



Ylva Melin
Länstyrelsen Västra Götaland



Alternativ användning av marina fintrådiga alger



Författare: Ylva Melin
Länsstyrelsen Västra Götaland
403 40 Göteborg

Omslag: Cilla Odenman/Amelie Wintzell
Foto: Harald Sterner
Rapportnr: 2001:41
Projektnr: EU Life algae LIFE96ENV/S/380

Förord

Denna rapport, ” *Alternativ användning av marina fintrådiga alger*”, har tagits fram inom projektet EU Life algae och ingår i projektets rapportserie, se omslagets bakre insida.

Rapporterna i serien redovisar arbete och resultat från delprojekt, seminarier och konferenser. Materialet har legat till grund för slutrapporteringen till EU Life, ” *Final Report 2001*”, och en populärvetenskaplig sammanfattande broschyr på svenska och engelska; ” *Alger i överflöd skördas för livet*” - ” *Algae in excess - harvesting for Life*”. Författarna svarar för rapporternas innehåll och Projekt Management Unit för slutredigeringen. Rapporterna kan läsas på eller laddas ner från projektets webbplats;

www.o.lst.se/projekt/eulife-algae

Projektets grundläggande idé och mål är att åter skapa en långsiktigt hållbar miljö i de grunda havsvikar som sedan flera år tillbaka under somrarna täcks av algmattor till nackdel för såväl fisk och andra organismer i områdena som friluftsliv och turism. Projektet har utvecklat och testat algskörd som en metod att restaurera dessa viktiga rekryterings- och uppväxtområden för fisk och ryggradslösa djur.

Projektet syftar till en kretsloppsanpassad metod för att lösa ett miljöproblem. Om vi skall skörda alger i stor skala är det viktigt att undersöka möjligheterna att använda algerna till något vettigt. Rapporten ” *Alternativ användning av marina fintrådiga alger*” redovisar erfarenheter från olika försök inom projektet där just olika möjligheter att använda algerna undersökts.

Projekt Management Unit

Harald Sterner	Anna Jöborn	Mattias Sköld
Projektdirektör	Projektledare	Projektledare

Innehåll

Sammanfattning 3

1. Inledning 4

2. Historik 4

3. Försök inom EU-Life algae 4

3.1 Gödslingsförsöken 4

3.2 Kompostering på Åland 10

3.3 Framställning av biogas från alger 12

3.4 Papper och äggkartonger 15

3.5 Tungmetallanalys 15

4. Andra möjliga användningsområden 17

4.1 Utvinning av cellulosa för tillverkning av läkemedelstabletter 17

4.2 Utvinning av energi genom förbränning 18

5. Transporter av alger vid de eventuella användningsområdena 18

5.1 Briketter 19

6. Slutsatser och framtidsvisioner 20

7. Referenser 21

Sammanfattning

Slutsatserna från gödslingsförsöken på Åland och i Sverige visar att användning av enbart alger som gödningsmedel vid odling av höstvetete har låg användningspotential. En möjlighet är lokal användning i liten skala på salttoleranta grödor. Alger kan också användas som gödning och jordförbättringsmedel i exempelvis parker där växterna inte skall användas som livsmedel. Nödvändigheten av att kompostera algerna före spridning bör diskuteras.

Samrötning av alger och hushållssopor fungerade dåligt i de proportioner som försöket genomfördes med. Det är möjligt att resultatet blir bättre om en mindre andel alger används vid rötningen.

Användning av alger vid tillverkning av papper och framställning av cellulosapulver till läkemedelstabletter har i undersökningarna visat sig ha goda framtidsutsikter. Vidare studier rekommenderas.

Att använda alger som bränsle för att erhålla energi har diskuterats. Även här krävs undersökningar för att kunna bedöma trådalgernas förbränningspotential.

Summary

The conclusions from the investigation with fertilizers show that the use with merely algae as fertilizer in cultivation with autumn wheat has low potential use. One possibility is local use in small scale on salt tolerant crops. Algae can also be used as fertilizer and improvement of the soil in for example parks where the plants are not going to be used as provisions. It should be discussed if the algae are supposed to be composted before use.

The methanisation with algae and sewage combined in the proportions that were within the study did not work out well. It is possible that the result would be better if less amount algae are used in the process.

The use of algae in production of paper and cellulose powder for medical tablet production has shown to have good possibilities in these investigations for future usage of algae. More investigations are recommended.

Combustion/burning of algae to get energy has been discussed. Also here further investigations are demanded to decide the combustion potential of filamentous algae.

1. Inledning

Sammanställningen beskriver ett antal olika användningsområden för snabbväxande alger, främst gröna trådalger: Odling, rötning, kompostering, tabletttillverkning, förbränning, pappers- och äggkartongproduktion. Översiktliga beskrivningar av metoder och resultat redovisas från de försök som utförts inom ramen för projektet EU-Life algae. Förslag ges på fortsatta undersökningar. Dessutom ges exempel från internationella projekt som genomfört liknande undersökningar.

EU-Life algae projektets mål har varit att försöka skapa en kretsloppsanpassad åtgärd mot övergödning. Projektet har utvecklat en metod för att avlägsna kortlivade fintrådiga alger från grunda havsvikar och att undersöka möjligheterna för alternativ användning av dessa alger.

I denna rapport belyses främst användningen av gröna fintrådiga alger. Vid ett par tillfällen nämns även användningen av brun- och rödalger eftersom artsammansättningen på Åland är mer heterogen än i Strömstads skärgård och inkluderar såväl grönalger som röd- och brunalger.

2. Historik

Människan har sedan urminnes tider nyttjat alger på olika sätt. De gamla grekerna använde alger bl.a för att bota sjukdomar. *Ulva* sp. (Havsallad) användes mot gikt och inflammationer. De kände till att algerna innehöll jod och kunde därmed bota sjukdomen struma. Japaner och kineser använde alger långt före grekerna. Lämningar av ätliga alger har hittats i 10 000 år gamla boningar. I Japan har algerna periodvis till och med varit belagda med skatt. Både aristokratin och den fattiga kustbefolkningen använde algerna i maten. Rödalgen *Porphyra* som även kallas Nori har odlats i stora mängder i Japan sedan 1600-talet och innehåller mycket proteiner och vitaminer. Under 1980-talet odlades och skördades 300 000 ton Nori varje år i Japan. Även i Sverige har *Porphyra* sp.(Nori) använts vid i matlagning, bl.a i algbröd, soppor och omeletter (Söderlund & Pedersén, 1993).

Linné beskrev under 1700-talets mitt hur *Fucus* sp. (Blåstång) användes inom jordbruket i södra Sverige. Tången var oundgänglig som gödning och jordförbättringsmedel, särskilt i de sandiga och näringsfattiga åkertegarna. Tack vare tången fick de bönder med kustnära marker bättre skördar. I Halland fanns under 1900-talets början speciella regler för tånghämtning från stränderna. Detta innebar

bl.a att man nattetid inte fick hämta alger. Tångallmänningsens tångpoliser - tångfogdarna - övervakade att det gick rätt till (Söderlund & Pedersén, 1993). Efter en storm passade människorna på att hämta upp tången från stränderna. Man tog upp tången med grepar och körde den på vagnar upp från havet till åkrarna. Även i dag skördas tång i liten skala från stränderna på svenska sydkusten. Skillnaden är att man i dag kör med traktor och hjullastare (Ohlsson, 1991).

I Portugal och Spanien har man traditionellt använt alger som gödnings- och jordförbättringsmedel. Numera har man i båda länderna i stort sett frångått detta traditionella sätt att gödsla sina marker (<http://www.innova.se/lifeverd/proyecto.htm>; Castro, 2000). I Frankrike skördas varje säsong 98 000 m³ alger, främst olika arter av *Ulva*. En del sprids på åkrarna som näringstillägg och en del läggs på soptippar. Det senare är endast en förflyttning av problemet då man har märkt att floder och grundvatten nära dessa soptippar har blivit förorenade av stora mängder flyktiga fettsyror som läcker ut från algerna i deponin (Briand & Morand, 1997).

Användning av de snabbväxande gröna trådalgerna är i stort ett utforskat område eftersom det historiskt inte funnits så mycket av dessa alger att tillgå. Den här rapporten presenterar resultaten från några pilotförsök där man försöker finna användning av de stora massor av alger som finns längs våra kuster.

3. Försök inom EU-Life algae

3.1 Gödslingsförsöken

Odlingsförsöken med alger som gödningsmedel har ägt rum under tre år, dels på Ålands Försöksstation och dels på Dingles Naturbruksgymnasium, Sverige. Syftet var att utvärdera algernas potential som gödningsmedel för höstvetete. Nedan följer en sammanfattning av metoder och resultat.

Bakgrund

Ett pilotförsök med alger som gödning genomfördes redan 1996 på Dingle Naturbruksgymnasium. Därefter följde EU-Life algae projektets försök som genomfördes under 1997-1999. På Åland startade försöken 1997 och genomfördes under

tre år. Båda försöksstationerna har följt en gödslingsmetod för höstvetete rekommenderad av försöksavdelningen för växtnärläring, Sveriges Lantbruksuniversitet, SLU, Uppsala. I Sverige skördades algerna direkt ur vattnet i Strömstads skärgård. Till hjälp hade man en algskördemaskin och en landvad. På Åland skördades algerna manuellt från stränderna i den sydvästra skärgården.

Faktaruta A. Tångspridning

Spridning av tång (brunalger) kan ske på olika sätt. Färsk tång skall helst hackas sönder för att underlätta spridningen. Den kan också torkas i förslagsvis en lucerntork för att sedan hackas till flingor. Vid en metod som kommer från England sprutar man ut tången i flytande form (Ohlsson, 1991).

Förutsättningar

Förutsättningarna för odling skiljer sig mellan försöket på Dingle och på Åland. Nedan följer en kort redogörelse för detta.

På Åland utfördes försöken på jordarten mullrik finsand (0,06-0,2 mm) och Dingles försöksjordar bestod främst av mellanlera, (<0,002 mm). Innan försöken började växte det klöverrik vall på de svenska markerna. Detta skulle kunna vara gynnsamt, då klöver binder kväve till marken. På Åland låg markerna i träda innan försöken startade, vilket innebär en berikning av marken med näringsämnen, se tabell 1. Hur marken brukats innan försöket kan också påverkat resultatet.

Tabell 1. Jordart och förfrukt¹ vid odlingsförsöken

Åland och Sverige har använt olika extraheringsmetoder vid markkarteringsanalyserna. Därför kan inget sägas om skillnader i markernas näringsstatus mellan de båda länderna.

	Jordart	Förfrukt
Åland	Mullrik finsand	Träda
Sverige	Mellanlera	Vall

Metodbeskrivningar

Ogödslade referensskiften och skiften som blivit gödslade med det ekologiska gödslingsmedlet Binadan NPK 6-3-12 ingick i försöket som kontroller. Algerna spreds på hösten, fördelades jämt och nedbrukades omsorgsfullt före harvning och sådd. Binadan spreds och nedbrukades på våren i samband med ogräsharvning.

I de åländska odlingsförsöken har gödselvärdet för både trådalger och blåstång undersökts. Odlingsförsök har även gjorts med sköljda trådal-

ger under det första försöksåret och sköljd blåstång under det andra försöksåret, se tabell 2. Försöken på Åland utfördes inte på samma marker under de tre försöksåren. Den första säsongen 97/98 hade marken blivit kontinuerligt gödslad med stallgödsel under en lång tid. Den mark som användes för de två senare årens försök hade inte blivit gödslad på mycket länge. Första året var det en stor inblandning av sand i algerna. Andra året och speciellt tredje året fanns det nästan ingen inblandning av sand (Boman, 2000).

Tabell 2. Gödslingsmetod på Åland

Försök	Gödsling före sådd på hösten		Gödsling på våren Ton/ha
	Ton alger ts/ha	Ton våt al massa/ha	
A Ogödslat	Ingen	Ingen	Ingen
B Trådalger	8,5	25	Ingen
C Trådalger	17	50	Ingen
D Blåstång	8,5	13,1	Ingen
E Blåstång	17	26,2	Ingen
F Blåstång*	17	26,2	Ingen
G Binadan	Ingen	Ingen	0,33 (=20 kg/ha N)

*sköljd med färskvatten

¹ Förfrukt, markens tidigare gröda eller tillstånd.

De svenska försöksskiftena på Dingle naturbruksgymnasium har varit KRAV-godkända marker sedan 1986, vilket innebär att marken inte har konstgödsel utan gödsel med stallgödsel ungefär vart 4:e år. Inte heller bekämpningsmedel har använts. I Sverige sköljdes trådalger under alla

åren, se tabell 3. Antal rutor i försöket var 3 stycken och varje ruta var 3 x 12 m. Samma försöksuppställning gällde för försöken 1997, 1998 och 1999. De tre årens försök har genomförts på tre olika platser inom naturbruksgymnasiets marker med liknande förutsättningar (Olrog, 2000¹).

Tabell 3. Gödslingsmetod i Dingle

Försök	Gödsling före sådd på hösten		Gödsling på våren
	Ton alger ts/ha	Ton våt algmassa/ha	Ton/ha
A Ogödsel	Ingen	Ingen	Ingen
B Trådalger	8	Uppgift saknas	Ingen
C Trådalger	16	Uppgift saknas	Ingen
D Trådalger*	16	Uppgift saknas	Ingen
E Binadan	Ingen	Ingen	0,33 (=20 kg/ha N)
F Binadan	Ingen	Ingen	0,67 (=40 kg/ha N)
G Binadan	Ingen	Ingen	1,00 (=60 kg/ha N)

*sköljda med färskvatten

Resultat

Nedan följer en sammanfattning av resultaten från odlingsförsöken i tabellform.

För att få en uppfattning om hur algernas näringsinnehåll förhåller sig till stallgödsel och hö visas i tabell 4 relationerna i kg/ton ts. Alger innehåller något lägre halter kväve, fosfor och kalium jämfört med stallgödsel och hö.

Tabell 4. Växtnäringsinnehåll

	Totalkväve kg/ton ts	Fosfor kg/ton ts	Kalium kg/ton ts
Stallgödsel	23	5	23
Hö	20	2	20
Alger	16	2	18

(Olrog, 1999)

De åländska algerna innehöll varierande mängder näring 1998, 1999 och 2000, se tabell 5.

Tabell 5. Resultat från försöken på Ålands försöksstation. Näringsinnehållet i kg/ton ts i de åländska algerna vid en påförd mängd växtnäring av 15 ton ts alger/ha, 1998-2000.

Skördeår	Tot-N		P		K		Mg		Ca	
	Kg/ton ts.	Kg/ha	Kg/ton ts.	Kg/ha	Kg/ton ts.	Kg/ha	Kg/ton ts.	Kg/ha	Kg/ton ts.	Kg/ha
1998	4	60	0,6	9	3,3	49,5	2,5	37,5	17	255
1999	10	150	0,9	13,5	0,4	6,0	6,4	96	12,4	186
2000	16	240	1,4	21	1,8	27	7,3	110	15,9	239

(Boman, 1998-99)

Trådalger på Åland från 98, 99 och 00 innehöll i genomsnitt dubbelt så mycket totalkväve och fosfor per ton torrsbstans och 6 gånger mer kalium än

blåstången från samma år. Även kalium, magnesium och kalciumhalterna var högre i trådalgerna än i blåstången dessa år, se tabell 6.

Tabell 6. Näringsämnen, kg/ton ts i de åländska algerna. Medelvärden från 1998-99- 2000

	Tot. Kväve	Org. Kol	Fosfor	Kalium	Magnesium	Kalcium
Trådalger	10	91,5	1	1,8	5,4	15,1
Blåstång	5,4	76	0,3	0,3	1,1	2,5

(Boman 1998-99)

I de sköljda algerna blev kvävekoncentrationen högre än i de osköljda algerna. Vid det andra försöksåret, 1998 blev även fosforkoncentrationen högre i de sköljda algerna, se tabell 7.

I ett Skånskt projekt i Snogeröd, se tabell 7 nedan, innehöll grönslick och vattenpest ca 3 gånger högre kväve och 5 gånger högre fosforhal-

ter än de osköljda algerna i Dingleförsöket. De sköljda algerna 1998 innehöll lika mycket kväve som vattenväxterna i Snogeröd. I Snogerödsprojektet användes bl.a en limnisk vattenväxtodling där vattenpest planterades i långsmala parallella diken. Även *Cladophora glomerata*, (Grönslick) växte spontant i diken.

Tabell 7. Resultat från försöken på Dingle Naturbruksgymnasium. Näringsinnehållet i kg/ton ts i trådalgerna samt mängd näring vid en giva på 15 ton alger ts/ha, 1997-99.

Skördeår	Behandling	Tot-N		NH4-N		P		K	
		Kg/ton ts.	kg/ha	Kg/ton ts.	Kg/ha	Kg/ton ts.	Kg/ha	Kg/ton ts.	Kg/ha
1997*		14,2	213	1,5	22,5	1,9	29	11,4	171
	Sköljda	19,6	294	1,3	19,5	1,8	27	8,2	123
1998*		18,1	272			1,8	27	6,7	101
	Sköljda	47,5	712			3,5	53	34,7	520
1999*		16,8	252	3,7	56	2,2	33	36,3	545
1989 Snogeröd, Skåne**		ca 50				ca 10			

* (Olrog, 2000²)

** (Ohlsson, 1991)

Trådalgerna från Strömstads skärgård innehöll relativt höga halter kväve i förhållande till fosfor, ungefär 9 ggr mer kväve än fosfor. Binadan innehöll dubbelt så mycket kväve som fosfor.

Generellt kan sägas att algerna i det svenska odlingsförsöket innehöll mer än dubbelt så mycket kväve och fosfor och 9 gånger så mycket kalium per ton ts som de åländska algerna. Det ekologiska gödningsmedlet Binadan innehöll dock högre halter av näringsämnena kväve, fosfor och kalium per ton ts än algerna. Vid odlingsförsöken tillfördes dock mer näringsämnen till odlingslotterna genom gödning med alger än med Binadan. Även den lägsta givan på 8 ton ts svenska osköljda alger per ha gav mer kväve och kalium till marken än Binadans högsta giva på 60 kg kväve per ha. För att samma halter fosfor skall uppnås som en giva av Binadan på 60 kg kväve per ha måste algmängden dubblas till 16 ton ts svenska osköljda alger. Även de åländska algerna kan konkurrera med Binadan med avseende på kväve i försöket. Halterna av kalium och fosfor var dock lägre i de åländska

algerna och därmed tillförde givorna av Binadan på Åland högre halter av kalium och fosfor till marken, se tabell 8.

Faktaruta B. Vetets kärnskördssavkastning

1944 var i genomsnitt kärnskördens för vete i Sverige 2300 kg/ha. 1994 var den i snitt 5800 kg/ha från ekologiskt lantbruk (Schönning, 1996). Vid användning av konventionellt gödsel är avkastningen ca 8000 kg/ha (Lindén, 1997).

En direkt jämförelse är svår att göra mellan Åland och Dingle avseende kärnskördssavkastning eftersom förutsättningarna för odling i Dingle och på Åland skiljer sig mycket åt. En grov uppskattning visar dock att Åland har 20 % högre avkastning än Dingle. Även de ogödslade skiftena gav högre kärnskördssavkastning på Åland än i Dingle. Rymd- och 1000-kornsvikten var lika stora i de båda länderna. En ökning i kärnskördssavkastning sågs när alg tillförseln dubblades från 8,5 till 17 ton ts/ha på Åland. I Dingle var kärnskördssavkastningen oförändrad vid ökad tillförsel av osköljda

alger, men däremot ökade avkastningen vid gödning med sköljda alger. I relation till de ogödslade skiftena ökade Åland sin kärnskördsavkastning mer jämfört med Sverige, se tabell 8.

Försöket med blåstång och trådalger som gödning på Åland resulterade i likartade resultat avseende kärnskördsavkastning. På Åland resulterade sköljningen av algerna i ökad rymd- och

1000-kornsvikt, men en minskad kärnskördsavkastning. I Dingle gav de skiften som blev gödslade med sköljda algerna högst rymdvikt, 1000-kornsvikt och kärnskördsavkastning².

Tabell 8. Sammanställningen i tabellen avser samtliga försöksår på Åland och i Dingle. Gödningens näringsinnehåll samt resultat från odlingsförsöken avseende 1000-kornsvikt, rymdvikt och kärnskörd för de olika givorna. SD = standardavvikelse

	Trådalger och Binadan 6-3-12				Kärna, höstvete						
	Total Kväve, kg	SD	Total Fosfor, kg	SD	Kalium, kg	SD	1000-kornsvikt, g	Rymdvikt, g/l	SD	Kärnskörd, kg/ha	
Åland											
Ogödslat	0		0		0		42	2,8	810	0	6120
8,5 ton alger ts/ha	59,5	36	6,4	1,8	15,7	17,4	42,5	0,7	805	7	6210
17 ton alger ts/ha	119	72,1	12,8	3,6	31,5	34,9	44,5	0,7	815	7	6555
17 ton ts/ha sköljda alger (endast 1999)	-**		-		-		45	0	820	0	6000
Binadan 20 kg N/ha	20	0	10	0	40	0	42	0	810	0	6255
Binadan 40 kg N/ha	40	0	20	0	80	0	43	1,4	810	0	6448
Binadan 60 kg N/ha	60	0	30	0	120	0	43,5	0,7	810	0	6455
Dingle											
Ogödslat	0		0		0		42,1	5,2	795	27	4457
8 ton alger ts/ha	131	16	16	1,7	145	127	42,3	5,3	793	27	4730
16 ton alger ts/ha	262	32	32	3,3	290	255	41,5	5,6	797	23	4697
16 ton alger ts/ha sköljda	537	316	42,4	19	343	300	44,3	4,9	810	15	5015
Binadan, 20 kg N/ha	20	0	10	0	40	0	41,2	5,6	797	23	4737
Binadan, 40 kg N/ha	40	0	20	0	80	0	41	5,7	794	20	4900
Binadan, 60 kg N/ha	60	0	30	0	120	0	41,6	6,3	791	23	5017

*(Olrog, 2000²), (Boman, 1998-99) och (Binadan svenska AB, produktblad)

** Uppgift saknas om näringsinnehållet i de sköljda åländska algerna.

Vid gödning med havsalger bör man tänka på grödans salttolerans. Tabell 9 visar några exempel på olika gröders salttolerans.

Tabell 9. Salttolerans hos grödor. Indelningen i tabellen är gjord efter tre kriterier; förmåga att överleva i salina³ jordar, avkastning och relativ avkastning i en salin jord och en ickesalin jord under lika växtförhållanden.

Hög salttolerans	Medel salttolerans	Låg salttolerans
Spenat, grönkål, vitkål, sparris, raps, korn, sockerbetor, rödbetor	Tomat, broccoli, kål, sallad, morot, lök, squash, råg, vete havre,	Päron, äpple, jordgubbar, rädisor, gröna bönor, alsike- och röd klöver

(Richard, 1954)

² kärnornas samlade vikt från en hektar åkermark, kg/ha

³ salthaltiga jordar

Faktaruta C. *Cladophora* och dess metallabsorberande förmåga

Cladophora, som är en av de algsläkten som förekommer i Strömstads skärgård har använts i syfte att rena vatten från bl a kadmium. I dessa vattenreningsundersökningar har algen fått rena avloppsvatten och vatten som runnit av från vägar. Trådalgen hade god tillväxt vid konstant tillförsel av kadmium och höga halter av metallen uppmättes i *Cladophoras* biomassa (Sobhan 1999; Mchardy 1985).

Diskussion

I odlingsförsöken på Dingle Naturbruksgymnasium och på Ålands försöksstation spreds algerna på hösten före sådd. Nackdelen med höstgödning är att en del av näringsinnehållet i algerna med all sannolikhet har lakats ur under höstregnen. Fördelen är att även saltet har haft möjlighet att sköljas bort och att algernas nedbrytningsprocess och därmed näringstillgänglighet kan ha ökat under hösten. Detta är emellertid inte visat i försöken. För att näringsämnen i algerna skall bli mer tillgängliga för grödorna skulle man kunna kompostera algerna innan de sprids på åkrarna. Man bör också undersöka behovet att förbehandla algerna genom exempelvis hackning eller torkning. För att lagra algerna utan kompostering måste de troligen förbehandlas, bl. a för att undvika problem med lukt.

Resultaten från odlingsförsöken med höstvetete visar att algerna har låg användningspotential med nuvarande metod. Man bör undersöka möjligheten att komplettera algerna med andra gödningsmedel för att lämpliga mängder av fosfor och kväve skall tillföras marken. Dessutom krävs kompletterande gödning för att klara gränsvärdena för tungmetaller, se avsnitt 3.5. Man bör också överväga möjligheten att använda algerna på grödor som har högre salttolerans än vete. Detta gäller framförallt alger från svenska västkusten.

Näringsinnehållet i algerna varierar mellan försöksåren. Detta är särskilt tydligt i försöken på Åland där en ökning kan ses över de tre åren, se tabell 5. Förmodligen kommer näringsinnehållet i algerna att minska beroende på hur länge algerna ligger på deponi då en urlakning av näringsämnen kan ske. Även tidpunkten för skörd på säsongen kan ha en inverkan på näringsinnehållet i algerna (Melin, 2001).

Sköljning av algmassorna med färskvatten har i de svenska försöken resulterat i ett ökat näringsinnehåll per viktenhet. Detta skulle kunna förklaras

med att näringsfattigt sediment avlägsnas från algerna vid sköljning. Det är viktigt att poängtera att det saknas information om hur mycket metaller/näringsämnen som finns i sedimentet och hur mycket metaller/näringsämnen som trådalger själva innehåller. För att kunna ta reda på det och hur sköljningen påverkar algernas potential som gödningsmedel måste ytterligare undersökningar göras på sedimentet som följer med vid algskördningen.

Sköljning av algerna innan användning resulterade i högre 1000-kornsvikt och rymdvikt både på Åland och i Sverige, vilket kan tyda på saltet i de osköljda algerna kan ha hämmat vetekärnans tillväxt. Att kärnskördsavkastningen ökar med ökad tillförsel av alger på Åland och inte i Dingle kan bero på att algmassans salthalt är högre på Svenska västkusten än i Ålands hav. I Dingle är avkastningen oförändrad vid ökad tillförsel av alger, vilket tyder på antingen en hämmande effekt av saltet eller att vete inte kan tillgodogöra sig näringen. Vid vidare undersökningar bör andra mer salttoleranta grödor väljas ut, exempelvis vitkål, rödbetor och spenat, se tabell 9.

De tre försöken har legat på tre olika platser inom Naturbruksgymnasiets marker med liknande förutsättningar. 1998 års försök påverkas alltså inte av någon efterverkan från 1997 års försök i Dingle. Även Ålands odlingsförsök har legat på olika skiften. Det första årets skifte hade blivit gödslat med stallgödsel under lång tid innan försöken påbörjades. Detta innebär att markkarteringsvärdena i marken var höga från början och det har förmodligen påverkat avkastningen detta år.

Det finns en skillnad mellan Ålands och Dingles kärnskördsavkastning både när det gäller Binadan och algerna. Troligt är att andra faktorer som jordarnas egenskaper, val av utsäde och väderförhållandena har varit mer gynnsamma på Åland under försökstiden. Olika extraheringsmetoder har använts i Sverige och på Åland och därför kan inget sägas om hur näringsinnehållet i jordarna varierar. I och med den näst intill uteblivna skillnaden i kärnskördsavkastning mellan de olika gödningsmedlen kan man anta att grundförutsättningarna i jordarna har haft stor betydelse. För att kunna yttra sig om algernas möjligheter att konkurrera med andra gödningsmedel måste provtagningen ske under en längre tidsperiod på samma marker. Intressant är dock att andra försök har visat att vissa kloridgynnade växter ger högre avkastning med alggödsel än handelsgödsel, se Faktaruta D.

Jämförelsen mellan blåstång- och trådalger som gödning på Åland resulterade i likartade resultat med avseende på kärnskördsavkastning, se Boman 1998-99 för mer information. Trådalger från de tre försöksåren innehöll i genomsnitt dubbelt så mycket totalkväve och fosfor per ton torrsubstans och 11 ggr mer kalium än blåstången från samma år. Trådalger har bättre näringsstatus än blåstång enligt detta försök, se tabell 7, men näringsstatusen avspeglar sig alltså inte i en högre kärnskördsavkastning på de skiftena som blev gödslade med trådalger.

Faktaruta D. Goda resultat från alggödslingsprojekt i Trelleborg.

I Trelleborg har tre olika tånggödslingsförsök utförts. Projektet pågick under ett år och sockerbeter och olika grönsaker gödslades. Ett flertal olika algsläkter var representerade i gödslen, bland andra *Fucus*, *Cladophora*, *Enteromorpha* och *Zostera*. *Zostera marina*, (Ålgräs) och *Cladophora rupestris*, (Bergsborsting) var störst i volym. Resultatet blev över förväntan. Vitkål, grönkål, broccoli, rödbetar och rotselleri gav högre avkastning i kg än samma grönsak gödslad med handelsgödsel. Purjolök, rödlök och morötter gav dock sämre skörderesultat med tånggödslingen.

I de två försök där vitkål, rödbeta och rotselleri ingick var man eniga om att skördeutfallet var "betydligt större i de tånggödslade fälten". Detta kan troligen förklaras med att dessa grönsaker ej är känsliga eller reagerar positivt på salttillförsel till jorden. En förklaring till detta kan i sin tur vara de nämnda grönsakerna ursprungligen var strandväxter. Om året för försöket var ett torrt år så har algerna fungerat som ett jordförbättrande medel och därmed hållit vattnet kvar i jorden och på så sätt gynnat tillväxten.

Anmärkningsvärt var också att tånggödslad vitkål och grönkål helt undgick de kolmaskangrepp som drabbade övrig vitkål och grönkål. I betodlingsförsöket blev pårötterna lika stora oavsett alg- eller handelsgödsling (Ohlsson, 1991). Trelleborgs kommun fick ej bidrag till att göra en uppföljning på dessa projekt. En svag punkt i studien är att man genomfört försöken på mark som tidigare varit gödslad och därmed skulle de goda resultaten kunnat bli påverkade av en tidigare gödseffekt. Att resultaten dock blir bättre än med handelsgödsel är värt att notera.

3.2 Kompostering på Åland

I anslutning till odlingsförsöken på Åland inom EU-Life algae utfördes försök med att använda vasskomposter som gödnings- och jordförbättringsmedel. Syftet med studien var att ta reda på vassens jordförbättrande förmåga och dess gödnings effekt på korn. Denna studie var en del av ett projekt att finna avsättning för skördad vass. Som ett del-försök ingick att testa trådalger i kombination med vass. Ursprungligen hade man planerat att genomföra ett större komposteringsförsök med trådalger, men man lyckades inte få tillstånd att lägga alger på deponi. I dessa försök användes ogräsbekämpningsmedel.

Tillvägagångssätt

Tre komposteringsförsök har genomförts under tre säsonger på Åland från och med 1997 till och med 2000. Här nedan redovisas metod och resultat från främst det första försöket, 97/98. Innan komposteringen hackades vassen sönder med en exakthack. Efter hackningen gjordes skilda komposthögar av dels ren vass, dels vass blandad med respektive alger, grönsaksavfall och nötgödsel, se tabell 10. Det första försöket inleddes sensommaren 1997 med att komposten anlades. Den fick sedan stå över höst och vinter för att våren 98 fräsas i före sådd. I försök två, 98/99, spreds nästan dubbelt så mycket kompost, ton/ha i försök B, C och E. Se Boman 1998-99 för mer information.

Tabell 10. Kompostblandningar samt mängd tillförd kompost, ton/ha, år 97/98. Komposterna gjordes sensommaren 97 och spreds våren 98.

Försök	Kompostblandningar och Finlandssalpeter	Mängd tillförd kompost, ton/ha
A	Ogödslat	0
B	Hackad vass	20
C	Hackad vass + trådalger	19
D	Hackad vass + tång	22
E	Hackad vass + sorteringsavfall från grönsaker	15
F	Hackad vass + nötgödsel	28
G	Finlandssalpeter	310

(Boman 1998-99)

Tabell 11. Jordarnas egenskaper vid komposteringsförsöken, jordart och förfrukt.

	Jordart	Förfrukt
1997/98	Mullrik fin sand	Solros
1998/99	Molera	Sockerbeta

(Boman 1998-99)

Tabell 12. Markkarteringsvärden i milligram per liter (mg/l).

	Fosfor (P)	Kalium (K)	Kalcium (Ca)	Magnesium (Mg)
1997/98	54	265	936	98
1998/99	26	298	1599	143

(Boman 1998-99)

Resultat och diskussion

Kombinationen trådalger och vass gav en 16 % högre avkastning än ogödslade försöksskiften 1998. Hackad tång och vass gav en 14 % högre avkastning än ogödslade skiften och Finlandssalpeter gav 43 % större kärnskördavkastning 1998, se tabell 13. Det är dock viktigt att notera att ingen hänsyn har tagits till gödningsmedlens olika näringsinnehåll.

Enligt Boman 1998-99 var den hackade vassen för torr och inte tillräckligt förmultnad vid nedbrukningen och en del blev liggande på ytan, Försök B. Vassen gav en negativ påverkan på groddbarheten, vilket resulterade i den låga skörden, se tabell 13 (Boman, 1998-99).

Tabell 13. 1997/98 års olika vasskomposter, kärnskörd, 1000-kornsvikt och rymdvikt.

Försök	Kärnskörd, kg/ha	1000-kornsvikt, g	Rymdvikt, g/l
A Ogödslat	2930	45	650
B Hackad vass	2320	44	640
C Hackad vass + tång	3400	48	670
D Hackad vass + trådalger	3480	49	660
E Hackad vass + sorteringsavfall från grönsaker	3930	48	660
F Hackad vass + nötgödsel	4120	48	670
G Finlandssalpeter (26% N)	5120	49	680

(Boman, 1998-99)

Kärnskörden i samtliga försök blev högre 1997/98 än 1998/99 trots att mängden tillförd kompost ökade i försök B, C och E, se Boman 1998-99 för vidare information. Orsakerna till detta resultat kan vara flera, t ex väderförhållanden, jordarnas egenskaper och en hämningseffekt vid ökad mängd tillförd salt. 1998 års provskifte var mullrik finsand (0,2 - 0,6 mm), vilket kan ha varit mer gynnsamt än 1999 års molera (<0,002 - 0,6 mm). Enligt Richard 1954 är korn en salttolerant växt och det är möjligt att saltet inte begränsat kärnskördsavkastningen. Eventuellt är det en gödseffekt sedan tidigare år som visar sig i form av högre avkastning under 1998. Ett komposteringsförsök med enbart trådalger skulle varit intressant.

Vid kompostering bör C/N-kvoten i materialet beaktas. En kvot på 20-30 sägs vara optimalt för processen (Anjaneyulu, 1989). Om kvoten är högre blir nedbrytningshastigheten längre och kväveförlusten mindre. Om däremot kvoten är lägre kommer stora kväveförluster uppstå. Detta pga. att mikroorganismerna använder sig av kväve som energikälla istället för kol, vilket resulterar i att ammonium eller ammoniak avgår beroende på pH-nivån i materialet. Vid tillsats av kol till kompostblandningen bör man även beakta kolets tillgänglighet. Kolet i exempelvis färska spån är mer svårtillgängligt än i förmultnade (Robertsson, 1991). I 1997 års svenska alger var C/N kvoten 14,5 och de åländska 13,3. Här hade alltså en tillsats av kol behövts för att optimera processen. Ålands vass hade C/N kvoten 30.

Ur teknisk-, ekonomisk- och miljösynpunkt är kompostering det bästa sättet att utnyttja alger enligt en argentinsk studie. Salt- och sandinnehåll är dock problem som måste lösas, då dessa faktorer starkt hämmar vissa gröders tillväxt. Vid sköljning av materialet försvinner inte bara salter och sand utan även värdefulla näringsämnen. I det argentinska komposteringsförsöket ingick främst *Ulva*, *Codium* och *Dictyota* med inblandning av sågspån från poppel, sälg och tall. Proportionen mellan alger och spån var 80:20 i torrsvikt. Komposten användes i sandiga lerjordar och i ren sand i tomatodlingar. I samtliga försök fick jordarna högre vattenkapacitet och ökad tillväxt hos grödorna. Dessutom tålde de kompostgödslade plantorna torka bättre än plantor som blivit gödslade med oorganiskt gödningsmedel. Tillväxtökningen på plantorna var proportionell mot mängd tillsatt kompost, detta trots att kompostkvaliteten var relativt låg pga. ett sandinnehåll på 44-73% (innan komposteringsprocessen kom i gång) och lågt näringsinnehåll. Det argentinska försöket indikerar att alger med sågspån inblandat kan vara en värde-

full produkt som kan användas i odling (Eyras et al., 1998). Även italienska forskare rekommenderar att blanda in sågspån eller torv i alger vid kompostering för att på detta sätt späda ut algernas höga salthalter (Vallini et al., 1993).

3.3 Framställning av biogas från alger

Inom ramen för EU-Life algae har Jordbrukstekniska Institutet, JTI, utfört röttningsförsök av en blandning av grönalger, främst *Cladophora*, och källsorterat hushållsavfall. Syftet var att undersöka grönalgers rötbarhet vid samrötning med källsorterat hushållsavfall genom att bestämma metanutbytet L/g VS, liter metan (CH₄) per gram organiskt material, vid olika driftsbetingelser (Ascue & Nordberg, 1998).

Tillvägagångssätt

Proportionerna vid försöket var en 50:50 blandning av grönalger och hushållsavfall baserat på torrsubstans. Grönalgerna och avfallet maldes i en köttkvarn innan rötning för att underlätta omblandning och provtagning. I en del av försöket användes grönalger behandlade med natriumhydroxid (NaOH). 1 g NaOH per 100 g grönalger tillsattes varefter blandningen kokades i 15 min.

Försöket utfördes i ett 5-L kärl placerat i ett vattenbad vid 37°C. Kärlet var försett med en toppmonterad propelleromblandare, uttag för gasprovtagning och gasuppsamling med gaspåse. Ymp (3,5 L) togs från en av JTIs laboratorieprocesser (37°C), baserad på en blandning av foderensilage och källsorterat hushållsavfall. Röttningsmaterial har tillförts en gång per dag under fem av veckans sju dagar. Under försöket mättes gasvolym, koldioxidhalt i gasen och pH i vätskefasen vid varje beskickning. Metanhalt har analyserats veckovis och halten ammoniumkväve samt flyktiga fettsyror (VFA) vid olika tillfällen under försöksperioden.

Belastningen på processen var under de 16 första dagarna 2 g organiskt material per liter reaktorvolym och dag (g VS/L,d), med en uppehållstid på ca 30 dagar. Därefter höjdes belastningen till 3 g VS/L,d med en uppehållstid på 25 dagar för att förbli så under hela försöksperioden. Försöket pågick totalt i 125 dagar.

Resultat och diskussion

Samrötning av källsorterat hushållsavfall och obehandlade grönalger resulterade i ett metanutbyte som indikerade att omsättningen av grönalgerna var närmast obefintlig. Samrötningen av avfallet och obehandlade alger kunde ej upprätthållas som en stabil process utan att alkali (CaO) tillsattes. Kokningen av grönalgerna i NaOH ledde till att metanutbytet ökade från 0,20 till 0,29 L/g VS, vilket motsvarar en ökning från 0 till 0,13 L/g VS räknat på enbart grönalgerna. Under första perioden var halten av flyktiga fettsyror över 2 g/l, vilket tyder på att processen inte var stabil. I samband med att omblandningen förändrades (period 2) tillsattes även CaO vid vissa tillfällen för att höja pH-värdet och därmed skapa en stabil process. PH-värdet kunde på så sätt hållas över 7, vilket resulterade i att halten av VFA sjönk från 3,6 till 1,2 g/L (se tabell 18) (Ascue & Nordberg, 1998).

Resultaten i Ascue & Nordbergs försök 1998 visar på nödvändigheten av att förbehandla grönalgerna med syfte att öka tillgängligheten för nedbrytning. Med stor sannolikhet skulle metanutbytet öka vid en förbättring av förbehandlingsmetoden. Det måste dock beaktas att ytterligare förbehandling utöver malning innebär ökade kostnader som måste ställas i relation till värdet av ett ökat metanutbyte. Studier har inte gjorts på olika blandningar av alger och vallgrödor. Det är möjligt att inblandning av mindre mängd alger kan ge ett ökat metanutbyte.

Tabell 14. Resultat från olika röttningsförsök med olika behandlingar, metanutbytet L/g VS , VFA (flyktiga fettsyror) och pH.

Substrat	Förbehandling	Omblandning	Försöksdagar	L/g VS	pH	VFA	Metangas%
50:50 hushållsavfall, alger (<i>Cladophora</i>)* EU-Life algae	Ingen	Propeller	0-32, period 1	0,2	7,8 - 6,9	2	****
50:50 hushållsavfall: alger (<i>Cladophora</i>)* EU-Life algae	Ingen	Skakades, CaO tillsattes	33-62, period 2	0,2	7	3,6 - 1,2	****
50:50 hushållsavfall: alger (<i>Cladophora</i>)* EU-Life algae	1 g NaOH/100g alger + kokning i 15 min	Skakades	63-125, period 3	0,29	7,5	****	****
Endast hushållsavfall*	****	****	****	0,45	****	****	****
Endast alger (<i>Ulva</i>), Italienskt försök*	****	****	****	0,17	****	****	****
Endast alger (<i>Ulva</i>), Franskt försök **	Sköljning/Osköljt	Ingen	23-44	0,11 - 0,08	****	****	59
Alger, (<i>Ulva</i> , <i>Cladophora</i> , <i>Chaetomorpha</i>) (Hansson 1983)**	****	****	44 - 58	0,09 - 0,33	****	****	49-79%
Vallgrödor/hushållsavfall, 80:20***	Sönderdelning	Omrörning kontinuerlig, vatten tillförsel	****	0,30-0,33	****	i 50:50 nedan	****
Vallgrödor/hushållsavfall, 50:50***	Sönderdelning	Omrörning kontinuerlig, vatten tillförsel	****	0,33-0,38	****	Mycket låg	****

*(Ascue & Nordberg, 1998)

** (Briand & Morand, 1997)

*** (Nordberg et al., 1997)

**** ej analyserat eller ej angett i studien

Vad kan vi lära oss från andra

liknande biogasförsök?

Jordbruks tekniska institutet, JTI genomförde 1996 rötningförsök med vallgrödor och hushållsavfall. Även i detta försök var blandningen 50:50, men dessutom provades en blandning av 80 delar vallgrödor och 20 delar hushållsavfall. Då visade sig en 50:50 blandningen av vallgrödor och källsorterat hushållsavfall ge ett mer fördelaktigt resultat än 80:20 blandningen. Skillnaderna berodde dels på att avfallet var lättare att omsätta, dels på att sammansättningen av vallgrödorna varierade. 50:50 blandningen innehöll också högre halter av kobolt, vilket har konstaterats vara viktigt för aktiviteten hos de metanbildande bakterierna. Faktorer som påverkade ammoniumhalten i Nordberg et al., 1997 försöket var framförallt C/N-kvoten i substratet och nettomineraliseringsgraden av organiskt kväve. Samrötning med avfall sker för att förse bakterierna med näring samt för att undvika eventuella toxiska salteffekter av grönalger. Vidare bedöms samrötning vara det mest realistiska sättet att röta grönalger ur tillämpad synvinkel (Ascue & Nordberg, 1998).

Blandningen mellan vallgrödor och hushållsavfall (50:50) visade sig producera mindre mängd lättflyktiga fettsyror än blandningen med vallgrödor och hushållsavfall (80:20), trots att en något högre mängd organiskt material tillfördes i det förstnämnda försöket. Dessutom blev metanutbytet något högre för 50:50 blandningen än för 80:20 blandningen, se tabell 15. Under dessa försök kunde ammoniumhalten upprätthållas på en icke-toxisk nivå genom en begränsad tillförsel av vatten (Nordberg et al., 1997).

Det italienska försöket, se tabell 14, nämner Ascue & Nordberg 1998 som jämförelse till sitt eget försök. En likvärdig belastning och uppehållstid använde nämligen Nicoloini & Viglia 1985 vid rötning av *Ulva* med resultatet 0,17 L/g VS. Briand & Morand 1997, nämner goda resultat från rötning av alger från en studie av Hansson, 1983. Hanssons resultat stiger till 0,33 L/g VS, vilket är högre än den teoretiska potentialen hos alger. De goda resultaten kan ha berott på att ympen av mikroorganismer vid rötningen var fördelaktig. Vidare provades i Briand & Morands försök hur sköljningen av alger påverkade metanutbytet. Otvättade alger fick ett något högre metanutbyte. Sköljningen resulterade i att en del lätt rötade lösliga metaboliter tvättades bort, vilket resulterade i minskad metanproduktion. Malning underlättar en snabb hydrolys och ett bättre metanutbyte blir möjligt.

Svavel, magnesium och bly visade sig minska metanutbytet medan saltet ej verkade hämma metanproduktion. Ulvas höga svavelhalt kan orsaka problem. Metanbildningen blir reducerad då bakterierna även använder svavel som energikälla och svavelväte, H_2S bildas. När gasen innehåller svavelväte blir det dessutom svårare att utvinna metan, CH_4 . Undersökningar indikerar att magnesium och bly kan hämma den bakteriella aktiviteten och metanutbytet minskar således. Ingen observation av att av de metanogena bakterierna hämmades pga. salt gjordes. Om *Ulva* blandas i substratet ökar viskositeten och därmed kan man inte använda stora kvantiteter. En annan praktisk svårighet kan vara att alger är en säsongsvara. Det kan dessutom bli svårt att få ekonomisk gynnsamhet då tiden för fermentationen kan vara lång (Briand & Morand, 1997). Försök i Trelleborg visar också på vikten av att kombinera olika typer av avfall för att få en optimal blandning avseende olika närings- och spårämnen.

Även temperaturen är viktig vid fermentation. Dock har mesophila förhållanden (ca 37 °C) visat sig vara fördelaktiga framför psychrophila (10 -43°C) och thermophila (ca 55 °C) (Briand & Morand, 1997).

Processen vid rötning av organiskt material är komplex. För att nå goda resultat vid fermentation med alger bör man bl.a tänka på följande:

- Identifiera optimal fermentations temperatur.
- Se till att sammansättning blir optimal med avseende på bl.a C/N- kvot, magnesium, bly, kobolt, svavel och natriumklorid.
- Sköljning av alger kan ha en negativ inverkan då lätt rötade lösliga metaboliter sköljs bort.
- Den mikrobiologiska ympen kan ha stor betydelse.

3.4 Papper och äggkartonger

Papper

I gränshantverksgruppen i Billingsfors, Dalsland finns en handpappersmakare, Matz Uddén, som EU-Life algae har anlitat. Matz bedriver en liten verksamhet där varje pappersark tillverkas för hand. Matz använde alger i produktionen för första gången 1998 på initiativ av Frank Sjödin, Tjärnö Marinbiologiska laboratorium, TMBL. Vid ett studiebesök i Udéns pappersmakeri den 7 november 2000 fick projektledningsgruppen i EU-Life algae projektet följa hela tillverkningsprocessen. Nedan följer en beskrivning av tillverkningsgången för Matz Udéns konstpapper:

Massan som användes var till största delen bomullsfibrer. Ca 50 g torr bomull lades i ett stort 15 liters kar med kranvatten och mjukades upp till en jämn vit massa. Fina fragment med ca 5 - 10 g alger tillsattes sedan till karet med bomullsmassa. En sats räckte ungefär till 10 A4 ark. Genom att låta ett nät med ram i lämplig storlek sänkas ner i karet och långsamt lyftas upp kunde ark i valfritt format tillverkas. Arket guskades (vändes över till ett bräde) och fick torka något mellan torkdukar. Om så önskades kunde även tyger med struktur användas för att skapa mönster i pappret. Med hjälp av domkraft pressades sedan vatten ur arken varefter de fick torka utbredda på plan yta. För att släta ut pappret ytterligare efter torkningen pressades arken i ca 10 timmar. Papperstillverkning är ett mycket bra användningsområde för algerna då tungmetallhalterna i algmattorna inte begränsar användningen.

Faktaruta E. Havsallad i papperstillverkning i Italien

Företaget Alga Carta Favini använder alger i sin pappersproduktion. De utnyttjar algen *Ulva* (Havsallad) som inslag i sin papperstillverkning. Algerna hämtas med pråmar från Venedigbukten. Papper, kuvert och kartong i tre olika nyanser tillverkas, vit, elfenben och grön (<http://www.velpa.nl/algacarta.htm>). Idén att använda *Ulva* i pappersmassa testade inom ramen för ett EU-Life projekt 1993.

Äggkartonger

Under hösten 2000 skickade EU-Life algae projektet trådalger, främst *Enteromorpha* (Tarmtång) till en äggkartongproducent i England för att undersöka möjligheterna att använda materialet för tillverkning av äggkartonger. Analyserna visade att algernas fibrer var för korta och fastnade i maskinerna under tillverkningsprocessen, trots att relativt långa fibrer av annat ursprung tillsattes vid försöken (Sjölin, 2000). Algernas strukturella egenskaper begränsar alltså möjligheterna att använda dem i äggkartongproduktion.

3.5 Tungmetallanalys

EU-Life algae projektet genomförde en analys av tungmetallinnehållet i trådalger från försöksområdena i Strömstads skärgård och på Åland. Algernas tungmetallinnehåll jämfördes i den svenska analysen med det ekologiska gödningsmedlet Binadan, samt med slam och handelsgödsel. För en mer detaljerad beskrivning av de svenska algerna, se Melin, 2001. Den åländska analysen är i skrivande stund ej färdig.

Nedan följer en redogörelse för resultaten av analysen med avseende på innehållet av kadmium. Kadmium är en fettlöslig tungmetall och är mycket toxiskt för människan. För mer detaljerad information om övriga metaller hänvisas till rapporten, Melin, 2001. Svenska Jordbruksverkets gränsvärden för tungmetaller i gödningsmedel är baserat på mängden metall i förhållande till kväve och fosfor. Eftersom algerna innehåller relativt låga halter av fosfor kommer detta att vara avgörande för om man klarar gränsvärdena. Kadmium är den metall som främst begränsar tillförseln av alger till åkermark men även bly, krom och nickel begränsar tillförseln.

Jämförelsen nedan över fyra olika typer av gödningsmedel visar hur mycket kadmium som sprids samtidigt med 1 kg fosfor. Eftersom fosforinnehållet i algerna är relativt lågt, se tabell 5, måste relativt stor mängd (625 kg ts alger) spridas per hektar för att sprida 1 kg fosfor. För att sprida 1 kg kväve per ha behövs 56 kg ts alger och för att sprida 1 kg kalium per ha behövs 38 kg ts alger. Handelsgödsel, slam och Binadan innehåller större mängd fosfor per viktenhet än algerna. Därmed behöver inte lika stor mängd gödsel spridas per ha för att uppnå 1 kg fosfor. Då kommer även mindre mängder kadmium spridas än med de relativt näringsfattiga algerna, se tabell 15.

Tabell 15. Jämförelse av hur mycket kadmium som sprids tillsammans med 1 kg fosfor, kväve och kalium.

	Handelsgödsel*	Slam*	Alger**	Binadan 6-3-12***
Kadmium, mg/kg fosfor	15	45	160	0,3
Kadmium, mg/kg kväve	---	---	14,5	0,13
Kadmium, mg/kg kalium	---	---	10	0,07

--- uppgift saknas

*(Birgersson, 1999)

** (Melin, 2001)

*** (Binadan Svenska AB, produktblad)

Gränsvärden

Jordbruksverket har gränsvärden för hur mycket metaller som får spridas per ha och år, se tabell 16. Gränsvärdena avser genomsnitt räknat för en sjuårsperiod. Som en jämförelse redovisas även den befintliga halten metaller som finns i odlad och icke odlad matjord i Sverige.

Tabell 16. Jordbruksverkets gränsvärden för tillförsel av metaller g/ha år samt halten av metaller i svensk matjord.

Metaller	Mängd metaller som får tillföras åkermark, g/ha och år	Halten metaller i svensk matjord, g/ha
Kadmium, (Cd)	0,75	550
Kvicksilver, (Hg)	1,5	---
Kobolt, (Co)	40	$1,2 \times 10^4$
Nickel, (Ni)	25	$2,2 \times 10^4$
Koppar, (Cu)	300	$3,7 \times 10^4$
Krom, (Cr)	40	$9,9 \times 10^4$
Bly, (Pb)	25	$4,0 \times 10^4$
Zink, (Zn)	600	$1,5 \times 10^5$
Mangan, (Mn)	---	$1,0 \times 10^6$

(www.sjv.se/vaxtnaring/Miljo/miljo63.htm)

För att klara gränsvärdet för kadmium på 0,75 g per hektar och år kan upp till 3 ton ts saltvatensköljda alger spridas per hektar åkermark och år. Detta innebär dock att man lägger på relativt låga halter näringsämnen i förhållande till vad som brukar rekommenderas för att uppnå god skörd, se tabell 17. Beroende på föregående växtföljd och vilken gröda som skall odlas behövs olika mängder

kväve, fosfor och kalium per hektar och år. Generellt brukar rekommenderas att 20 kg fosfor, 40 kg kalium och 90-100 kg kväve per hektar och år (mer för total kväve) tillförs åkermarken i Sverige (Olrog, 2000¹). När 3 ton ts alger sprids per hektar och år kommer 51 kg kväve, 5 kg fosfor och 77 kg kalium spridas, se tabell 17.

Tabell 17. Rekommenderad mängd tillförd växtnäring och mängd näring tillförd från 3 ton ts alger.

	Rekommenderad mängd tillförd näring, kg/ha/år*	Mängd näring tillförd med 3 ton ts alger, kg/ha/år**
Kväve	90-100	51
Fosfor	20	5
Kalium	40	77

*(Olrog, 2000¹)

** (Melin, 2001)

Diskussion

De mängder alger som använts i odlingsförsöken skulle innebära att Svenska Jordbruksverkets gränsvärden överskreds med avseende på bl.a kadmium. Vid tillförsel av 8 ton ts sköljda alger per hektar och år ligger halterna kadmium i relation till halten fosfor ca 3 ggr över jordbruksverkets gränsvärde på 0,75 g per hektar och år. Tillgängligheten av kadmium i marken beror av pH, ler- och mullhalt. Ökat pH, ler- och mullhalt resulterar i att kadmium binds hårdare i marken och tillgänglighet för växterna att ta upp tungmetallen minskar. Grödornas benägenhet att ta upp metaller ur jorden varierar dessutom mycket. Upptagningsförmågan kan dock variera mer mellan olika plantor inom samma art än mellan olika arter (Melin, 2001).

Olika algarter har också olika förmåga att ta upp tungmetaller. Artsammansättningen i de skördade algmassorna kan påverka tungmetallinnehållet. *Cladophora* som är ett av algsläktena som ingår i de svenska algmassorna har använts på försök för att avskilja avrinningsvatten och avloppsvatten från tungmetaller, se faktaruta C. Olika algers förmåga att ta upp metaller från vatten bör beaktas vid bedömning av dess potential som gödningsmedel.

Gränsvärdet för kadmium är i genomsnitt 0,75 g per hektar och år under en sjuårsperiod. Om gränsvärdet skulle överstigas ett år skulle detta kunna kompenseras genom lägre tillförsel av kadmium under ett annat år av sjuårsperioden. Fördelen med att tillföra alger är att mullsubstansen och kaliumhalten stiger i marken (Olrog, 2000¹). Algerna skulle dessutom kunna användas i kombination med andra gödningsmedel i odling. En annan möjlighet är att använda alger som gödnings- och jordförbättringsmedel i exempelvis parker och på golfbanor där växterna inte skall konsumeras.

4. Andra möjliga användningsområden

4.1 Utvinning av cellulosa ur trådalger för tillverkning av läkemedelstabletter

Institutionen för Farmaci vid Uppsala universitet har bedrivit en del forskning kring algcellulosa och undersökt dess duglighet som råvara för tabletttillverkning.

Cellulosapulvret, som utvinns från algernas cellväggar, kan användas inom läkemedelsindustrin som hjälpämne vid tabletttillverkning. Den svenska industrin förbrukar för närvarande 200-300 ton cellulosapulver per år, vilket motsvarar 1-2 % av världsförbrukningen (Ek, 1995). Cellulosamaterialet kombinerar ett flertal goda och viktiga egenskaper; tablettstyrka i torrt tillstånd, tablettönderfall i kontakt med vatten och smörjande egenskaper under själva bildningen av tablettens genom komprimering av pulver. Man har ansett att cellulosaens kristallinitet är viktig och produkten som läkemedelsindustrin använder heter också mikrokristallin cellulosa och har en kristalliniteten mellan 10-70 % (Ek, 2000).

Ek, m. fl har funnit att kristalliniteten hos algsläktet *Cladophoras cellulosa* är nära 100 %. Produkten skulle kunna vara intressant för flera farmaceutiska applikationer ofta mera kvalificerade än som tabletttillverkning. Från torra alger får man ut runt 10-20 % sådan cellulosa. Säkert innehåller också andra alger cellulosa men hur mycket och vilken kristallinitet de har är okänt. Ingen har hittills varit intresserad av att analysera andra släkten (Ek, 2000). *Cladophora* är ett av flera förekommande släkten i algmattorna och att sortera ut detta släkte är uteslutet. Därför bör även övriga släkten

kristallina egenskaper undersöks om algmassorna skall kunna användas för kommersiellt syfte vid tabletttillverkning. Alternativt kan alger odlas i syfte att användas för cellulosaframställning.

Undersökningar av cellulospulver tillverkat av *Cladophora* har visat att dessa partiklar innehåller mindre oordning, har högre partikeldensitet och en mycket större yta jämfört med annan cellulosa utvunnet från växter (Ek et al., 1998). Fördelen med den kristallina cellulosan i tabletttillverkning är att den tål högt tryck utan att nämnvärt förändras vare sig elastiskt eller plastiskt (Ek et al., 1995). I en undersökning av fem olika cellulosa och ett slags stärkelse visade sig algcellulosa ha den högsta absorptionen av vatten, nämligen 1,55 kg vatten/kg material. Absorptionen av vatten till en tablett är nödvändig för att det aktiva ämnet skall frigöras. Den ögonblickliga vattenabsorptionen beror av materialets totala yta, medan absorptionskapaciteten beror mer på porositeten på pulvret (Ek et al., 2000).

Metallinnehållet i algerna kan dock bli ett problem. Gränsvärdet för innehåll av tungmetaller är enligt US Pharmacopeia, USP XXI, 1985 0,001 % för mikrokristallin cellulosa. Med största sannolikhet innebär framställningsprocessen att huvuddelen av metallerna avlägsnas, men man känner i dag inte till det färdiga pulvrets tungmetallinnehåll (Ek, 2000). För att ta reda på algcellulosans potential som hjälpämne i tabletter bör det färdiga pulvrets tungmetallinnehåll analyseras.

4.2 Utvinning av energi genom förbränning av trådalger

Inom ramen för EU-Life algae projektet har det inte utförts några försök med förbränning av trådalger. Här följer några allmänna fakta om förbränning som bör beaktas om man väljer att bränna algmassorna:

Kloridinnehållet måste vara känt i det material som skall brännas då för höga kloridhalter har som följd att saltsyra, HCl bildas. Det finns inga gränser för hur mycket klorid materialet får innehålla, men däremot är gränsvärdet för utsläpp från en förbränningsanläggning 10 mg/m³ HCl. Det finns inte uppställt några krav på bränslets innehåll av tungmetaller, utan allt avgörs vid själva provningen av förbränningen (Löfgren, 2000). Arsenikinnehållet får inte vara högt då arsenik kan förstöra förbränningsutrustningen. En annan faktor som är intressant är C/N- kvoten då den påverkar energiutvinningen. För själva förbränningsprocessen är askförbränningsförloppet viktigt. För att testa hur algerna brinner behövs 10 ton alger, pressad våtvikt (Kvartsberg, 2000). En närmare undersökning rekommenderas för att några slutsatser skall kunna dras om energiutvinning genom algförbränning.

5. Transporter av alger vid de eventuella användningsområdena

Vid val av lämpliga användningsområden av algerna är det viktigt att räkna in transporterna i bedömningen. På Åland finns möjligheten att kompostera algerna och använda dem som gödning på åkrar, se tabell 18. I Sverige finns möjlighet att vidare undersöka förutsättningarna för kompostering, biogasframställning, förbränning och pappertillverkning i redan lokalt befintliga anläggningar. Fler anläggningar finns även regionalt i Västra Götalands län, se tabell 19.

Tabell 18. Åland. Transporter vid de olika användningsområdena. Lokalt avser Åland och fastland avser Finland.

	Lokalt	Fastlandet
Gödsel	Åkrar	Finns lokalt
Kompost	Finns	Finns lokalt
Biogas	Finns ej	Ej aktuellt
Tablett	Tabletttillverkningen av alger befinner sig än så länge på försöksstadiet.	
Förbränning, biopannor	Finns ej	Ej aktuellt
Papper	"	"
Äggkartonger	"	England, Tyskland, Danmark

Tabell 19. Västra Götalands län, Sverige. Transporter vid de olika användningsområdena. Lokalt avser 20 km från platsen där algerna hämtas till platsen för användandet, regionalt avser användning inom länet.

	Lokalt	Regionalt	Utomlands
Gödsel	Åkrar vid kusten		Ej aktuellt
Kompost	Tanum, försöksverksamhet	Borås	"
Biogas	Tjörn, försöksverksamhet	Borås	"
Tablett	Tabletttillverkningen av alger befinner sig än så länge på försöksstadiet.		
Förbränning, biopannor	Kungälv, Uddevalla, Mölndal	Trollhättan, Alingsås, Borås	Ej aktuellt
Papper	Lilla Edet, retur-pappersmassa, Munkedal	Billingsfors, handpappersmakare	"
Äggkartonger	Finns ej	Finns ej	England, Tyskland, Danmark

5.1 Briketter

Syftet med att producera briketter är att minska volymen för transport. Detta är därför endast intressant vid längre transporter. Risken är dock att stora mängder näring läcker ur algmaterialet vid pressningen.

Under projektets gång har möjligheten att montera en briketteringsmaskin på själva skördemaskinen undersökts. Kostnaden för en dylik utrustning skulle dock bli mycket höga, bl.a pga. att utvecklingen av en tillräckligt lätt brikettmaskin för ändamålet skulle bli mycket kostsamt (Urbas, 2000). Det har även diskuterats att brikettera algerna på land och då ta tillvara det näringsrika vatten som pressas ur algerna. Vattnet är dock för salt för att användas på åkermarken direkt. Det är även för salt för att skickas till reningsverk.

Faktaruta F. Kuriosa kring alganvändning Höns foder

En man utanför Lysekil, Lyse har för ett antal år sedan använt alger som foder till några av sina höns. De höns som fått alger i sitt foder har enligt bonden fått gulare äggula och dessutom har de undvikit att få en bakterieinfektion vid näbbet. Vilken typ av alger som användes är okänt.

Ett spanskt EU-Life projekt har också upptäckt antibakteriella egenskaper hos alger från medelhavskusten (<http://www.innova.es/lifeverd>).

Faktaruta G. Övrig alganvändning Alginat och kosmetika

Alginat är polysackarider som i dag framställs från brunalgerna laminaria och knöltång. Alginate är bl. a konsistensgivare, exempelvis EAN-numret E401, natriumalginat. Agar och karragenan utvinns av röda alger. Agar, E406 kan man bl a hitta i stabiliseringsmedel och i agarplattor. Karragenan, E407 återfinns i bl a stabiliseringsmedel, krämer och glass. Alger används i en lång rad av olika naturprodukter inom kosmetikaindustrin, t ex krämer, tvålar och schampor.

6. Slutsatser och framtidsvisioner

Trådalger skulle kunna användas som komplement till andra gödningsmedel vid odling. Halterna av kadmium, nickel, krom och bly är dock för höga för att enbart alger skulle kunna användas regelbundet om man vill uppnå den rekommenderade tillförseln av 20 kg fosfor per hektar och år. Tillförsel av alger skulle kunna höja mullsubstansen och kaliumhalten i marken, vilket är positivt. En kombination av alger och annan gödning på mer salttoleranta grödor skulle kunna vara en möjlighet. Alger kan också användas som gödning och jordförbättringsmedel i exempelvis parker där växterna inte skall användas som livsmedel.

Vad gäller rötning, kompostering och förbränning behövs fortsatta undersökningar för att kunna utreda algernas potential inom dessa användningsområden. Möjligheten att kombinera rötning och kompostering av annat avfall för att optimera processen bör utredas.

Studier har givit indikationer på att cellulosapulver framställt från alger (*Cladophora*) skulle kunna fungera som hjälpämne i läkemedelstabletter då det har mycket hög kristallinitet. Om produkten skulle

klara de hårda tungmetallhaltskraven för läkemedeltillsatser krävs fortsatta undersökningar. Andra algsläkternas kristallinitet bör också undersökas.

EU-Life algae har anlitat en handpappersmakare i Billingsfors som provtryckt vackra pappersark av alger. Det finns goda möjligheter att algerna ska kunna användas även i större skala vid pappers-tillverkning. Att använda *Ulva* (Havsallad) som tillsatts i pappersmassa har visat sig ge goda resultat i ett italienskt projekt. Det är då viktigt att utveckla metoder att lagra algerna. Torkning är ett sätt som skulle förhindra nedbrytningsprocessen hos algerna. På algernas korta fibrer har de visat sig vara olämpliga i äggkartongproduktion.

Projektet har visat på några möjliga framtida användningsområden för trådalger, men i samtliga fall krävs ytterligare studier för att optimera processerna. Även den säsongsvisa tillgången på alger måste beaktas för att finna bra avsättningsmöjligheter. För att lägga algerna på deponi krävs tillstånd och det är även kostsamt. Dessutom är detta ingen kretsloppsanpassad åtgärd.

Referenser:

- Anjaneyulu, k., Tarwadi, S.J., Mehta, D.J. 1989. Anaerobic digestion of seaweed for biogas: A kinetic evaluation. *J. Chem. Tech. Biotechnol.* 45: 5-14
- Ascue, J., Nordberg, Å. 1998. Kontinuerlig rötning av grönalger och källsorterat hushållsavfall, Slutrapport 98-04-17. Jordbrukstekniska institutet
- Binadan Svenska AB, produktblad
- Birgerson, K. 1999. Minska kadmiumhalten i grödorna. *Växtpressen*, nr 2.
<http://sll.bibul.slu.se>
- Boman, U. 2000. E-post
- Boman, U. 1998-1999. Resultat från odlings- och komposteringsförsök. Fullständig rapport kommer senare under 2000.
- Briand, X., Morand, P. 1997. Anaerobic digestion of *Ulva* sp. 1. Relationship between *Ulva* composition and methanisation. *J. Appl. Phyc.* 9: 511-524
- Castro, H. 2000. Kontakt vid Santiagos universitet. E-post
- Ek, R. 1995. Characterisation of powder cellulose, Microcrystalline cellulose and porous cellulose beads. Pharmaceutics Uppsala University ISBN 91-554-3432-0
- Ek, R. 2000. E-post
- Ek, R., Hedenus, P., Stromme Mattson, M., Niklasson, G.A., Camber, O. 2000. Characterisation of instantaneous water absorption properties of pharmaceutical excipients. *Inter. J. Pharma.* 141: 141-149
- Eyras, M.C., Rostagno, C.M., Defossé, G.E. 1998. Biological evaluation of seaweed composting. *Compost Science & Utilization.* 6(4): 74-81
- Kvartsberg, B. 2000. Muntligen
- Lindén, 1997. OH-material.
- Löfgren, I. 2000. E-post
- McHardy, B-M., George, J-J. 1985. The uptake of selected heavy metals by the green alga *Cladophora glomerata*. *Symp. Bio. Hung.* 29
- Melin, 2001. Can filamentous algae be used as fertilisers? - An analysis of nutrient- and heavy metal content. Examensarbete 20p, Göteborgs universitet & Länsstyrelsen Västra Götalands län
- Nordberg, Å., Edström, M., Pettersson, C.M., Thyselius, L. 1997. Samrötning av vallgrödor och källsorterat hushållsavfall. Jordbrukstekniska institutet, Kretslopp och avfall, Nr. 13
- Ohlsson, F.B. 1991. Vattenväxter - i kampen mot övergödningen. *Odlaren*. Nr.5 http://zeus.bibul.slu.se/documents/forb_org_biol_odl/odlaren/ODN9.../ODN91-5A.HT
- Olrog, L. 2000¹. Muntligen
- Olrog, L. 2000². Fintrådiga alger som gödselmedel, sammanställning av försök genomförda av Hushållningssällskapet i Göteborg och Bohuslän 1997-99.

Olrog, L. 1999. Miniseminarium om alternativa användningsområden för skördade alger 4 maj på Länsstyrelsen i Göteborg.

Pihl, L. 2000. Muntligen

Richard, L.A. 1954. Diagnosis and Improvement of saline and alkali soils. Agriculture Handbook No. 60. United States Department of Agriculture. <http://www.ussl.ars.usda.gov/answers/cropsali.htm>

Robertsson, M. 1991. Komposteringens Mikrobiologi, Examensarbete, Ulltuna <http://sll.bibul.slu.se>

Rosenberg, R., Cato, I., Förlin, L., Grip, K., Rodhe, J. 1996. Marine environment quality assessment of the Skagerrak - Kattegat. J. Sea. Res. 35 (1-3): 1-8

Schönning, M. 1996. Ekologiskt lantbruk gynnar biologisk mångfald. Ekologiska lantbrukarna informerar. <http://sll.bibul.slu.se>

Sjölin, S-I. 2000. Muntligen, Emballage företaget Omnipack.

Sobhan, R., Sternberg, SPK. 1999. Cadmium removal using Cladophora. J. Environ. Sci. Health, Pt. A: Toxic/Hazard. Subst. Environ. Eng. A34 (1): 53-72

Söderlund, S., Pedersén, M. 1993. Algerna i havet - en miljö i förändring -

Urbas, J. 2000. Muntligen.

Vallini, G., Pera, A., Cecchi, F., Valdrighi, M.M., Sicurani, M.A. 1993. Compost stabilization of algal biomass draw in eutrophic lagoon ecosystems. Compost Science & Utilization. 1(2):49-53

<http://www.innova.se/lifeverd/proyecto.htm>

<http://www.velpa.nl/algacarta.htm>

Projektrapporter och andra publikationer

EU Life algae rapportserie

1997

Pettersson, K. 1997. *Report from the work-shop on "Algal mats on shallow soft bottoms"*.

1998

Ascue, J. och Norberg, Å. 1998. Jordbrukstekniska institutet. *Kontinuerlig rötning av grönalger och källsorterat hushållsavfall, slutrapport 98-04-17*.

Berglund, J. 1998. *Kartering av makrofyter och drivande alger på grunda mjukbottnar i Ålands skärgård*.

Jöborn, A., Oscarsson, H. och Pihl, L. 1998. *A new approach to combat blooms of ephemeral opportunistic macro algae in Scandinavian coastal waters, ICES*.

Rönnberg, C. och Genberg, J. 1998. *Biologiska effekter av algskörd. Kontrollprogram på Åland 1997*.

1999

Stigebrandt, A. och Eilola, K. 1999. *Modelling filamentous algae mats in shallow bays*.

2000

Berglund, J. och Heikkilä, J. 2000. *Rapport över det biologiska kontrollprogrammet på Åland 1999, samt en jämförelse över 1997-1999*.

Jönsson, B. 2000. *Teknisk rapport för algskördare och skörd, under perioden 1997-2000*.

Lindahl, S. *Vägbankars inverkan på vatten-cirkulationen i grunda havsvikar*. SMHI.

Melin, Y. 2000. *Alternativ användning av marina fintrådiga makroalger*.

Olrog, L. 2000. *Fintrådiga alger som gödselmedel. Sammanställning av försök genomförda av Hushållnings-Sällskapet i Göteborg och Bohuslän 1997-99*.

Svensson, A. och Pihl, L. 2000. *Biologiskt kontrollprogram 1997-1999*.

Österling, M. och Pihl, L. 2000. *Effects of green algal mats on infaunal functional feeding*.

2001

Boman, U. *Försök med användning av alger och blåstång som gödselmedel i jordbruket. 1998-2000*.

Dåverhög, M. och Lindström, Å. 2001. *Remote sensing of filamentous algae in shallow waters along the Swedish West Coast*. Uppsala Universitet.

Harlén, A. och Zackrisson, A-C. 2001. *Ekonomisk analys för algskörd och användning av fintrådiga alger*.

Heikkilä, J. 2001. *Rapport över det biologiska kontrollprogrammet på Åland 2000*.

Jöborn, A., Sköld, M., Sterner, H. och Trefil Engström, M. 2001. *Final report*.

Jöborn, A., Oscarsson, H., Sköld, M. och Sterner, H. 2001. *Algae in excess - harvesting for Life*.

Melin, Y. 2001. *Can marine filamentous algae be used as fertiliser? An analysis of heavy metal and nutrient content*. Göteborgs Universitet.

Pihl, L. 2001. *Effekter av fintrådiga alger på rekrytering av rödspätta - en numerisk modell*.

Sterner, H. med flera. 2001. *Teknikbeskrivning*.

Sterner, H. med flera. 2001. *Rekommendationer för planering och förvaltning*.

Svensson, A. och Pihl, L. 2001. *Biologisk undersökning av grunda havsvikar - effekter av fintrådiga alger och skörd*.

Thulin Plate, L. med flera. 2001. *Rättsliga förutsättningar för att skörda alger och öka vattenflödet genom vägbankar*.

Andra publikationer

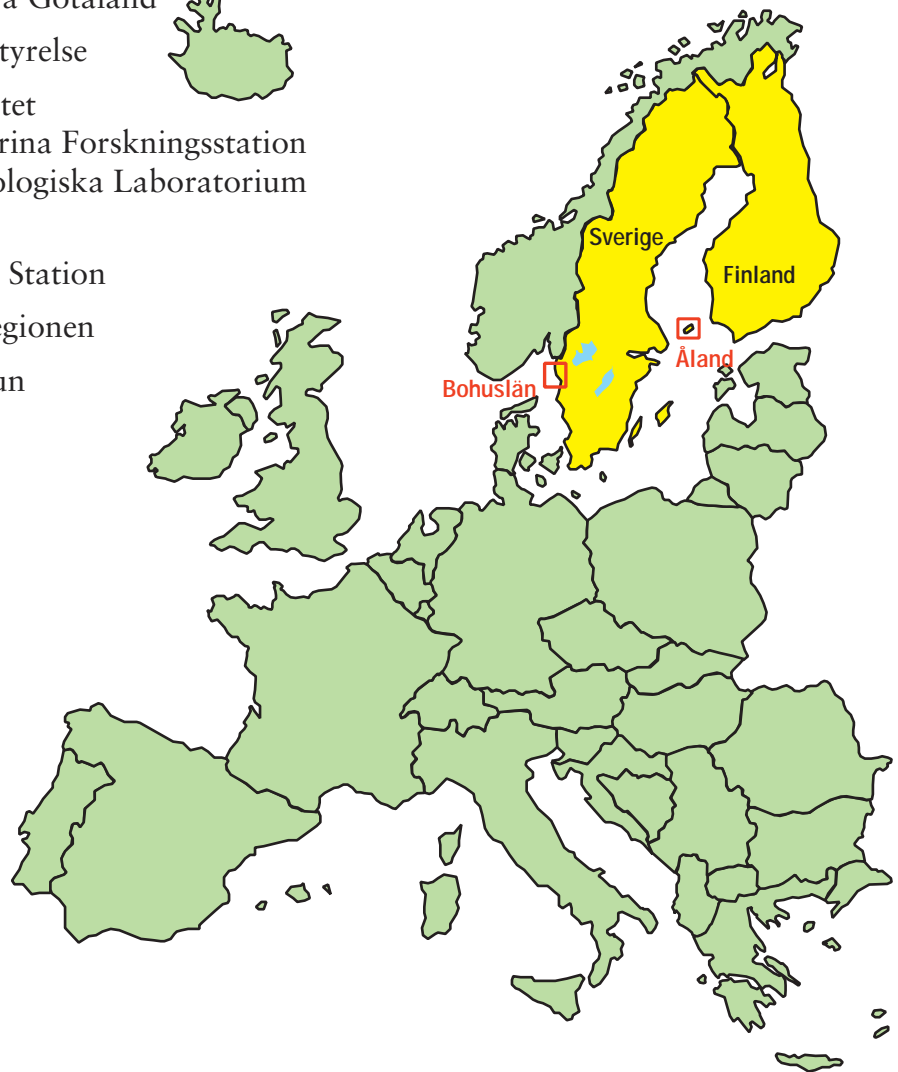
Pihl, L., Svensson A., Moksnes P-O. och Wennhage, H. 1997. *Utbredning av fintrådiga grönalger i grunda mjukbottensområden i Göteborgs och Bohus län under 1994-1996*. Länsstyrelsen i Göteborgs och Bohus län, 1997:22.

Pihl, L., Svensson A., Moksnes P-O., och Wennhage, H. 1999. *Distribution of algal mats throughout shallow soft bottoms of the Swedish Skagerrak archipelago in relation to nutrient sources and wave exposure*. Journal of Sea Research 41 (1999 281-294).



Projektdeltagare

Länsstyrelsen Västra Götaland
Ålands Landskapsstyrelse
Göteborgs Universitet
Kristineberg Marina Forskningsstation
Tjärnö Marinbiologiska Laboratorium
Åbo Akademi
Husö Biologiska Station
Västra Götalandsregionen
Strömstads Kommun
Fiskeriverket
Vägverket



LÄNSSTYRELSEN
VÄSTRA GÖTALAND
ISSN 1403-168X
Rapport 2001:41