

Makroalger som resurs

En sammanställning av näringsåtervinning,
vattenrening och möjligheter inom
livsmedelsindustrin

Joel Albinson, Victoria Anglefalk, Minna Isberg Stjerna, Hampus
Johnson, Stina Neuenschwander & Per Nordholm

Handledare: Britt-Marie Wilén

Examinator: Oskar Modin

Institution: Arkitektur & samhällsbyggnadsteknik
Program: TKBIO, TKGBS & TKSAM
Kurs: ACEX11
Grupp: 75
Inlämningsdatum: 2025-05-13



CHALMERS
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Förord

Som studenter på Chalmers Tekniska högskola och dess närhet till västkusten, väcktes vårt intresse för makroalger genom dess lokala närvaro och potential som hållbar resurs. Detta kandidatarbete har gett oss fördjupad kunskap om deras användningsområden, odlingspotential, vattenreningsförmåga och miljömässiga betydelse. Vi vill tacka vår handledare Britt-Marie Wilén och examinator Oskar Modin för stöd och vägledning under arbetets gång. Vi vill även tacka Nordic SeaFarm, Samuel Amant från KOASTAL, Ola Öberg på RecirkFisk PO, Dag Lorick på Ryaverket, Kristoffer Stedt och Moa Skagerlind och Göteborgs universitet för lärorika studiebesök.

Abstract

The aim of this paper is to provide an overview of macroalgae (sugar kelp and sea lettuce) growing along the Swedish west coast and to explore its potential applications as a protein source and a biofilter for wastewater treatment as well as an integrated part of a fish farm. The methods used include a comprehensive meta-analysis, study visits and interviews with experts in the field. Different case studies were conducted, with the primary aim of calculating the nitrogen and phosphorus uptake of sea lettuce to assess its potential for filtering wastewater from various sources. Although the aim was to conduct research on both sugar kelp and sea lettuce, the primary focus and case studies were centered around sea lettuce due to the limited existing research on sugar kelp. The results showed that the protein content of macroalgae could be increased when cultivated in wastewater with high concentrations of nitrogen and phosphorus. However, sugar kelp did not survive under such conditions. The elevated protein content may position macroalgae as a potential competitor to established protein sources such as fish. When combining wastewater treatment with macroalgae cultivation, results showed that the water could be effectively filtered. This approach could involve integrating macroalgae cultivation into the effluent stream of a wastewater treatment plant located in the harbor in Gothenburg. In conclusion, integrating macroalgae cultivation with wastewater treatment plants could enhance water filtration and improve the quality of the effluent released into the sea. This approach may contribute to mitigating the problem of eutrophication. Regarding its potential as a plant-based protein source, macroalgae cultivation shows great promise, particularly when integrated with the fish industry. However, the practical implementation in society and industry presents several challenges. Further research, as well as investments, is needed to enable large-scale adoption.

Innehåll

1	Inledning	5
1.1	Syfte	5
1.2	Problemformulering	6
1.3	Metod	7
1.4	Avgränsningar	7
1.5	Begränsningar	7
2	Analys	9
2.1	Västkusten och dess odlingsförmåner	9
2.2	Makroalger	11
2.2.1	Havssallat	11
2.2.2	Sockertång	13
2.2.3	Havsodling	14
2.2.3.1	Förkultivering och förökning	14
2.2.3.2	Nordic Seafarm	16
2.2.3.3	KOASTAL	17
2.2.4	Tungmetaller och jod	18
2.2.4.1	Tungmetallers och jods potentiella hälsoeffekter	18
2.2.4.2	Förädlingsprocesser för säker konsumtion av tång	19
2.2.5	Tankodling	21
2.2.6	Forskning, alternativ användning och framtida möjligheter	23
2.3	Avloppsvatten	23
2.3.1	Näringsämnen i avloppsvatten	23
2.4	Avloppsreningsverk	24
2.4.1	Mekanisk rening	24
2.4.2	Kemisk rening	25
2.4.3	Biologisk rening	25
2.5	Processvatten	26
2.6	Fiskodling	27
2.6.1	Öppna system	27
2.6.2	Halvslutna system	28
2.6.3	Slutna system	28
2.6.4	Fjällröding	29
2.6.4.1	Data för beräkningar	29
2.7	De globala hållbarhetsmålen	30

3	Fallstudier - beräkning, resultat och sammanställning	32
3.1	Beräkningsmetod	32
3.1.1	Fallstudie: Ryaverket	33
3.1.2	Fallstudie: Flerbostadshus och enskild villa	37
3.1.3	Fallstudie: Recirkulerande akvakultursystem med saltvatten och fjällröding	39
3.2	Proteinjämförelse mellan havssallat och fjällröding	40
4	Diskussion	42
4.1	Makroalger som livsmedel	42
4.2	Rening med makroalger	43
4.2.1	Näringsämne- och salthalter	44
4.2.2	Exempel på konstruktion	45
4.2.3	Avloppsvattenrening i praktiken	45
4.3	Andra användningsområden	46
4.4	Jämförelse mellan fjällröding och havssallat	47
4.5	Framtidens möjligheter	48
4.6	Samhälleliga och etiska aspekter	49
5	Slutsats	50

Referenser

Bilagor

A Bilaga - Transkriptioner

B Bilaga - Jodintag

C Bilaga - Fallstudie Ryaverket

D Bilaga - Fallstudie flerbostadshus och villa

E Bilaga - Fallstudie fjällröding

F Bilaga - Proteinjämförelse fjällröding och havssallat

1 Inledning

Den ökande världsbefolkningen medför globala utmaningar för livsmedelssäkerheten. Hösten 2022 nådde världens befolkning 8 miljarder människor och med det växer även efterfrågan på mat [1]. Samtidigt som utmaningen om livsmedelssäkerheten måste hanteras, ökar även komplikationerna som är kopplade till klimatförändringar. Klimateffekten från bland annat animaliska livsmedelsprodukter, då särskilt rött kött, är ett vanligt exempel som har stor påverkan på klimatet [2]. Dessutom har övergödning blivit den största orsaken till försämrade vattenkvalitet i sötvatten och kustnära marina ekosystem som i sin tur orsakar en minskad livsmedelsproduktion [3]. För att möta dessa utmaningar krävs bättre hantering av fosfor- och kväveutsläpp och en ökad produktion av hållbara livsmedel, fördelaktligen växtbaserade proteinkällor som exempelvis makroalger. Fördelarna med makroalgodling inkluderar koldioxidbindning, upptag av kväve och fosfor ur havet samt att varken bevattning, gödsling eller kemisk bekämpning krävs [4]. Makroalger har använts som livsmedel sedan medeltiden och står för en etablerad marknad i Asien och en växande marknad i Europa [5]. I Sverige odlas idag främst brunalgen sockertång, *Saccharina latissima*, och grönalgen havssallat, *Ulva fenestrata*, dock i begränsad omfattning. Med mer forskning och förbättrad integrering i samhället så hade makroalger kunnat bli ett komplement, eller till och med ersättare, till andra protein- och näringsämneskällor [4]. De kan även fungera som biofilter eftersom deras förmåga att binda näringsämnen och avlägsna föroreningar förbättrar vattenkvaliteten [6]. Att kombinera vattenrening med makroalgodling i olika typer av processvatten är därmed av stort intresse ur ett hållbarhetsperspektiv [7].

1.1 Syfte

Syftet med projektet är att redogöra för proteininnehållet i makroalgerna havssallat och sockertång då de odlas i olika vattenmiljöer, kartlägga deras förmåga att rena vatten och analysera makroalgerna som en alternativ proteinkälla genom att sammanställa empiri och utföra enkla beräkningar baserat på insamlad data.

Det första målet är att redogöra för hur makroalgernas proteinhalt påverkas av vilken typ av vatten de odlas i: havsvatten, avloppsvatten i olika sammanhang och processvatten från en fiskodling. På så sätt kan projektet ge insikter om hur olika odlingsförhållanden kan påverka algernas användbarhet i, eller utanför, livsmedelsbranschen.

Det andra målet handlar om att kartlägga makroalgernas förmåga att ta upp näringsämnen, specifikt kväve (N) och fosfor (P). Tillsammans med vetenskapen om hur de

absorberar andra ämnen kan detta ge information om deras potential till att fungera som en biologisk reningsmetod för processvatten från fiskodling och avskilt avloppsvatten, och därav eventuellt deras förmåga att motverka klimatproblem som exempelvis eutrofiering.

För en hållbar och framtidssäker produktion av makroalger så handlar det sista målet i projektet om att lyfta fram specifika aspekter så som proteininnehåll, volymanvändning och tillväxthastighet med avseende på algodling i processvatten från fiskindustrin. Detta jämförs med odlad fjällrödning för att sedan utvärderas och på så sätt utgöra bedömningsunderlag för hur makroalger potentiellt kan användas i framtida livsmedel som en hållbar proteinkälla.

Utöver att ge svar på dessa tre frågeställningar så diskuteras även makroalger utifrån Förenta Nationernas (FN:s) globala mål. Detta för att stödja deras fasetterade användningsområden.

1.2 Problemformulering

Specifikt så kan de tre frågeställningarna delas upp i följande punkter:

- Vad är makroalger? Hur odlas de? Hur skiljer sig proteininnehållet för sockertång och havssallat som odlas i havsvatten, avskilt avloppsvatten i olika scenarion och processvatten från fjällrödingsodling?
- Vilken kvantitet av makroalger krävs för att rena kväve och fosfor från det utgående vattnet från reningsverket Ryaverket, ett flerbostadshus och ett hus på landet, samt vattnet i en fjällrödingsodlingstank? Hur påverkas innehållet i makroalgernas biomassa när de används vid vattenrening?
- Hur skiljer sig proteininnehåll relaterat till volymanvändning och tillväxthastighet hos makroalger odlade i näringsberikat vatten jämfört med en fjällrödingsodling?

1.3 Metod

I projektet genomfördes en litteraturstudie, där innehållande information främst baserades på olika vetenskapliga studier och därmed kan projektet ses som en metaanalys. Dessutom genomfördes egna beräkningar i projektet, där data från olika studier användes som underlag. Scopus, ScienceDirect, Google Scholar, Britannica och Nationalencyklopedin är huvudsakligen de databaser, sökmotorer och uppslagsverk som användes vid informationssökning.

Valet av källor baserades på riktlinjerna från Chalmers bibliotek och fackspråk, vilket innebär att de vetenskapliga studierna som används är referentgranskade. Källornas publiceringsdatum är också avgörande vid urvalet, där nyligen publicerade källor i största möjliga utsträckning valdes för att ge en så aktuell och tillförlitlig information som möjligt.

Kvalitativa metoder användes också i projektet, i form av intervjuer med experter och studiebesök. Det krävdes dessutom en del beräkningar för att jämföra olika aspekter av att konsumera makroalger med fisk och även för att ta reda på om makroalger lämpar sig väl som ett reningsalternativ. Totalt användes 79 st antal källor i rapporten, varav 51 st utgjordes av referensgranskade vetenskapliga artiklar och 28 st utgjordes av intervjuer, uppslagsverk, tekniska rapporter och hemsidor.

1.4 Avgränsningar

Arbetet redogör för potentialen hos makroalgerna sockertång och havssallat som återfinns vid den svenska västkusten då de används framförallt i livsmedelsbranschen och som vattenrenare, men även kopplad till annan industri. De olika vatten makroalgerna odlas i som ingår i rapporten är havsvatten på västkusten, processvatten från en norsk fjällrödingsodling och utgående vatten från avloppsreningsverket Ryaverket, samt avloppsvatten direkt från hushåll. Makroalgernas förmåga till vattenrening avgränsas till näringsämnen kväve och fosfor.

1.5 Begränsningar

En fundamental begränsning i projektet, som är kopplat till en avgränsning som gjorts, är det geografiska området som undersöks. Studien har sitt fokus på den svenska västkusten vilket gör det utmanande att applicera resultaten på en global skala och på grund av detta så kan inte resultaten generaliseras.

En annan begränsning som är förknippat med makroalger är förhållandena för alg-tillväxten och näringsinnehållet. Detta kan variera mycket beroende på geografisk plats, säsong, vattentemperatur, salthalt och näringstillgång så väl som andra faktorer. Även detta försvårar möjligheterna att dra generella slutsatser om makroalgernas användbarhet.

Vid beräkningar för makroalger som vattenrenare och makroalgers proteinmängd i jämförelse med fjällröding, begränsas algarten till havssallat, då sockertång har visat sig vara icke-odlingsbar vid höga kvävehalter, samt för att data saknas för proteinmängdsberäkningar för sockertång. Tillväxthastighet och innehåll för algen antages vara samma i alla fallstudier, medans mängden tillgängliga näringsämnen varierar.

Algodling i västvärlden är en relativt ny företeelse, vilket innebär att många odlingsanläggningar fortfarande befinner sig i ett utvecklings- eller laborationsstadium. Detta medför bland annat att vissa antaganden har behövt göras i beräkningar där befintliga studier inte visat sig vara tillräckliga. Om så är fallet förklaras det i samband med berörda beräkningar.

En ytterligare begränsning är tidsramen som projektet faller under. I och med att arbetet enbart sträcker sig över ungefär fyra månader så minskar det möjligheterna till att göra vissa typer av experiment, mer omfattande datainsamling eller mer ingående analyser. Slutligen förlitar sig projektet i stor utsträckning på en litteraturstudie, vilket kan innebära att tillgången till information är begränsad, särskilt inom specialiserade områden.

2 Analys

Avsnittet ger en översikt över forskning och begrepp som är relevanta för projektets syfte och problemställningar. Det presenteras grundläggande information om makroalger, avloppsvatten och reningsprocesser samt fiskodlingar. Detta i kombination med fallstudierna ligger till grund för rapportens diskussion och slutsats.

2.1 Västkusten och dess odlingsförmåner

Svenska västkusten, med sin långa och varierade kustlinje, erbjuder gynnsamma förutsättningar för odling och tillväxt av makroalger. Mellan Göteborg och norska gränsen finns ett område på ungefär 475 km² som har bedömts som särskilt lämpligt för tångodling. Just i denna del av kusten återfinns också den största mångfalden av tångarter. Flera miljöfaktorer bidrar till de odlingsvänliga förhållanden, bland annat tidvattenexponering och en något lägre salthalt än i öppet hav, vilket orsakas av inflöde från floder och vatten från Östersjön. Trots detta erbjuder västkustens vatten tillräckligt hög salthalt för att främja tillväxten hos de flesta makroalger, särskilt i de tidiga stadierna. I mer söt- eller bräckvattenmiljöer skulle denna tillväxt hämmas. Dessutom skapar det stora antalet öar längs kusten skyddade vattenområden som ytterligare gynnar odlingen av tång, se figur 1 [8]. Makroalgerna har även en betydande ekologisk roll och främjar marina organismer genom att fånga upp koldioxid och minimerar därmed risken för försurning [8].



Figur 1: Exempelbild på västkustens klippiga skärgård runt Marstrand, norr om Göteborg. Visar bland annat hur skärgården kan ge skydd för algodlingar.

Vidare bör områden med stora variationer i havsyttemperaturen undvikas, speciellt när det gäller brunalger. Vattnet vid västkusten med dess låga temperatur, med en liten risk för att havsytan fryser, utgör därmed en ideal plats för odling. Nivåerna av kväve och fosfor är dessutom väldigt höga. Det finns näst intill ett överskott av näringsämnen som berikar tången under varmare delar av året. Försättningsvis är kusten utformad på ett fördelaktigt sätt och erbjuder ett passande vattendjup, vattenströmmar och skydd från oväder genom optimal lutning på havsbotten. Detta medför möjligheter för algutväxt samt smidigare anläggning, odling och skörd.

På den svenska västkusten har algodlingen redan tagit fart och det finns några etablerade företag som specialiserar sig på odling av tång som för nuvarande främst används inom livsmedelsindustrin (e.g. KOASTAL och Nordic SeaFarm). Nordic SeaFarm odlar exempelvis sorter som sockertång, havssallat, fingertång och söl, som alla har olika egenskaper. Dessa alger kan antingen torkas, genomgå blanchering (kokas i vatten för att sedan kylas i iskallt vatten) eller frysas färskt innan det fortsätter till exempelvis livsmedelsindustrin. Biomaterial, gödningsmedel och djurfoder är andra produkter som företaget tillverkar med dessa alger [9]. KOASTAL odlar främst sockertång just för att det växer både lättare och i större volymer än andra typer av tång under förhållandena som råder på Sveriges västkust [10]. Mer om dessa företag presenteras nedan.

2.2 Makroalger

Makroalger, ofta kallade tång, är multicellulära fotoautotrofer, alltså självnärande organismer som använder solljus och oorganiskt kol som energikälla. De är uppdelade i tre huvudgrupper; grönalger, brunalger och rödalger, där alla tre agerar som primära producenter i den marina matkedjan [11]. De lever främst i kustmiljöer där de växer fast på stenar eller havsbotten, men kan också driva fritt. De får den unika färgen från specifika pigment och deras förmåga att absorbera ljus och bedriva fotosyntes. Vid djupare vatten, där solljus är mer begränsat, gynnas exempelvis ett rödare pigment [12]. På grund av makroalgers höga biologiska diversitet och dess utbredning står de, tillsammans med andra mikroorganismer så som mikroalger och cyanobakterier, för upp till 80 % av jordens atmosfäriska syreproduktion. Marina primärproducenter bidrar samtidigt till världens kolfixering med mellan 50 och 70 % av all kollagring [13][14].

Makroalger har förmågan att återvinna näring, särskilt kväve och fosfor, från flera typer av näringsrika vattenmiljöer. Detta gör algerna genom att absorbera näringsämnen och omvandla till biomassa [15]. På så sätt fungerar de som biologiska filter och kan med fördel odlas i ett flertal områden som exempelvis kustnära zoner eller i anslutning till vattenbruk. Ett effektivt sätt att odla alger är i en integrerad multitrofisk akvakultur (integrated multi-trophic aquaculture, IMTA), vilket är ett odlingssätt där exempelvis makroalger kan odlas tillsammans med en fisk- och skaldjursproduktion. Algerna kan på så vis dra nytta av näringsämnena de tar upp från fiskens och skaldjurens avfall [6]. På samma sätt kan odling av makroalger i eutrofierade vatten använda överskottsningen och därmed motverka övergödningen samtidigt som algbiomassan kan erhållas [4]. En stor fördel mot traditionella landbaserade arter är dess tillväxthastighet och förmåga att växa utan stora åkermarker [16]. Makroalger har dessutom en unik uppsättning av näringsämnen, fetter, mineraler och proteiner såväl som bioaktiva substanser, vilket gör dem intressanta för ett flertal industrier, däribland livs- och läkemedelsindustrin [17].

2.2.1 Havssallat

Havssallat är en grönalg, se figur 2, som tillhör klassen *Ulvophyceae*. Den går under släktet *Ulva* och förekommer bland annat längs Sveriges västkust [18]. Algen återfinns oftast på ett djup på ungefär en halv till en meter under ytan, saknar rötter och växer huvudsakligen på hårda ytor som stenar i havet, men kan även flyta fritt i lugnare vatten [19]. Havssallaten har ett utseende som påminner om ätbar sallad med veckade bladkanter vilket kan ses i figur 2. Bladen är ungefär 30 cm långa, två cellager tjocka och är täckta i en gelatinös hinna. Förutom sin naturliga tillväxt i havet kan havssallat

även odlas i tankar på land i form av bioreaktorer eller bassånger, där den flyter fritt. Den lämpar sig väl till odling eftersom att den är lätthanterlig och näst intill skötselfri [20].



Figur 2: Havssallat skördat av Nordic Seafarm utanför Grebbestad.

Havssallaten har generellt en hög tolerans mot olika miljöförhållanden och har en snabb tillväxthastighet. Proteinhalten i algbiomassan varierar vanligtvis mellan 10-20 % av torrvikten (dry weight, dw) när den odlas i havsvatten och algen innehåller även en hög andel essentiella aminosyror [21].

Experiment och ny forskning har visat att havssallat odlad i olika typer av processvatten och näringsberikade vatten, till exempel spillvatten från livsmedelsproduktion, leder till en ökad proteinhalt [22]. Vatten från sillindustrin visade sig vara det mest effektiva alternativet. Dessutom ökade biomassan markant jämfört med proverna som odlades i havsvatten. Odlingen av havssallat i havsvatten berikat med ammonium resulterade i en skillnad i proteinhalt mellan 10 eller 20 %-enheter för dw beroende på typ av vatten [23].

Ytterligare forskning har visat att tillväxttakten för havssallat är 32 % högre jämfört med brunalger som till exempel sockertång. Havssallaten skapar dessutom ett så kallat grönt tidsvatten som växer och upptar kväve snabbt. För tillväxttakten så var den lägre koncentrationen på 20 μM ammonium mer gynnsam än att odla i den högre koncentrationen på 200 μM , för alla vatten. Tillväxthastigheten i dessa näringsberikade vatten, jämfört med vanligt havsvatten ökade med upp mot 64% [23].

2.2.2 Sockertång

Kelp är ett samlingsnamn för brunalger som tillhör klassen *Phaeophyceae* och inkluderar endast representanter från ordningen *Laminariales*. De växer på grunda klippiga kuster längs Atlanten, Stilla havet och Indiska oceanen, varav släktena *Alaria*, *Laminaria* och *Saccharina* är de främst representerade på norra halvklotet [24]. Sockertången frodas på ett djup mellan två till fem meter men kan hittas på djup upp till 30 m [24][25]. Likt havssallat så har även sockertång en veckad struktur, se figur 3, och kan bli upp till fem meter lång [26].



Figur 3: Sockertång skördad och paketerad av Nordic Seafarm utanför Grebbestad.

Brunalger som sockertång har polysackarider i cellväggen som uppvisar en hög affinitet för att absorbera och behålla metaller från omgivningen [27]. Utöver en hög absorptionsförmåga så innehåller sockertång en markant andel aska, vars koncentration kan överstiga 40 % dw på våren, samt en hög jodhalt (0,4–0,6 av % dw). För att kunna använda sockertång i livsmedel eller djurfoder måste dessa halter reduceras [28].

Proteinhalten hos sockertång är förhållandevis låg (5–15 % av dw) jämfört med proteinkällor som används i djurfoder, där halten är minst 40 %. Sojamjöl innehåller exempelvis 40–50 % protein av dw, medan fiskmjöl innehåller 60–70 % [28]. Om sockertång ska bli en aktuell alternativ proteinkälla och kunna konkurrera med soja- eller fiskmjöl, måste proteinhalten höjas. I dagsläget är sockertång den mest odlade arten i Euro-

pa tack vare sin lättodlade natur. Detta gör sockertång mycket relevant för storskalig produktion trots sin relativt låga proteinhalt [28].

2.2.3 Havsodling

Havsodling är en miljövänlig typ av produktion med flera fördelar. Exempelvis kräver odlingen inte någon åkermark och den är heller inte beroende av bevattning. Varken bekämpningsmedel eller gödsel är nödvändigt eftersom makroalgerna själva tar upp näringsämnen från havet [8], inklusive kväve och fosfor som är nödvändiga för både tillväxt och fotosyntes. För makroalgers produktivitet anses kväve vara den främsta begränsande faktorn, medan fosfor kommer som den näst viktigaste [24].

I samband med näringsämnena så släpps det även ut oönskade ämnen som antibiotika från avlopp och tungmetaller från bland annat fiskburar som används vid fiskodling i havet. Konsekvenserna blir okontrollerad övergödning, negativt påverkade ekosystem och giftig mat för organismer i havet. Som lösning till problemet kan tången implementeras som ett slags biofilter eller naturlig avskiljare. Tången tar upp näringsämnen samtidigt som den renar vattnet och framställer hälsosam biomassa för resterande organismer i havet. Metoden har också visat sig fungera i tankodlingar på land [29].

2.2.3.1 Förkultivering och förökning

Makroalgerna havssallat och sockertång förökar sig främst genom sexuell reproduktion, men kan även föröka sig vegetativt. Vegetativ förökning, även känt som asexuell reproduktion, är inte makroalgens vanliga sätt att föröka sig på, utan sker utav misstag genom fragmentering. Högvärdiga tångarter som havssallat och sockertång är klonala arter, som producerar en enda flik från sitt fäste. När dessa arter odlas så görs det oftast i två faser, där den första fasen är en förberedande odling (förkultivering) och den andra är utplaceringen samt tillväxt i havet. Förkultiveringen innebär befruktning in vitro samt uppfödning av unga plantor, se figur 4, innan de placeras ut [30].

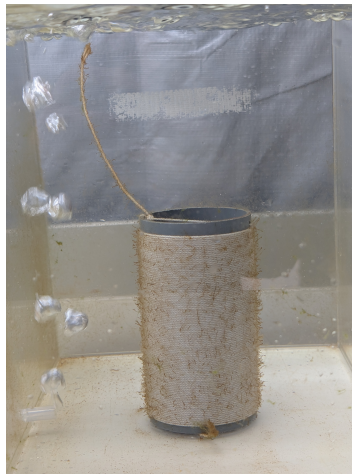
Hos växter och vissa makroalger är gametofyter den könliga, eller sexuella fasen, alltså den individen som representerar den fasen i generationsväxlingen. Generationsväxling är ett fenomen där två faser förekommer i organismens livscykel. Den första fasen, gametofytfasen, är haploid och under denna fasen utvecklas könsceller. Vid befruktning sammansmälter könscellerna och bildar en zygot och den diploida sporofytfasen börjar, vilket är den andra och icke-könliga fasen. Sporofyten producerar encelliga sporer, vilka genom vidare utveckling ger upphov till en ny gametofytgeneration, varpå livscykeln upprepas [31].

Arter med en heteromorf livscykel har en stor flercellig algkropp i en generation (oftast under vintern) men en väldigt liten kropp i den andra generationen (vanligtvis sommaren) under samma år. De skiljer sig därmed mycket i både form och utseende. Isomorfiska arter har liknande morfologi men skillnaden från heteromorfi är att i isoformi har organismerna oftast mer än två generationer under ett och samma år [32].

Arter som sockertång har, sammankopplat med en heteromorf livscykel, även en haplodiplontisk livscykel [24]. En haplodiplontisk organism växlar regelbundet mellan en haploid generation (gametofyter med en kromosomuppsättning) och en diploid generation (sporofyter med dubbel kromosomuppsättning). Med andra ord kan livscykeln delas upp i en haploid och diploid fas. Däremot har havssallat parallellt med en isomorfisk livscykel en bifasisk, vilket betyder att de två faserna av haploida gametofyter och diploida sporofyter är morfologiskt identiska men genetiskt olika [33]. Medan sporofyterna härstammar från gameter från gametofyter, kan gametofyterna härstamma antingen från haploida zoider, från sporofyter eller från klonala obefruktade gameter [34].



(a)



(b)



(c)

Figur 4: Samtliga bilder är tagna från Tjärnö marina laboratorium.

- (a) Förkultivering: Visar sporofyter som börjat växa på repet som sedan ska viras runt huvudlinor och därefter sätts ut i havet med bojar för att fortsätta odlas.
- (b) Visar spolen med repet som används för att vira runt huvudlinor och sätta ut sporofyter i havet som ska växa till sig.
- (c) Visar spolar i ett senare stadium där sporofyterna har vuxit till sig.

2.2.3.2 Nordic Seafarm

Nordic Seafarm bedriver storskalig marin odling av tång och räknas som en av Europas ledande aktörer inom hållbar tångproduktion. Förutom primärproduktionen erbjuder företaget vidareförädling av biomassa genom torkning, malning och blanchering, för att anpassa råvaran till olika industriella tillämpningar. IKEA har förslagsvis startat ett samarbete med Nordic Seafarm. De arter som främst odlas är sockertång och havssallat. Figur 5a och 5b illustrerar företagets havsodling lokaliserad utanför Grebbestad, vilken enligt Nordic Seafarm själva utgör Sveriges största anläggning för tångodling. Odlingen startar under hösten med att förberedda odlingslinor installeras i havet. Dessa linor består av en tjockare huvudlina invirad med en tunnare lina fylld med sporofyter, se figur 4, i ett tidigt utvecklingsstadium.



(a)



(b)

Figur 5: Båda bilderna visar hur företaget Nordic Seafarm odlar och skördar havssallat från deras havsodling utanför Grebbestad.

- (a) Nordic Seafarm skördar havssallat. Linor med tång dras upp ur vattnet och sköljs. Arbetare plockar sedan bort material/organsimer som fastnat i tången.
- (b) Odlingsanläggning av Nordic Seafarm som är uppbyggd av bojar.

Tillväxtfasen sträcker sig vanligtvis från höst till tidig vår (september-oktober till mars-april), varefter biomassan skördas innan stigande vattentemperaturer påverkar tillväxten negativt. Dessutom riskerar repen att bli för tunga om tången fortsätter att odlas efter april, vilket gör att tången hamnar för långt ner under ytan och inte får tillräckligt med solljus för fortsatt tillväxt. Med hjälp av småbåtar och båtshakar lyfts huvudlinorna upp ur vattnet och kopplas till en maskin som automatiskt drar in linan. Den skördade tången sköljs därefter för att avlägsna småfisk, maneter och annat oönskat material. Efter denna så kallade "tångdusch" genomför en medarbetare en visuell kontroll för att säkerställa att eventuella kvarvarande föroreningar har avlägsnats innan tången går vidare i förädlingsprocessen. Huvudlinan förs genom en maskinell anordning som automatiskt avlägsnar tången från linan. Därefter genomgår tången ytterligare en manuell kontroll innan den placeras i större behållare för vidare transport till fastlandet [26].

2.2.3.3 KOASTAL

KOASTAL är ett liknande men betydligt mindre makroalgföretag som främst odlar sockertång, men även havssallat till viss del. Företaget hjälper fiskare att starta upp deras egna tångodlingar som en alternativ inkomstkälla för deras framtida utveckling [10].

Enligt en intervju med Samuel Amant, grundare och ägare av KOASTAL, har havsodlingarna oftast en storlek på 0,3 hektar eller mindre. Anledningen är att en odling som är större än 0,3 hektar kräver en dyrare licens. KOASTALs odlingar är därför generellt 15 gånger 200 meter och i nuläget ligger en sådan odling på ungefär 50 000 kr i startavgift och därefter tillkommer kostnader för byggnation, material, drift och personal med mera. Odlingen är uppbyggd av tre huvuddelar. Mellan ankare fästs långa linor med förtöjningsbojar. Det är fem stycken linor som går parallellt med varandra. Mellan linorna sitter spridarbyglar som håller isär linorna. Totalt sett fästs fem spridarbyglar med ett avstånd på 33 meter mellan varje. Ankare och förtöjningsbojarna är en mycket kostsam utrustning. Var och en av ankarna väger 200 kg och sedan tillkommer 50 kg för kedjorna som ska hålla upp anordningen. Det krävs endast två till fyra personer och en kran för att placera utrustningen i havet. Däremot krävs det desto mer resurser vid förberedning av linorna som behöver vara exakt lika långa och ha flera specialknutar. KOASTAL måste själva producera utrustningen eftersom inget företag eller industri ännu producerar färdiga anordningar [10].

2.2.4 Tungmetaller och jod

Tungmetaller och jod är ämnen som tången tar upp under tillväxten och kan potentiellt orsaka problem. De uppmätta halterna av tungmetaller i sockertång och havssallat som har odlats i svenska vatten visas i tabell 1 (värdet för jod i havssallat är från Norge då svenskt värde saknas) [35]. Värdena kan jämföras med den europeiska myndigheten för livsmedelssäkerhetens (European Food Safety Authority, EFSA) tolerabla veckointag (tolerable weekly intake, TWI), vilket presenteras under kolumnen ”TWI” i tabellen.

Tabell 1: Värden för olika tungmetaller i Sverige för sockertång och havssallat [35].

Värden inom parantes syftar till minimal respektive maximal uppmätta vikt. Gränsvärdena för det tolerabla veckointaget representerar den mängd en vuxen person på 75 kg kan konsumera utan förväntade negativa hälsoeffekter.

Art / Ämne	Sockertång ($\mu\text{g}/\text{kg dw}$)	Havssallat ($\mu\text{g}/\text{kg dw}$)	TWI (μg)
Bly	147	470 (64 - 1 300)	1 875 [36]*
Kadmium	360	71 (28 - 172)	187.5 [37]
Kvicksilver	21	< 36	300 [38]
Oorganisk arsenik	119	379 (18 - 1 210)	1 125 [39]**
Jod	$2.6 \cdot 10^6$	$110 \cdot 10^3 ((37 - 290) \cdot 10^3)$	4 200 [40]

* ”Panelen för främmande ämnen i livsmedelskedjan (The Panel on Contaminants in the Food Chain, CONTAM) drog slutsatsen att det nuvarande provisoriska TWI-värdet på 25 ($\mu\text{g}/\text{kg}$) kroppsvikt inte längre är lämpligt eftersom det inte finns några bevis för ett tröskelvärde för kritiska blyinducerade effekter.”

** ”CONTAM-panelen drog slutsatsen att det provisoriska tolerabla veckointaget på 15 ($\mu\text{g}/\text{kg}$) kroppsvikt, fastställt av den gemensamma expertkommittén för livsmedelstillsatser (Joint Expert Committee on Food Additives, JECFA), inte längre är lämpligt”. JECFA består av delar av FN:s livsmedels- och jordbruksorganisation (Food and Agriculture Organization, FAO) och Världshälsoorganisationen (World Health Organization, WHO).

2.2.4.1 Tungmetallers och jods potentiella hälsoeffekter

Trots att människan har haft kunskap om de skadliga hälsoeffekterna av tungmetaller så fortsätter exponeringen från dem och i vissa länder ökar det [41]. Bly ackumuleras främst i skelettet och har en halveringstid på 20-30 år [41], vilket gör blyförgiftning särskilt problematiskt. Akut förgiftning kan ge symtom som huvudvärk, irritabilitet och buksmärter, medan långvarig exponering framförallt påverkar nervsystemet [41]. Kadmium är giftigt vid inandning av dess ångor eller partiklar, vilket i värsta fall kan vara livshotande men leder oftast enbart till njurskador [41].

Akut exponering mot kvicksilver kan orsaka lungskador, medan kronisk förgiftning kan ge neurologiska besvär som darrningar, personlighetsförändringar, rastlöshet, ångest,

sömnsvårigheter och depression [41]. Oorganisk arsenik är akut giftigt och höga doser kan leda till allvarliga skador på mag-tarmkanalen, det kardiovaskulära systemet och centrala nervsystemet, vilket i värsta fall kan vara dödligt. I folk som har överlevt har man bland annat observerat benmärgsdepression, hemolys och hepatomegali [41]. Att enskilda tungmetaller har en negativ påverkan på människan i för höga doser är välkänt, men hur kombinationseffekter mellan olika tungmetaller påverkar kroppen är fortfarande inte helt klarlagt.

Även jod kan vara skadligt vid både för högt och för lågt intag. Ett överskott av jod kan öka risken för autoimmuna sköldkörtelsjukdomar och jod-inducerad hypertyreos, vilket innebär en ökad produktion av sköldkörtelhormoner. Ett underskott av jod kan däremot orsaka hypotyreos, vilket är en brist på produktion av sköldkörtelhormoner [42].

2.2.4.2 Förädlingsprocesser för säker konsumtion av tång

Som visas i tabell 1 är jodhalten för sockertång marktant högre än övriga parametrar, samt jämfört med havssallat. Enligt S. Amant är detta dock sällan ett problem eftersom tång vanligtvis konsumeras i små mängder. Vid större intag rekommenderas dock blanchering för att förändra dess egenskaper. Vidare berättar S. Amant att blanchering är särskilt effektiv för att sänka jodhalten i sockertång [10]. Blancheras sockertång i 45 °C tappar den 83 % av dess totala jodhalt och för 80 °C uppgår siffran till 86 % [43].

För tungmetaller så varierar effekten av blanchering i sockertång. Halterna av oorganisk arsenik och kvicksilver påverkas inte nämnvärt. Kadmiumhalten nästan fördubblades vid blanchering vid 45 °C och 80 °C, medan blyhalten ökade med 75 % vid blanchering vid 80 °C [43].

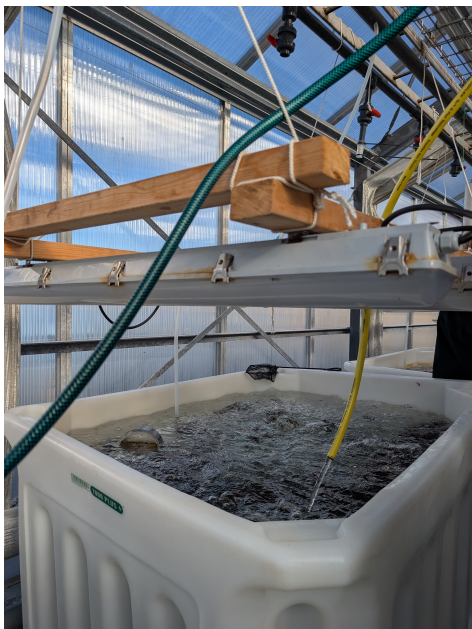
Däremot kan den höga jodhalten vara problematisk. Redan vid ett intag på över 0,2 g sockertång dw per dag riskerar man att få i sig för mycket jod, utan att räkna med annat jodintag. Om sockertången blancheras vid 45 °C minskar jodhalten till 442 000 µg/kg dw, vilket möjliggör ett dagligt intag på upp till 1,4 g sockertång dw. För havssallat så uppgår den maximala gränsen för daglig konsumtion till 5,5 g dw, baserat på medelvärdet. Beräkningar för dessa värden finns i Bilaga B.

Algodlingen i Asien uppgick till 97,4 % av den totala globala produktionen år 2019, vilket gör Asien till den största producenten av tång i världen [44]. Det är således naturligt att göra antagandet att man även konsumerar mest tång där. För Sydkorea uppgick den genomsnittliga dagliga algkonsumtionen per person år 2023 till 3,3 g [45]. Det senaste kända värdet från Kina är från år 2009 med ett intag på 3,1 g [46] och för Japan konsumerades 2,1 g år 2022 [47].

Tungmetallerna utgör ingen hälsorisk vid konsumtion av sockertång och havssallat, utan det är snarare intaget av jod från tången som begränsar förtäringen. Ett intag på ungefär två till tre gram tång per person per dag visar på vad en normal nivå av konsumtion är, baserat på antagandet ovan, vilket medför att konsumtion av havssallat i samma mängder inte borde utgöra någon hälsorisk. Angående sockertång så bör konsumtionen ske i en mer begränsad omfattning.

2.2.5 Tankodling

Till skillnad från havsodling så kräver landbaserade odlingar en mer konstgjord hantering så som lampor, tillsättning av näringsämnen, kontroll av ogrästillväxt och pumpar för att kunna få sporofyterna att växa till färdig tång. Å andra sidan ger tankodling möjlighet till förbättrad odling eftersom vattnet ständigt kontrolleras. Tankarna fungerar som växthus där exempelvis behovet av salthalt, vattenflöde och koldioxid, för ökning av kolhalten, styrs och sker automatiskt, se figur 6 [30].



Figur 6: Tankodling av rödalger i havsvatten på Göteborgs Universitets marina laboratorium på Tjärnö.

Vid tankodlingar så är valet av tank av avgörande vikt. Faktorer som storlek och material är parametrar vars inverkan är stor men även andra signifikanta egenskaper är ventilation, ljustillgång, näringscirkulation och hur enkla tankarna är att rengöra. Tankmodellerna som används är bland annat runda tankar, simple raceway och double raceway (D-end). Oavsett val av tank är det viktigt att odlingen sker med giftfria och icke-korrosiva material som inte påverkar vattenkvalitén samt har en tillräcklig vattenhållande kapacitet. För optimala odlingsförhållanden kontrolleras olika faktorer i odlingsmediet, så som ljusintensitet, fotoperiod och näringsnivåer. De två förstnämnda faktorerna kan justeras med filter, skärmar och extrabelysning, se figur 7 [48].



(a)



(b)

Figur 7: Tankodling av havssallat på Göteborgs Universitets marina laboratorium Tjärnö.

(a) Tank med havssallat, ansluten till luftinflöde för cirkulation och försedd med ljuskälla.

(b) Tre olika, runda tankar med havssallat.

Ytterligare avgörande faktorer vid tankodling är tankdjup, tångtäthet och hur jämn cirkulationen är. Genom att lufta vattnet och skapa ett vattenflöde kan en jämn rörelse av tången från botten till ytan säkerställas. Temperaturen regleras med luftkonditionering eller ett kylsystem. Genom att tillsätta havssalt till destillerat vatten kan salthalten i odlingsmediet justeras [48].

2.2.6 Forskning, alternativ användning och framtida möjligheter

Generellt är forskning inom algodling en relativt ny företeelse men det är också ett område med potentiella utvecklingsmöjligheter i framtiden. Förutom användningen av makroalger i livsmedelsbranschen så används den till kosmetika, i form av exempelvis sol- och ansiktskrämer, och i läkemedelsindustrin där alger har visat sig ha antiinflammatorisk effekt, samt förmåga att motverka vissa typer av cancerbildning [11]. Fortsättningsvis bedrivs det samtidigt forskning som ska förbättra och stärka produkterna ytterligare [17]. Makroalgen används även till biobränsle och biomaterial [49]. Hösten år 2024 så investerade det amerikanska energidepartementet 18,8 miljoner dollar i forskning om användningen av makroalger som biobränsle och bioprodukter, vilka kan bidra till att minska koldioxidutsläppen från olika industrier [50].

2.3 Avloppsvatten

Avloppsvatten definieras enligt miljöbalken som bland annat spillvatten eller annan flytande orenlighet [51], där spillvatten är det som i vardagen förknippas med avlopp, alltså det vatten som produceras från hushåll, från kök och badrum. Detta innefattar även spillvatten från antropogen process, så som industrier och lantbruk [52]. Avloppsreningsverk är nödvändiga för både miljö- och samhällsaspekter då konsekvenserna från kontaminerat vatten påverkar människors hälsa, miljö, ekosystem och odlingsmarker och kan ge upphov till stora ekonomiska kostnader [53]. Kontaminering i avloppsvatten framgår bland annat i form av virus, bakterier, tungmetaller eller andra toxiska ämnen. Modern forskning visar på ökade halter av rester från läkemedelsindustrin, där hormonstörande ämnen och antibiotika inte hanteras korrekt [54].

2.3.1 Näringsämnen i avloppsvatten

Utöver gifter och andra toxiska substanser innehåller avloppsvatten stora halter näringsämnen. Kväve och fosfor är två, ofta begränsande, näringsämnen som vid överflöd kan ge upphov till eutrofiering. Kväve används framförallt för att syntetisera protein, medan fosfor är en viktig del av DNA, RNA och energiöverföring. Sjöar och andra marina system blir ofta utsatta i former av skadlig algbloomning eller kraftfull tillväxt av cyanobakterier [55]. Den plötsliga tillväxten av dessa snabbväxande och opportunistiska organismer leder till en minskad mängd löst syre djupare ner under vattenytan. Detta är en konsekvens av organisk materia från blomningen, som faller till botten. Det organiska materialet bryts ned av bakterier och andra mikroorganismer. Mikrobiell respiration kräver syre och vid en större mängd tillgängligt organiskt material sjunker därmed syrehalten kraftigt. Detta leder till hypoxi för bentos, det vill säga syrebrist för

de levande organismerna på sjö- och havsbotten. Så kallade döda havsbottnar har över tid påverkat övriga och närliggande ekosystem och kan bland annat leda till en kraftfull minskning av fiskar och annat marint liv [56].

Löst kväve i avloppsvatten förekommer främst som ammonium (NH_4^+), men finns även som andra kväveföreningar i form av nitrat- (NO_3^-) och nitritjoner (NO_2^-) [57]. I ett avloppsreningsverk avskiljs kväve ut genom tre olika biologiska processer, medan fosfor avskiljs kemiskt.

2.4 Avloppsreningsverk

Europeiska Unionens (European Union, EU:s) omarbetade avloppsdirektiv trädde i kraft den 1 januari 2025 och innefattar skärpta reningskrav för kväve och mikroföroreningar. Direktivet säger att reningen av mikroföroreningar ska finansieras av läkemedels- och kosmetikaproducenter genom producentbundna avfallsansvar. Dessutom tillkommer nya krav om att minska utsläppen av växthusgaser, effektivare energianvändning och bättre utnyttjande av resurserna i avloppsvatten och slam. Den första tidsgränsen infaller år 2027, då en riskbedömning av övergödning och negativ påverkan på skyddade intressen ska genomföras [58].

Ryaverket, reningsverket i Göteborg, behöver ett nytt miljötillstånd för att få rena avloppsvatten. Nya miljötillståndet ställer krav på reningsverket att utveckla en handlingsplan för att möta skärpta utsläppsvillkor i framtiden. Idag är vattenbehandlingen vid reningsverket uppbyggd av flera olika steg innan vattnet släpps ut i havet [59], men planeringen för att bygga nya reningssteg till år 2036 är igång [60]. Nedan presenteras deras nuvarande reningsprocesser.

2.4.1 Mekanisk rening

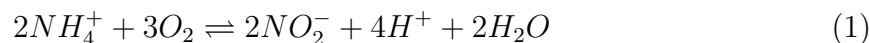
Den mekaniska reningen fungerar genom att låta vattnet rinna igenom ett grovgaller för att rensa bort större former av skräp. Detta kallas rens och hanteras genom förbränning. Renset är en biprodukt av material som inte får spolats ned i avloppsvatten. Vattnet genomgår sedan en process som kallas för sandfång där tunga grovpartiklar som sand och grus sedimenteras bort. Därefter genomrinner vattnet ett fingaller för att filtrera bort resterande rens. Den sista delen i den mekaniska reningen är försedimentering där tyngre partiklar sedimenterar, exempelvis löst toapapper och matrester. Partiklar med en lägre densitet än vatten, främst fett från matlagning, flyter till vattenytan och skrapas bort [57].

2.4.2 Kemisk rening

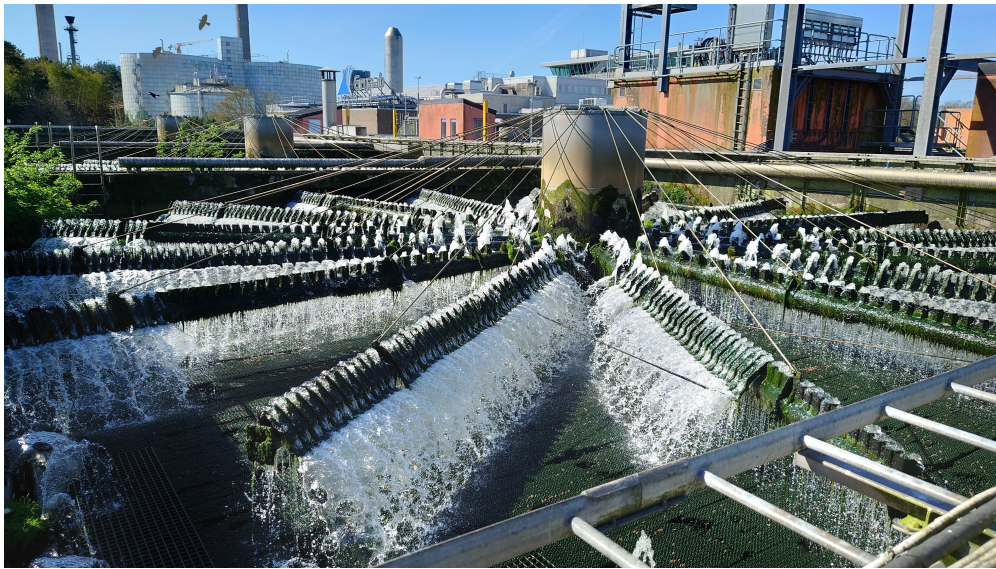
Järnsulfat tillsätts kontinuerligt i det försedimenterade vattnet för att binda löst fosfor. Majoriteten av den kemiska reningen sker alltså under den biologiska reningsprocessen. Fällningen flockuleras och slammet sedimenteras till botten. Vid ovanligt höga flöden, som vid nederbörd eller när stora mängder snö smälter, kan sedimenteringen bli överbelastad. För att underlätta tillsätts polyaluminiumklorider i så kallad direktfällning efter att vattnet har passerat fingallret. Detta görs för att binda så mycket fosfor som möjligt då den biologiska delen av reningen inte klarar av högre vattenflöden. Det överflödiga vattnet förbileds då från den biologiska processen och släpps ut efter mekanisk och kemisk rening [57].

2.4.3 Biologisk rening

Den biologiska reningens huvudfunktion är att avskilja kväve. Detta sker genom nitrifikation och denitrifikation. Processen fungerar genom att använda bakterier för att omvandla kvävet löst i vatten till kvävgas. Det första steget i processen består av nitrifikationsbakterier som omvandlar ammonium- och nitritjoner till nitratjoner i två steg enligt ekvation 1 och 2 nedan.



Detta görs både i biobäddar, se figur 8, och i efternitrifikationsbassänger, där båda är konstruerade för att så effektivt som möjligt öka bakteriernas förmåga att ta upp och omvandla kvävet. Vattnet innehållande nitratjoner förs sedan vidare till antingen aktivslambassänger eller efterdenitrifikation för att omvandlas till kvävgas. Efterdenitrifikation är konstruerat likt efternitrifikationen, där bakterier växer som biofilm på så stor yta som möjligt och omvandlar det lösta kvävet till harmlös kvävgas. Den del av vattnet som inte förs direkt till efternitrifikation går istället till aktivslambassängerna. Här blandas löst nitrat med bakterier från eftersedimenteringen. Det aktiva slammet samlas i en oluftad sektion, vilket främjar den anaeroba omvandlingen av nitrat. I denna process bryts alltså organiskt material ned med hjälp av löst kväve och det bildas kvävgas. Vattnet transporteras vidare till en luftad sektion där nedbrytning av organiskt material sker.



Figur 8: Biobädd tillhörande Ryaverket.

2.5 Processvatten

Som tidigare nämnt skapar processvatten från livsmedelsindustrin goda förutsättningar för makroalgodling. Vatten från sillindustrin har visat sig ha fyra till sex gånger högre halt algiomassa samt tre gånger högre halt råprotein jämfört med odling i vanligt havsvatten[21]. Processvatten från sillindustrin har därmed hög potential för framtida landbaserade odlingar och produktion av livsmedel [21].

Dessutom har vatten från lax-, räk- och havremjölksproduktion använts vid makroalgproduktion. I undersökningar har dessa typer av processvatten, samt ytterligare prover från vatten från sillindustrin, och vatten från recirkulerande akvakultursystem (recirculatory aquaculture system, RAS), analyserats för makroalgers odlingskapacitet som förklaras nedan [23].

I sill- och räkvattnet var halten av ammonium (NH_4^+) högre än halten av nitrat (NO_3^-). I RAS och havremjölksvattnet var det betydligt mer ammoniak (NH_3) än nitrat. Inga av processvattnen innehöll nitrit (NO_2^-) [23]. Halten ammoniak och ammonium står i jämvikt med varandra och varierar beroende på lösningens pH [61].

Kväve, i sina olika former, är ett av de viktigaste näringsämnena för levande organismer på jorden, där framförallt kväveföreningarna ammonium och nitrat har störst betydelse. Processvatten, såsom sill- och räkvatten, som innehåller höga halter av olika

kväveföreningar kan därmed främja tillväxten av växter, i detta fall makroalger.

Upptaget av olika kväveföreningar skiljer sig åt, ammonium kan tas upp direkt av organismer medan nitrat först måste reduceras till ammoniak innan det kan utnyttjas [62]. I experiment visade sig halterna av oorganisk fosfor vara lägst i RAS och havremjölksvattnet. Räkvattnet hade högre halter och sillvattnet hade de allra högsta nivåerna [23]. Detta beror på att fosfor kontinuerligt tillförs systemet vid räk- och sillodling genom foderrester, fekalier och döda organismer [63]. I RAS renas vattnet kontinuerligt för att möjliggöra återanvändning, vilket resulterar i en låg fosforhalt eftersom fosfor effektivt avlägsnas under reningsprocessen [64].

En av makroalgerna som prövades i experimentet var sockertång vars värde blev sämre vid odling i processvatten jämfört med i havsvatten. Så småningom så dog alla prover i processvattnet i undersökningen och kunde därför inte utvärderas i näringsinnehåll. Undersökningen förklarar att anledningen till detta kan bero på för hög halt löst kväve i vattnet. Alternativt kan processvattnet ha innehållit några oidentifierade ämnen som har hämmat tillväxten hos sockertången. Havssallaten växte däremot i alla processvatten och gav aningen bättre resultat än havsvattnet. Däremot verkade inte havremjölksvattnet vara särskilt givande för makroalgen som medförde lägre tillväxttakt [23]. Då vatten från sillindustrin visade sig vara det mest effektiva processvattnet för tillväxt så har senare beskrivna beräkningar baserats på det.

2.6 Fiskodling

Det finns olika odlingssystem och tekniker för fiskodling, både havs- och landbaserad. Det som skiljer olika tekniker åt är utnyttjandegraden av de lokala vattenresurserna, ekosystemen, energi, material för drift av systemet och möjlighet att ta hand om uppstående restprodukter [65]. Odlingssystemen kan delas in i tre grundläggande kategorierna öppna, halvslutna och slutna system.

2.6.1 Öppna system

Öppna system används i naturliga vattenkroppar som sjöar och hav, både kustnära och utsjöområden (offshore). Burarna som används vid öppen odling kan antingen placeras vid ytan eller vara nedsänkbara. Nedsänkbara burar kostar mer och är svårare att övervaka, då man inte kan se fisken från ytan. De kan vara nedsänkta i vattnet hela eller delar av året, som vid till exempel isbildning och isbrott, för att skydda buren. I traditionell öppen odling är burarna nätkassar med flytande strukturer och förankrade på botten. Utfodringssystemen är i stor utsträckning automatiserade vid odlingar av olika

storlek [66]. Odlingsfiskarna lever i nätkassar som är öppna till omkringliggande vatten, vilket innebär att friskt vatten tillförs och närliggande ekosystemet kan nyttjas, dock släpps det ut foderrester och fekalier som kan påverka ekosystemet [65]. Vid utsjödning krävs robusta eller innovativa lösningar för att hantera de krävande miljöförhållandena. De fiskarter som odlas behöver dessutom vara stresståliga för att klara den påfrestning som sådana miljöer medför. Flera faktorer påverkar fiskarnas aptit, tillväxt och allmänna hälsa, däribland storlek, syrehalt, vindförhållanden, vattenströmmar, solinstrålning, stressnivåer och förekomst av sjukdomar. En av de mest betydelsefulla faktorerna är dock vattentemperaturen.

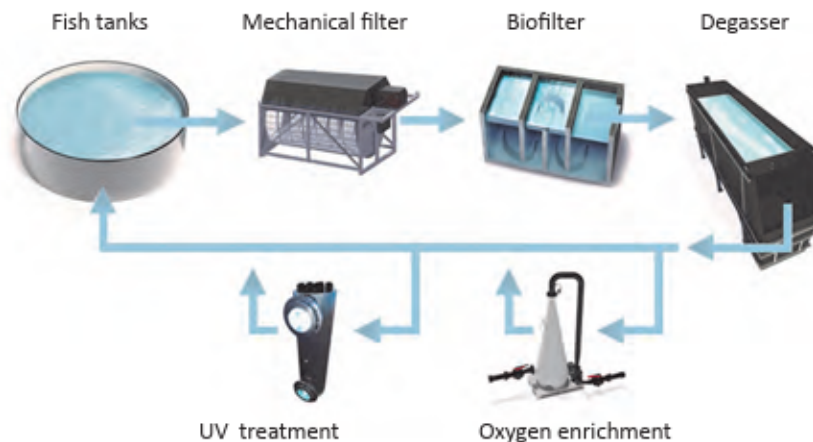
2.6.2 Halvslutna system

I moderna halvslutna system i vatten innebär det att odlingsfiskarna lever inneslutna i behållare med vatten som pumpas in och flödar ut i omgivningen efter rening. Det kan antingen vara en hård behållare gjord av till exempel plast, stål eller betong, eller en mer flexibel och mjukgjord av tyg [66]. Det inkommande vattnet pumpas in från valfritt djup [65], men oftast under fem meter för att undvika patogener vilka normalt sett återfinns ner till fem meters djup, och säkerställa vattenkvaliteten med avseende på temperatur, salthalt och syremättnad [66]. Mängden partiklar som renas bort är större än 80 %, däremot släpps majoriteten av lösta näringsämnen ut i naturen.

2.6.3 Slutna system

RAS används i slutna system på land. De påverkas inte, liksom vattenbaserade system, av vågor och is samtidigt som vattenmiljön går att kontrollera och optimera baserat på de odlade organismerna [66]. RAS är en teknik för att odla fisk eller andra vattenlevande organismer genom att återanvända vattnet i produktionen. Metoden används för högdensitetsodling, vilket innebär att mängden landyta och vattenåtgång minimeras. Minst 90 % av det ingående vattnet ska kunna återanvändas. Detta innebär att odlingsystemet är både kostnadseffektivt och bidrar till lägre klimatpåverkan än andra system [67].

För RAS är det nödvändigt att kontinuerligt behandla vattnet för att få bort de avfallsprodukter som fiskarna utsöndrar, samt att tillsätta syre för att hålla fiskarna levande och friska. Detta möjliggörs genom att vattnet i utloppet från fisktankarna förs till ett mekaniskt filter (oftast trumfilter) och sedan vidare till ett biologiskt filter, bestående av olika typer av bakterier. Därefter luftas vattnet och befrias från koldioxid samt UV-behandlas innan det återförs till tankarna. De ingående delarna i RAS visas nedan i figur 9 [67].



Figur 9: De ingående delarna i RAS [67]. Återgiven med tillstånd.

2.6.4 Fjällröding

Fjällröding, *Salvelinus alpinus*, är en fiskart som lever på det norra halvklotet och är en habitatgeneralist, vilket är unikt för nordliga fiskarter. Den återfinns i vattendrag, till havs och i oligotrofa (närlingsfattiga) sjöar, där sjöar är det vanligaste habitatet för arten. Storleken för vuxna individer varierar mycket mellan olika fjällrödingspopulationer, med ett spann från tre gram till 12 kg. Även fjällrödningens utseende sett till dess färg varierar kraftigt mellan olika individer [68].

Fjällröding är en fiskart som Ola Öberg, fiskodlare vid RecirkFisk PO, tidigare har använt i sina odlingar. En fördel med just denna art vid fiskodling är enligt Öberg att den trivs i kallt vatten ($<13\text{ }^{\circ}\text{C}$). Öberg menar att detta förenklar odlingen eftersom att kallare vatten kan innehålla mer gas, vilket medför att syresättningen till fisken blir lättare. Dessutom blir det billigare då man sparar energi på att inte behöva värma vattnet. Fjällrödningen livnär sig på insekter och snäckor där näringsbalansen mellan in- och uttag av föda är konstant när den är vuxen [69].

2.6.4.1 Data för beräkningar

Enligt en studie genomförd år 1990 i Langøyneset i Norge mättes metabolitproduktionshastigheten, med avseende på kväve och fosfor, för odlad fjällröding. Fjällrödningen var av storleken 50 till 71 g och odlades i inomhustankar i $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ saltvatten som genomgick regelbunden temperaturreglering och luftning. Produktionshastigheten för kväve uppmättes till $0,3\text{ mg/kg fisk/min}$, medan produktionshastigheten för fosfor uppmättes till $0,08\text{ mg/kg fisk/min}$ [70].

Fjällröding kan odlas med varierande täthet upp till 78,8 kg fisk/m³ i odlingstankar utan att tillväxt, välfärd eller vattenkvalitet försämras [71]. I en studie genomförd år 2009 i Bardu i Nordnorge odlades fjällröding med en täthet på 40 kg fisk/m³ i odlingstankar med volymen 45 m³ [72]. Denna data ligger till grund för beräkningarna i senare avsnitt.

2.7 De globala hållbarhetsmålen

Flera av FN:s globala hållbarhetsmål (sustainable development goals, SDG), så som livsmedelssäkerhet och klimatåtgärder kan förverkligas genom tångodling som en hållbar akvakulturmetod [30]. I tabell 2 nedan beskrivs de främsta globala hållbarhetsmålen som uppfylls genom algodling.

Tabell 2: FN:s globala mål [73] relaterat till tångodling [30].

Mål	Beteckning	Förklaring på hur användning av makroalger kan stödja målet.
1	Ingen fattigdom	Tångodling skapar inkomster och stärker lokala ekonomier.
2	Ingen hunger	90 % av odlad tång används som livsmedel med stor expansionspotential.
3	God hälsa och välbefinnande	Tång är näringsrikt och kan fungera som växtbaserad proteinkälla.
6	Rent vatten och sanitet för alla	Fungerar som biofilter, renar avloppsvatten och kan motverka övergödning.
7	Hållbar energi för alla	Tångbaserade bibränslen kan ersätta fossila bränslen i transportsektorn.
8	Anständiga arbetsvillkor och ekonomisk tillväxt	Samhällen kan dra nytta av småskaliga tångodlingar.
12	Hållbar konsumtion och produktion	Tångbaserad bioplast är en biologiskt nedbrytbar ersättning för petroleumplast.
13	Bekämpa klimatförändringarna	Tång binder koldioxid och avlägsnar näringsöverskott, vilket stödjer klimatåtgärder.
14	Hav och marina resurser	Tång förbättrar vattenkvaliteten och skyddar marina ekosystem.
15	Ekosystem och biologisk mångfald	Havsbaserad tångodling minskar markanvändning och bevarar biologisk mångfald.
17	Genomförande och globalt ledarskap	Tångodling främjar globala partnerskap för genomförande och utveckling.

3 Fallstudier - beräkning, resultat och sammanställning

Nedan följer en jämförelse mellan hur mycket alger som krävs för att rena avloppsvatten och för att rena vatten från en fiskodling samt en jämförelse i näringsinnehållet mellan makroalger och fjällröding.

3.1 Beräkningsmetod

Approximativa metoder har tillämpats för att beräkna mängden biomassa och antal alger för att rena vatten i olika tillämpningar. Sockertång har visat sig vara svårödlad i vatten med höga halter näringsämnen och därför görs följande beräkningar endast utifrån havssallat, då den klarar sig bättre i höga halter näringsämnen. Salthalten är relevant för tillväxt men det är inte med i följande beräkningar. En diskussion gällande hur optimal salthalt kan uppnås i de olika fallstudierna förs längre ned.

Beräkningarna antar dessutom 100 % reningseffektivitet och att allt näringsupptag binds till algen. Algen antages inte släppa ifrån sig några näringsämnen. Halten näringsämnen och algernas upptagningsförmåga antages vara konstanta på grund av ett ständigt inflöde med näringsämnen för respektive fall. Näringsämnena som undersöks är totalkväve och totalfosfor. Kväveupptag har beräknats utifrån tillväxthastighet och proteininnehåll i en genomsnittlig algväxt under optimala och näringsrika förhållanden under en månads tillväxt.

Havssallat har under optimala förhållanden visats växa upp till 35 g våtvikt (wet weight, ww) per månad [21]. Havssallat innehåller cirka 83 % vatten [26] och ger en slutlig tillväxt på 6,0 g dw per månad. Proteininnehållet under dessa odlingsförhållanden uppgick till omkring 35 % dw [21]. Havssallat har en protein-kväve-konversionsfaktor på 4,5 [74], vilket ger en total tillväxt rent kväve på ungefär 0,4 g/mån för en enskild planta havssallat. Vidare antages att all kväve befinner sig i protein.

Antal plantor räknas ut utifrån den mängd kväve som släpps ut från respektive fallstudie. Halten avskilt fosfor beräknas utifrån optimalt molförhållande för havssallat, 30:1 (N:P) [75][76]. Molförhållandet gäller lösta näringsämnen i vattnet, och antages även vara sammansättningen i havssallat. Mängden fosfor inbunden har approximerats med samma molförhållande. I samtliga fallstudier, förutom Ryaverket, är kväve den begränsande faktorn och för Ryaverket är det fosfor. Då plantan behöver båda näringsämnena för tillväxt kommer därmed bara en av dem att avskiljas till full effekt. Detta, sam-

tidigt som potentiella odlingsförhållanden, ytanvändning och teoretisk lösning på olika fallstudier presenteras nedan.

Parametrarna för havssallatens tillväxt är baserade på kontrollerad odling med en konstant koncentration på $25 \mu\text{M NH}_4^+$. Koncentrationen totalkväve i alla fallstudier presenteras nedan och är betydligt högre än detta men kan lösas genom utspädning. Det finns även viss data på hur havssallaten växer i högre halter, men ingen forskning under längre tidsperioder. Det har bland annat visat sig att andra grönalger, *Ulva prolifera* och *Ulva linza*, klarar sig i halter upp till $200 \mu\text{M NH}_4^+$ men att upptagningshastigheten planar ut efter ca $50 \mu\text{M NH}_4^+$. Dock kommer dessa resultat från korttidsstudier [75]. Hur den höga kvävehalten kan hanteras diskuteras senare.

Odlingsanläggningen som används för varje fallstudie består av odlingslinor. Linan antages innehålla 100 st havssallatsplantor per meter [26]. Linorna är placerade med 30 cm mellanrum på bredden, och 50 cm mellanrum på höjden. Varje odlingsanläggning är uppbyggd med två lager och är därmed en meter hög. Specifika dimensioner för bredd och längd i varje fallstudie specificeras.

3.1.1 Fallstudie: Ryaverket

Ryaverket är ett avloppsreningsverk i Göteborg och är anslutet till ungefär 825 000 personer. Tabell 3 visar data för genomsnittlig in- och utgående mängd kväve och fosfor under år 2023 [57].

Tabell 3: Årsgenomsnitt för in- och utgående mängd kväve och fosfor för Ryaverket år 2023.

	Totalkväve	Totalfosfor
Ingående (mg l^{-1})	28	3,5
Utgående (mg l^{-1})	7,1	0,2
Reduktion (%)	74,7	94,5

Den kväve som renas omvandlas till stor del till kvävgas som är harmlös och används inte vidare, utan släpps ut i luften. Det mesta av fosfor renas idag (94,5 %) och omvandlas till gödningsmedel och byggnadsmaterial [57]. Av dessa anledningar utformades beräkningarna på att framförallt minska utsläpp av kväve, för att ta tillvara på en resurs som idag inte används.

Hela anläggningen har ett normalflöde på 3,8 m³/s och har ett medelutsläpp på 75 ton totalkväve/mån. Resultaten visas i tabell 4 och exempelberäkningar återfinns i Bilaga C.

Tabell 4: Beräknad odlingsdata baserat på data från Ryaverket.

Totalt antal plantor (st)	188 202 654
Antal plantor / odlingslina (m ⁻¹)	100
Total längd lina (mil)	188,2
Biomassa (ton dw mån ⁻¹)	1119,8
Biomassa / person (g dag ⁻¹)	48,5
Längd lina / person (m)	2,3
Producerat protein (kg år ⁻¹ m ⁻³)	15,5

Enligt tabell 4 krävs det ungefär 188 miljoner aktivt växande havssallatsplantor för att motsvara den totala mängd kväve som släpps ut från Ryaverket. Den totala längden lina som krävs är därmed 188 mil lång.

Det optimala molförhållandet för löst kväve och fosfor för algens tillväxt är 30:1 [75]. Algens komposition antages därmed bestå av samma molförhållande under optimal tillväxt. Detta har används för att beräkna mängden upptagen och renad fosfor [76]. Det visar sig nedan att mängden fosfor som idag släpps ut från verket är för liten för optimal tillväxt och kommer därmed att behöva anpassas.

Den totala tillväxten med fosfor, och därmed också upptagen fosfor, presenteras i tabell 5. I tabellen visas även den mängd fosfor som hade behövts renas kemiskt för att inte begränsa tillväxt och därmed minska mängden kväve upptaget. Ryaverket renade år 2023 94,5 % av den ingående totalfosfor. Med den nuvarande kemiska reningen utgör fosfor den begränsande faktorn för alg tillväxt. Då mängden alger som behövs för fullständig rening är baserad på mängden kväve som släpps ut, så måste mängden fosfor som når algodlingen öka. För att inte skapa en begränsad mängd fosfor i algodlingen så behöver verket istället rena 86,4 % kemiskt, en minskning på 8,6 %. Den nuvarande reningen sker främst kemiskt och andelen fällning som behöver tillsättas kan därmed minskas.

Tabell 5: Beräkningar för fosfor baserat på data från Ryaverket.

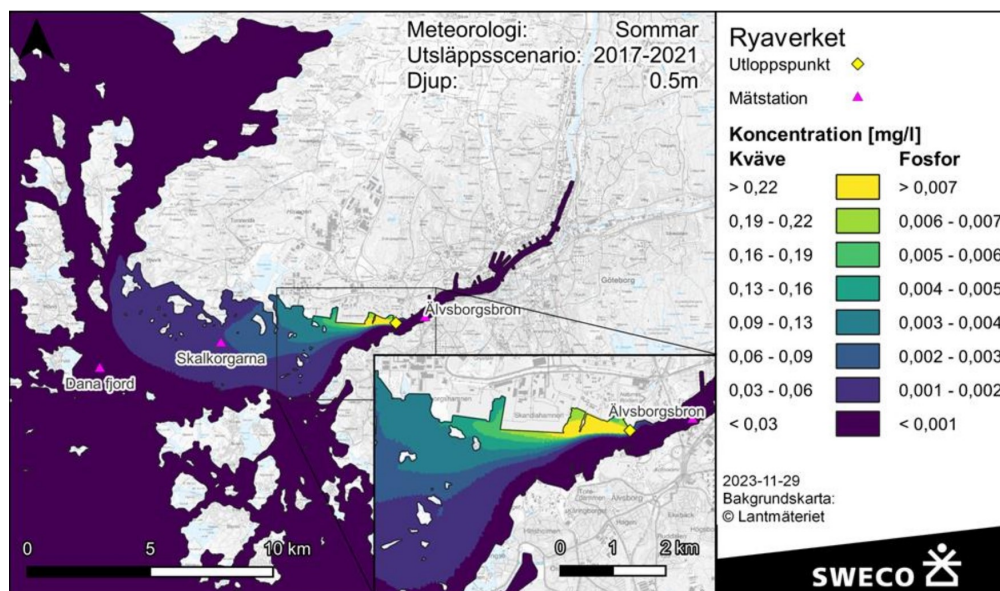
Förhållande N:P (mol:mol)	30:1
Förhållande N:P (g:g)	13,5:1
Total tillväxt av alger från P (ton mån ⁻¹)	5,5
Total utgående P Ryaverket (ton mån ⁻¹)	2,2
Totalt ingående P Ryaverket (ton mån ⁻¹)	40,6
Andel P avskilt med havssallat (%)	13,6
Andel P avskilt kemiskt (%)	86,4
Minskad kemisk rening P (%)	8,6

Då Ryaverket kan reglera mängden fosfor som renas kemiskt genom att tillsätta olika mängder fällning kan mängden fosfor som når algodlingen anpassas. På så vis kan både kväve- och fosforutsläpp minimeras genom att enbart släppa ut den mängd fosfor som krävs för tillväxt. Detta resulterar i att inga av näringsämnen är begränsade och därför tas båda upp av algen till fullo. Exempelvis kan mängden fosfor som renas kemiskt öka vid de tidpunkter som det finns mindre kväve tillgängligt för algodlingen. Därmed minskar mängden fosfor som når algen proportionerligt till den mängd kväve som finns tillgänglig för upptagning av algodlingen. Värdena i tabell 5 är baserade på ett medelutsläpp av kväve, där allt kväve teoretiskt upptas. En lägre andel fosfor behövs renas kemiskt för att det ska finnas tillräckligt med fosfor för algutväxt. Efter att vattnet passerat odlingen är därmed vattnet helt avskilt. I verkligheten sker inte reningen fullständigt vilket diskuteras senare.

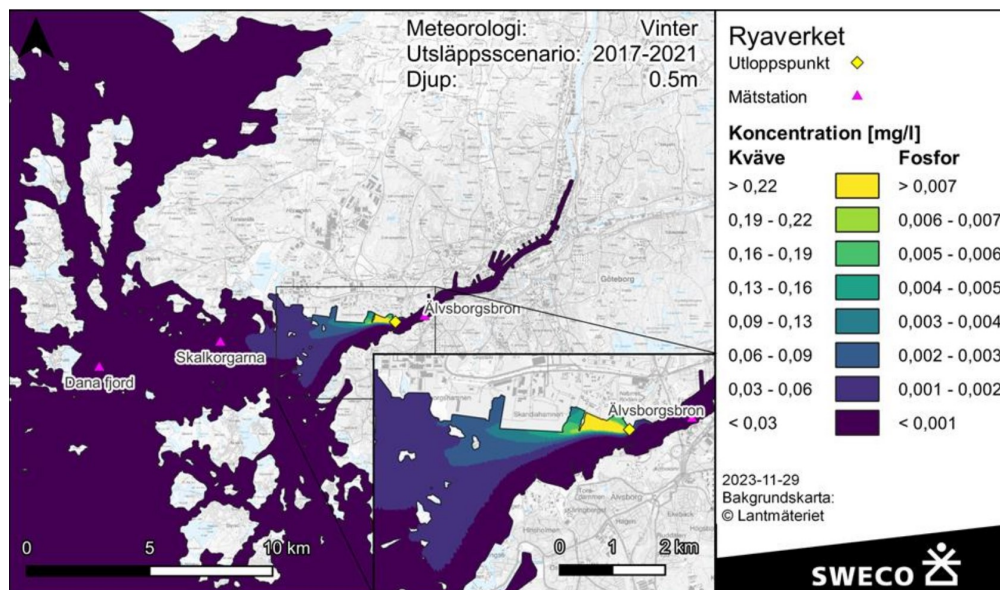
En exempellösning på odlingsanläggning är en bassäng, vattendrag eller konstgjord sjö med dimensionerna 1000 x 282 x 1 m. Vid dubbel uppsättning linor på höjden beräknas odlingslinorna placeras på 30 cm avstånd mellan vardera på bredden. Totalt spänns därmed 1882 linor fram och tillbaka längs långsidan av bassängen. Detta motsvarar en biomassa på runt 1119,8 ton alger per månad vilket kan uppskattas till 48,5 g dw algbiomassa per dag per person.

Då saltvatten är en förutsättning för tillväxt av havssallat behövs odlingen placeras i havet, i närhet av utsläppspunkten från verket. Detta skapar en utspädd koncentration av näringsämnen som varierar beroende på avstånd från utloppet [77]. Figur 10 visar en karta på halter näringsämnen i havet. Eftersom den högsta halten kväve uppmätt är större än 0.22 mg/l behövs odlingen placeras så nära som möjligt då halten som

tillväxthastigheten är baserad på $25 \mu\text{M NH}_4^+$, vilket motsvarar 0,35 mg/l kväve.



(a)



(b)

Figur 10: Utsläpp kväve och fosfor från Ryaverket under (a) sommar och (b) vinter [77]. Återgiven med tillstånd.

3.1.2 Fallstudie: Flerbostadshus och enskild villa

För ytterligare undersökning av havssallatens reningskapacitet studeras ett flerbostadshus på cirka 1500 personer och en villa på fyra personer. Utsläppt svartvatten (SV) och köksvatten (KV) analyseras innan vattenrening. Dessutom omvandlades även data till totalt gråvatten (GV) då 80-95 % av alla näringsämnen kommer från SV och KV av den totala mängden spillvatten, som då utgörs av SV och GV. Totalmängd kväve och fosfor visas i tabell 6 [78].

Tabell 6: Utsläppt svartvatten och gråvatten.

	Totalkväve	Totalfosfor
Utsläppt SV + KV (kg person ⁻¹ år ⁻¹)	4,5	0,6
Utsläppt spillvatten SV + GV (kg person ⁻¹ år ⁻¹)	5,1	0,7
Utsläppt spillvatten SV + GV (g person ⁻¹ dag ⁻¹)	14,0	1,8
Utsläppt spillvatten SV + GV (g 1500 personer ⁻¹ dag ⁻¹)	20 979,8	2722,2
Utsläppt spillvatten SV + GV (g 4 personer ⁻¹ dag ⁻¹)	56,0	8,0

Dessa värden användes därefter för att beräkna antalet havssallatsplanter som krävs för att rena ett flerbostadshus på 1500 personer respektive en villa på fyra personer. Beräkningen genomfördes på samma sätt som för Ryaverket. Antal planter, förväntad längd lina och totalmängd biomassa visas i tabell 7. Kväve visar sig vara den begränsande faktorn, vilket gör att all fosfor inte upptas. Värden redovisas i tabell 8. Exempelberäkningar återfinns i Bilaga D.

Tabell 7: Antal planter, längd på linor och total mängd biomassa för ett flerbostadshus och en villa.

	Flerbostadshus	Villa
Antal planter (st)	1 477 633	3940
Antal planter per meter (m ⁻¹)	100	100
Totallängd lina (m)	14 776,3	39,4
Totalmängd biomassa (kg (dw) månad ⁻¹)	8791,9	2722,2
Totalmängd biomassa (g (dw) person ⁻¹ dag ⁻¹)	209	209

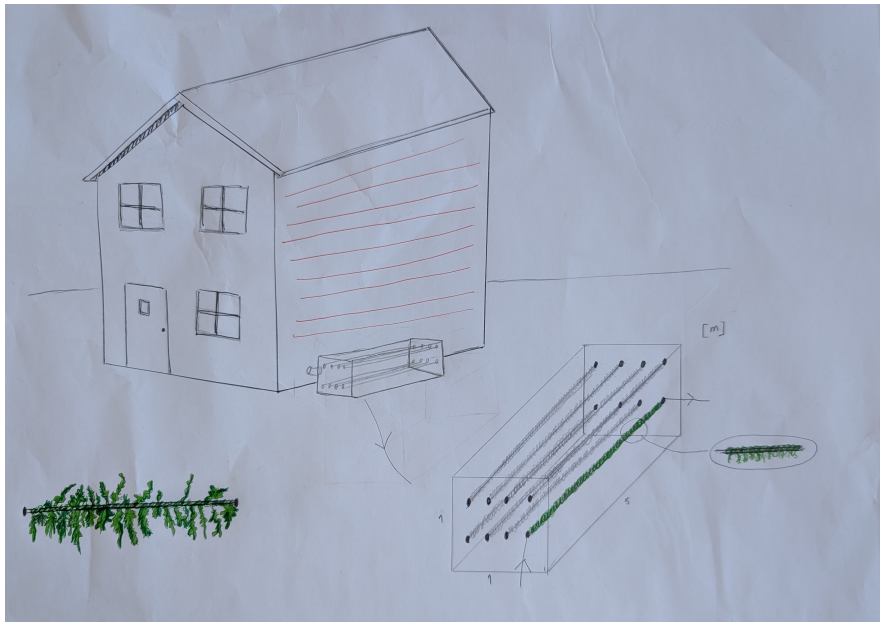
I tabell 7 syns det att det krävs ungefär 1 477 633 st respektive 3940 st havssallatsplantor för att rena den totala mängden kväve och en del av den fosfor som släpps ut från ett flerbostadshus respektive en villa. Även detta resultat antar 100 st plantor per meter lina. Den totala längden lina som krävs för ett flerbostadshus är dryga 14 776 m och för en villa är det ungefär 39 m.

Tabell 8: Total mängd renad fosfor för flerbostadshus och villa.

	Flerbostadshus	Villa
Ingående P (g mån ⁻¹)	76 222	203
Utgående P (g mån ⁻¹)	43 358	116
Avskilt P (g mån ⁻¹)	32 864	88
Andel P avskilt (%)	43	43

Tabell 8 visar total mängd avskild fosfor. Då kväve utgör den begränsande faktorn kommer inte all fosfor renas. Till skillnad från Ryaverket kan inte fosforutsläpp regleras genom kemisk rening. Flerbostadshus antar 1500 personer medan villa antar 4 personer, vars utsläpp av fosfor redovisas i tabell 6.

För att exemplifiera en hypotetisk lösning hade en tank på 5x1x1 m med 8 st linor med växande algplantor kunnat konstrueras för att upprätthålla ett fullständigt avskilt vatten för en villa, baserat på kväve. På liknande sätt hade totalt 10 st tankar på exempelvis 32x7x1 m kunnat installeras i vardera hus i ett lägenhetskomplex på 10 byggnader. Totalt behövs 46 st linor för vardera tank. En skiss syns i figur 11.



Figur 11: Figuren visar en konceptuell skiss av en tankrening med havssallat. Vid huset sitter en tank som är kopplad med ström och avloppsvatten från huset. Tanken har åtta rep med växande havssallatsplanter längs med. Fullväxt alg syns till vänster i bilden, som är redo att skördas och därefter bli ersatt av nya sporofyter. Bilden är inte skalenlig.

3.1.3 Fallstudie: Recirkulerande akvakultursystem med saltvatten och fjällröding

Nedan undersöks mängden makroalger som krävs för att ta upp och rena den mängd näringsämnen, i form av kväve och fosfor, som odlad fjällröding producerar. Produktionshastigheterna antages vara $0,3 \text{ mg/kg fisk/min N}$ och $0,08 \text{ mg/kg fisk/min P}$ för fjällröding av storlek 50 till 71 g i 6°C saltvatten i inomhustankar. Det är samma data som presenteras i studien från Langöyneset i Norge i tidigare avsnitt [70]. Odlingstanken antages precis som i studien från Bardu i Nordnorge vara 45 m^3 stor och ingå i ett recirkulerande akvakultursystem. Odlingstätheten sätts till 40 kg fisk/m^3 , även den samma som i studien från Bardu [72].

Enligt tidigare beräkningar växer en enskild havssallatväxt med upptag av ungefär $0,4 \text{ g kväve/mån}$. Det innebär att det skulle krävas cirka 60 245 st aktivt växande havssallatsplanter för att ta upp den mängd kväve som produceras av fjällrödingen i odlingstanken. Vid odling med 100 st planter per meter odlingslina skulle det därmed krävas en 602 m lång odlingslina.

En havssallatväxt tar upp ungefär 0,03 g fosfor/mån, då molförhållandet N:P är 30:1. Därav skulle det krävas cirka 222 604 st aktivt växande havssallatsplantor för att ta upp den mängd fosfor som fjällröding producerar i odlingstanken. Vid odling med 100 st plantor per meter odlingslina skulle det då krävas en 2226 meter lång odlingslina.

I denna fallstudie är det kväve som är den begränsande faktorn för alg tillväxt, vilket innebär att inte all fosfor kommer att kunna renas, utan endast 27 %. Därmed skulle det inte heller vara möjligt att ha en odlingslina längre än 602 meter, såvida inte kväve tillsätts externt på något sätt för att väga upp fosformängden. Tabell 9 nedan visar sammanställd odlingsdata. Beräkningar redovisas i Bilaga E.

Tabell 9: Beräknad data för fjällrödingsodling (RAS).

Näringsämne	N	P
Total produktion av näringsämne (g h^{-1})	33,3	9,1
Totalt antal plantor (st)	60 245	222 604
Antal plantor / odlingslina (m^{-1})	100	100
Total längd lina (m)	602,5	2226,0

3.2 Proteinjämförelse mellan havssallat och fjällröding

Det tar ungefär två år för fjällrödingen att gå från romkläckning till en vikt på 700-800 g, som är en normal storlek för att sälja fjällröding för konsumtion [69]. Om odlingstanken precis som i tidigare beräkningar är av storleken 45 m^3 och odlingstätheten 40 kg fisk/m^3 , innebär det att 1800 kg fisk ww odlas under en tvåårsperiod. Detta ger en torrsvikt (dw) på 1332 kg fisk och då proteinhalten är 28 % betyder det att 373 kg utgörs av protein [79]. Vidare medför det att fjällröding i detta beräkningsexempel ger upphov till $4,2 \text{ kg protein/m}^3/\text{år}$.

Tabell 10: Beräknad proteinmängd för fjällröding med avseende på volymanvändning och tillväxthastighet.

Tankvolym (m^3)	45
Odlingstäthet (kg fisk m^{-3})	40
Fiskmängd (kg fisk)	1800
Proteinhalt (dw) (%)	28
Proteinmängd ($\text{kg protein m}^{-3} \text{ år}^{-1}$)	4,2

För att jämföra den beräknade proteinproduktionen ($\text{kg/m}^3/\text{år}$) utfördes motsvarande beräkning för havssallat. Beräkningarna baserades på tankar med volymen 45 m^3 och ett enhetligt djup om 1 m, vilket möjliggör två höjdnivåer med sammanlagt 30 linor per tank för att maximera volymutnyttjandet. På så sätt kan 30 000 st plantor (100 st per meter lina) odlas vilket ger upphov till $15,5 \text{ kg protein havssallat/m}^3/\text{år}$. Beräknade värden syns i tabell 11. Detta värde är detsamma för alla odlingsanläggningar nämnda ovan, då parametrar så som odlingstäthet och näringsupptag är densamma. Beräkningar för både fjällröding och havssallat återfinns i Bilaga F.

Tabell 11: Beräknad proteinmängd för havssallat med avseende på volymanvändning och tillväxthastighet.

Volym (längd x bredd x djup) (m^3)	45 (10 x 4.5 x 1)
Antal nivåer av rader för linor (st)	2
Antal linor per nivå (st)	30
Avstånd mellan linor (m)	0,3
Antal plantor per meter (st m^{-1})	100
Total antal plantor (st)	30 000
Proteinmängd ($\text{kg protein m}^{-3} \text{ år}^{-1}$)	15,5

4 Diskussion

Makroalger har flertalet användningsområden, produkten i sig fungerar som ett näringsrikt livsmedel men kan också användas inom flera andra industrier. Odling av tång har flera tillvägagångssätt och vattnet som algen växer i har en stor inverkan på produktens innehåll och tillväxthastighet. Makroalgens förmåga att snabbt ta upp näringsämnen gör den till en effektiv vattenrenare, inte minst i olika avloppsvatten. Marina primärproducenter som sockertång och havssallat är dessutom en betydande faktor för upptag av koldioxid.

Algens proteininnehåll och totala livsmedelsproduktion har jämförts med det från en fiskodling. Arbetet har inga egna odlingsförsök vilket innebär att inga direkta etiska risker uppstår i koppling till projektet. Däremot begränsar metoden, huvudsakligen litteraturstudien, arbetet till enbart teoretiska beräkningar och approximationer för att bilda en uppfattning kring möjligheten för hållbara lösningar till livsmedelskrisen, där oanvända resurser, så som avloppsvatten, utnyttjas. För att bekräfta rapportens förväntade resultat så krävs praktiskt utförande samtidigt som fortsatt forskning kring respektive del av arbetet. Inte minst kring tillväxtmodeller för makroalgen för att få en mer korrekt uppfattning om hur effektivt algen hade tagit upp näringsämnena under respektive odlingsförhållanden. Vidare forskning krävs dessutom för att utvärdera mängden näringsämnen i makroalgen som tas upp vid förtäring.

4.1 Makroalger som livsmedel

En klar miljömässig fördel med havsbaserad algodling är att det inte kräver åkermark, gödningsmedel eller sötvatten. Detta gör havsbaserad algodling till ett hållbart alternativ; delvis för att det inte bidrar till övergödning och delvis för att det inte konkurrerar med landbaserade odlingar. Därav blir istället landbaserad produktion kompletterad eller kanske till och med ersatt med havsbaserad tångodling och kan därmed bidra till att bevara marina och landsbaserade ekosystem (SDG 14 och SDG 15). Med nackdelarna som följer landbaserade odlingar så bör det tilläggas att en fördel är att i en facilitet kan man skapa optimala odlingsförhållanden vilket möjliggör att en önskad tillväxt och näringsupptag kan uppnås.

Tång bidrar till en mer diversifierad och hållbar livsmedelsförsörjning. För närvarande används 90 % av den odlade tången inom livsmedelsindustrin. Förutsatt att algindustrin fortsätter att expandera och att andelen som går till livsmedelsindustrin bibehålls, kan detta bidra till att uppfylla SDG 2 som handlar om att minska hungern i världen. I

dagsläget finns produkter som bland annat tångsalt, tångknäckebröd och pesto gjord på tång, vilket visar potentialen att framställa bekanta produkter av alger. En ytterligare möjlighet är att använda makroalger i kombination med andra produkter, exempelvis med kött för att tillsammans utgöra en färs av alg och kött. Genom att torka och mala makroalger så kan de dessutom användas till allt från buljong och pasta till proteinberikat bröd och proteinpulver. För att sänka tröskeln för konsumentacceptans är det fördelaktigt med alger som funktionella ingredienser som nämnts ovan.

Det går att äta makroalger direkt efter skörd men flera faktorer begränsar denna möjlighet, bland annat det höga innehållet av jod som begränsar konsumtionen eftersom ett för stort intag kan leda till hälsoproblem. Färsk sockertång och havssallat har en kort hållbarhet och sätter krav på direkta åtgärder efter skörd för att kunna sälja vidare tången. Sockertång och havssallat skiljer sig i form och färg men även smakprofilen. Sockertång blir större och har en mildare smak jämfört med havssallat som kan vara något bitter, och detta kan påverka valet av vilken makroalg som ska användas. Utöver havssallat och sockertång finns många andra ätbara makroalger. För att kunna marknadsföra och sälja tång som livsmedel är ett viktigt steg att göra produkten konsumentvänlig, oftast genom olika typer av förädling.

Makroalger har naturligt lägre proteinhalt än många traditionella proteinkällor men de innehåller många av de essentiella aminosyrorna. Genom att odla makroalger i näringsrikt processvatten från exempelvis fiskodlingar, stärker det rollen som framtida växtbaserad proteinkälla. Däremot kommer förmodligen inte makroalger som är odlade i avloppsvatten att vara lämpade för livsmedelskonsumtion i nuläget. Det skulle troligtvis möta motstånd hos konsumenterna, samtidigt som det finns en risk att mikroföroreningar fångas upp av algerna och vid konsumtion av dessa kunna påverka hälsan hos konsumenterna.

4.2 Rening med makroalger

Teoretiskt sett, utifrån tidigare nämnda antaganden, så hade lösningarna för avloppsrening för både Ryaverket och privatbostadshus fungerat till att rena vattnet från näringsämnen. I praktiken minskar upptagningsförmågan hos plantan då halterna lösta näringsämnen minskar i dess omgivning och alltså inte hålls konstant över hela odlingsanläggningen. Detta resulterar i en lägre totalomsättning och då inte heller en fullständig rening. Omsättningsgraden förväntas dock vara relativt hög då näringsämnen ständigt fylls på av inflödet till odlingsanläggningen. Ytterligare empirisk forskning kring algens tillväxt vid olika halter näringsämnen, odlingstäthet och vattenflöde hade

behövts för att ta fram en matematisk modell för tillväxt och därmed reningsförmåga.

För beräkningarna i avloppsvattnet antogs halten kväve och fosfor vara konstant, med antagandet att koncentrationen av näringsämnen skulle förbli jämn i havssallaten och därmed möjliggöra kontinuerlig tillväxt. I ett verkligt scenario varierar dock näringshalten i anläggningen och hålls således inte konstanta, vilket medför att tillväxthastigheten också fluktuerar. Utöver näringskoncentrationerna uppkommer även frågan om hur vattenflödet och turbulensen i systemet påverkar diffusionen av näringsämnen till makroalgerna. Dessa hydrodynamiska faktorer kan i vissa fall påverkas av externa förhållanden såsom nederbörd, särskilt i avloppssystem där dagvatten och spillvatten leds gemensamt. Ökat inflöde till reningsverket kan i sådana fall förändra strömningsförhållandena, vilket i sin tur kan påverka näringstransporten till algens yta.

Nordic SeaFarm placerade deras odlingslinor ungefär en meter mellan varandra (se figur 5a och 5b) för att skapa utrymme för båten och bredda sin odling. I beräkningarna antogs avståndet till 30 cm mellan varje odlingslina till följd av medellängden för havssallaten. På så sätt finns utrymme för makroalgen att växa på alla håll samt möjlighet till bra exponering av solljus. Avståndet i höjddled antogs till 50 cm mellan linorna, vilket minimerar risken att linorna stöts ihop och samtidigt får ljuset att räckta ner. Detta innebär ett totalt vattendjup på en meter, vilket säkerställer tillräcklig ljustillgång för samtliga plantor.

4.2.1 Näringsämne- och salthalter

Ett problem som uppstår kopplat till alger som reningsmetod är att vattnet kan innehålla för höga kväve- och fosforkoncentrationer vilket leder till att makroalgen riskerar att övergödas och dö under processen. Därav hade vattnet behövt spädas med havsvatten vilket både hade underlättat reningsprocessen och samtidigt skapat bättre tillväxtförhållanden för en saltvattenalg som havssallaten.

Ryaverket är av störst intresse vid beräkning av havssallatens potential att rena vatten från näringsämnena kväve och fosfor. Då Ryaverkets rena vatten mynnar ut i Göta Älv finns potential att nyttja saltvattnet genom att anlägga en odling precis vid mynningen och på så sätt är salthalten optimal för rening av avloppsvatten från Ryaverket. Nackdelen är att systemet inte längre är slutet och en del av näringsämnena kommer att kringgå odlingsanläggningen och därmed inte tas upp.

Beräkningarna som gjordes för flerbostadshus respektive villa hade som ändamål att se till havssallatens reningskapacitet och vilken mängd alger som hade behövts. Att

uppnå önskad salthalt för optimal tillväxt av havssallat i rent avloppsvatten från dessa hus är däremot omöjligt. Därav hade det varit fördelaktigt att istället undersöka en sötvattenalg vid rening av denna typ av vatten, om sötvattenalgen har samma reningsförmåga. Halten näringsämnen för optimal tillväxt behöver därmed också spädas ut med annat vatten, exempelvis regnvatten, vid behov.

4.2.2 Exempel på konstruktion

För tillfället är antalet havssallatsplanter och arean väldigt stor för en potentiell utbyggnad. Om reningen endast kräver en liten minskning av kväve och fosfor, alltså att det inte förväntas rena allt, hade både ytan och antalet planter kunnat minimeras betydligt. Ytan är alltså proportionerlig mot reningsförmågan.

I bostadshus och villor är det även möjligt att späda ut vattnet som algen renar. Tankarna hade kunnat placeras på husväggar eller i varje lägenhetskällare. Genom att placera tanken på utsidan av husväggen exponeras havssallaten för solljus om tanken är genomskinlig och riktas mot solen, vilket medför att havssallaten kan växa och därmed renar optimalt. Om systemet appliceras nära huset minimeras extern förlängning av exempelvis rör och el, se figur 11.

I lägenhetshus krävs däremot konstgjord belysning om tankarna hålls undan från solljuset, som exempelvis nere i en källare. Möjligen hade en liknande konstruktion som för villor kunnat implementeras genom att fästa en stor och sammanhängande genomskinlig vägg längs med lägenheter med avloppsvatten och makroalger. Genom rening av vatten direkt i eller nära privatbostäder kan belastningen på kommunala reningsverk minska, eftersom en del av näringsämnena avskiljs redan innan vattnet leds vidare i systemet. Även om det renade vattnet inte återförs till bostadens vattenförsörjning kan koncentrationerna av näringsämnen ändå reduceras innan vattnet återanvänds eller släpps ut. Ett alternativt användningsområde för detta lokalt renade vatten, som annars hade letts till reningsverket, är bevattning av närliggande grönytor, såsom parker eller stadsodlingar. Genom en sådan resursåterföring minskar behovet av ytterligare behandling i reningsverk, samtidigt som vattenresurser används mer cirkulärt och effektivt.

4.2.3 Avloppsvattenrening i praktiken

De största utmaningarna som makroalgrening står framför är verkligheten och vad som är möjligt att utveckla baserat på dagens samhälle och hur långt forskningen har kommit. Beräkningarna som gjorts bevisar att det går att utföra efter generella antaganden, mängder och principiella konstruktioner. Utmaningen ligger dock i vad som är praktiskt

möjligt att tillämpa om dessa ytterligare reningsprocesser hade etablerats för reningsverk, lägenhetskomplex eller villor. Mer omfattande forskning krävs för att säkerställa och visa hur pålitlig makroalgers vattenreningsförmåga är i större utsträckning.

När väl forskningen är genomförd krävs allt större odlingar och en specifik marknad för att producera rätt mängd makroalger till ändamålet. Följaktligen måste algens reningsförmåga även säljas in som system och köpas av reningsverk alternativt kommuner men även godkännas av exempelvis EU och miljödepartement innan uppförande. Produktionen kommer även att ifrågasätta kostnaderna för planering, byggnation, användning och efterproduktion. Det måste kunna sättas ett värde och vara lönsamt i längden att investera och nyttja processen. Slutligen bör även andra relevanta faktorer beaktas, såsom personal- och lönekostnader, drift av verksamheten, val av byggplats och byggmetod, samt potentiella miljökonsekvenser, exempelvis risken för att odlingslinor slits loss och bidrar till marin nedskräpning.

4.3 Andra användningsområden

Om användningen av makroalger odlade i avloppsvatten inte anses attraktiv inom livsmedelsindustrin på grund av förekomst av tungmetaller, läkemedelsrester, samt allmän skepsis kring vattenkvaliteten, finns det fortfarande flera andra potentiella användningsområden. Ett exempel är produktion av bioplast baserad på makroalger, vilket skulle kunna ersätta konventionell plast och därigenom minska resursförbrukningen. År 2024 investerade IKEA i Nordic SeaFarm för att stödja utvecklingen av denna typ av tillämpning vilket visar att intresset från industrin finns. En sådan tillämpning av makroalger möter även flera av FN:s hållbarhetsmål. Med tanke på den omfattande plastföroreningen i världshaven kan tångbaserad bioplast vara ett betydelsefullt alternativ för att utveckla biologiskt nedbrytbara material. Detta kan minska beroendet av petroleumbaserad plast och bidra till att uppfylla SDG 12 om hållbar konsumtion och produktion. Även tångbaserade biobränslen är en eftertraktad lösning och spelar en viktig roll i diskussionen om hur transportsektorn kan minska sina utsläpp av fossila bränslen. Genom att utnyttja dessa biobränslen kan hållbarhetsmålet om tillgång till hållbar energi för alla (SDG 7) uppfyllas.

Tång innehåller antioxidanter, kostfiber, makro- och mikronäringsämnen samt essentiella fettsyror, vilket gör den till en intressant aktiv substans i kosmetika med potentiella hälsofördelar. Användningen av makroalger inom kosmetikabranschen är redan etablerad och med tanke på att mikroplaster i kosmetiska produkter utgör ett miljöproblem, då de ofta hamnar i avloppsvatten och vidare ut i havsmiljön, skulle makroalger kunna

erbjuda ett mer hållbart alternativ. Förutom att minska plastföroreningar kan makroalger även bidra till förbättrad hälsa, då de är rika på bioaktiva ämnen såsom antioxidanter. Detta knyter även an till det globala hållbarhetsmålet SDG 3 (god hälsa och välbefinnande), där tångodling kan spela en roll.

4.4 Jämförelse mellan fjällröding och havssallat

Proteinmängden för fjällröding som odlas i en tankstorlek på 45 m³ beräknades till 4,2 kg/m³ år⁻¹, medan proteinmängden för havssallat, odlad i samma vattenvolym, beräknades till 15,5 kg/m³ år⁻¹.

Trots att proteinmängden för havssallat är större än för fjällröding är det oklart hur stor andel av proteinet från havssallat som kroppen faktiskt kan bryta ner för att sedan omvandla till aminosyror. Enligt Kristoffer Stedt, forskare på GU, är detta ännu inte klarlagt, men den begränsade forskning som har gjorts hittills pekar på att kroppen förmodligen inte kan ta upp allt protein. Dessutom finns det inte heller färdiga processer för att utvinna proteinet ur algerna för att sedan använda i köttersättningsprodukter, till skillnad från till exempel soja och ärtor.

En jämförelse mellan havssallat och fjällröding visar att odlingsförhållandena skiljer sig avsevärt. Havssallaten kan odlas med hög biomassa-täthet medan fisk kräver tillräckligt utrymme för fri simning, vilket begränsar densiteten och därmed tillväxthastigheten. Dessutom är alger fotoautotrofa och kan omvandla oorganiskt kol till biomassa och syntetisera protein via fotosyntes. Detta leder till en högre proteintillväxt än fjällröding, som är heterotrof och beroende av externt foder. Vid beräkningarna antogs att havssallat odlas på linor med ett avstånd på 30 cm, ett antagande som tillämpats i samtliga beräkningar. Det är dock osäkert om detta avstånd är realistiskt, om raderna placeras för tätt kan den beräknade biomassaproduktionen överskatta det faktiska utfallet. Fjällröding odlas under en tvåårsperiod, medan alger odlas säsongsmässigt under ett år. Detta medför en betydande skillnad i beräknad biomassa-tillväxt per år.

Odlingstätheten för fjällröding antages till 40 kg fisk/m³, baserat på en studie från Nordnorge. Däremot hävdar en annan studie att fjällröding kan odlas så tätt som 78,8 kg fisk/m³ utan att tillväxt, välfärd eller vattenkvalitet påverkas negativt. Denna odlingstäthet är nästan dubbelt så stor och innebär att mängden protein som kan erhållas från samma tankstorlek och tidsperiod möjligtvis skulle kunna vara nästan dubbelt så stor och därmed betydligt närmare proteinmängden som havssallaten ger.

Istället för att enbart jämföra odlingsformer efter proteinavkastning per volymenhet är den mest ändamålsenliga strategin att tillämpa IMTA, där fjällröding och havssallat odlas i samspel. Makroalgerna tar upp näringsämnen (kväve och fosfor) som frigörs av fiskens metabolism, vilket både stimulerar alg tillväxten, förbättrar vattenkvaliteten och bidrar till hållbarhetsmålet om rent vatten och sanitet för alla (SDG 6). Denna metod kan användas i såväl landbaserade recirkulerande system som i kustnära odlingar, till exempel i norska fjordar. I landbaserade IMTA-anläggningar kan företag sänka kostnaderna för vattenrening avsevärt eftersom näringsåtervinning sker naturligt genom algbiomassan. I kustnära odlingar kan näringsutsläppet till omgivande vatten minskas och därigenom motverka eutrofiering som möter SDG 14.

4.5 Framtidens möjligheter

Algodlingar på land öppnar upp möjligheten till att använda processvatten från industrier för att berika vattnet alger odlas i. Landbaserad odling gör det också lättare att kontrollera odlingsklimatet och därmed optimera förutsättningar för tillväxt och näringsupptag, med nackdelen att de kräver markyta som annars kan användas till annat.

Oavsett om makroalger används som växtbaserad proteinkälla, biologiskt vattenfilter vid avloppsvattenrening eller som råvara för bränslen, kosmetika och läkemedel, finns det en betydande potential i deras tillämpningar och processoptimering som bör utnyttjas. Som tidigare nämnts finns betydande möjligheter att använda makroalger inom flera industrier, men för att realisera dessa krävs ytterligare forskning samt ett ökat investerings- och intresseengagemang. Så länge produktionskalan är begränsad och det saknas en etablerad marknad för det material som krävs vid uppstart av algodling blir kostnaderna snabbt mycket höga. Strängare regulatoriska krav från EU eller nationella myndigheter, till exempel kvantitativa gränsvärden för användningen av petroleumbaserade produkter i förhållande till miljövänliga alternativ, skulle kunna påskynda industrins omställning. Medan företag som IKEA som frivilligt investerar i initiativ som Nordic SeaFarm är det sannolikt att majoriteten av industrin inte vidtar liknande åtgärder utan tydlig ekonomisk drivkraft. Sådana krav eller riktlinjer är sannolikt avgörande för att stater ska kunna nå de globala hållbarhetsmålen.

4.6 Samhälleliga och etiska aspekter

Havsbaseade algodlingar kräver idag kustnära ytor vilket potentiellt begränsar möjligheten för båttrafik, bad och andra havsaktiviteter. Det är därför viktigt att placera algodlingar i områden där båttrafik är minimal. Trots att majoriteten av odlingsutrustningen är under vatten finns det risk att de uppfattas som störande för kustlandskapets estetik. Hur stor andel av allmänheten som anser att detta är ett problem är oklart, men bör undersökas innan implementering av större kustnära odlingar. Vidare är odlingsbar havsyta till ytan mycket större än odlingsbar landyta vilket öppnar upp för att den påfrestningen som annars hade skett på land istället kan hanteras av odlingar till havs.

När nya produkter utvecklas så är det sällan det tar fart med en gång, oftast tar det tid för en vara att bli en etablerad del av marknaden. För att alger lättare ska kunna få en plats i livsmedelsbranschen och samhället i övrigt så behöver de förutom tid också få större acceptans från befolkningen. Detta kan ske genom stegvisa implementeringar i livsmedel och andra produkter, som diskuterats ovan. Fortsättningsvis krävs också en acceptans för alger som odlas i avloppsvatten. Det behöver nödvändigtvis inte betyda att de måste förtäras eftersom det kan finnas mikroföroreningar och andra skadliga ämnen i det renade avloppsvattnet som algerna tar upp, men de kan nyttjas i andra områden som exempelvis drivmedel eller plast.

Med en ny växande industri så tillkommer flera arbetstillfällen i samhället. KOASTAL tar vara på erfarenhet och kunskap från dagens fiskare och skapar ytterligare arbetstillfällen för dessa, medan Nordic SeaFarm anlägger helt nya odlingar och skapar därmed nya arbetsmöjligheter. Särskilt för oetablerade nischer som uppkommer så är det viktigt att säkerställa rättvisa arbetsförhållanden och villkor för de personer som ger sig in i branschen. På så vis främjas en stabil grund för utveckling och samhällsintegrering, både för arbetare och konsumenter.

5 Slutsats

Rapporten undersöker vad makroalger är, hur de är uppbyggda och vad de kan bidra med som livsmedel, alternativa produkter, avloppsvattenrenare och restvattenrenare från fiskodling.

Sammanfattningsvis visar denna litteraturstudie på makroalgernas mångsidiga potential som ett näringsrikt livsmedel och möjligheten att använda dem i andra branscher så som bränsle- eller läkemedelssektorn. Deras snabba tillväxt och förmåga att ta upp näringsämnen gör dem till en intressant kandidat för hållbara lösningar, inte minst i kombination med resursåtervinning från avloppsvatten och integrerade odlingsystem. Trots potentialen för livsmedelsanvändning, där alger kan integreras i befintliga produkter eller användas som proteinberikning, kan det finnas utmaningar kring konsumentacceptans beroende på hur algerna odlas.

Rent praktiskt kommer det vara svårt att rena avloppsvatten i privatbostäder då algen kräver saltvatten. För ett större projekt, som Ryaverket, hade det teoretiskt sett krävts 188 202 654 st havssallatsplantor på totalt 188 mil lång odlingslina för att rena allt kväve och fosfor därifrån. Det skulle även krävas 1 447 633 st havssallatsplantor på totalt 14,7 km odlingslina för ett flerbostadshus på 1500 personer och 3940 st plantor på totalt 39,4 m odlingslina för en villa för att rena allt kväve och lite drygt 40 % av den mängd fosfor som släpps ut. Det är dessutom svårt att se att algerna kommer kunna rena fullständigt då koncentrationerna av näringsämnena varierar. Även strömning, turbulens, dagvatten och nederbörd kan påverka reningsförmågan och näringstransporterna.

Hypotetiskt skulle det krävas 60 245 st havssallatsplantor på en 602 m lång odlingslina för att rena allt kväve och 27 % av allt fosfor som produceras i fallstudien för fjällröding. Havssallat producerar 15,5 kg protein/m³ år⁻¹, medan fjällröding producerar 4,2 kg protein/m³ år⁻¹. Därmed producerar havssallat teoretiskt sett mer protein per volymenhet än fjällröding. Det går dock inte att dra någon slutsats huruvida havssallat eller fjällröding är den mest effektiva eller mer hållbara proteinkälla då det krävs mer forskning över hur mycket protein kroppen faktiskt kan ta upp från havssallat.

Referenser

- [1] FAO. "Land use in agriculture by the numbers | Sustainable Food and Agriculture | Food and Agriculture Organization of the United Nations". (), URL: <https://www.fao.org/sustainability/news/detail/en/c/1274219/> (hämtad 2025-02-11).
- [2] UN. "Food and Climate Change: Healthy diets for a healthier planet". (2025), URL: <https://www.un.org/en/climatechange/science/climate-issues/food> (hämtad 2025-02-11).
- [3] V. H. Smith och D. W. Schindler, "Eutrophication science: where do we go from here?", *Trends in Ecology & Evolution*, 2009. DOI: 10.1016/j.tree.2008.11.009. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016953470900041X>.
- [4] S. Toth Gunilla; Liljenström, "Möjligheter och hinder för en svensk algindustri", Swedish, Department of marine sciences, University of Gothenburg, juni 2023. URL: https://www.gu.se/sites/default/files/2023-07/Policy%20brief%20svensk%20algindustri%20webb_1.pdf (hämtad 2025-02-11).
- [5] M. Caria Mendes, S. Navalho, A. Ferreira m. fl., "Algae as Food in Europe: An Overview of Species Diversity and Their Application †", *Foods*, 2022. DOI: 10.3390/foods11131871. URL: <https://doi.org/10.3390/foods11131871><https://www.mdpi.com/journal/foods>.
- [6] P. Edwards, "Aquaculture environment interactions: Past, present and likely future trends", *Aquaculture*, årg. 447, s. 2–14, okt. 2015, ISSN: 0044-8486. DOI: 10.1016/J.AQUACULTURE.2015.02.001.
- [7] Y. Song, Z. Hu, X. Yang, Y. An och Y. Lu, "Synergistic microalgae-duckweed systems for enhanced aquaculture wastewater treatment, biomass recovery, and CO₂ sequestration: A novel approach for sustainable resource recovery", *Environmental Research*, årg. 274, juni 2025. DOI: 10.1016/j.envres.2025.121271. URL: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2025.121271>.
- [8] J. B. E. Thomas, F. S. Ramos och F. Gröndahl, "Identifying Suitable Sites for Macroalgae Cultivation on the Swedish West Coast", *Coastal Management*, årg. 47, nr 1, s. 88–106, jan. 2019, ISSN: 15210421. DOI: 10.1080/08920753.2019.1540906. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/08920753.2019.1540906>.
- [9] NSF. "High-Quality Seaweed for Food & Industry | Nordic Seafarm | Nordic SeaFarm". (2025), URL: <https://www.nordicseafarm.com/seaweed> (hämtad 2025-02-11).

- [10] S. Amant, *privat samtal*, febr. 2025.
- [11] C. Lourenço-Lopes, M. Fraga-Corral, C. Jimenez-Lopez m. fl., "resources Metabolites from Macroalgae and Its Applications in the Cosmetic Industry: A Circular Economy Approach", *resources*, 2020. DOI: 10.3390/resources9090101. URL: www.mdpi.com/journal/resources.
- [12] M. T. Cesário, M. M. R. da Fonseca, M. M. Marques och M. C. M. de Almeida, "Marine algal carbohydrates as carbon sources for the production of biochemicals and biomaterials", *Biotechnology Advances*, årg. 36, nr 3, s. 798–817, maj 2018, ISSN: 0734-9750. DOI: 10.1016/J.BIOTECHADV.2018.02.006.
- [13] A. Leandro, L. Pereira och A. M. Gonçalves, "Diverse Applications of Marine Macroalgae", *Marine Drugs 2020, Vol. 18, Page 17*, årg. 18, nr 1, s. 17, dec. 2019, ISSN: 1660-3397. DOI: 10.3390/MD18010017. URL: <https://www.mdpi.com/1660-3397/18/1/17/htm%20https://www.mdpi.com/1660-3397/18/1/17>.
- [14] D. Moreira och J. C. Pires, "Atmospheric CO2 capture by algae: Negative carbon dioxide emission path", *Bioresource Technology*, årg. 215, s. 371–379, sept. 2016, ISSN: 0960-8524. DOI: 10.1016/J.BIORTECH.2016.03.060.
- [15] E. Barbera, A. Bertucco och S. Kumar, "Nutrients recovery and recycling in algae processing for biofuels production", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, årg. 90, s. 28–42, juli 2018, ISSN: 1364-0321. DOI: 10.1016/J.RSER.2018.03.004.
- [16] S. Adarshan, V. S. S. Sree, P. Muthuramalingam m. fl., "Understanding Macroalgae: A Comprehensive Exploration of Nutraceutical, Pharmaceutical, and Omics Dimensions", *Plants (Basel, Switzerland)*, årg. 13, nr 1, jan. 2023, ISSN: 2223-7747. DOI: 10.3390/PLANTS13010113. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38202421/>.
- [17] J. Guo, M. Qi, H. Chen m. fl., "Macroalgae-Derived Multifunctional Bioactive Substances: The Potential Applications for Food and Pharmaceuticals", *Foods 2022, Vol. 11, Page 3455*, årg. 11, nr 21, s. 3455, okt. 2022, ISSN: 2304-8158. DOI: 10.3390/FOODS11213455. URL: <https://www.mdpi.com/2304-8158/11/21/3455/htm%20https://www.mdpi.com/2304-8158/11/21/3455>.
- [18] S. Steinhagen, S. Enge, K. Larsson m. fl., "Sustainable large-scale aquaculture of the northern hemisphere sea lettuce, *Ulva fenestrata*, in an off-shore seafarm", *Journal of Marine Science and Engineering*, årg. 9, nr 6, s. 615, juni 2021, ISSN: 20771312. DOI: 10.3390/JMSE9060615/S1. URL: <https://www.mdpi.com/2077-1312/9/6/615/htm%20https://www.mdpi.com/2077-1312/9/6/615>.
- [19] NE. "havssallat - Uppslagsverk - NE.se". (2025), URL: <https://www-ne-se.eu1.proxy.openathens.net/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/havssallat> (hämtad 2025-04-25).

- [20] S. Steinhagen, K. Larsson, J. Olsson m. fl., "Closed life-cycle aquaculture of sea lettuce (*Ulva fenestrata*): performance and biochemical profile differ in early developmental stages", *Frontiers in Marine Science*, årg. 9, juli 2022, ISSN: 22967745. DOI: 10.3389/FMARS.2022.942679/BIBTEX.
- [21] K. Stedt, O. Gustavsson, B. Kollander, I. Undeland, G. B. Toth och H. Pavia, "Cultivation of *Ulva fenestrata* using herring production process waters increases biomass yield and protein content", *Frontiers in Marine Science*, årg. 9, s. 988–523, sept. 2022, ISSN: 22967745. DOI: 10.3389/FMARS.2022.988523/BIBTEX.
- [22] K. Stedt, *privat samtal*, febr. 2025.
- [23] K. Stedt, J. P. Trigo, S. Steinhagen m. fl., "Cultivation of seaweeds in food production process waters: Evaluation of growth and crude protein content", *Algal Research*, årg. 63, s. 102–647, april 2022, ISSN: 2211-9264. DOI: 10.1016/J.ALGAL.2022.102647.
- [24] N. Diehl, H. Li, L. Scheschonk m. fl., "The sugar kelp *Saccharina latissima* I: recent advances in a changing climate", *Annals of Botany*, årg. 133, s. 183–211, 2024. DOI: 10.1093/aob/mcad173. URL: <https://doi.org/10.1093/aob/mcad173>, availableonlineatwww.academic.oup.com/aob.
- [25] S. Sharma, L. Neves, J. Funderud, L. T. Mydland, M. Øverland och S. J. Horn, "Seasonal and depth variations in the chemical composition of cultivated *Saccharina latissima*", *Algal Research*, årg. 32, s. 107–112, juni 2018, ISSN: 2211-9264. DOI: 10.1016/J.ALGAL.2018.03.012.
- [26] Nordic SeaFarm, *privat samtal*, 2025.
- [27] M. Y. Roleda, H. Marfaing, N. Desnica m. fl., "Variations in polyphenol and heavy metal contents of wild-harvested and cultivated seaweed bulk biomass: Health risk assessment and implication for food applications", *Food Control*, 2018. DOI: 10.1016/j.foodcont.2018.07.031. URL: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.07.031>.
- [28] I. M. Aasen, I. S. Sandbakken, B. Toldnes, M. Y. Roleda och R. Slizyte, "Enrichment of the protein content of the macroalgae *Saccharina latissima* and *Palmaria palmata*", *Algal Research*, årg. 65, s. 102–727, 2022. DOI: 10.1016/j.algal.2022.102727. URL: <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.
- [29] M. Y. Roleda och C. L. Hurd, "Seaweed nutrient physiology: application of concepts to aquaculture and bioremediation", *Phycologia*, årg. 58, nr 5, s. 552–562, sept. 2019, ISSN: 23302968. DOI: 10.1080/00318884.2019.1622920. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00318884.2019.1622920>.

- [30] N. Khan, K. Sudhakar och R. Mamat, "Macroalgae farming for sustainable future: Navigating opportunities and driving innovation", *Heliyon*, årg. 10, nr 7, e28208, april 2024, ISSN: 2405-8440. DOI: 10.1016/J.HELIYON.2024.E28208.
- [31] BA. "gametophyte – Britannica Academic". (2025), URL: <https://academic-eb-com.eu1.proxy.openathens.net/levels/collegiate/article/gametophyte/35970> (hämtad 2025-04-25).
- [32] K. Bessho och Y. Iwasa, "Optimal seasonal schedules and the relative dominance of heteromorphic and isomorphic life cycles in macroalgae", *Journal of Theoretical Biology*, årg. 267, nr 2, s. 201–212, nov. 2010, ISSN: 0022-5193. DOI: 10.1016/J.JTBI.2010.08.016.
- [33] V. A. Mantri, Mudassar, A. Kazi, N. B. Balar, V. Gupta och T. Gajaria, "Concise review of green algal genus *Ulva* Linnaeus", *Journal of applied Phycology*, 2020. DOI: 10.1007/s10811-020-02148-7. URL: <https://doi.org/10.1007/s10811-020-02148-7>.
- [34] Kristoffer Stedt. "Seaweeds as a future protein source: innovative cultivation methods for protein production". (2023), URL: <https://gupea.ub.gu.se/handle/2077/78605> (hämtad 2025-04-24).
- [35] S. Hogstad, D. Licht Cederberg, H. Eriksen, B. Kollander, G. Ólafsson och B. M. Ikkelsen, "A Nordic approach to food safety risk management of seaweed for use as food", Nordic Council of Ministers, jan. 2023. DOI: 10.6027/TEMANORD2022-564. URL: <https://www.norden.org/en/publication/nordic-approach-food-safety-risk-management-seaweed-use-food> (hämtad 2025-03-06).
- [36] EFSA, "Scientific Opinion on Lead in Food", *EFSA Journal*, årg. 8, nr 4, april 2010, ISSN: 18314732. DOI: 10.2903/j.efsa.2010.1570. URL: <http://doi.wiley.com/10.2903/j.efsa.2010.1570>.
- [37] J. Alexander, D. Benford, A. Raymond Boobis m. fl., "Suggested citation: EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM); Scientific Opinion on tolerable weekly intake for cadmium Statement on tolerable weekly intake for cadmium 1 EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM)", *EFSA Journal*, årg. 9, nr 2, 2011. DOI: 10.2903/j.efsa.2011.1975. URL: <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2903/j.efsa.2011.1975>.
- [38] D. Benford, S. Ceccatelli, B. Cottrill m. fl., "Scientific Opinion on the risk for public health related to the presence of mercury and methylmercury in food 1 EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM)", *EFSA Journal*, årg. 10, nr 12, s. 2985, 2012. DOI: 10.2903/j.efsa.2012.2985.

- [39] EFSA, "Scientific Opinion on Arsenic in Food", *EFSA Journal*, årg. 7, nr 10, okt. 2009, ISSN: 18314732. DOI: 10.2903/J.EFSA.2009.1351. URL: <https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/1351>.
- [40] Livsmedelsverket. "Jod". (2025), URL: https://www.livsmedelsverket.se/livsmedel-och-innehall/naringsamne/salt-och-mineraler1/jod#Kanan_f%C3%A5_i_sig_f%C3%B6r_mycket_jod (hämtad 2025-03-11).
- [41] L. Järup, "Hazards of heavy metal contamination", *British Medical Bulletin*, årg. 68, s. 167–182, 2003. DOI: 10.1093/bmb/ldg032. URL: <https://doi.org/10.1093/bmb/ldg032>.
- [42] M. B. Zimmermann och K. Boelaert, "Iodine deficiency and thyroid disorders", *THE LANCET Diabetes & Endocrinology*, årg. 3, s. 286–295, 2015. DOI: 10.1016/S2213-8587(14)70225-6.
- [43] J. P. Trigo, K. Stedt, A. E. M. Schmidt m. fl., "Mild blanching prior to pH-shift processing of *Saccharina latissima* retains protein extraction yields and amino acid levels of extracts while minimizing iodine content", *Food Chemistry*, årg. 404, s. 308–8146, 2023. DOI: 10.1016/j.foodchem.2022.134576. URL: <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.
- [44] L. Zhang, W. Liao, Y. Huang, Y. Wen, Y. Chu och C. Zhao, "Global seaweed farming and processing in the past 20 years", *Food Production, Processing and Nutrition 2022 4:1*, årg. 4, nr 1, s. 1–29, okt. 2022, ISSN: 2661-8974. DOI: 10.1186/S43014-022-00103-2. URL: <https://fppn.biomedcentral.com/articles/10.1186/s43014-022-00103-2>.
- [45] Korean Statistical Information Service. "Dagligt intag per livsmedelsgrupp". (2025), URL: https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?sso=ok&returnurl=https%3A%2F%2Fkosis.kr%3A443%2FstatHtml%2FstatHtml.do%3Flist_id%3D117_11702_A01_033_001%26obj_var_id%3D%26seqNo%3D%26tblId%3DDT_11702_N221%26vw_cd%3DMT_0TITL%26orgId%3D177%26path%3D%252Fcommon%252Fmeta_onedepth.jsp%26conn_path%3DK2%26itm_id%3D%26lang_mode%3Dko%26scrId%3D%26 (hämtad 2025-03-21).
- [46] J. Peng, S. Min, P. Qing och M. Yang, "The Impacts of Urbanization and Dietary Knowledge on Seaweed Consumption in China", *foods*, 2021. DOI: 10.3390/foods10061373. URL: <https://doi.org/10.3390/foods10061373>.
- [47] e-Stat. "Food supply and demand table Reiwa 4th fiscal year food supply and demand table Fiscal year 2022 | File | Search for statistical data | General point of government statistics". (2022), URL: <https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00500300&tstat=>

000001017950 & cycle = 8 & year = 20221 & month = 0 & tclass1 = 000001032890 & tclass2=000001215085&tclass3val=0 (hämtad 2025-03-21).

- [48] S. Dinesh Kumar, . L. Satish, . N. Dhanya m.fl., "Tank cultivation of edible seaweeds: an overview of the Indian perspective for opportunities and challenges", *Biomass Conversion and Biorefinery*, årg. 14, s. 11757–11767, 2024. DOI: 10.1007/s13399-022-03729-x. URL: <https://doi.org/10.1007/s13399-022-03729-x>.
- [49] W. Zhou, P. Chen, M. Min m.fl., "Environment-enhancing algal biofuel production using wastewaters", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, årg. 36, s. 256–269, aug. 2014, ISSN: 1364-0321. DOI: 10.1016/J.RSER.2014.04.073.
- [50] U.S. Department of Energy. "U.S. Department of Energy Announces \$18.8 Million to Advance Mixed Algae Development for Low-Carbon Biofuels and Bio-products | Department of Energy". (2024), URL: <https://www.energy.gov/eere/bioenergy/us-department-energy-announces-188-million-advance-mixed-algae-development-low> (hämtad 2025-02-21).
- [51] Sveriges riksdag. "Miljöbalk (1998:808) | Sveriges riksdag". (2020), URL: https://www.riksdagen.se/sv/dokument-och-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/miljobalk-1998808_sfs-1998-808/#K15.
- [52] G. Crini och E. Lichtfouse, "Advantages and disadvantages of techniques used for wastewater treatment", *Environmental Chemistry Letters*, årg. 17, s. 145–155, 2019. DOI: 10.1007/s10311-018-0785-9. URL: <https://doi.org/10.1007/s10311-018-0785-9>.
- [53] O. B. Akpor och M. Muchie, "Environmental and public health implications of wastewater quality", *African Journal of Biotechnology*, årg. 10, nr 13, s. 2379–2387, mars 2011, ISSN: 16845315.
- [54] N. Bolong, A. F. Ismail, M. R. Salim och T. Matsuura, "A review of the effects of emerging contaminants in wastewater and options for their removal", *Desalination*, årg. 239, nr 1-3, s. 229–246, 2009, ISSN: 00119164. DOI: 10.1016/J.DESAL.2008.03.020.
- [55] D. J. Conley, H. W. Paerl, R. W. Howarth m.fl., "Ecology - Controlling eutrophication: Nitrogen and phosphorus", *Science*, årg. 323, nr 5917, s. 1014–1015, febr. 2009, ISSN: 00368075. DOI: 10.1126/SCIENCE.1167755.
- [56] R. J. Diaz och R. Rosenberg, "Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems", *Science*, årg. 321, nr 5891, s. 926–929, aug. 2008, ISSN: 00368075. DOI: 10.1126/SCIENCE.1156401.

- [57] Karl-Emil Videbris, "Miljörapport Ryaverket 2023", Gryaab, Göteborg, mars 2023. URL: <https://www.gryaab.se/om-gryaab/publikationer-och-informationsmaterial/> (hämtad 2025-03-04).
- [58] EU. "Direktiv - EU - 2024/3019 - EN - EUR-Lex". (2024), URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/sv/TXT/?uri=CELEX%3A32024L3019> (hämtad 2025-05-02).
- [59] Gyaab. "Vattenbehandling". (2025), URL: <https://www.gryaab.se/vad-vigor/avloppsvattenrening/vattenbehandling/> (hämtad 2025-05-02).
- [60] Gryaab. "Framtidens avloppsrening med Nya Rya". (2025), URL: <https://www.gryaab.se/vad-vigor/nya-rya/> (hämtad 2025-05-02).
- [61] National Center for Biotechnology Information. "PubChem Compound Summary for CID 223, Ammonium". (2025), URL: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Ammonium> (hämtad 2025-05-12).
- [62] S. X. Li, Z. H. Wang och B. A. Stewart, "Responses of Crop Plants to Ammonium and Nitrate N", *Advances in Agronomy*, årg. 118, s. 205–397, jan. 2013, ISSN: 0065-2113. DOI: 10.1016/B978-0-12-405942-9.00005-0.
- [63] N. Krasaesueb, J. Boonnorat, C. Maneeruttanarungroj och W. Khetkorn, "Highly effective reduction of phosphate and harmful bacterial community in shrimp wastewater using short-term biological treatment with immobilized engineering microalgae", *Journal of Environmental Management*, årg. 325, s. 116452, jan. 2023, ISSN: 0301-4797. DOI: 10.1016/J.JENVMAN.2022.116452.
- [64] E. M. Costigan, M. A. Oehler och J. D. MacRae, "Phosphorus recovery from recirculating aquaculture systems: Adsorption kinetics and mechanism", *Journal of Water Process Engineering*, årg. 49, s. 102992, okt. 2022, ISSN: 2214-7144. DOI: 10.1016/J.JWPE.2022.102992.
- [65] A. Ungfors, T. Björnsson, S. Lindegarth, S. Eriksson, K. Sundell och T. Wik, "Rapport från Vattenbrukscentrum Väst", Göteborgs Universitet, 2015. URL: www.vbcv.science.gu.se (hämtad 2025-03-11).
- [66] S. Eriksson, M. Langeland, D. Wikberg m. fl., "environmental impact, production systems, species and feeds OVERVIEW OF FARMING TECHNIQUES FOR AQUACULTURE IN SWEDEN", Swedish Agency of Marine och Water Management, 2017. URL: <https://submariner-network.eu/wp-content/uploads/2024/01/rapport-overview-of-farming-tech.pdf> (hämtad 2025-03-25).
- [67] J. Bregnballe, *A guide to recirculation aquaculture – An introduction to the new environmentally friendly and highly productive closed fish farming systems*, Third. Rome: FAO och Eurofish International Organisation, 2022, ISBN: 978-92-5-

- 136981-4. DOI: 10.4060/cc2390en. URL: <https://eurofish.dk/PDF/A-guide-to-recirculation-aquaculture-3rd-edition-EN.pdf>.
- [68] A. Klemetsen, P.-A. Amundsen, J. B. Dempson m.fl., "Atlantic salmon *Salmo salar* L., brown trout *Salmo trutta* L. and Arctic charr *Salvelinus alpinus* (L.): a review of aspects of their life histories", *Ecology of freshwater fish*, 2003. DOI: 10.1034/j.1600-0633.2003.00010.x. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1034/j.1600-0633.2003.00010.x>.
- [69] O. Oberg, *privat samtal*, febr. 2025.
- [70] S. Fivelstad, J. M. Thomassen, M. J. Smith, H. Kjartansson och A. B. Sandø, "Metabolite production rates from Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and Arctic char (*Salvelinus alpinus* L.) reared in single pass land-based brackish water and sea-water systems", *Aquacultural Engineering*, årg. 9, nr 1, s. 1–21, jan. 1990, ISSN: 0144-8609. DOI: 10.1016/0144-8609(90)90008-N.
- [71] ARCTAQUA, "Document mentioned under Op 3.1: Protocols for on-growth of Arctic char Rearing density of Arctic char", Faculty of Biosciences och Aquaculture, juni 2023. URL: <https://site.nord.no/arctaquawp-content/uploads/sites/16/2023/06/Final-report-on-Arctic-charr-29-June-2023.pdf> (hämtad 2025-03-25).
- [72] S. Skybakmoen, S. I. Siikavuopio och B. S. Sæther, "Coldwater RAS in an Arctic charr farm in Northern Norway", *Aquacultural Engineering*, årg. 41, nr 2, s. 114–121, sept. 2009, ISSN: 0144-8609. DOI: 10.1016/J.AQUAENG.2009.06.007.
- [73] UN. "THE 17 GOALS | Sustainable Development". (2024), URL: <https://sdgs.un.org/goals> (hämtad 2025-04-29).
- [74] E. S. Krul, "Calculation of Nitrogen-to-Protein Conversion Factors: A Review with a Focus on Soy Protein", *Journal of American Oil Chemists' Society*, 2019. DOI: 10.1002/aocs.12196. URL: <https://aocs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/aocs.12196>.
- [75] A. Lubsch och K. Timmermans, "UPTAKE KINETICS AND STORAGE CAPACITY OF DISSOLVED INORGANIC PHOSPHORUS AND CORRESPONDING N:P DYNAMICS IN *ULVA LACTUCA* (CHLOROPHYTA) 1", *Journal of Phycology*, 2017. DOI: 10.1111/jpy.12612. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jpy.12612>.
- [76] S. O. Lourenço, E. Barbarino, A. Nascimento och R. Paranhos, "Seasonal variations in tissue nitrogen and phosphorus of eight macroalgae from a tropical hypersaline coastal environment", *Cryptogamie, Algologie*, årg. 26, nr 4, s. 355–371, nov. 2005, ISSN: 01811568.

- [77] T. Eklund, A. Rietz, L. Lidh och J. Martinsson, "Bilaga B.04.01 Recipientutredning", Gryaab, Göteborg, mars 2024. URL: <https://www.gryaab.se/wp-content/uploads/2024/05/Bilaga-B.04.01-Recipientutredning.pdf> (hämtad 2025-05-06).
- [78] G. Zeeman och K. Kujawa-Roeleveld, "Resource recovery from source separated domestic waste(water) streams; full scale results", *Water Science and Technology*, årg. 64, nr 10, s. 1987–1992, 2011, ISSN: 02731223. DOI: 10.2166/WST.2011.562.
- [79] Health Canada. "Food search results". (2024), URL: <https://food-nutrition.canada.ca/cnf-fce/doSearch> (hämtad 2025-05-06).

Bilagor

A Bilaga - Transkriptioner

Här redovisas transkriptionerna från två av de genomförda intervjuerna. Dessa transkriptioner bifogas (i extern länk) för att ge läsaren möjlighet att ta del av det fullständiga underlaget för de kvalitativa data som samlats in i projektet.

Transkription av intervjuer med:

- Samuel Amanat - KOASTAL (11/2-25)
- Kristoffer Stedt - GU (14/2-25)

B Bilaga - Jodintag

Beräkning av maximalt jodintag för sockertång:

$$\frac{\frac{4200 \mu\text{g}}{7 \text{ dagar}}}{2,6 \cdot 10^6 \mu\text{g}/\text{kg dw}} \approx 0,2 \text{ g dw/dag} \quad (\text{B.1})$$

Beräkning av jodhalt i sockertång efter blanchering vid 45 °C:

$$2,6 \cdot 10^6 \mu\text{g}/\text{kg dw} \cdot (1 - 0,83) = 442\,000 \mu\text{g}/\text{kg dw} \quad (\text{B.2})$$

Beräkning av maximalt jodintag för blancherad (45 °C) sockertång:

$$\frac{\frac{4200 \mu\text{g}}{7 \text{ dagar}}}{442\,000 \mu\text{g}/\text{kg dw}} \approx 1,4 \text{ g dw/dag} \quad (\text{B.3})$$

Beräkning av maximalt jodintag för havssallat:

$$\frac{\frac{4200 \mu\text{g}}{7 \text{ dagar}}}{110 \cdot 10^3 \mu\text{g}/\text{kg dw}} \approx 5,5 \text{ g dw/dag} \quad (\text{B.4})$$

C Bilaga - Fallstudie Ryaverket

För kväveberäkningarna:

- Ryaverket antar 824 490 personekvivalenter.
- Mängd dw av havssallat antar 6,0 g/mån, vilket är 17 % av hela ww.
- Total massa protein är 30 % av proteinet, därav 1,8 g/mån.
- Konversationsfaktorn är 4,5.
- Utsläppsmedel av kväve är 111,3 (111,3393) kg/h för Ryaverket.
- Antar 100 havsallatsplantor/m.

Beräkning av kvävevikt:

$$\frac{1,785 \text{ g/mån}}{4,49} \approx 0,4 \text{ g/mån} \quad (\text{C.1})$$

Totalt utsläppt kväve:

$$111,3 \text{ kg/h} \cdot 24 \text{ h} \cdot 28 \text{ dagar} \approx 74\,820,0 \text{ kg/mån} \quad (\text{C.2})$$

Totalt antal havsallatsplantor:

$$\frac{74820,0 \text{ kg/mån}}{0,40 \text{ g/mån} \cdot 10^{-3}} \approx 188202654,6 \text{ st} \quad (\text{C.3})$$

Total längd lina:

$$\frac{188202654,6 \text{ st}}{10^4} \approx 188,2 \text{ mil} \quad (\text{C.4})$$

Total mängd biomassa (i dw):

$$\frac{188202654,6 \text{ st}}{5,95 \text{ g/mån}} \approx 1119805795 \text{ g dw/mån} \quad (\text{C.5})$$

Andel havssallat som bildas per person per månad:

$$\frac{1119805795 \text{ g/mån}}{824490 \text{ st}} \approx 1358,2 \text{ g/person/mån} \quad (\text{C.6})$$

Detta motsvarar runt 48,5 g/person/dag av havssallat.

För en hypotetisk bassäng antas:

- Längd på 1000 m.
- Två lager makroalger.
- Mellanrum mellan makroalger är 0,3 m.

Antal linor som krävs där varje rep antas 1000 m långt:

$$\frac{1882026,5 \text{ st}}{10^3} \approx 1882 \text{ st/m} \quad (\text{C.7})$$

Totalbredd för bassäng med ett lager:

$$\frac{1882 \text{ st/m}}{0,3 \text{ m}} \approx 564,6 \text{ m} \quad (\text{C.8})$$

Totalbredd för bassäng med två lager:

$$\frac{564,6 \text{ m}}{2} \approx 282,3 \text{ m} \quad (\text{C.9})$$

Totalmängd protein i månaden:

$$188202654,6 \text{ st} \cdot 1,785 \text{ g/mån} \approx 335941738,5 \text{ g/mån} \quad (\text{C.10})$$

Detta motsvarar 4382,2 ton/år.

Volym på bassängen:

$$1000 \text{ m} \cdot 282,3 \text{ m} \cdot 1 \text{ m} \approx 282303,9 \text{ m}^3 \quad (\text{C.11})$$

Protein/volym år:

$$\frac{4382,2 \text{ ton/år} \cdot 10^3}{282303,9 \text{ m}^3} \approx 15,5 \text{ kg/m}^3/\text{år} \quad (\text{C.12})$$

För fosforberäkningen:

- Det optimala upptagningsförhållandet mellan kväve och fosfor är 30:1.
- Molmassa för totalkväve är 14 g/mol. Totalfosfor är 31 g/mol.
- Tillväxten av kväve är ungefär 0,4 g/mån, vilket är samma som ungefär 0,03 mol/mån.

- Ryaverkets intag av fosfor är runt 1335 kg/dag, motsvarande 40,6 ton/mån.
- Årsmängd fosfor, utsläppt av Ryaverket, är ungefär 26,7 ton/år. Detta motsvarar ungefär 2,2 ton/mån.
- Nuvarande reningen för fosfor är 94,5 %.

Tillväxt fosfor:

$$\frac{0,03 \text{ mol/mån}}{30} \approx 0,0009 \text{ mol/mån} \quad (\text{C.13})$$

Detta är samma som 0,03 g/mån.

Totala tillväxten fosfor för alla plantor:

$$0,03 \text{ g/mån} \cdot 188202654,6 \text{ st} \approx 5522427,6 \text{ g/mån} \quad (\text{C.14})$$

Detta motsvarar ungefär 5,5 ton/mån.

Andel fosfor som renas:

$$\frac{5,5 \text{ ton/år}}{40,6 \text{ ton/mån}} \approx 0,14 \quad (\text{C.15})$$

Alltså, runt 14 % fosfor renas.

Mängd fosfor som behövs renas kemiskt:

$$1 - 0,14 = 86 \% \quad (\text{C.16})$$

Alltså runt 86 % behövs renas kemiskt.

Minskad renings av fosfor för kemisk rening:

$$1 - \left(\frac{0,86}{0,945}\right) \cdot 100 \approx 8,6 \quad (\text{C.17})$$

Alltså, kemisk rening minskas med 8,6 %.

Massförhållandet mellan kväve och fosfor:

$$\frac{30 \cdot 14}{1 \cdot 31} \approx 13,5 \text{ g/g} \quad (\text{C.18})$$

D Bilaga - Fallstudie flerbostadshus och villa

För flerbostadshus och villor:

- Utsläppt mängd kväve är 4,47 kg/p/år från spillvatten (SV+KV).
- Utsläppt mängd fosfor är 0,58 kg/p/år från spillvatten (SV+KV).
- 80-95 % av näringsämnena kom från SV och KV, därav användes ett medelvärde på 87,5 % som divideras med värdena för att få totalmängd SV+GV.

Utsläppt spillvatten (SV+GV), från flerbostadshus och villa, för mängd kväve respektive fosfor:

$$\frac{4,47 \text{ kg/p/år}}{0,875} \approx 5,1 \text{ kg N/person/år} \quad (\text{D.1})$$

$$\frac{0,58 \text{ kg/p/år}}{0,875} \approx 0,66 \text{ kg P/person/år} \quad (\text{D.2})$$

Detta motsvarar runt 14 g N/person/dag och 1,8 g P/person/dag. För 1500 personer blir det 20 079,8 g N/1500 personer/dag och 2 722,2 g P/1500 personer/dag. För en villa blir värdena exakt samma förutom för antalet personer. För fyra personer blir det 55,95 g N/4 personer/dag och 7,26 g P/4 personer/dag.

Resterande beräkningar för antal linor, totalmängd plantor och biomassa beräknades på samma sätt som för Ryaverket (se Bilaga C).

E Bilaga - Fallstudie fjällröding

Data för fjällrödingsodling:

- Odlingstankens storlek = 45 m^3
- Odlingstätheten för fjällröding = 40 kg fisk/m^3
- Antar 100 havsallatsplantor/m

Beräkning av total fjällrödingsmassa (ww):

$$45 \text{ m}^3 \cdot 40 \text{ fisk/m}^3 = 1800 \text{ kg fisk} \quad (\text{E.1})$$

För kväveberäkningarna:

- Fjällrödings produktionshastighet av kväve = $0,308 \text{ mg/kg fisk/min}$
- Mängden kväve en havsallatsplanta tar upp per timme = $0,000552153 \text{ g/h}$

Beräkning av total mängd kväve producerat av fjällröding i odlingstanken:

$$0,308 \text{ mg/kg fisk/min} \cdot 1800 \text{ kg fisk} = 554,4 \text{ mg/min} = 0,5544 \text{ g/min} = 33,264 \text{ g/h} \quad (\text{E.2})$$

Beräkning av det totala antalet havsallatsplantor som krävs för att ta upp producerad mängd kväve:

$$\frac{33,264 \text{ g/h}}{0,000552153 \text{ g/h}} = 60245 \text{ st} \quad (\text{E.3})$$

Beräkning av replängd för det totala antalet havsallatsplantor:

$$\frac{60245 \text{ st}}{100 \text{ st/m}} = 602,45 \text{ m} \quad (\text{E.4})$$

För fosforberäkningarna:

- Fjällrödings produktionshastighet av fosfor = $0,084 \text{ mg/kg fisk/min}$
- Mängden fosfor en havsallatsplanta tar upp per timme = $0,0000407541 \text{ g/h}$

Beräkning av total mängd fosfor producerat av fjällröding i odlingstanken:

$$0,084 \text{ mg/kg fisk/min} \cdot 1800 \text{ kg fisk} = 151,2 \text{ mg/min} = 0,1512 \text{ g/min} = 9,072 \text{ g/h} \quad (\text{E.5})$$

Beräkning av det totala antalet havssallatsplanter som krävs för att ta upp producerad mängd fosfor:

$$\frac{9,072 \text{ g/h}}{0,00004075414 \text{ g/h}} = 222604 \text{ st} \quad (\text{E.6})$$

Beräkning av replängd för det totala antalet havssallatsplanter:

$$\frac{222604 \text{ st}}{100 \text{ st/m}} = 2226,04 \text{ m} \quad (\text{E.7})$$

Beräkning av andel fosfor som är möjlig att rena:

$$\frac{60245 \text{ st}}{222604 \text{ st}} = 0,27 = 27 \% \quad (\text{E.8})$$

F Bilaga - Proteinjämförelse fjällröding och havssallat

Data för att få fram protein per m³ per år från fjällröding:

- Odlingstankens storlek = 45 m³
- Odlingstätheten för fjällröding = 40 kg fisk/m³
- Tar två år från romkläckning för odlad fjällröding att nå 700-800 g, vilket är en normal storlek för försäljning för konsumtion.
- Omvandlingsfaktor från våtvikt (ww) till torrsvikt (dw) = 1,351
- Proteinhalt fjällröding (dw) = 28 %

Beräkning av total fjällrödningssmassa (ww):

$$45 \text{ m}^3 \cdot 40 \text{ kg fisk/m}^3 = 1800 \text{ kg fisk} \quad (\text{F.1})$$

Beräkning av total fjällrödningssmassa (dw):

$$\frac{1800 \text{ kg fisk}}{1,351} = 1332 \text{ kg fisk} \quad (\text{F.2})$$

Beräkning av proteinmängd av fjällröding (dw):

$$1332 \text{ kg fisk} \cdot 0,28 = 373 \text{ kg protein} \quad (\text{F.3})$$

Beräkning av protein per år:

$$\frac{373 \text{ kg}}{2 \text{ år}} = 186,5 \text{ kg/år} \quad (\text{F.4})$$

Beräkning av protein per m³ per år:

$$\frac{186,5 \text{ kg/år}}{45 \text{ m}^3} = 4,15 \text{ kg/m}^3/\text{år} \quad (\text{F.5})$$

Data för att få fram protein per m³ per år från havssallat:

- 2 nivåer av linor på höjden.
- Avstånd mellan linor: 0,3 m.
- Antar tank: 10 m (längd) x 4,5 m (bredd) x 1 m (djup) = 45 m³.
- Total massa protein är 30 % av torrsvikt (dw).
- Antar 100 plantor/meter.
- Tillväxt havssallat = 5,95 g/mån.

Beräkning av antal linor:

$$\frac{\text{bredd (tank)}}{\text{avstånd (linor)}} \cdot \text{nivå} = \frac{4,5 \text{ m}}{0,3 \text{ m}} \cdot 2 = 30 \text{ st} \quad (\text{F.6})$$

Beräkning av antal plantor:

$$\text{längd (tank)} \cdot \text{antal (linor)} \cdot (\text{plantor/m}) = 10 \cdot 30 \cdot 100 = 30000 \text{ st} \quad (\text{F.7})$$

Beräkning av biomassa per år:

$$(\text{tillv.havssallat} \cdot \text{ant.plantor}) \cdot \frac{365,25 \text{ dagar}}{28 \text{ dagar}} = (5,95 \text{ g/mån} \cdot 30000 \text{ st}) \cdot \frac{365,25}{28} \cdot \frac{1}{1000} = 2328,5 \text{ kg/år} \quad (\text{F.8})$$

Beräkning av protein per år:

$$2328,5 \text{ kg/år} \cdot 0,3 = 698,5 \text{ kg/år} \quad (\text{F.9})$$

Beräkning av protein per m³ per år:

$$\frac{\text{protein}}{\text{volym}} = \frac{698,5 \text{ kg/år}}{45 \text{ m}^3} = 15,5 \text{ kg/m}^3/\text{år} \quad (\text{F.10})$$