är baserade på helt marina miljöer, vilket gör att beräkningarna för mer bräckta vatten blir för osäkra då produktionen bör vara lägre i en miljö med lägre salthalt. För att uppskatta av potentialen för odling i Skagerrak har vi dubblerat den yta med föreslagna tillstånd framtaget för Norra Bohuslän (Vattenbruk på Västkusten 2015), för att övriga Skagerrak har liknande förutsättningar för vattenbruk och för att få en rimlig uppskattning för hela havsbassängen. Areal för insamling av alger och växtbiomassa på stränderna i Egentliga Östersjön beräknades i ArcGIS utifrån ett kartunderlag från Naturvårdsverket (2006) där längd på kuststräckan för sandstrand analyserades. Mängd alger och växtbiomassa på stränderna skalades upp från data insamlat för Trelleborgs kommun under en 4 månaders period (Trelleborg 2011) för att täcka hela Egentliga Östersjöns kust. Denna uppskalning kan ge osäkerheter i analysen då vissa strandområden kan vara mindre lämpliga att samla in på dock är mängden uppblåsta alger en underskattning då det enbart beräknades på en 4 månaders period och att uppsamlingen av alger bör kunna effektiviseras.

Tabell 1. Näringsinnehåll för de arter/organismgrupper som innefattas av de huvudsakliga åtgärdsmetoderna.

Art/organismgrupp	N (%)*	P (%)*	N/ha/år (ton)	P/ha/år (ton)	Referens
Blåmussla (Östersjön)	0,75	0,06	0,02	0,001	Hedberg et al. 2018
Blåmussla (Västkusten)	1,45	0,06	1,58	0,065	Petersen et al. 2014
Sjöpung	0,25	0,02	2,25	0,02	Loo & Petersen 2012
Algodling	-	-	0,08	0,01	Hasselström et al. 2018
Insamlade alger	0,34	0,03	-	-	Risén et al. 2014

* procent av våtvikt

3. RESULTAT OCH DISKUSSION

3.1. Beskrivning av olika åtgärdsmetoder för näringsupptag

Nedan beskrivs kortfattat olika typer av åtgärder som beskrivits för att reducera fosfor och kväve i sjöar, Östersjön och Västerhavet. Genom att bedöma potentialen för näringsupptag, geografisk omfattning, konsekvenser på miljön och klimatnyttan för dessa olika metoder har vi bedömt att *Musselodling*, *sjöpungsodling*, *algodling* och *insamling av alger* (på stränder eller lösliggande och fastsittande på botten) är de mest lämpliga metoderna för fördjupad undersökning och vi har kvantitativt uppskattat dess potential att reducera fosfor och kväve i svenska vatten (se sektion 3.3). Vissa av de beskrivna åtgärderna kan även generera positiva sidoeffekter såsom förbättrad biologisk mångfald och ökade rekreationsvärden

Klimatnyttan av de flesta av dessa metoder är svåra att bedöma då det beror på vad det organiska materialet används till och på vilket sätt det transporteras. Det organiska materialet som samlas in är förvisso en kolsänka vid insamlandet men om det sedan används för biogasframställning eller för att utvinna näringsämnen kommer kolet i biomassan att omvandlas till växthusgaser (koldioxid eller metan) i nedbrytningsprocessen eller vid förbränningen.

Musselodling

Det råder en delad uppfattning om effektiviteten av blåmusselodling i Östersjön. Blåmusslan (*Mytilus edulis*) är en marin art med ett optimum för tillväxt på 25 psu (Practical Salinity Unit; Maar et al. 2015) och påverkas således negativt av den lägre salthalten som finns i Östersjön. Den lägre salthalten leder till en lägre tillväxt och mindre upptag av kväve, vilket påverkar näringsupptageffektiviteten och tillväxtperiod innan skörd (Hedberg et al., 2018). I Östersjön finns flertalet pilotförsök på musselodling, bl.a. en storskalig satsning i projektet Baltic Blue Growth, som initierats av Submariner Network (2018) med mål att ta blåmusselodling från experimentstadium till storskalig produktion. Dock har detta mötts med skepsis från andra odlare som menar att musselodling i Östersjön inte i nuläget är möjlig på stor skala (Reutgard pers. kom.). För odling av blåmusslor i marina miljöer är produktionen betydligt högre och upptag av näringsämnen således mer effektiv och längs den svenska västkusten finns sedan länge etablerade odlingar. För etablering av odlingar i Östersjön krävs mer omfattande pilotstudier och undersökningar (vilket idag sker genom projektet Baltic Blue Growth) för att utröna dess effektivitet för näringsupptag, bedöma påverkan på närmiljön och för att karaktärisera områden som har de mest gynnsamma förhållandena att odla musslor på. Med tanke på musselodlingens omfattning och att det på västkusten redan är en etablerad verksamhet är den av intresse för utvärdering av dess potential för näringsupptag och i jämförelse med andra vattenbruk (sjöpfung och alger).

Alger

Makroalger är generellt snabbväxande organismer med ett effektivt upptag av näringsämnen. Nedan beskrivs ett flertal metoder för att skörda eller samla in alger från marina- och närliggande miljöer som kan användas i biogasverk, till konsumtion (algodling) eller som gödningsmedel inom jordbruket. Ett problem med användandet av alger är att de generellt innehåller tungmetaller såsom kadmium, vilket också koncentreras i rötresterna vid biogasframställning (Bergström 2012) och begränsar användningsområdena. Kadmiuminnehållet varierar mellan arter och platser, och det finns vissa metoder för att rena algerna så att de exempelvis kan användas som gödningsmedel (Davidsson et al. 2008).

Insamling av alger från stränder

Insamling av alger från stränder har undersökts av flera kommuner, bl.a. Trelleborg och Kalmar, där det organiska materialet använts för produktion av i synnerhet biogas, och flera forskningsprojekt pågår (se exempelvis Risén 2014). Ett problem är att det vid insamlingen också medföljer minerogent material (sten, sand och grus) från stranden samt salt från havet, vilket gör det svårare att röta och man får istället använda sig av en torrötningsmetod (Ljung & Grandin 2013). Ett annat problem med metoden är att den kräver stora sandytor för att vara effektiv, vilket begränsar antal lämpliga områden och gör att metoden bäst lämpar sig i Skåne, Halland, Öland och Gotland. Dock driver det iland stora mängder alger i dessa län och bara på Gotland under ett år uppskattades mängden till mellan 1000 och 5000 ton per kilometer (Engkvist et al. 2001), vilket gör att metoden har stor potential för upptag av näring ifrån Östersjön.

Här kan även nämnas att försök att skörda vass har undersökts och visat sig ha en potential för biogasutvinning (Aldentun 2013). Dock erbjuder vass en rad ekosystemtjänster och kan i Östersjön exempelvis fungera som en potentiell kolsänka och näringsfilter. Dessutom används vass som häckningslokaler av fåglar och som skydd för fisk. Däremot kan skörd av vass vara möjlig i sjöar som hotas av igenväxning. Med tanke på de ekologiska värdena av vass hör denna biomassa inte till de åtgärdsmetoder som vi i första hand lyfter fram i denna rapport. Dock kan skörd av vass lokalt ha potential, särskilt i sjöar som hotas av igenväxning.

Insamling av flytande alger

En metod att kringgå den begränsade geografiska utbredningen samt mängden minerogent material som kommer med vid insamlandet är att samla in alger direkt ifrån havet, antingen flytandes på ytan fastsittande på hårdbottnar eller lösliggande på botten. En annan fördel med att samla in direkt från havet är att näringshalten är högre och således blir biogasproduktionen mer effektiv (Aldentun 2013). Ytterligare en fördel är att detta sannolikt skulle medföra minskade algmängder på stränder då mycket av de flytande algerna (antingen på ytan eller på botten) annars skulle driva i land. Det finns stort potential till näringsupptag med denna metod och en teoretisk beräkning för Trelleborgs kommun visade att ca. 10 000 ton (våtvikt) biomassa per år skulle kunna tas upp längst med kommunens kust (Davidson & Turesson 2008). Dock finns det visa

praktiska problem och i Kalmar län har man gjort försök till att samla in ytliggande alger men bedömde att den begränsade tillgängligheten, problem vid insamling och den höga vattenhalten i algerna minskar kostnadseffektiviteten och att metoden i nuläget inte är realistisk (Isaksson 2012).

Insamling av lösliggande eller fastsittande alger på botten

Fintrådiga alger som sitter fast eller är lösliggande på botten kan återfinnas i stora volymer i södra Östersjön (Malm & Isaeus 2005; Carlström et al. 2010; Florén et al. 2012). Metoden är idag inte utvecklad men tekniken att samla in alger kan anpassas från befintliga pumpar som används för att samla in fisk från trål eller ringnot. Genom rumsliga modelleringar (analys av strömmar och batymetri), visuella metoder (drop-video) och högfrekvent ekolod kan större ansamlingar av alger lokaliseras och insamlingen koncentreras. Detta är en innovativ metod som kan vara intressant för Östersjön där andra metoder (ex. odling av olika typer av blå fångstgröda) idag är begränsad eller fortfarande på experimentstadium. Kombinerat med insamling av alger från stränderna kan denna metod ha stor potential för näringsupptag och återföring.

Algodling

Idag bedrivs pilotförsök och forskning på odling av alger på den svenska västkusten med potentialen att odla stora volymer med högt upptag av näring från havet (Gröndahl pers. kom). Dock är denna metod inte lämplig i Östersjön då de alger (främst *S. latissima*) som odlas idag kräver en marin miljö (Gröndahl pers. kom). Denna metod är fortfarande på ett forskningsstadium och idag finns det ingen etablerad kommersiell odling i Sverige men algodling har stor potential som näringsreducerande åtgärd givet att en bra avsättning för biomassan kan genereras.

Odling av tarmsjöpfung

Odling av tarmsjöpfung (*Ciona intestinalis*) har pågått sedan 2014 på den svenska västkusten, då med syfte att utreda dessa för användning till biogasproduktion, vilket visade sig vara möjligt. För att få lönsamhet har fokus dock skiftats mot att göra foder av de skördade sjöpfungarna. För att vara konkurrenskraftiga mot fiskfoderindustrin krävs det i nuläget att odlingarna kommer upp i större volymer, vilket också är fullt rimligt (Norén, pers. kom). På liknande sätt som musselodling så har sjöptionsodling en negativ effekt på den direkt underliggande botten men att denna effekt inte sträcker sig längre än ett tiotal meter utanför odlingen (Norén et al. 2013). Idag finns odlingar i Bohuslän. Sjöpungen klarar en salthalt på 11 psu, vilket begränsar den geografiska utbredningen till den svenska västkusten ner till Skånes västliga kust.

Strukturkalkning och naturgips

Strukturkalkning (tillförsel av bränd och släckt kalk) på leriga jordbruksmarker är en gammal metod att binda fosfor till marken, öka produktionen och minska läckage. Vid en studie i Västermanland reducerades fosforutlakningen med 50% till omkringliggande områden (Ulén 2017). På samma sätt har spridning av naturgips på jordbruksmarker visat sig vara en effektiv metod för att reducera fosforläckage till sjöar och hav (Ekholm et al. 2012). I ett storskaligt experiment i Finland reducerades fosforläckaget från områden behandlade med naturgips med 50% och till en låg kostnad (NutriTrade 2018a). Dock förutsätter metoden att avrinningen från det behandlade området sker till havet och inte till sjöar då naturgips innehåller sulfat, vilket naturligt finns i havsvatten men inte i samma utsträckning i limniska miljöer (NutriTrade 2018a). Utöver det så höjs pH-nivåerna i avrinnande vatten (SWECO 2014), vilket kan vara toxiskt för vattenlevande organismer. Vi anser att denna metod har stor potential för att minska fosforläckage från jordbruksmarker men att det också kan ha en stor påverkan på omkringliggande vattenmiljöer och att dessa effekter inte ännu är klarlagda.

Reduktionsfiske

Reduktionsfiske kan ha stor påverkan på näringsdynamiken i sjöar och är en sedan länge använd metod. Hjerne & Hansson (2002) beräknade att det kommersiella fisket i Östersjön bidrog till att minska kvävemängden med 15 000 ton och fosfor med 3000 ton per år, vilket motsvarar 1,4% och 7,2% av den totala tillförseln av kväve respektive fosfor i Östersjön. Detta är dock en bieffekt av fiskeindustrin som i sig har stora ekologiska och miljömässiga konsekvenser och är en av orsakerna till övergödningens problematiken i Östersjön genom att uttag av rovfisk påverkar näringsvävarna så att tillväxten av växtplankton ökar. Reduktionsfiske på mindre skala såsom i sjöar och i begränsade områden i Östersjön har visat sig vara kostnadseffektiva åtgärder, bl.a. pågår ett projekt riktat mot Karpfisk i Finland där ett års fångst motsvarade 1400 kg fosfor och i två näringsrika sjöar i Östhammars kommun beräknades reduktionsfisket motsvara ca. 9% av den totala tillförseln av näring (Sandström 2011). Ett av problemen med reduktionsfiske är att det oftast har en effekt på kort sikt pga. fiskens kompensatoriska fekunditet (där fisken kompenserar för minskade populationer med en högre reproduktion). Detta kan hanteras genom ett kontinuerligt fiske (2 – 3 års intervall) eller att stärka upp populationerna och skapa gynnsammare förutsättningar för rovfiskar (Blom, pers. kom).

Manipulering av sediment

Muddring

Ett flertal muddringsprojekt har genomförts och är ett effektivt sätt att ta upp näringsrikt sediment från sjöar och hav men i nuläget anses utvinning av fosfor från Östersjösediment inte lämplig (Naturvårdsverket 2013). Ett stort problem är olika miljögifter som finns

lagrade i sedimentet, vilka både kan frisättas till vattenmassan under muddringen och skapa problem för användningen av sedimentet. Det andra stora miljöproblemet är att det inte bara gör åverkan på den mjukbotten som muddringen berör utan gör stor inverkan på omkringliggande habitat genom sedimentplymer, vilket kan sprida sig över stora arealer. Muddring kan dock vara en metod som går att applicera i mindre skyddade områden där risken för spridning av sedimentplymer och miljögifter är begränsat.

Aluminium- och järnfällning

Tillsättning av aluminium- eller järn till bottensediment har en positiv effekt på fosforbindningen och har testats i flera sjöar och i mindre vikar i Östersjön med goda resultat. De miljömässiga effekterna verkar också vara ringa (Lilliesköld Sjöo & Mörk 2011). Dock är denna metod inte en åtgärd för återföring av näring och behandlas därför inte vidare i denna rapport.

Näringsallokering

Denna innovativa metod är ett intressant exempel på cirkulär ekonomi där behov och efterfrågan av näringsrika restprodukter länkas samman mellan olika typer av industrier (NutriTrade 2018b). I exempelvis biogasproduktion bildas näringsrikt avfallsvatten som en biprodukt, vilket idag inte används. Denna biprodukt skulle kunna användas i till exempel pappersmassaindustrin för att bryta ner det organiska material som blir kvar som en restprodukt. NutriTrade (2018c) har inom pilotprojektet "nutrient exchange" kartlagt potentiella leverantörer och konsumenter av näringsrika restprodukter men idag finns det inget etablerat system för detta och det saknas underlag för att kunna bedöma denna metod.

3.2. Marina vattenbruk – omfattning och produktion

Enligt Länsstyrelsens vattenbruksplan för Västra Götaland (2014) utgörs ca 50 % av kusten av områden som bör anses lämpliga för etablering av vattenbruk. Beräkningen är baserad på en analys av kartmaterial som dels visar på biogeografiska begränsningar och dels på konkurrerande intressen. Total yta är ca 285 000 ha om dispens från strandskyddet kan ges, annars är ytan ca 240 000 ha (42 % av kustområdet). Av den totala ytan har 15,2 % klassas som områden med högst tillväxt, vilket motsvara en yta på ca. 86 640 ha (Bergström 2014). På liknande sätt har en teoretisk areal för algodling på västkusten beräknats till närmare 30 000 ha (Thomas et al., 2018). Dessa ska dock inte ses som en siffra för potentiell odling, vilket skulle vara socioekonomiskt och ekologisk orimligt utan beskriver ytan som är mest lämplig för etablering av odlingar. För närvarande i Norra Bohuslän (från Strömstad till Lysekil kommun) finns det föreslagna

tillstånd på 200 ha för etablering av vattenbruk (Vattenbruk på Västkusten 2015). Den totala produktionen från vattenbruk hade ett värde på 520 miljoner kronor 2017 och antalet anställda var 364 (varav 17% kvinnor) (Vattenbruk 2017).

Den allmänna åsikten om marin akvakultur på västkusten är generellt positiv och de som har mer kunskap om ämnet tenderar också att vara mer positiva än andra, vilket tyder på att arbete för ökad medvetenheten om marina vattenbruk skulle leda till än större acceptans (Thomas et al. 2018).

3.3. Prioriterade åtgärdsmetoder

I detta avsnitt beskrivs i mer detalj de fem metoder för näringsupptag och återförsel som bedöms ha störst potential i den närmaste framtiden, också beaktat eventuella negativa effekter. Dock är detta inte en uteslutande lista utan andra metoder kan också vara möjliga.

Musselodling

Blåmusslan är av marint ursprung men klarar att leva i salthalter ner till 4,5 psu (Maar et al. 2015) och blåmusslan återfinns längst den svenska kusten upp till Västerbottens län. Idag bedrivs kommersiell musselodling på västkusten med en total skörd på 1687 ton (våtvikt) per år (baserat på beräkningar från Hedberg et al. 2018; tabell. 2), vilket motsvarar ett kväveupptag på 24 ton och ett fosforupptag på 1 ton (tabell 1). I Östersjön pågår flera pilotprojekt och den totala årliga skörden är 38 ton (våtvikt) per år (baserat på beräkningar från Hedberg et al. 2018). Detta resulterar i ett kväveupptag på 0,32 ton och ett fosforupptag på 0,023 ton (tabell 1 och 2). Den nuvarande årliga produktionen i Östersjön är ca. 2 ton per ha, vilket motsvarar 0,003% i kväveupptag och 0,004% fosforupptag av Sveriges mål för Baltic Sea Action Plan. Detta kan jämföras med produktionen på Västkusten som idag är ca. 109 ton per ha och år. Det potentiella näringsupptaget för de två havsområdena skiljer sig därför väldigt mycket och trots att Egentliga Östersjön har en större potentiell yta att odla på så skulle kväveupptaget vara ca. 2 – 7% av det i Kattegatt och Skagerrak och för fosfor är motsvarande siffra 4 – 8% (tabell 3) då näringshalten (tabell 1) och den årliga produktionen är lägre.

Miljöeffekter

Musselodlingar har en lägre miljömässig påverkan än flera andra typer av matproduktion, såsom fiskodlingar och djuruppfödning på land (Jonell et al. 2013; Aubin et al. 2017). Dock kan musselodlingar ha stor påverkan på närmiljön, i synnerhet om det är en högintensiv odling som bedrivs (Hedberg et al. 2018). Musslor filtrerar plankton och organiskt material från vattnet, och som restprodukt släpper musslorna ifrån sig organiskt material

som beroende på de hydrodynamiska förutsättningarna transporteras bort eller sedimenterar på botten nedanför odlingarna (Stadmark och Conely 2011). Detta kan leda till en högre sedimentation och minskade syrehalter i sedimentet som till och med kan bli syrefritt (Stadmark och Conely 2011). Mellan 30 och 50% av det musslorna tar upp i form av organiskt material kan släppas ut som restprodukter (Hedberg et al. 2018; Hedberg, pers. kom.). Högre halter organiskt material i sedimentet kan även öka frisättningen av kväve från botten (Carlsson et al. 2012). Det är därför viktigt att planera placeringen av odlingarna med hänsyn till lokala förutsättningar, såsom strömmar, bottentyp och batymetri (Hedberg et al. 2018).

En annan effekt av musselodlingar är den på planktonsamhällena då de filtrerar vattenmassan. En högintensiv musselodling kan leda till minskningar i populationerna och förändringar i planktonsamhällenas sammansättning. Nya arter kan tillkomma och konkurrera ut andra filtrerande organismer och leda till nya artsammansättningar (Petersen et al. 2008; Guyondet et al. 2015).

Klimatnytta

Det finns många aspekter att väga in för att beräkna klimatnyttan av musselodling. I och med en ökad sedimentation och lägre syrehalter i sedimentet under odlingarna så kan det öka mängden kol (då nedbrytningen av organiskt material är lägre i syrefria miljöer; Benner et al. 1984) men det kan enbart räknas som kolsänka om det organiska materialet förblir i sedimentet under en längre tid (åtminstone årtionden). Källor till koldioxid från musselodlingar är bl.a. musslornas respiration och uppbyggnad av dess kalkskal, eftersom det kemiska bildandet av kalciumkarbonat frisätter koldioxid. Om man samtidigt använder musslorna i biogasproduktion och det i sin tur skulle minska användandet av fossila bränslen så kan det kompensera för lokala utsläpp av koldioxid men huvudsakligen så används idag musslorna för humankonsumtion.

Samhällsekonomiska aspekter

Kostnaden för kväveupptag genom musselodling ligger på mellan ca. 100 och 635 kr per kg och för fosforupptag mellan ca. 150 och 900 kr per kg. Billigast är det i Kattegatt och dyrast i Egentliga Östersjön. Kostnaden är beräknad exklusive eventuella intäkter från användning av biomassan. Om man räknar in intäkterna från biomassan minskar den samhällsekonomiska kostnaden (Gren et al. 2009). Vattenbruk är en växande sektor (Vattenbruk 2017) och en utökad musselodlingsverksamhet skulle bidra till en ännu större tillväxt och skapa arbetstillfällen i kustsamhällena, i synnerhet på Västkusten.

Tabell 2. Beräknad och förväntad skörd samt kväve (N)– och fosfor– (P) upptag för musselodling i Sverige. Vv=våtvikt.

Havsområde	Odling	Tid till skörd (månader)	Total skörd (ton vv)	Total skörd/år (ton vv)	totalt N upptag/år (ton)	totalt P upptag/år (ton)	Förväntad skörd/år (ton vv)*	Förväntad N upptag/år (ton)	Förväntad P upptag/år (ton)	Referenser
Östersjön	Kumlinge	30	14,4	5,8	0,04	0,003	9	0,07	0,01	Hedberg et al., 2018 och referenser i rapporten
	Hållsviken	17	6	4,2	0,03	0,003	140	1,05	0,08	Lindahl, 2012: Hedberg et al., 2018 och referenser i rapporten
	St Anna	23	15	7,8	0,06	4,696	18	0,14	0,01	Hedberg et al., 2018 och referenser i rapporten
	Byxelkrok	24	5	2,5	0,02	0,002	25	0,19	0,02	Hedberg et al., 2018 och referenser i rapporten; Minnhagen, pers. kom.
	Hagby	24	25	12,5	0,09	0,008	175-315	1.31-2.36	0.101-0.19	Hedberg et al., 2018 och referenser i rapporten
	Malmö	21	9	5,1	0,04	0,003	90-480	0.68-3.60	0.05-0.29	Hedberg et al., 2018 och referenser i rapporten
Östersjön totalt		23	74,4	38,0	0,28	0,023	457-987	3.43-7.40	0.27-0.59	
Västerhavet	Tjörn	12	200	200,0	2,90	0,120				Hedberg et al., 2018 och referenser i rapporten
	Tjärnö	22	160	87,3	1,27	0,052				Hedberg et al., 2018 och referenser i rapporten
	Mollösund	15	1750	1400,0	20,30	0,840				Hedberg et al., 2018 och referenser i rapporten
Västerhavet totalt		17	2110,0	1687,3	24,47	1,012				

*Den förväntade skörden är det produktionsmål som finns för odlingarna i Östersjöområdet. Förväntad näringsupptag är beräknat på den förväntade skörden.

Sjöpungsodling

Tarmsjöpungen (*Ciona intestinalis*) är en marin art som kan överleva i salthalter ner till 11 psu och kan således i Sverige växa längs med västkusten ner till Skåne (Kullaberget) (Odhner et al. 2013). Försök på att odla sjöpung i lägre salthalter har visat sig ge en ca. 50% lägre produktion och är inte kommersiellt hållbart (Norén & Stenberg 2018). Sjöpungen har liknande miljökrav som blåmusslor, och vi har därför här antagit att områden som pekats ut som lämpliga för blåmusselodling också lämpar sig för odling av sjöpung (tabell 3). Dock kan sjöpongar som skall används för biogasproduktion odlas på områden som av olika skäl är olämpliga för matproduktion (Vattenbruk på västkusten 2015). Marin Biogas som bedriver sjöpungsodling idag har satt som mål att komma igång med kommersiell produktion under 2019 och har en framtida målsättning att bedriva odling på 1000 ha i Skagerrak (Norén pers. kom.). Uppmätt produktion är idag 300 ton/rigg och totalt 3 riggar kan placeras i 1 ha (Norén pers. kom.). Detta resulterar i en högre biomassaproduktion än exempelvis musselodling, vilket ger ett något högre kväveupptag (dock inte i proportion till biomassan) men ett lägre fosforupptag (tabell 3).

En fördel med sjöpungsodling är att de enbart behöver ca. 4 månader för tillväxt innan skörd jämfört med musselodling som tar ca. 17 månader till skörd på västkusten (tabell 2), vilket potentiellt skulle kunna innebära två skördar av sjöpung per år. I naturligt tillstånd släpper sjöpongar på västkusten sina larver i maj och en gång till i augusti och det som reglerar larvfrisättningen är temperaturen i vattnet (vilket måste överstiga ~9°C). (Odhner et al. 2013; Norén pers. kom.). En annan fördel är att sjöpongar kan odlas djupare än blåmusslor, vilket ökar effektiviteten per ytenhet. Marin Biogas jobbar nu med att fördubbla djupet på sin odling (Norén pers. kom.).

Miljöeffekter

På likande sätt som musselodling kan sjöpungsodlingar leda till ökad sedimentation och påverkan på planktonsamhällena (se miljöeffekter för musselodling). Norén et al. (2013) genomförde en miljöundersökning på de befintliga odlingarna som finns på västkusten och där botten direkt i anslutning till och ett tiotal meter runtom odlingarna påverkades negativt och att det skedde en viss återhämtning av de bentiska samhällena 6 månader efter att de avslutats. Ett annat problem med sjöpungsodlingar är att de kan konkurrera med musslorna genom att sjöponglarver etablerar sig innan mussellarverna gör det i musselodlingarna. För att undvika detta rekommenderas det att sjöpungsodlingar inte etableras närmare än 1 till 2 km från musselodlingar (i vissa fall kan det vara befogat med 5 km avstånd) (Norén et al. 2013). Dock kan detaljerade studier av strömmar och andra förhållanden behövas för att fastställa tillräckliga säkerhetsavstånd.

Klimatnytta

Odling av sjöpung har likande effekt på botten som en musselodling med ökad sedimentation, högre organisk halt och lägre syrehalt i sedimentet (se klimatnytta för musselodling). Precis som för musselodling kan inte sjöpungsodling ses som en kolsänka utan snarare som en källa då omsättningshastigheten på biomassan är hög och frisättning av koldioxid genom organismernas respiration.

Samhällsekonomiska aspekter

Kostnaden för sjöpunngars näringsupptag är ca 100 kr per kg kväve (Havs- och vattenmyndigheten 2017), vilket är i nivå med kostnaden för musslor i samma område (Gren et al. 2009). Motsvarande siffra för fosfor är inte känd. Undersökningar om sjöpunngsbiomassans potential för framställning av biogas visar att det går att röta men att det inte är av kommersiellt intresse då andra substrat har en högre effektivitet (Norén & Stenberg 2018). Den framtida kommersiella odlingen av sjöpunng ska istället inrikta sig på framställning av foder och en sjöpunngsfond (för humankonsumtion) (Norén, pers. kom.). Etablering av en sjöpunngsodling skulle kunna innebära både arbetstillfällen inom verksamheten men även för transport och processering av råvaran.

Tabell 3. Potentiell kväve (N)- och fosfor- (P) upptag (ton våtvikt) för fyra av de huvudsakliga metoderna. Insamling av alger från botten är ej inkluderat då underlag för att kvantifiera potentialen saknas. Vv=våtvikt.

Havsområde	Musslor			Sjöpunng		Algodling	Alger på stränder*
	Egentliga Östersjön	Kattegatt och Bälthavet	Norra Bohuslän	Kattegatt	Norra Bohuslän	Norra Bohuslän	Egentliga Östersjön
Potentiell area (ha)	800	400	200	200	200	200	-
Potentiell skörd/år (ton vv)	1711	43655	21828	180000	180000	5000	166458
Potentiellt N upptag/år (ton)	13	633	317	450	450	18	566
Potentiellt P upptag/år (ton)	1	26	13	4	4	3	50
Andel av totalt utsläpp (N) ¹	0,13	1,63	0,82	1,16	1,16	0,05	1,90
Andel av totalt utsläpp (P)	0,1	2,1	1,1	0,3	0,3	0,2	5,9
Andel av Sveriges mål (N) ²	0,1	6,9		4,9			6,1
Andel av Sveriges mål (P)	0,2	4,9		0,7			9,4
Referenser för areauppskattning	Gren et al. 2009	Gren et al. 2009	Vattenbruk på västkusten 2015	Gren et al. 2009	Vattenbruk på västkusten 2015	Vattenbruk på västkusten 2015	Tatarchenko 2011; Bucholc et al. 2014

* Vilket motsvarar ca. 20% av det totala organiska material som blåser upp på stränderna

¹ Andel (i %) näringsupptag av det totala nettoutsläppet för respektive havsbassäng

² Andel (i %) av Sveriges mål enligt Baltic Sea Action Plan (för metoder i Östersjön)

Algodling

Den art som främst odlas idag inom forsknings- och pilotprojekt är en marin brunalg, *Saccharina latissima*, och som på svenska har flera namn, skräppe-tare, bladtång och sockertång. Algen lever i tempererade marina miljöer och i Sverige återfinns den således enbart längst västkusten ner till Skånes södra spets. Det finns idag inga algodlingsförsök

i Östersjön (Gröndahl, pers. kom.). I det pilotförsök som pågår på Västkusten (Tjärnö) odlas för närvarande en yta på 2 ha med en produktion på 22,5–27,5 ton (våtvikt)/ha (Perchsiri et al. 2016; Hasselström et al. 2018). Den potentiella odlingsarealen antas vara densamma som för musslor- och sjöpunng (tabell 3). Enbart potentiell odlingsyta för Skagerrak är med i beräkningen då Kattegatt inte anses vara lämplig för algodling (se sektion 2.2 för mer detaljer). Det potentiella kväve- och fosforupptaget är lägre för algodlingar i jämförelse med mussel- och sjöpunngsodlingar, vilket i huvudsak beror på en lägre mängd producerad biomassa (tabell 3). En högre produktion kan antas i ett senare skede då algodling fortfarande är på ett experiment- och forskningsstadium.

Miljöeffekter

Hasselström et al. (2018) redovisar effekter på ekosystemtjänster från algodling och konstaterar att det inte finns tecken på några stora negativa effekter, varken i litteratur eller från de ekologiska undersökningar som genomförts i pilotodlingarna, förutom möjligtvis konkurrens om plats. Möjliga positiva effekter kan, vid sidan av upptag av näringsämnen, vara att de genererar habitat för fisk och bottenlevande organismer. Det kan dock inte uteslutas att algodling har negativa effekter på miljön som ännu inte upptäckts.

Klimatnytta

På liknande sätt som sjöpunngsodling kan inte algodling ses som en kolsänka, då kolet i biomassan lagras under för kort tid för att ha betydelse för koldioxidhalten i atmosfären. Att producera biogas av algbiomassan kan möjligtvis ses som en klimatåtgärd, om syftet är att byta ut användningen av fossila bränslen till biogas.

Samhällsekonomiska aspekter

Kostnaderna för algodling har ännu inte bedömts fullständigt och därför är det svårt att bedöma kostnadseffektiviteten i denna åtgärd. Möjligheten till avsättning för biomassan antas vara avgörande för om åtgärden är kostnadseffektiv eller inte. Algodlingar kan skapa arbetstillfällen i den löpande verksamheten och algråvaran kan användas till att framställa en rad produkter, såsom plast, gummi och textilier (Seafarm 2013), vilket kan gynna andra verksamheter

Insamling av alger från botten

Insamling av alger lämpar sig väl för Östersjön, där odling av de fångstgrödor som används idag inte är möjlig eller lika effektiv. I Östersjön har även produktionen av filamentösa alger ökat pga. högre näringsbelastning, och genom att samla in delar av biomassan skulle man också kunna gynna habitatbyggande arter såsom blåstång (*F. vesiculosus*) och leda till högre rekreativvärden i strandzonen med mer attraktiva stränder. Insamling av alger är de enda metoderna i rapporten som inte är artspecifika och där den geografiska omfattningen är kopplad till områden med stora mängder alger.

Huvudsakligen bör insamling av alger på botten fokusera på Östergötland, Öland, Gotland och Blekinge där stora ytor av grunda hårdbottnar förekommer (Malm & Isaeus 2005; Carlström et al. 2010; Florén et al. 2012) som domineras av fintrådiga alger medan exempelvis Stockholms, Södermanlands och Västerbottens län är mindre lämpade då botten är brantare och ackumuleringen av alger sker djupare. Områden med återkommande stora mängder alger kommer sannolikt vara lokala då strömmar och botten beskaffenhet är av stor betydelse för transporten av biomassan där stora ansamlingar kan tänkas ske i miljöer med låg hydrodynamisk aktivitet. Det finns lite information om algbiomassa och produktion för Östersjön. Kautsky & Kautsky (1995) beräknade den totala nettoproduktionen av filamentösa alger i Egentliga Östersjön till 809 896 ton (torrvikt) och med en stående biomassa på 94 267 ton (torrvikt). Dock är det oklart hur mycket av detta som går att skörda och återföra, vilket begränsas av en rad faktorer såsom botten substrat, insamlingsmetod och tillgänglighet. Det skulle gå att göra en väsentligt bättre kvantifiering av den potentiellt skördbara biomassan trådalger utifrån de senaste årens inventeringsdata och moderna statistiska karteringsmetoder, men det ryms inte inom detta uppdrag. Vi rekommenderar dock att detta görs eftersom återföring av alger mycket väl kan vara den metod som har störst potential för näringsåterföring från Egentliga Östersjön.

Miljöeffekter

Insamling av alger från bottnar kan ha en positiv effekt på miljön då den ökande mängden filamentösa alger är ett resultat av förhöjd näringsbelastning i Östersjön. Filamentösa snabbväxande alger kan lätt etablera sig i blåstångsbälten och sjögräsängar och konkurrera ut dessa, vilket påverkar hela födoväven runt dessa viktiga habitat.

Klimatnytta

Vid nedbrytning av alger i havet skulle koldioxid frisättas till atmosfären. Om denna biomassa skulle rötas och användas som biogas (med mål att minska användningen av fossila bränslen) skulle detta kunna ses som en klimatåtgärd.

Samhällsekonomiska aspekter

Då detta ännu är en helt klarlagd metod saknas underlag för kostnadseffektivitet. Rötning av alger ger ca. 200 NM³/kg VS, vilket motsvarar ungefär hälften av det gasutbyte som man får ut av organiskt material som vanligtvis rötas idag (ex. slakt- och matavfall). (Aldentun 2013). Om detta blir en metod som etablerar sig skulle det leda till arbetstillfällen då insamlingen kommer kräva en viss arbetsinsats.

Insamling av alger på stränder

De strandområden som är av intresse för insamling av alger bör vara långa sandstränder, vilket förekommer främst i Skåne och Halland, och på Öland och Gotland. Den totala sträckan sandstrand i Egentliga Östersjön är ungefär 500 km och per km sandstrand blåser uppskattningsvis ca. 1500 ton (våtvikt) alger och växtbiomassa upp under en

säsong (4 månader) (Trelleborg 2011). Av den mängd alger och växtbiomassa som hamnar på stränderna kan uppskattningsvis ca. 20 % samlas in (Bucholc et al. 2014), vilket motsvarar 333 ton (våtvikt) per km. Förmodligen kan detta effektiviseras så mer alg- och annan biomassa kan samlas in. I jämförelse med musselodling, vilket är den enda övriga metoden för Egentliga Östersjön i denna undersökning, är näringsupptaget både vad gäller kväve och fosfor betydligt högre (tabell 3). Det finns flera begränsningar med denna metod varav en faktor är att kadmiumhalten för vissa arter är högre än den föreslagna gränsen för rötavfall i Sverige (Franzén et al. 2019). I synnerhet är det ålgräs (*Z. marina*) som innehåller höga halter kadmium och genom att undgå områden med stort inslag av ålgräs i den insamlade biomassan kan man undvika detta (Franzén et al. 2019). Ett annat problem är att insamlingen bör ske regelbundet då det sker en snabb nedbrytning av det organiska materialet, i synnerhet för de filamentösa algerna, vilket medför att näringshalten blir lägre.

Miljöeffekter

Vid insamling av alger från stränder påverkar man näringsdynamiken för stranden (vilket generellt är en näringsfattig miljö) och dessutom skapar de uppspolade algerna ett habitat för insekter och spindlar (Strandmark 2017).

Klimatnytta

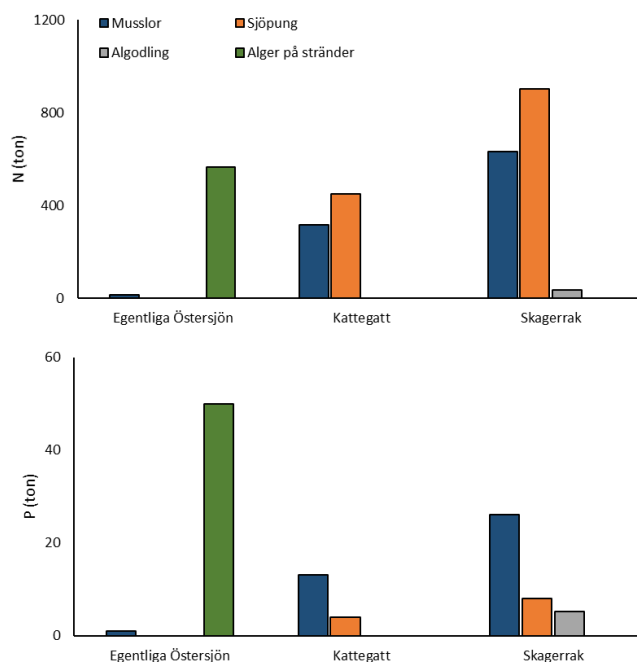
Precis som vid nedbrytning av alger i havet skulle nedbrytningsprocessen av alger på stränder leda till frisättning av växthusgaser, och att istället samla in delar av denna biomassa skulle motverka detta.

Samhällsekonomiska aspekter

Ett stort problem för turismnäringen och för rekreation i kommuner med stor andel sandstrand är mängden alger och sjögräs som spolas in på land. Det finns även ett generellt starkt intresse från lokalbefolkning till miljöåtgärder för att samla in alger och använda det till framställning av biogas och gödselmedel (Risén et al. 2017). Insamlingen av alger skulle även skapa arbetstillfällen i berörda kommuner.

4. SLUTSATS OCH UTVECKLINGSBEHOV FÖR METODERNA

Sammantaget så verkar musselodling ha den största potentialen för fosforupptag på Västkusten medan sjöpongsodling är mer effektiv på att ta upp kväve och insamling av alger på stränder har en hög kapacitet att ta upp näring ifrån Egentliga Östersjön (figur 1). Av de fem huvudsakliga metoderna är enbart insamling av alger från stränder den åtgärd som har en potential för att ta upp näring ifrån Egentliga Östersjön, då musselodling där har en försumbar potential, och det är samtidigt Östersjön som har störst problem med övergödning. Denna metod kan i synnerhet ha en stor effekt på fosforhalterna, vilket är det näringsämne som är starkt kopplat till cyanobakterieblomningar i Östersjön, och i jämförelse med Sveriges mål för Baltic Sea Action Plan skulle insamling av alger från stränder motsvara ungefär 6% av målet för kväve och nästan 10% för fosfor (tabell 3). Dock kan påpekas att flera metoder för Egentliga Östersjön behöver undersökas (ex. insamling av filamentösa alger från botten) för att effektivt ta upp näring och att det förmodligen inte finns en universell lösning utan flera småskaliga åtgärder som tillsammans kan ha stor effekt. Denna rapport är begränsad till att undersöka de generella och storskaliga metoderna som testats eller är etablerade och dessa åtgärder bör ses som ett komplement till landbaserade åtgärder. En annan begränsning är att den ekonomisk lönsamheten är inte med i våra beräkningar, vilket bör undersökas i ett senare skede.



Figur 1. Potentiellt kväve- och fosforupptag per havsbassäng för fyra av de huvudsakliga metoderna. Insamling av alger från botten är inte inkluderat då underlag för att kvantifiera potentialen saknas.

Av de beskrivna huvudmetoderna är idag enbart musselodling på Västkusten en etablerad verksamhet medan sjöpungsodling är i uppstartsfasen för kommersiell produktion. För att etablera sjöpungsodling krävs en produktutveckling samt en ökad produktion (Norén pers. kom.) och för detta krävs tillstånd för anläggning av odlingar samt för att sälja sjöpungar för humankonsumtion. Det krävs även investeringar och uppbyggnad av logistik för att skörda och transportera stora mängder biomassa. Odlingar av musslor i Östersjön och algodlingar är fortfarande på ett pilotprojekt- och forskningsstadium. Produktion av musslor i Östersjön bör rimligen vara möjligt först om flera år och samtidigt behöver produktionen stiga från de i nuläget ca. 2 ton per ha och år för att vara en kostnadseffektiv åtgärd. Insamling av alger på stränder pågår i flera kommuner för att rensa stränderna och rötning av biomassan till biogas har prövats men vi har ingen kännedom om i dagsläget pågående försök. Det är dock en metod som har hög potential för näringsupptag och för etablering behövs det bättre metoder att rena biomassan från kadmium eller undvika arter med höga halter (såsom ålgräs). Om kadmiumhalten minskar skulle biomassan, om den döms ut som biogas för dess lägre gasutbyte, även användas som gödselmedel, vilket skulle öka användningsområdena för denna marina produkt. Den enda helt obeprövade metod i denna rapport är insamling av fastsittande eller fria alger på botten men med tanke på den stora mängd filamentösa alger i Östersjön så finns här stora möjligheter att ta upp näringsämnen och samtidigt förbättra havsmiljön. Ett första steg för att testa denna metod vore att kartera lämpliga pilotområden där stora volymer algbiomassa återfinns samt att prova ut insamlingsmetoder för upptag. Vi vill också lyfta att de ekonomiska incitamenten för näringsåterföring idag är svaga, om inte biomassan i sig kan säljas till ett vettigt pris. Enligt ett uttalande från Mattias Müller, tidigare miljöstrateg på Trelleborgs kommun, är det oerhört kostnadseffektivt att samla upp alger från stränder jämfört med att anlägga avloppsreningsverk eller våtmarker. Det kan alltså vara rimligt att försöka hitta en finansieringslösning för näringsåterföring om detta konstaterande visar sig generellt riktigt efter en vidare genomlysning.

REFERENSER

Aldentun, Y. 2013. Biogas – nya substrat från havet. Projektsammanfattning. Rapport. Kalmar kommun.

Aubin, J., Fontaine, C., Callier, M., Roque d'orbcastel, E. 2017. Blue mussel (*Mytilus edulis*) bouchot culture in Mont-St Michel Bay: potential mitigation effects on climate change and eutrophication. The International Journal of Life Cycle Assessment: 1 – 12.

Bergström, K. 2012. Impact of using macroalgae from the Baltic Sea in biogas production: a review with special emphasis on heavy metals. Degree project in Biology. Linneaus university, nr 2012:Bi4.

Baden, S., Gullström, M., Lundén, B., Phil, L., Rosenberg, R. 2003. Vanishing seagrass (*Zostera marina* L.) in Swedish cold waters. AMBIO 32: 374 – 377.

Benner, R., Maccubbin, A.E., Hodson, R.E. 1984. Anaerobic biodegradation of the lignin and polysaccharide components of lignocellulose and synthetic lignin by sediment flora. Applied and Environmental Microbiology 47: 998 – 1004.

Bergström, P. 2014. Blue oceans with blue mussels - management and planning of mussel farming in coastal ecosystems. Doktorsavhandling. Göteborgs universitet.

Bucholc, K., Szymczak-Żyła, M., Lubecki, L., Zamojska, A., Hapter, P., Tjernström, E., & Kowalewska, G. 2014. Nutrient content in macrophyta collected from southern Baltic Sea beaches in relation to eutrophication and biogas production. Science of the Total Environment 473: 298 – 307.

Carlsson, M., Engström, P., Lindahl, O., Ljungqvist, L., Petersen, J.K., Svanberg, L., and Holmer, M. (2012). Effects of mussel farms on the benthic nitrogen cycle on the Swedish west coast. Aquaculture Environment Interactions 2, 177–191

Carlström, J., Florén, K., Isaeus, M., Nikolopoulos, A., Carlén, I., Hallberg, O., Gezelius, L., Siljeholm, E., Edlund, J., Notini, S., Hammersland, J., Lindblad, C., Wiberg, P., Årnfelt, E. 2010. Modellering av Östergötlands marina habitat och naturvärden. Länsstyrelsen Östergötland, Rapport 2010:9.

Davidsson, Å., Ulfsson-Turesson, E., Karlsson, M. 2008. Tång och alger som en naturresurs och förnyelsebar energikälla, steg 2. Rapport av Detox AB för Trelleborg kommun.

Diaz, R.J., Rosenberg, R. 2008. Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. Science 321: 926 – 929

Ekholm, P., Valkama, P., Jaakkola, E., Kiirikki, M., Lahti, K., Pietola, L. 2012. Gypsym amendment of soils to reduce phosphorous losses in an agricultural catchment. Agricultural and Food Science, 21: 279 – 291.

Engkvist, R., Malm, T., Svensson, A., Asplund, L., Isaeus, M., Kautsky, L., Greger, L., Landberg, T. 2001. Makroalgodling längs Ölands kust – effekter på det lokala arbetslivet och det marina ekosystemet. Kalmar högskola, Rapport 2001:2.

Florén, K., Nikolopoulos, A., Fyht, F., Nygård, L., Hammarsland, J., Lindblad, C., Wiberg, P., Näslund, J., Isaeus, M. 2012. Modellering av Västernorrlands marina habitat och naturvärden. Länsstyrelsen Västernorrland, Rapport 2012:03.

Guyondet, T., Comeau, L.A., Bacher, C., Grant, J., Rosland, R., Sonier, R., Filgueira, R. 2015. Climate change influences carrying capacity in a coastal embayment dedicated to shellfish aquaculture. *Estuaries and coasts*, 38: 1593 – 1618.

Hasselström, L., Visch, W., Gröndahl, F., Nylund, G.M., Pavia, H. 2018. The impact of seaweed cultivation on ecosystem services – a case study from the west coast of Sweden. *Marine Pollution Bulletin* 133: 53 – 64.

Havs- och vattenmyndigheten 2017. Hav & Vatten 2:2017 sid 12-19.

Hedberg, N., Kautsky, K., Kumblad, L., Wikström, S. A. 2018. Limitations of using Blue mussel farms as nutrient reduction measure in the Baltic Sea. Baltic Sea Centre, Stockholm University, Rapport 2018:02.

HELCOM. 2013. Summary report on the development of revised Maximum Allowable Inputs (MAI) and updated Country Allocated Reduction Targets (CART) of the Baltic Sea Action Plan. Rapport Ministerial meeting Copenhagen 3 October 2013.

Isaksson. 2012. Algskörd för produktion av biogas - försök i Kalmar län. Kalmar kommun, Utvecklingsenheten.

Jonell, M., Phillips, M., Rönnbäck, P., Troell, M. 2013. Eco-certification of farmed seafood: will it make a difference?. *AMBIO* 42: 659674.

Kautsky, U., Kautsky, H. 1995. Coastal production in the Baltic Sea. I: Eleftheuriou, A et al. (red.), *The biology and ecology of shallow coastal waters*. Olsen & Olsen, Danmark. 31 – 38.

Kautsky, N., Kautsky, L. 1997. The Baltic Sea, including Bothnian Sea and Bothnian Bay. I: Sheppard, C.R.C. (red.) *Seas at the millennium: an environmental evaluation* 41, 1 – 14.

Lilliesköld Sjöo, G., Mörk, E. 2011. Fosforfällning för en förbättrad skärgårdsmiljö – ett mesokomsförsök. *BalticSea2020*, Rapport.

Loo, L-O., Petersen, J.K. 2012. Bilaga 2 till Ekologiska effekter av ascidieodling. Rapport, Lyesekils kommun.

Ljung & Grandin 2013. Biogas i Trelleborg – En inventering på kommunnivå samt underlag för lokal kommunal handlingsplan. Trelleborg kommun, Samhällsbyggnadsförvaltningen, Avd. Hållbar utveckling.

Malm, T., Isaeus, M. 2005. Distribution of macroalgal communities in the central Baltic Sea. *Ann. Bot. Fennici*, 42: 257 – 266.

Maar, M., Saurel, C., Landes, A., Dolmer, P., & Petersen, J. K. 2015. Growth potential of blue mussels (*M. edulis*) exposed to different salinities evaluated by a Dynamic Energy Budget model. *Journal of Marine Systems*, 148, 48 – 55.

Naturvårdsverket. 2006. Sammanställning och analys av kustnära undervattensmiljö. Rapport 5591.

Naturvårdsverket. 2013. Hållbar återföring av fosfor – Naturvårdsverkets redovisning av ett uppdrag från regeringen. Rapport 6580.

Norén, F., Norén, K., Magnusson, K. 2013. Slutrapport Ekologiska effekter av ascidieodling. Lysekil kommun, Rapport.

Norén, F., Stenberg, O. 2018. Demonstration project – Marin Biogas. Rapport, Energimyndigheten.

Odhner, P.B., Thelin, H., Norén, F., Stenberg, O. 2013. Marin Biogas – odling av ascidier för biogasproduktion. Rapport, Region Skåne.

Perchsiri, J.S., J-B.E., Thomas, Risén, E., Ribeiro, M.S., Malmström, M.E., Nylund, G.M., Jansson, A., Welander, U., Pavia, H., Gröndahl, F. 2016. Energy performance and greenhouse gas emission of kelp cultivation for biogas and fertilizer recovery in Sweden. *Science of the Total Environment* 573: 347 – 355.

Petersen, J. K., Nielsen, T.G., van Duren, L., Maar, M. 2008. Depletion of plankton in a raft culture of *Mytilus galloprovincialis* in Ría de Vigo, NW Spain. I. Phytoplankton. *Aquatic Biology* 4: 113-125.

Petersen, J.K., Hasler, B., Timmermann, K., Nielsen, P., Brunnsjø Tørring, D., Mørk Larsen, M., Holmer, M. 2014. Mussels as a tool for mitigation of nutrients in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin* 82: 137 – 143.

Risén, E. 2014a. Sustainability aspects of bioenergy and nutrient recovery from marine biomass. Doktorsavhandling. KTH.

Risén, E., Tatarchenko, O., Gröndahl, F. 2014b. Harvesting of drifting filamentous macroalgae in the Baltic Sea: an energy assessment. *Journal of Renewable and Sustainable Energy* 6: 013116

Risén, E., Nordström, J., Malmström, M. E., Gröndahl, F. 2017. Non-market values of algae beach-cast mangagment – Study site Trelleborg, Sweden. *Ocean & Management* 140: 59 – 67

Sandström, O. 2011. Reduktionsfiske som metod för att minska övergödningen i Östhammarsfjärdarna. Upplandstiftelsen, Rapport.

Stadmark, J., Conley, D.J. 2011. Mussel farming as a nutrient reduction measure in the Baltic Sea: consideration of nutrient biogeochemical cycles. Marine Pollution Bulletin 62: 1385 – 1388.

Strandmark, A. 2017. Baltic shore-lands facing climate change. Doktorsavhandling. Stockholms universitet.

SWECO. 2014. Förhandsutvärdering av landsbygdsprogrammet 2014-2020, Nordregio, Hushållningssällskapet. Rapport.

Seafarm 2013. Makroalger – på väg mot ett biobaserat samhälle. KTH, Chalmers, Göteborgs universitet och Linneuniversitetet. Produktblad.

Thomas, J-B.E., Nordström, J., Risén, E., Malmström, M.E., Gröndahl, F. 2018. The perception of aquaculture on the Swedish west coast. AMBIO 47: 398 – 409.

Thomas, J-B.E. 2018. Insights on the sustainability of a Swedish seaweed industry. Doktorsavhandling. KTH.

Ulén, B., Larsbo, M., Koestel, J., Blomberg, M. 2017. Åtgärder mot fosforläckage från dränerade lerjordar. SLU. Rapport.

Vattenbruk 2017. Jordbruksverket och Statistiska centralbyrån. Rapport.

Personlig kommunikation

Blom, J. Länsfiskerikonsulent. Intervjuad: 2018-12-13.

Norén, F. Delägare av Marin Biogas och sjöpungsodlare. Intervjuad: 2018-12-09 och 2019-01-08.

Norén, F. Delägare av Marin Biogas och sjöpungsodlare. Muntligt meddelande, 2012-09-27.

Gröndahl, F. Forskare på KTH och projektledare för Seafarm. Intervjuad: 2018-12-13.

Hedberg, N. Forskare på Östersjöcentrum och huvudförfattare på rapporten Limitations of using blue mussel farms as a nutrient reduction measure in the Baltic Sea. Intervjuad: 2018-12-03.

Reutgart, M. Delägare av Ecopelag och musselodlare. Intervjuad 2018-12-09.

Hemsidor

NutriTrade. 2018a. <https://nutritradebaltic.eu/wp-content/uploads/2018/05/NutriTrade-Policy-Brief-1-Gypsum-Amendment-and-Large-Scale-Use.pdf>. Hämtad: 2018-12-10

NutriTrade. 2018b. <https://nutritradebaltic.eu/pilots/pilot-nutrient-exchange/>. Hämtad: 2018-12-10

NutriTrade. 2018c. <https://nutritradebaltic.eu/wp-content/uploads/2018/08/Deliverable-T6.1-011217.pdf>. Hämtad: 2018-12-10

NutriTrade. 2018d. <https://nutritradebaltic.eu/let-the-cyprinid-fish-boom-continue/>. Hämtad: 2018-12-13

Submariner Network. 2018. <https://www.submariner-network.eu/projects/balticbluegrowth/about-baltic-blue-growth>. Hämtad: 2018-12-12



www.aquabiota.se

