

AKT

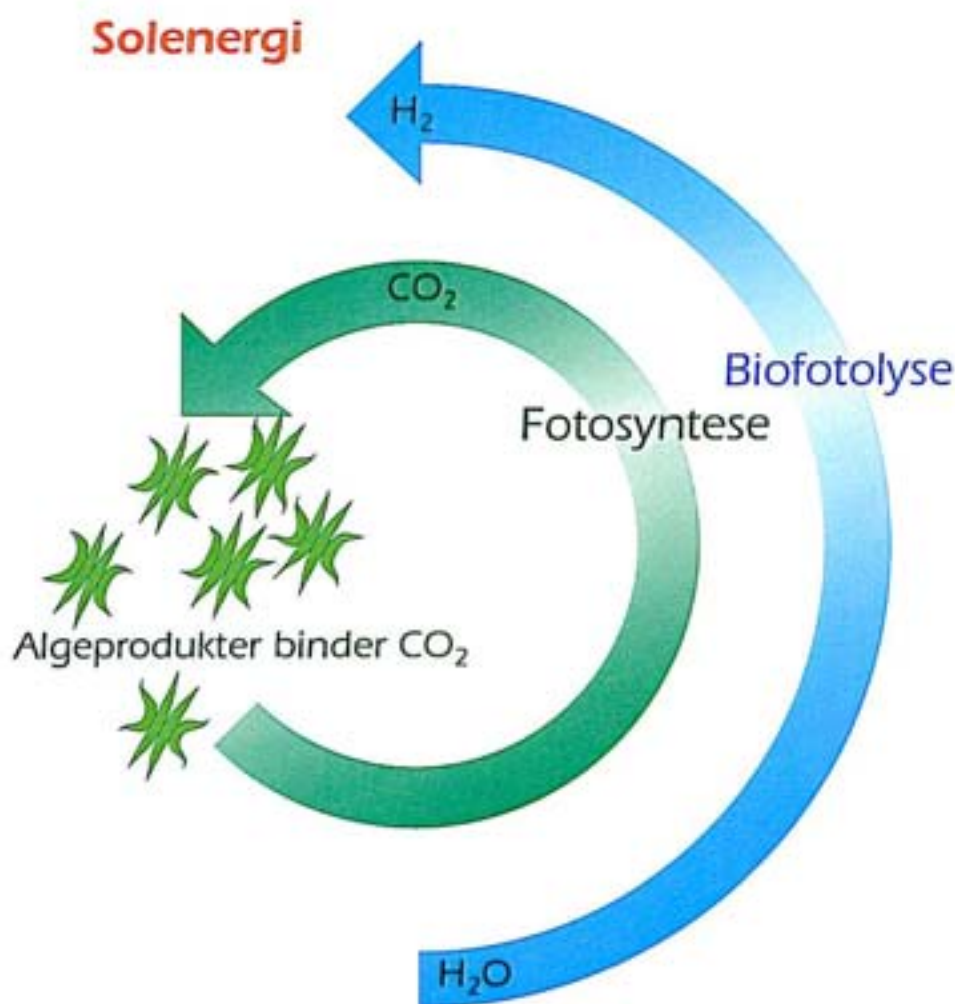
Algekulturateknologi

Eksperiment- og
produksjonsanlegg for
mikroalger i Vestfold



Delrapport **4:**

**Algetyper, anvendelsesområder
og forretningsmuligheter**



Norges forskningsråd (NFR):
FoU-programmet KLIMATEK.
Teknologi for reduksjon av klimagassutslipp

Norsk institutt for vannforskning

Hovedkontor
Postboks 173, Kjelsås
0411 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internet: www.niva.no

Sørlandsavdelingen
Televeien 1
4890 Grimstad
Telefon (47) 37 29 50 55
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen
Sandvikaveien 41
2312 Ottestad
Telefon (47) 62 57 64 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen
Nordnesboder 5
5008 Bergen
Telefon (47) 55 30 22 50
Telefax (47) 55 30 22 51

Akvaplan-NIVA A/S
9015 Tromsø
Telefon (47) 77 68 52 80
Telefax (47) 77 68 05 09

RAPPORT

Titel Algekulturt Teknologi. Eksperiment- og produksjonsanlegg for mikroalger i Vestfold. Delrapport 4: Algetyper, anvendelsesområder og forretningsmuligheter.	Løpenr. (for bestilling) 3992-99	Dato 25.01.1999
	Prosjektnr. Undemr. 98001 04	Slider Pris 32
Forfatter(e) Roar Krogshus Gunnar Strømmen	Fagområde Algekulturt Teknologi	Distribusjon
	Geografisk område Norge	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Norges forskningsråd - FoU-programmet KLIMATEK.	Oppdragsreferanse 125117/230
--	--

Sammendrag Algedyrking med kommersiell interesse er tema. Mikroalger som benyttes til massedyrking og produkter som fremstilles er behandlet. Det blir gitt en oversikt over forutsetninger for algekulturt Teknologi i Vestfold. Produksjon av algebiomasse er tenkt utført i industrianlegg, eller i veksthusbaserte dyrkingsanlegg. Kommersiell interessante produkter omfatter fôr til husdyr og organismer i akvakultur, helsekost/tilsetningsstoffer i mat, og medisinske handelsvarer. Synergimuligheter ved samlokalisering med akvakulturanlegg eller veksthusanlegg for planteproduksjon blir vurdert. Faglige og praktiske forutsetninger for valg av lokalitet for et pilotanlegg i Vestfold blir drøftet. Ut fra vektlegging av spesielle praktiske forutsetninger blir det foreslått å prioritere Slagentangen (ESSO Norge A/S) til formålet.

Fire norske emneord 1. Mikroalger 2. Algeprodukter 3. Pilotanlegg 4. Stedsvalg	Fire engelske emneord 1. Microalgae 2. Algal products 3. Pilot plant 4. Localization
---	---


Gunnar Fr. Aasgaard
 Prosjektleder

ISBN 82-577-3589-2


Dag Berge
 Forskningsjef

Forord

I mikroalgenes egenskaper og sammensetning ligger realisérbare muligheter for kommersiell og samfunnsmessig nytte. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) har gjennom mer enn tretti år bygget opp en kultursamling av mikroalger med potensiale for slik utnyttelse. Gjennom målrettet forskning og utvikling ønsker NIVA å danne grunnlaget for en norsk industri basert på forretningsmessig utnyttelse av mikroalger.

Mikroalgene, som tilhører planteriket, baserer sin vekst på fotosyntesen. I dette ligger et potensiale til å utnytte CO₂-innholdet i avgasser fra prosessindustri som "føde" i vekstanlegg for mikroalger. Dette var bakgrunnen for etableringen av forprosjektet *"Algekulturteknologi (AKT); Eksperiment- og produksjonsanlegg for mikroalger i Vestfold"*. Prosessindustri i Vestfold er vurdert som CO₂-kilder.

Forprosjektet er 50 % finansiert av Norges forskningsråd, under KLIMATEK-programmet. Programkoordinator har vært Asle Lygre (fram til 01.06.98) og Hans-Roar Sørheim, begge fra Christian Michelsen Research AS. Øvrige finansierer: Esso Norge, Vestfold Energitjenester, Larvik kommune, Vestfold fylkeskommune samt de faglige prosjektdeltakerne NIVA, NIV, STØ og ANØ.

Nøkkelpersoner i hovedprosjektet har vært:

- Gunnar Fr. Aasgaard (prosjektleder), Avløpssambandet Nordre Øyeren (ANØ)
- Gunnar Strømmen (assisterende prosjektleder), Næringscenteret i Vestfold AS (NIV)
- Torsten Källqvist (faglig leder) og Olav Skulberg, begge NIVA
- Haakon Thaulow (adm. prosjektansvarlig og leder av referansegruppen), NIVA

Resultatene av forprosjektet presenteres i 5 delrapporter og en sammendragsrapport. Næringscenteret i Vestfold AS (NIV) har vært ansvarlig for Delrapport 4: Algetyper, anvendelsesområder og forretningsmuligheter. Prosjektmedarbeidere ved NIV har vært Roar Krogshus og Gunnar Strømmen. Prosjektmedarbeidere ved NIVA har vært Torsten Källqvist og Olav Skulberg.

Tønsberg/Kjeller, 25.01. 1999

Gunnar Fr. Aasgaard
(prosjektleder)

Gunnar Strømmen
(assisterende prosjektleder)

Innhold

Sammendrag	5
Summary	7
1. Algedyrking med kommersiell interesse	8
2. Nye utviklingstendenser	9
3. Mikroalger - organismer og produkter	9
4. Algekulturateknologi - tilrettelegging for produksjon i Vestfold	11
4.1 Noen forutsetninger	11
4.2 Perspektiver på mikroalger i verdensmarkedet	11
4.3 Valg av mikroalger for eventuell produksjon i Vestfold	14
5. Anvendelsesområder for algeprodukter som bakgrunn for valg av kulturorganismer	16
5.1 Oversikt	16
5.2 Mikroalger som bør utprøves i et hovedprosjekt i Vestfold	17
6. Synergimuligheter algekultur/akvakultur	19
7. Synergimuligheter algekultur/veksthusteknologi	19
8. Produktmuligheter basert på mikroalger i Vestfold	20
9. Produktmuligheter basert på tørket biomasse levert fra Vestfold	21
10. Kartlegging av lokale forutsetninger i Vestfold	22
10.1 Arealdisponering/reguleringsmessige forhold. Faktorer som tillegges vekt i vurderingen.	22
10.2 Dyrkingsfaktorer for mikroalger som må vektlegges	23
10.3 Lokaliseringsanalyse	23
10.4 Prosjektgruppens innstilling	24
10.5 Muligheter og hindringer av samfunnsmessig og politisk karakter	25
11. Vurdering av forretningsmuligheter	26
11.1 Bedriftsstrukturen i de identifiserte produktområdene	26
11.2 Grove markedsvurderinger	26
12. Anbefaling av videre arbeid	28
13. Referanser	29

Sammendrag

- Produksjon av mikroalger med kommersiell interesse tok til i 1950-1960-årene, først og fremst i Japan og USA. Samtidig ble anvendelsen av dyrkingssystemer med mikroalger for behandling av avløpsvann et nytt teknologisk virksomhetsområde. I 1980-årene ble fysiologisk egnede kulturalger tatt i bruk til storskala fremstilling av handelsprodukter. Arter av slektene *Chlorella*, *Dunaliella*, *Haematococcus* og *Spirulina* er velkjente eksempler anvendt i industriell masseproduksjon. Fôrorganismer i forbindelse med akvakultur fikk samtidig praktisk betydning - bl.a. arter i slektene *Isochrysis*, *Rhodomonas* og *Tetraselmis*, og har blitt et omfattende område innenfor algekulturateknologi. Mikroalgens muligheter knyttet til energisektoren har i 1990-årene dessuten gitt nye utviklingstrender av praktisk interesse.
- Dyrking av mikroalger foregår i et effektivt dyrkingssystem basert på nyttiggjøring av solenergi og karbondioksid, hvor viktige organiske forbindelser - f.eks. proteiner, lipider, karbohydrater, pigmenter og spesielle bioaktive stoffer - kan fremstilles. Som kulturorganismer er mikroalgene egnet for genetisk seleksjon (foredling).
- Forutsetninger for tilrettelegging av algekulturateknologi i Vestfold blir behandlet. Produksjon av algebiomasse vil utføres i industrianlegg til formålet, eller i veksthusbaserte dyrkingsanlegg. I vurderingen av økonomisk virksomhet legges det til grunn at markedet for varen som kan fremstilles er betydelig både i volum og anvendelse.
- Det blir gitt en oversikt over egenskaper til viktige kulturalger som benyttes på verdensmarkedet, og de praktiske/økonomiske interessene disse mikroalgene har. Slektene *Chlorella*, *Spirulina*, *Dunaliella* og *Porphyridium* blir omtalt med hensyn til sine anvendelser i industriell sammenheng. Verdstoffene som fremstilles av de relevante artene er behandlet. De viktigste anvendelsesområdene for varene er knyttet til ernæring, industrikjemikalier, farmasi/medisin og landbruk/akvakultur.
- Kriterier for utvelgelse av mikroalger til utprøving i Vestfold gjennomgås. I dette inngår krav til kulturalgenes vekstfysiologiske egenskaper, praktiske geografiske forhold og forretningsmessige sider knyttet til markedsbehov/økonomi for produktene det gjelder.
- Anvendelsesområdene for aktuelle algeprodukter vil bli lagt til grunn for utvelgelse av kulturalger til utprøving i et eksperiment- og produksjonsanlegg. På denne bakgrunn er det omtalt fire typer mikroalger (modellorganismer) hvor det foreligger kloner med relevante egenskaper i NIVAs kultursamling som kan benyttes. De kommersielt interessante produkter som har første oppmerksomhet omfatter fôr til husdyr og i akvakultur, helsekost/tilsetningsstoffer i mat, og medisinske handelsvarer.
- Innenfor produktkategoriene som oppfyller forutsetningene til kommersiell drift, kan følgende praktiske hensyn for virksomheten legges til grunn:
 - Algene produseres i sammenheng med en allerede akseptert handelsvare.
 - Markedet for vedkommende ferdigprodukt må være betydelig og/eller i sterk vekst.
 - Mikroalger som råstoff må ha konkurransefortrinn i forhold til alternativer det konkurrerer med, enten når det gjelder egenskaper/kvalitet eller pris.
- Synergimuligheter som kan foreligge ved en samlokalisering i Vestfold av et produksjonsanlegg for mikroalger med henholdsvis et akvakulturanlegg for oppdrett av Sea Bass, og et veksthusanlegg for planteproduksjon ("Snekkenes-modellen") blir gjennomgått. For begge alternativer foreligger positive muligheter. Det er nødvendig å få utført konkrete økonomiske og markedsmessige

undersøkelser før beslutninger om realisering blir gjort.

- Biomasse av mikroalger - tørket produkt - kan benyttes som råstoff til mange ulike formål. Det blir foretatt en vurdering av slike eventuelle anvendelser ved bedrifter i Vestfold (lokal ferdigvareproduksjon), og/eller ved videreforedling utenfor fylket i Norge eller utlandet.
- En analyse av lokale forutsetninger ble utført for å forberede et eksperiment- og produksjonsanlegg for mikroalger i Vestfold. Faktorer knyttet til arealdisponering, reguleringsmessige forhold, praktiske dyrkingsmessige forutsetninger (f.eks. lys, spillvarme, karbondioksid, vannforsyning, plantenæringsstoffer) og infrastruktur inngikk i vurderingene.
- Det ble foretatt en sammenliknende vurdering mellom de to hovedalternativene for lokalisering - henholdsvis Lillevik, Larvik kommune og Slagentangen, Sem kommune - med bakgrunn i stedsanalysene. Begge alternativer fremviste gode forutsetninger for virksomhet med algekulturteknologi. Ut fra vektlegging av de spesielle praktiske forutsetningene blir det foreslått å velge en lokalisering for et pilotanlegg ved ESSO Norge A/S på Slagentangen.
- En foreløpig vurdering ble gjort av forretningsmuligheter med bakgrunn i behovet på verdensmarkedet for algebiomasse og verdistoffer. Produkt- og markedsanalyser blir en betydningsfull del av det videre arbeid med tilretteleggingen av algekulturteknologi i Vestfold. Viktige hensyn knyttet til pilotfasen ved det planlagte eksperiment- og produksjonsanlegg for mikroalger er poengtert og formulert.

Summary

The research and development of large-scale production of microalgae for commercial purposes go back to the years 1950-1960. At the same time interest developed in growing microalgae in sewage ponds for a technological photosynthetic waste water treatment. During the period 1980-1990 species of a few genera e.g. *Chlorella*, *Dunaliella*, *Haematococcus* and *Spirulina* were applied by industry in several countries for the production of a wide spectrum of commodities of commerce. To deal with the CO₂-problem, various solutions are technologically tested based on the use of microalgae to achieve both food and biomass/energy returns. This adds at present new interest in promoting algal culture technology.

In Norway, however, it is the macroalgae, which traditionally have had industrial interest. In contrast the microalgae - prokaryotic and eukaryotic photosynthetic microorganisms - have so far scarcely been commercially exploited.

The aim of the project here described is to promote the practical utilization of microalgae for economic purposes in Norway. The construction of a research plant for experimental- and pilot production of microalgae in Vestfold is an intrinsic part of advancing the practical solutions.

The report includes information about relevant microalgae and products which have attention connected with the preparations for algal culture technology adjusted to the circumstances in Vestfold. Geographical and economic conditions are presented and evaluated. Criteria for selection of areas suitable for a pilot plant, and the exploitation possibilities for certain strains of microalgae in question, are the subjects for comments. Based on the different factors and a comparative study a recommendation is made about a suitable site for the experimental- and pilot plant in Vestfold.

The necessary steps for a continuation and execution of the project are outlined.

Title: Algal culture technology. - Pilot plant for production of microalgae in Vestfold, Norway.
Report 4: Microalgae, products and economic potential.

Year: 1999

Author: Roar Krogshus, Gunnar Strømmen

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-3589-2.

1. Algedyrking med kommersiell interesse

Forskningsmessig dyrking av alger - renkulturer - er bare litt over 100 år gammel. Dyrking av alger ble tatt i bruk som et verktøy for biologisk forskning, mer enn som et mål i seg selv. Dette kommer særlig tydelig frem i arbeidene som bidro til forutsetningene for fremveksten av moderne biokjemi (Pringsheim 1949, Samson et al. 1996).

Den praktisk-økonomiske utnyttelse av alger har på vesentlig måte fremmet bruken av algekulturer og gitt behov for kultursamlinger (Soeder 1980). Et kort tilbakeblikk på noen milepeler kan gi en skisse av utviklingen.

Den vitenskapelige bruk av mikroalger hadde vist at de kunne dyrkes i enkle mineralløsninger. Celledelingen kunne foregå flere ganger i døgnet. Det kunne produseres biomasse hvor f.eks. proteiner utgjorde mer enn 50% av tørrvekten. Denne kunnskapen om mikroalgenes evne til å syntetisere næringssemner og andre verdifulle forbindelser dannet utgangspunktet for deres praktiske anvendelse.

Masseproduksjon av diatomeer ble foretatt i Tyskland under den annen verdenskrig for å produsere lipider som var mangelvare for befolkningen. Også i Japan var massedyrking av mikroalger innledet i 1940-årene. Dette førte frem til storskalaproduksjon av bl.a. *Chlorella* fra ca 1950 med flere industribedrifter i Øst-Asia.

Et faglig gjennombrudd ble gjort i USA med den berømte Carnegie Institution Report: *Algal Culture, from Laboratory to Pilot Plant* (Burlaw 1964). I 1960-årene ble det i Tsjekkoslovakia gjort omfattende forskningsvirksomhet med massedyrking av mikroalger i teknisk målestokk (Šetlik et al. 1970). Også i Sovjetsamveldet foregikk det massedyrking av mikroalger i samme tidsrom (Gromov 1968). Mulighetene for å benytte mikroalger i forbindelse med romferder stimulerte interessen for relevant forskningsvirksomhet både i Sovjetsamveldet (Semenenko et al. 1966) og USA (Shelef et al. 1970). Anvendelsen av dyrkingssystemer med mikroalger for behandling av avløpsvann ble et nytt teknologisk arbeidsfelt (Oswald 1975), og fikk etterhvert omfattende praktisk betydning (Hoffmann 1998).

Det var i 1980-årene at algekulturteknologi utviklet seg internasjonalt til et omfattende industrielt virksomhetsområde (Borowitzka & Borowitzka 1988, Richmond 1990). Fysiologisk egnede mikroalger ble tatt i bruk til kommersiell massedyrking for fremstilling av handelsprodukter. Velkjente eksempler er anvendelsen av arter fra slektene *Spirulina*, *Dunaliella* og *Haematococcus*. I forbindelse med akvakultur fikk fôrorganismer praktisk betydning. Mikroalger innenfor slektene *Isochrysis*, *Rhodomonas* og *Tetraselmis* kan nevnes som eksempler (Yufra & Lubián 1990).

Algenes egenskaper og stoffproduksjon blir nå stadig på mer omfattende måte nyttiggjort i moderne bioteknologi (Goldman 1979, Gudin & Chaumont 1984, Watanabe 1992). Et anvendelsesområde som vokser i betydning er bl.a. mikroalgenes muligheter innenfor energisektoren. Forskningsvirksomhet i USA hadde vist at biomasse av mikroalger kunne fermenteres og gi metan med en omdannelseseffektivitet på 50-70% (Oswald & Golueke 1960). Forskningsfeltet fotosyntese og mikroalger ble interessant som praktisk løsning for utnyttelse av solenergi (Hall & Rao 1994). En oppdagelse i USA knyttet til eksperimenter med *Scenedesmus* (Gaffron & Rubin 1942) - hvor det ble påvist at denne algen kunne utvikle molekylært hydrogen - skulle åpne for et enda større perspektiv. Med hydrogen som energibærer, og biofotolytisk spalting av vann som fremstillingsmåte, vil mikroalgene i kultursammenheng kunne innta en revolusjonerende plass i det kommende verdenssamfunn (Yürüm 1995, Zaborsky 1998).

2. Nye utviklingstendenser

Som følge av kommersialiseringen av praktisk algedyrking (algekulturteknologi-AKT), dannes en økende bevissthet om verdien av kunnskap, organismer og metoder relatert til AKT. Tradisjonelt har FoU-miljøer over hele verden fram til ganske nylig fritt utvekslet erfaringer og interessante algekulturer. I øyeblikket registreres at det har oppstått en sterkere grad av hemmeligholdelse av virksomhet og resultater, spesielt på områder knyttet til den forretningsmessige utnyttelsen av alger.

Forholdet medførte hindringer i arbeidet med kartlegging av de aktuelle satsingsområdene for hovedprosjektet, hva f.eks. angår valg av algetyper, reaktorteknologi, algeprodukter og markeder. I lys av dette kan det understrekes at behandlingen som i det etterfølgende gis av algetyper og anvendelser, stort sett omfatter kjente produkter i markedet, da det har vært vanskelig å skaffe annet enn åpent tilgjengelig informasjon på området.

3. Mikroalger - organismer og produkter

Dyrking av mikroalger innebærer et effektivt produksjonssystem for nyttiggjøring av solenergi og karbondioksid til fremstilling av viktige organiske forbindelser, f.eks. proteiner, lipider, karbohydrater, pigmenter og biopolymerer (Delrapport 2). Mens høyere planter vanligvis har de ønskede verdistoffene lokalisert i bestemte plantedeler som høstes - f.eks. frø, frukter, røtter - har mikroalgene som excellede organismer de samme kvalitetene i hele biomassen som utvikles. Via fysiologiske påvirkninger kan algecellene dessuten induseres til å gi høyt utbytte av spesielle substanser som det er behov for. Da livsytklus til mikroalgene er relativt kort - fra timer til døgn - egner de seg godt for genetisk seleksjon (foredling). Ikke minst gjelder dette blågrønnalgene (prokaryoter), som også peker seg ut som hensiktsmessige for molekylærbiologisk modifikasjon (Elhai 1994, Matsunaga & Takeyama 1998).

Mikroalger utnyttes i svært beskjeden grad kommersielt i Norge i dag. Internasjonalt er interessen for anvendelse av mikroalger stadig voksende, og produkter fra mikroalger spenner over et stort register av varer. De hovedsakelige anvendelsesområder omfatter næringsmidler til dyr og mennesker, stoffer til farmasøytika og kosmetika, biopolymerer, bioflokkulanter, restriksjonsenzymmer, pigmenter osv. Spesialfabrikata til forskning og medisin er viktige bruksområder. I denne forbindelse kan produksjon av radioaktivt merkede organiske stoffer nevnes som eksempel.

Noen av disse produktområdene kan ligge til rette for videreutvikling i forbindelse med en praktisk norsk virksomhet knyttet til algekulturteknologi. Enkelte handelsvarer kan fremheves. Naturlige fargestoffer til bruk i fôr og andre næringsmidler blir stadig mer etterspurt. På dette produktområdet fremstår mikroalgene som lovende organismer til fremstilling av både lipofile og vannløselige pigmenter. Anvendelser av mikroalger til dyrefôr er omtalt på annen plass i dette skrift (avsnitt 5). Her kan bruk av mikroalger til produksjon av diettprodukter og helsekost nevnes. Utvalgte kloner av mikroalger er viktige produsenter av bl.a. essensielle aminosyrer, fettsyrer, vitaminer og beta-karoten som inngår som bestanddeler av helsekost (medisinsk sammenheng). Spesielt interessant i forbindelse med helseforebygging av hjerte- og karsykdommer er de langkjedede, flerumettede fettsyrene i n-3 gruppen (LC-PUFA). Disse fettsyrene blir syntetisert av visse mikroalger (ofte kaldtvannsformer, og dyrket ved lave lysstyrker). I dette ligger det bl.a. et potensiale for mulig fruktbar virksomhet med norsk algekulturteknologi. Også mikroalgens syntese av bioaktive, sekundære stoffskifteprodukter med farmasøytisk betydning bør få oppmerksomhet. Dette er høyprisprodukter, hvor selv begrensede dyrkingskvanta av mikroalger kan gi økonomisk utbytte.

Det er en rekke arter av mikroalger som har et praktisk potensial for produksjon av viktige varer (Borowitzka & Borowitzka 1988). I **Tabell 1** er det gitt en oversikt over enkelte algeslekter som rommer aktuelle organismer anvendt i algekulturteknologi. Noen arter som hittil har hatt størst kommersiell interesse i økonomisk sammenheng er knyttet til slektene *Chlorella*, *Dunaliella*, *Haematococcus*, *Nostoc*, *Scenedesmus*, *Spirulina*, *Synechococcus*, *Porphyridium* og *Tetraselmis*.

Tabell 1. Eksempler på slekter av mikroalger med arter egnet for anvendelse i algekulturteknologi.

Algetype	Slekt	Anvendelsesområde, produkt
Grønnalger	<i>Chlorella</i> <i>Botryococcus</i> <i>Dunaliella</i> <i>Tetraselmis</i> <i>Haematococcus</i>	Fôr, helsekost Hydrokarboner Beta-karoten Akvakultur Pigmenter
Kiselalger	<i>Skeletonema</i> <i>Phaeodactylum</i> <i>Nitzschia</i> <i>Thalassiosira</i>	Akvakultur Essensielle fettsyrer Essensielle fettsyrer Essensielle fettsyrer
Flagellater	<i>Cryptomonas</i> <i>Rhodomonas</i> <i>Isochrysis</i> <i>Gonyaulax</i>	Akvakultur Akvakultur Essensielle fettsyrer Steroler
Rødalger	<i>Porphyridium</i>	Polysakkarider Essensielle fettsyrer
Blågrønnalger	<i>Aphanocapsa</i> <i>Synechococcus</i> <i>Nostoc</i> <i>Scytonema</i> <i>Spirulina</i>	Polysakkarider Glutamat, pigmenter Karbohydrater Antibiotika Helsekost, fôr

4. Algekulturteknologi - tilrettelegging for produksjon i Vestfold

4.1 Noen forutsetninger

Det overordnede målet for prosjektet (Sammendragsrapport 6) er å kunne bidra til å nyttiggjøre CO₂-utslipp i Vestfold sammen med andre positive faktorer for praktisk algeproduksjon i fylket. Dette forutsetter at det kan utføres storproduksjon av algebiomasse i industriell eller veksthusbaserte dyrkingsanlegg. I vurderingen av produktmuligheter legges det til grunn at markedet for fremstilte varer er betydelig når det gjelder volum og anvendelse.

I strategien med å konsentrere oppmerksomheten om de gunstigste produksjonsmulighetene, er det lagt vekt på å oppfylle følgende forutsetninger:

1. Algene skal produseres for et akseptert ferdigprodukt i markedet.
2. Markedet for vedkommende ferdigprodukt må være betydelig og/eller i sterk vekst.
3. Mikroalger som råstoff må ha konkurransefortrinn i forhold til alternative produkter, enten når det gjelder egenskaper/kvalitet eller pris.
4. Det bør ikke innledningsvis startes på forskning/egenutvikling for å utprøve nye algetyper mot nye og ukjente bruksområder.

4.2 Perspektiver på mikroalger i verdensmarkedet

Til de viktigste mikroalger når det gjelder produksjon og omsetning på verdensbasis hører mikroalger innenfor slektene *Chlorella*, *Spirulina*, *Dunaliella* og *Porphyridium* (Figur 1). På det nåværende stadium er det ikke foretatt noen vurdering av hvordan disse mikroalgene eventuelt vil kunne tilpasses en anvendelse under de rådende, reelle forhold i Vestfold. Det vil i det følgende - som orientering - bli gitt enkelte praktiske opplysninger om egenskaper og interesser knyttet til disse fire typer av kulturalger i AKT-sammenheng.

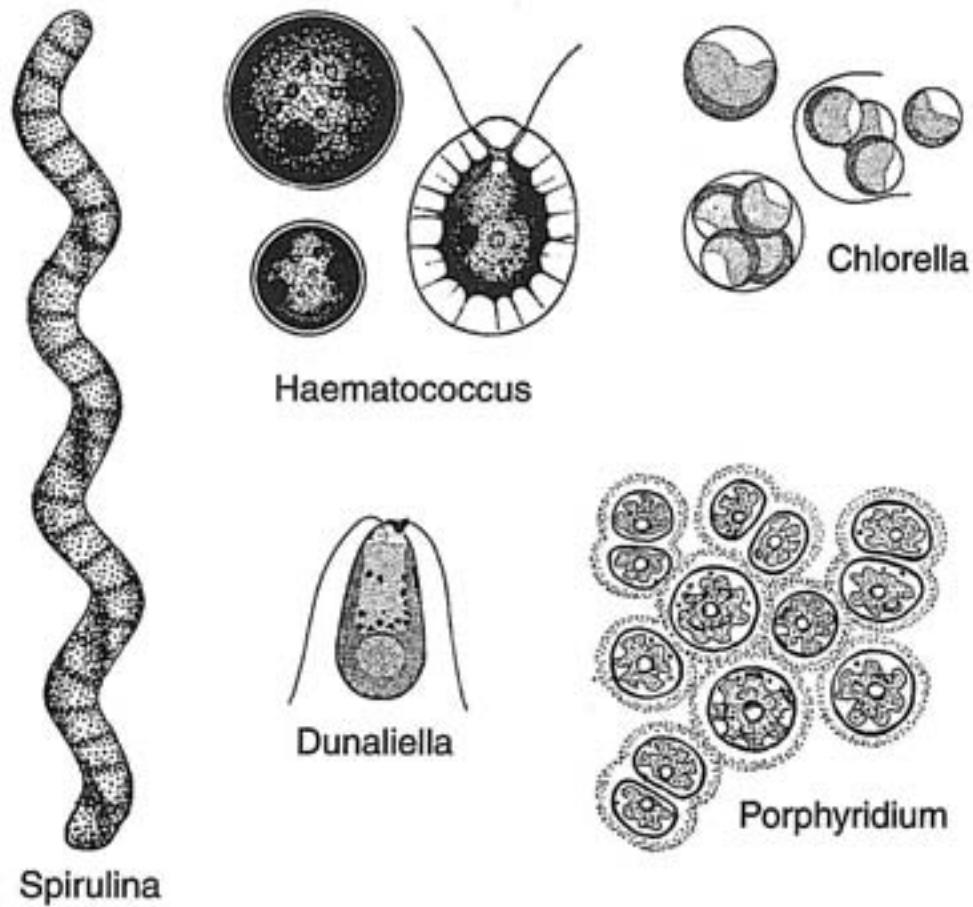
Chlorella. Denne slekt av fotosyntetiske mikroorganismer inntar utvilsomt en førsteplass med hensyn til vitenskapelig og praktisk betydning innenfor utviklingen av algekulturteknologi. Slekten omfatter mer enn 10 arter, med representanter i ferskvann og saltvann. I industriell sammenheng er det klonkulturer av artene *C. vulgaris*, *C. pyrenoidosa* og *C. ellipsoidea* som gjerne benyttes til biomasseproduksjon. Råstoffet fra produksjonen leveres vanlig som algemel eller granulater. Industriell utnyttelse finner sted i mange land, velkjente eksempler er Japan, Kina, Taiwan, USA, Sør-Afrika, Tsjekkia, Tyskland og Russland. Verdstoffene i *Chlorella* er spesielt knyttet til proteiner, karbohydrater og fett. Det foreligger god faglig dokumentasjon for næringsinnholdet i produktene, og omfattende fysiologiske undersøkelser er utført knyttet til praktisk bruk av *Chlorella* som mat og fôr. Det kan nevnes at den kjemiske hovedsammensetning av biomassen (tørrvekt) for *C. vulgaris* er angitt som protein 51-58%, fett 14-22% og karbohydrater 12-17%. I ernæringsammenheng har proteinfraksjonen en biologisk verdi (BV) 80, fordøybarhetskoeffisient (DC) 83 og netto proteinutnyttelse (NPU) 66 (Borowitzka & Borowitzka 1988). Samtidig er vitamininnholdet gunstig i helsekostammenheng; med provitamin A, thiamin, riboflavin, B₁₂, biotin og nikotinat som de vesentlige komponenter (Becker 1994).

Spirulina. Tilsvarende som *Chlorellas* posisjon når det gjelder utviklingen av algekulturteknologi, har *Spirulina* internasjonalt blitt pionerorganismen for produksjon, omsetning og moderne markedsføring av varer fra mikroalger. Dessuten finnes det heller ingen faglig mer inngående studert

kulturalge enn denne trendsetteren for helsekost og probiotika (Vonshak 1997). *Spirulina* står for en samling av egenskaper som er ekstraordinære blant verdens kulturplanter.

Spirulina - taxonomisk korrekt: *Arthrospira* (Tomasselli 1997) - blir ofte betegnet "maten for verden i fremtiden". Og denne kulturalgen har utvilsomt store ernæringsmessige fordeler i perspektiv av den økende verdensbefolkningen (Fox 1996). Biomassen - tørrvekt - inneholder 65% protein, som er mer enn noen andre av de vanlige næringsmidler som fisk og kjøtt (15-25%), soyabønner (35%), helmelk (3%), tørrmelk (35%), egg (12%) og korn (8-14%). I tillegg inneholder *Spirulina* en rekke viktige vitaminer og mineraler. *Spirulina* har derfor fått en betydelig anvendelse i mat, helsekost og fôr (Becker 1994). En rekke kjemikalier blir fremstilt kommersielt av *Spirulina*. Dette er stoffer som f.eks. beta-karoten, fykobiliner, fettsyrer, lipider, steroler og enzymer. I medisinsk og farmasøytisk forbindelse kan anvendelsen av terapeutiske egenskaper til *Spirulina* nevnes (Glombitza & Koch 1989, Richmond 1990). Også i energisammenheng fremstår denne mikroalgen som en interessant organisme for bl.a. produksjon av biohydrogen (se Delrapport 1).

Dunaliella. Massedyrking av klonkulturer av denne grønnalgeflagellaten ble påbegynt i Ukraina (Massyak 1966). Særlig har artene *D. salina* og *D. tertiolecta* vist seg hensiktsmessig for industriell anvendelse. Kommersiell produksjon av *Dunaliella* foregår bl.a. i Australia, Israel, USA og Japan. Denne mikroalgen egner seg spesielt til produksjon av beta-karoten og andre finkjemikalier på grunn av sin utpregede toleranse for saltholdighet. Forholdet gir mulighet for å redusere problemer med predatorer og patogener i praktisk dyrkningssammenheng.



Figur 1. Eksempler på viktige kulturalger.
(Tegninger hentet fra: Bourrelly 1970, Fott 1971, Huber-Pestalozzi 1961)

Porphyridium. Artene - f.eks. *P. purpureum* og *P. cruentum* - i denne rødalgeslekten er éncellede. De forekommer naturlig så vel i terrestriske (fuktig jord) som akvatiske (ferskvann, saltvann) lokaliteter. I industriell sammenheng er særlig *P. cruentum* anvendt som kulturalge. Verdstoffene den inneholder omfatter bl.a. polysakkarider og essensielle fettsyrer. Det kan nevnes at innholdet av arachidonsyre (5,8,11,14-eicosatetraenoic-syre) kan utgjøre inntil 36% av lipidinnholdet i *P. cruentum*. De vannløselige, ekstracellulære polysakkarider har industriell interesse på grunn av sine gel-egenskaper (biopolymer-forbindelser). Pigmenter produsert av *Porphyridium* har også et betydelig kommersielt potensial. Dette gjelder f.eks. proteiner som inneholder chromophor-grupper (r-phycoyanin, r-phycoerythrin). Med sine spesielle fluoriserende egenskaper er dette stoffer som har interessante tekniske anvendelsesområder. Det kan for øvrig fremheves at *Porphyridium* er et høyverdig næringsmiddel som tørket produkt ("Nori", Bergdahl 1990). Kommersiell produksjon av *Porphyridium* foregår bl.a. i Frankrike (Gudin & Armstrong 1997).

4.3 Valg av mikroalger for eventuell produksjon i Vestfold

Foruten disse fire velkjente eksemplene på mikroalger som internasjonalt blir benyttet til industriell produksjon, er det en rekke andre arter som har tilsvarende eller andre anvendelser (Tabell 1).

Mange forhold vil avgjøre utvelgelsen av en algeart til eventuell produksjon i sammenheng med algekulturteknologi. Det kan i første omgang tenkes på forutsetninger som biomassens stofflige innhold, vekstfysiologiske egenskaper samt organismens praktiske dyrkningsmessige fordeler. Spesielt viktig er at en mikroalge som skal brukes industrielt er enkel å dyrke under kontrollerte betingelser. Dette kan uttrykkes ved at arten er konkurransedyktig (robust), og at den derfor er lite utsatt for sykdomsangrep og parasittisme.

Utpeking av mikroalger til algekulturteknologi blir videre bestemt basert på praktiske/økonomiske vurderinger. Kriterier for et slikt valg vil i forretningsmessig sammenheng ta utgangspunkt i etterspørsel (markedsbehov) for produktene som det gjelder. Generelt vil også spesielle egenskaper knyttet til varen og utbyttet stå sentralt.

I Tabell 2 er det gitt en oversikt over slekter av mikroalger med kloner av arter som er objekter til utprøving for kommersiell dyrking i Vestfold. Disse klonene er tilgjengelige fra NIVAs kultursamling til formålet.

Tabell 2. Opplysning om noen aktuelle mikroalger for eventuell praktisk utprøving i Vestfold.

Organisme	Produkter	Tilleggsinformasjon	Praktiske hensyn	Modell-organisme
Oscillatoria	mat, fôr, helsekost, pigmenter (phycocyanin, phycoerythrin)	"norsk Spirulina"	høstingsmessig gunstig	Spirulina
Selenastrum	fôr, pigmenter (karotenoider), "biomasse"	"norsk Chlorella" veldokumenterte egenskaper, internasjonalt kjent	dyrkingsmessig gunstig	Chlorella
Haematococcus	pigmenter (astaxanthin), fôretsetning, helsekost, plantehormon (etylen)	etablert marked (astaxanthin)	to-trinns produksjonsprosess, høstingsmessig gunstig	
Anabaena	hydrogen, fôr, pigmenter (phycocyanin), farmasøytiske produkter, jordforbedring	nitrogenbinding	kan dyrkes med luftnitrogen	
Nostoc	mat (delikatesse), fôr, polysakkarider, pigmenter (phycocyanin)	nitrogenbinding etablert internasjonalt marked	kan dyrkes med luftnitrogen kan dyrkes på vandig og fast medium	Nostoc
Tetraselmis	høyverdige fettsyrer, fôr akvakultur	etablert marked	fysiologisk godt karakterisert - marin art	
Phaeodactylum	omega-3-fettsyrer vitaminer	attraktiv sammensetning av cellenes fettinnhold	rasktvoksende kiselalge - marin art	Nitzschia
Rhodomonas	levende fôr (akvakultur), pigmenter (phycoerythrin)	etablert marked	lokal produksjon i tilknytning til akvakulturanlegg - marin art	
Spirulina	helsekost, fôr, pigmenter (phycocyanin), kosmetika, farmasøytiske produkter	etablert marked, veldokumenterte egenskaper, internasjonalt kjent	velbeskrevet dyrkingsteknologi selektivt medium, varmekjær art	Spirulina
Chlorella	fôr, helsekost, pigmenter (karotenoider) farmasøytiske produkter "biomasse"	etablert marked, veldokumenterte egenskaper, internasjonalt kjent	velbeskrevet dyrkingsteknologi	Chlorella

5. Anvendelsesområder for algeprodukter som bakgrunn for valg av kulturorganismer

5.1 Oversikt

Det foreligger omfattende litteratur som belyser praktiske/økonomiske anvendelser av kulturalger i produksjonssammenheng (Richmond 1986, Shelef & Soeder 1980, Richmond 1990, Borowitzka 1992, Yamaguchi 1997, Le Gal & Muller-Feuga 1998). Den produserte biomassen fra åpne dyrkingsanlegg eller fotobioreaktorer kan etter høsting enten direkte benyttes som råvare, eller prosesseres for fremstilling av spesifikke stoffer. Noen hovedkategorier av bruksområder for mikroalger kan omtales (se også Delrapport 2).

Mat til før. Bruk av mikroalger direkte til mat for mennesker har en begrenset anvendelse i enkelte utviklingsland, spesielt knyttet til geografiske problemområder hvor underernæring gjør seg gjeldende i befolkningsgrupper (Fox 1993). Derimot er bruk av mikroalger som tilsetning i sammensatte næringsmidler til mennesker praktisert i flere land. Når det gjelder helsekostprodukter, og visse næringsmidler i diettetisk sammenheng, er mikroalger anvendt i betydelig utstrekning. Likevel er det i første rekke til fremstilling av dyrefôr at råstoff av mikroalger blir nyttiggjort i stor grad (Becker 1988). I moderne akvakultur inngår f.eks. bruk av mikroalger som et viktig element i forbindelse med oppdrett og produksjon av fisk og andre akvatiske organismer (De Paw & Persoone 1988).

Farmasøytiske/medisinske produkter. Spesielt i Asia og Australia har stoffer i mikroalger en omfattende bruk som legemidler og til pleie av mennesker. Terapeutiske effekter - som er vitenskapelig dokumentert (Bulik 1993) - er knyttet til bl.a. medikamenter fremstilt av *Spirulina*, *Nostoc*, *Chlorella* og *Dunaliella*. I samme kategori kan nevnes stoffer - sekundære metabolitter - med spesifikke fysiologiske virkninger som benyttes innen medisinsk og biologisk forskning (Metting & Pyne 1986, Patterson et al. 1994). Spesielt merkede produkter (fluorescens, radioaktiv) av denne type kan f.eks. hensiktsmessig fremstilles basert på mikroalger (se avsnitt 3).

Finkjemikalier/fykokjemiske produkter. Dette bruksområde omfatter et stort antall produkter innenfor industri og husholdning. Bare noen eksempler vil bli nevnt i det følgende (Skulberg 1994).

Naturlige pigmenter som fremstilles av råstoff fra mikroalger er viktige handelsprodukter. Som eksempler kan fremheves phycocyanin, phycoerythrin, astaxanthin og beta-karoten. Fettsyrer produsert med utgangspunkt i mikroalger er et økende interessefelt. Kommersielt tiltrekkelige er bl.a. flerumettede fettsyrer (PUFA) og essensielle fettsyrer (EFA). Polysakkarider som mikroalger er rike på, har voksende økonomisk betydning. Til denne stoffgruppen hører også forbindelser som benyttes som bioflokkuleringsmidler. Utvalgte enzymer (f.eks. restriksjonsenzymer, aminosyreoksidase, superoxid-dismutase, fosforyltransferase) inngår blant forbindelser med bioteknologisk interesse. Det samme gjelder stoffer fra mikroalger med antibiotisk effekt (med antiviral- antifungal- eller antibakterial virkning), eller probiotisk effekt (f.eks. vitamin B₁₂, vitamin E).

Landbruk/hagebruk. Flere relevante anvendelsesmuligheter på dette feltet er knyttet til stoffer og egenskaper som er fremtredende hos enkelte mikroalger.

Viktig er nitrogenfikseringen som gjør blågrønnalger interessante som organismer til dyrkingsformål i forbindelse med planteproduksjon. Også innen jordforbedring for øvrig har mikroalger praktiske muligheter gjennom spesielle ekstracellulære stoffer (biopolymerer) som er strukturdannere i jord. Disse forbindelser har samtidig erosjonshindrende effekter. Produksjon av vekststimulerende og veksthemmende substanser (plantehormoner) er mulig basert på utvalgte mikroalger.

I denne kategori av bruksområder kan inkluderes anvendelsen av mikroalger til å ta hånd om forurensninger fra husdyrhold og avløpsvann rikt på næringsstoffer (se Delrapport 3). Dette er et teknologisk felt som internasjonalt vokser i praktisk betydning bl.a. for å kunne realisere resirkulering av viktige stoffer i jordbrukssammenheng (Hoffmann 1998).

5.2 Mikroalger som bør utprøves i et hovedprosjekt i Vestfold

De største anvendelsesområdene (volum/økonomisk) for mikroalger er knyttet til verdistoffer som inngår i sammenheng med ernæring (til dyr og mennesker), og spesielt helserelaterte produkter. Det er også på disse feltene at forskning og relevant produktutvikling internasjonalt er kommet lengst. I et globalt perspektiv - med begrenset tilgang på proteiner og andre viktige levnetsmidler - er behovet for å kunne utvikle nye biologiske alternativer til matproduksjon påtrengende. Mikroalgene representerer i denne forbindelse den kanskje største gjenstående biologiske ressurs som foreløpig ikke er tatt i nevneverdig praktisk anvendelse i næringsmiddelsammenheng (Aasgaard et al. 1995).

I **Tabell 3** er det nevnt fire typer mikroalger som er valgt ut til en første utprøving i et eventuelt hovedprosjekt i Vestfold. Noen nærmere holdepunkter om de relevante klonene kan behandles i det følgende.

Tabell 3. Utvalgte anvendelsesområder for mikroalger produsert i Vestfold.

Anvendelsesområde	Verdistoffer	Kulturalge*
Fôr til husdyr	Proteiner Lipider Vitaminer Karotenoider Probiotika	"Chlorella"
Akvakultur, fôrtilskudd	Astaxanthin Proteiner Lipider Probiotika	"Haematococcus"
Helsekost, tilsetningsstoffer	Aminosyrer Fettsyrer Vitaminer Mineraler Probiotika	"Spirulina"
Varia	Kosmetika Farmasøytika Antibiotika	"Oscillatoria"

* Modellorganismer er anført. Kloner fra NIVAs kultursamling med relevante fysiologiske egenskaper vil i forsøksøyemed bli benyttet som aktuelle produksjonsorganismer.

"*Chlorella*". Dette er mikroalge-kloner med egenskaper nær opp til den kommersielt benyttede *Chlorella*. Dens velkjente egenskaper kan brukes som eksempel på viktige sider ved organismen og mulige praktiske anvendelser. Dyrkingen foregår i et ferskvannsmedium. Som lyskilder kan benyttes dagslys og kunstlys. Det er en robust organisme som er egnet for massedyrking i reaktorlegg.

Når det gjelder kommersielt interessante produkter som kan fremstilles, er disse i særlig grad knyttet til anvendelsesområdene:

- Fôr til husdyr og organismer i akvakultur
- Helsekost/tilsetningsstoffer i mat
- Medisinske handelsvarer

Det kan nevnes som eksempel på størrelse av omsetningen med *Chlorella*, at verdien av de kommersielle produktene på det japanske markedet i 1992 utgjorde omlag 200 milliarder NOK.

"*Haematococcus*". Det er i første rekke fremstilling av fargestoffet astaxanthin og beslektede karotenoider som gjør denne kulturalgen kommersielt interessant. Den aktuelle klon til utprøving har et høyt innhold av disse verdifulle pigmentene i cellene (Renstrøm et al. 1981). Anvendelsesområdet for verdistoffene er særlig knyttet til fiskeoppdrett, husdyrbruk og helsekost. Noen medisinske og farmasøytiske produkter av karotenoid-natur inngår også i denne kategorien.

Når det gjelder markedet for astaxanthin under de rådende forhold i Norge, utgjør dette en årlig omsetningsverdi i størrelsesområdet 500 mill. NOK (se avsnitt 11.2). Det er for tiden et syntetisk, kjemisk produkt som hovedsakelig dekker det praktiske behovet til akvakulturnæringen. Et naturlig produsert astaxanthin basert på mikroalger vil innebære fysiologiske fordeler og ha et betydelig praktisk potensial.

"*Spirulina*". Den påtenkte kulturalgen er en rødpigmentert klon. Når det gjelder egenskaper og anvendelsesområder vil disse nærme seg de tilsvarende som hos den kommersielt produserte *Spirulina*. Forholdet innebærer at dette er en kulturalge med eventuelt stort markedspotensial.

Verdistoffene som kan fremstilles har i første rekke interesse i sammenheng med:

- Fôrspesialiteter
- Helsekost
- Naturlige fargestoffer/industri, kosmetikk
- Enzymer
- Farmasøytika

"*Oscillatoria*". I denne gruppen inngår flere kloner som kan være aktuelle for utprøving i Vestfold. Det interessante i kommersiell forbindelse er muligheten til produksjon av finkjemikalier av betydning for industri- og forskningsformål. Spesiell økonomisk oppmerksomhet har:

- Bioaktive stoffer
- Biopolymerer
- Restriksjonsenzymer (endonucleaser)

6. Synergimuligheter algekultur/akvakultur

I Vestfold arbeides det med planer for etablering av et anlegg for oppdrett av Sea Bass lokalisert til Esso Slagentangen. Med referanse til Delrapport 3, kan følgende konklusjoner trekkes:

- Det er i prinsipp mulig å koble dette fiskeoppdrettsanlegget sammen med et anlegg for algeproduksjon. Areal for et slikt anlegg vil teoretisk være i størrelsesorden 7500 m². På grunn av den lave konsentrasjonen av næringssaltene i avløpsvannet fra fiskeoppdrettsanlegget, vil det imidlertid være driftsmessig lite lønnsomt å basere algeproduksjon på utnyttelse av dette avløpsvannet.
- Forskjellen i utbytte av algebiomasse over året, som følge av varierende lysforhold, vil forsterke lønnsomhetsproblemet.
- Dersom det blir mulig å separere mindre delstrømmer med høy konsentrasjon av næringsalter, f.eks. fra slamavvanningen fra fiskeoppdrettsanlegget, vil dette eventuelt kunne danne grunnlag for et mindre algeproduksjonsanlegg.
- I andre geografiske himmelstrøk vil imidlertid integrerte alge/fiskeanlegg kunne ha interessante muligheter. Utvikling av relevant teknologi kan foregå ved et forsøksanlegg for AKT i Vestfold.

Den miljømessige betydningen av samlokalisering av akvakultur/algedyrking vil kunne få en økende interesse i et langsiktig perspektiv. Et oppdrettsanlegg med en årsproduksjon på 500 tonn fisk er f.eks. med dagens renseteknologi beregnet å gi et utslipp tilsvarende 940 personekvivalenter fosfor til kommunalt avløpsvann.

7. Synergimuligheter algekultur/veksthusteknologi

Når det gjelder synergimulighetene mellom algekultur- og veksthusteknologi, kan følgende konstatere:

- Det eksisterer teknologi-/energirelaterte problemstillinger som i stor grad er felles.
- "Snekkenes-modellen" ble presentert i Esso Slagentangens idekonkurranse "La kråka fryse" sommeren 1997. Med bl.a. sin klimaregulerte vekstsoner i drivhus, rommer dette et interessant konsept både for algeproduksjon, planteproduksjon og oppdrett av settefisk beregnet for levering til tropiske og subtropiske områder.

Med referanse til konklusjonene i Sammenendragsrapport 6, vil algeproduksjon i forsøksskala etter Snekkenes' modell bli en oppgave i hovedprosjektet. Dersom de dyrkingstekniske resultatene fra en slik forsøksvirksomhet blir gode, vil det være nærliggende å utvide forsøkene til å gjelde planteproduksjon og tropisk settefisk / evt. andre varmekjære kulturer.

Det vil imidlertid være nødvendig å foreta konkrete økonomiske og markedsmessige undersøkelser, før en beslutning om igangsetting av slike prosjekter blir tatt.

8. Produktmuligheter basert på mikroalger i Vestfold

Når man skal vurdere mulig sluttbearbeiding av algeråstoff i Vestfold, har man valget mellom å satse på eksisterende lokale bedrifter, eller å etablere ny virksomhet. Dersom ingen av Vestfolds nåværende bedrifter har kompetansemessige eller strategiske forutsetninger til å bearbeide algeråstoff, må man eventuelt vurdere andre norske og senere utenlandske kjøpere av algebiomassen.

Næringsmiddelindustrien i Vestfold omfatter få store og flere små bedrifter. Av bedrifter som forutsetningsvis har ressurser til å kunne gå inn på et slikt nytt produktområde, finnes bare én stor som opererer på det internasjonale markedet. Til gjengjeld er denne industribedriften - Pronova AS, Sandefjord - en enhet i Hydrokonsernet, og bl.a. verdens største produsent av omega-3 flerumettede fettsyrer. Pronova AS baserer sin produksjon på marine råstoffer. Produktene har allsidig anvendelse til mat, næringstilsetninger, helsekost og farmasøytiske produkter. Omsetningen var 90 millioner NOK i 1997. Gjennom sitt internasjonale nettverk av spesialister kan kanskje denne bedriften gi mulighet til å bringe mikroalgebaserte produkter ut på det internasjonale markedet. Andre næringsmiddelfabrikker i Vestfold med ressursmessige forutsetninger til å foredle og markedsføre algebaserte produkter - uansett anvendelsesområde - mener vi neppe finnes i dag.

Med de anvendelsesområdene som er aktuelle for de algetypene som er nevnt under avsnitt 5.2, er det vår mening at man i videreføring av prosjektet bør avgrense oppmerksomheten til de følgende produktkategorier:

- Fôr til husdyr og organismer i akvakultur
- Helsekost/tilsetningsstoffer i mat
- Fargestoffer
- Eventuelle medisinske produkter

Disse her nevnte anvendelsesområdene oppfyller de forutsetningene til kommersiell drift som er behandlet i avsnitt 4.1.

Med utgangspunkt i at produksjonen skal skje i Vestfold, må vi se nærmere på hvilke naturlige betingelser fylket har til å være produksjonssted for mikroalger. I den forbindelse inngår bl.a. også en vurdering av klima, vannkvalitet, næringssalter, CO₂-utslipp, tilgjengelig areal og energioverskudd, forhold som blir behandlet i avsnitt 10.

9. Produktmuligheter basert på tørket biomasse levert fra Vestfold

Biomasse fra mikroalger kan brukes som råstoff til mange ulike formål som nevnt i avsnitt 5.2.

Dersom bedrifter i Vestfold ikke har nødvendig kompetanse eller ressurser til å videreforedle biomassen til ferdige produkter, vil et aktuelt alternativ være å selge råstoff som biomasse. Spørsmålet som man da må stille seg er om det eventuelt vil føre til at man velger andre typer alger enn de som er behandlet under avsnitt 5.2.

De foreslåtte mikroalger anbefaler vi ut fra veldokumenterte og voksende anvendelser. Hvis det ikke foreligger kompetanse til å videreforedle biomassen i Vestfold, bør fortsatt de samme forutsetninger legges til grunn som er nevnt tidligere.

Produktmulighetene blir derved de samme som om sluttbearbeiding hadde skjedd lokalt. I form av tørket biomasse bør algene selges til ferdigvareprodusenter, og sluttprodukter er de samme som ble angitt i avsnitt 8.

Innen disse produktområdene finnes det mange betydelige internasjonale handelskonsern. Næringscenteret i Vestfold har f.eks. oversikt over 120 bedrifter i Europa.

Naturlig nok bør vi unngå å eksportere biomassen som en råvare, og heller sørge for at verdiskapning skjer i Norge. Men inntil vi har bygd opp nasjonal ekspertise og produksjonsenheter, kan vi måtte basere oss på å finne avsetning for mikroalgene på denne måten.

Dersom man skulle bygge opp ferdigvareindustri samtidig som man realiserer virksomhet med storskalaproduksjon av mikroalger i Norge, vil det innebære risiko knyttet til faktorer som råstoffmangel, kvalitetsproblemer og driftsstans. Det vil som konsekvens kreve større kapitalbehov, og lengre tid før slik investering blir lønnsom. Først må råstofftilgangen bli stabil - både i kvalitet og mengde - før man eventuelt bygger opp en nasjonal ferdigvareprodusent.

10. Kartlegging av lokale forutsetninger i Vestfold

10.1 Arealdisponering/reguleringsmessige forhold. Faktorer som tillegges vekt i vurderingen.

Arealbehov. Det vil være to nivåer:

- a) Basisbehov for forsøksanlegg/pilotanlegg fase 1: Anslått behov 10 dekar.
- b) Behov ved integrert løsning pilotanlegg/fullskala produksjon basert på algekulturteknologi (AKT) /fiskeoppdrett / veksthus, med utnyttelse av tilgjengelige CO₂-mengder: Minimum 75 dekar i én lokalitet. Dette produksjonsareal ventes å kunne gi en avkastning på 210-260 tonn/år (se Delrapport 1).

Det vurderes som klart fordelaktig å velge en lokalitet hvor det totale arealbehov kan dekkes i ett sammenhengende areal.

Miljøkrav - fylke

Miljøkrav fra nasjonale- eller fylkesmyndigheter vil være absolutte krav som må overholdes.

Kommuneplan og reguleringsplan

Virksomheten må godkjennes i forhold til de kommunale planene, og i et tidsperspektiv som er akseptabelt i forhold til prosjektets videreføring.

Eierforhold areal

Eiermessige forhold bør være avklart før prosjektering starter. En langsiktig avtale må kunne inngås om utnyttelse av tomtearealet. (Minimum 10 år.)

Grunnforhold

Grunnforholdene bør være slik at det ikke påløper ekstraordinære kostnader til fundamentering, planering eller andre tiltak relatert til bygging av anlegg eller bygningsmasse.

Topografi

Anlegget må lokaliseres i terrenget slik at det ivaretar krav til fleksibilitet, ekspansjon og intern trafikk. Lysforholdene må ikke reduseres pga topografiske forhold ved valgt lokalitet.

Tilgjengelighet/adkomst

Det må være fri adkomst til området, og det er ønskelig med lavest mulige kostnader relatert til adkomst via offentlig kommunikasjonsnett. Publikums adgang til anlegget bør sikres ved de planer som vedtas.

Eiere av tilstøtende arealer

Ingen spesielle krav, men det vurderes som fordelaktig at grunneiere som blir naboer ser positivt på etableringen, og eventuelt kan utnytte muligheter som oppstår knyttet til den nye virksomheten i området.

10.2 Dyrkingsfaktorer for mikroalger som må vektlegges

Dagslys

Lysforholdene langs Vestfoldkysten vurderes generelt som blant de best egnede i Norge, ut fra tilgjengelige meteorologiske data. Det vil være de topografiske forhold, og forhold knyttet til eventuell vegetasjon på de alternative lokaliteter som vil ha betydning, ut fra erkjennelsen om at dagslys er en minimumsfaktor for dyrking av mikroalger.

Spillvarme

Det foreligger data for spillvarmemengder ved de alternative lokaliteter. Det vurderes å være et overskudd av tilgjengelig varme. Faktorer relatert til spillvarmeutnyttelse vil være tilførselskostnader, energipris og forventet tilgjengelighet av spillvarmen over tid.

Røykgass/CO₂

Det er foretatt undersøkelser som viser at røykgassen fra begge de aktuelle lokalitetene oppfyller de krav som i utgangspunktet stilles for masseproduksjon av mikroalger (Delrapport 1). Det må imidlertid tas hensyn til mulig innhold av stoffer som kan gi skadelige konsentrasjoner i algebiomasse tenkt nytt til ernæring.

Som for spillvarme vil tilførselskostnader og langsiktig perspektiv på røykgasstilgjengelighet tillegges betydning.

Ferskvann

Det er ingen spesielle kjente problemer relatert til ferskvannstilførsel på de aktuelle lokalitetene. Begge får i utgangspunktet tilgang på vannforsyning fra samme ferskvannskilde (innsjøen Farris, Larvik). Vannkvaliteten vurderes fra NIVAs side å være god.

Sjøvann

Det vurderes å være god tilgang på egnet sjøvann ved begge lokaliteter.

Nitrogen-/fosforbehov

Ved vurdering av lokale tilførselskilder for næringsforbindelser har man hatt oppmerksomhet på mulighet for bruk av kloakk, avløpsvann fra jordbruk og/eller fiskeoppdrett (se Delrapport 2).

Det er i avsnitt 6 bl.a. gitt vurderinger av betydningen av tilgjengelige næringskilder. En overordnet konklusjon synes å være at det foreløpig vil være begrenset økonomisk gevinst knyttet til anvendelse av slike eksisterende næringsstrømmer. Markedsmessige forhold knyttet til anvendelsen av biomassen legger praktiske begrensninger på utnyttelse av avløpsvann som næringsmedium til alger.

10.3 Lokaliseringsanalyse

Viktige faktorer ved valg av lokaliseringalternativ er stilt sammen i **Tabell 4**.

Tabell 4. Oversikt over aktuelle forhold av betydning for et stedsvalg.

Faktor	Larvik	Slagentangen
Miljøkrav stat/fylke	Begrensninger knyttet til RPR i Lillevik.	Ingen spesielle begrensninger.
Kommuneplan	Ref.: RPR/ problematisk for Lillevik.	Ingen spesielle begrensninger.
Reguleringsplaner	Ferdigbehandles primo 1999? Utfall ukjent.	Ferdig behandlet medio 1999. Slagen forventes godkjent.
Areal disponibelt	Fordelt på 2 arealer. Private grunneiere/ingen avklaring av eierforhold.	Esso Norge AS eier området, og har gitt klare signaler om anvendelse til fiskeoppdrett/AKT.
Avløpsforhold	Inten spesielle krav.	Ingen spesielle krav.
Kostnader grunnervervelse	Uklart, flere grunneiere.	Mulighet til å leie grunn fra Esso Norge A/S.
Kostnader byggeforberedelse	Vurderes som middels høye Lillevik. Risøya krever sprengnings-arbeider?	Vurderes å være på nivå med Lillevik.
Finansieringshjelp i kommunen	Åpent	Åpent
Røykgass- mengde og CO ₂ innhold.	Store mengder tilgjengelig i dag. Usikkerhet knyttet til fremtidig driftsform.	Store mengder tilgjengelig. Langsiktig perspektiv, stabile volumer.
Spillvarme, mengde og temperaturnivå	Tilstrekkelige mengder i øyeblikket	Store mengder tilgjengelig.
Vannkvalitet Saltvann	Normalt bra.	Normalt bra.
Vannkvalitet Ferskvann	Fra innsjøen Farris.	Fra innsjøen Farris.
Lysforhold	Generelt gode. Vegetasjon Lillevik?	Generelt gode. Noe vegetasjon.
Transportvei røyk/varme/vann	Moderate til gode.	Gode.
Hygiene-forskrifter for toksinutslipp	Ingen spesielle regler lokalt.	Ingen spesielle regler lokalt.
Mulighet for videreforedling av produkter	Begrensede arealer.	Relativt store disponible arealer.
Tilstøtende kompetansemiljøer	Ingen spesielle.	Høgskolen i Vestfold.
Øvrige synergi-effekter w/ etablering	Ingen spesielle.	Ingen spesielle.

10.4 Prosjektgruppens innstilling

Det innstilles på lokalisering av et eksperiment- og produksjonsanlegg for AKT i Vestfold ved Esso's eiendom på Slagentangen med de følgende argumentene:

- Miljøvern avdelingen i fylket anbefaler denne lokaliseringen
- Kommuneplanen har klarert anvendelsen, mens lokaliseringsalternativet i Larvik ikke formelt er ferdigbehandlet.
- Eierskap til foreslåtte arealer på Slagen er klare, i Larvik er det flere grunneiere som må avgi arealer.

- Tilgangen på røykgass og spillvarme fra Slagen har et mer langsiktig perspektiv enn Larvik (treforedling, labil industri i Norge).
- Det disponible arealet på Slagen er større, gir større muligheter til samlokalisering og ekspansjon. Alternativet Risøya/ Lillevik er delt, vurderes som mindre optimalt.
- Fiskeoppdrettsanlegget på Slagen kan være interessant for AKT (Delrapport 3).
- Arealet planlegges leiet av eieren, Esso Norge. Dette gir lave etableringskostnader for nødvendig areal. I Larvik er forholdet ikke avklart.
- Transportveiene for røykgass og spillvarme blir optimalt korte på Slagen.

10.5 Muligheter og hindringer av samfunnsmessig og politisk karakter

Det vurderes at ingen spesielle begrensninger av samfunnsmessig eller politisk karakter foreligger som tilsier at den ene lokaliteten er bedre egnet enn den andre.

Vestfold er et fylke med til dels høy befolkningstetthet, og de foreslåtte områdene er begge attraktive turområder i dag. Det vil være hensiktsmessig å gi anleggene en åpen struktur. Konstruktivt arbeid bør bli utført for å gjøre bebyggelse, adkomstveier og øvrig tilrettelegging så miljøvennlige som mulig.

11. Vurdering av forretningsmuligheter

11.1 Bedriftsstrukturen i de identifiserte produktområdene

I **Tabell 5** er det gitt noen eksempler på viktige bedrifter med basis i mikroalger som er fremtredende på det internasjonale handelsmarkedet.

Tabell 5. Oversikt over viktige produsenter av mikroalger.

Produsenter av <i>Spirulina</i>	Produsenter av <i>Chlorella</i>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Earthrise Farms, USA ▪ Watershed, USA ▪ Nature Sunshine, USA ▪ Cyanotech Corporation, Hawaii, USA 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ YSK International Corp., Kyoto, Japan ▪ Bio Life Research, Utah, USA ▪ Bioforce AG, Sveits ▪ The Taiwan Chlorella Company, Taiwan.

I det følgende blir det gitt enkelte opplysninger om produsenter av astaxanthin.

- Hoffman La Roche, en farmasøytisk storbedrift som har tilnærmet 100 % av markedet med sitt syntetisk-organiske produkt
- BASF, har introdusert på markedet et alternativ i år
- Igene Biotechnology, Inc. (basert på gjærsopp)
- Cyanotech Corporation, Hawaii. Omsetning 1. halvår 1998 var 24 mill. NOK. Firmaet hadde samtidig et underskudd på 8 mill. NOK. Råstoff blir bl.a. levert til helsekost fremfor til fiskefôr, fordi prisene som oppnås i førmarkedet er lavere.
- Aquasearch, Hawaii, produserer og markedsfører gjennom firmaet Alga Tech i Sverige. Bedriften er på utviklingsstadiet, og det hevdes at de er verdens første som har greidd kontinuerlig å produsere signifikante mengder av naturlig astaxanthin. Den første leveransen skjedde i 1998. Ifølge børsfakta tapte selskapet NOK 12 mill. i første halvår 1998. Årsaken oppgis å være forsinkelser i salget til Cultor, Finland, og kostnader til forskning og utvikling på grunn av investeringer. Aquasearch har gjort en treårig avtale med Svenska Foder AB om bruken av astaxanthin i fôrproduktene til selskapet.
- Alga Tech eies av Svenska Foder AB, som igjen er datterbedrift av finske Cultor OY. Firmaet er en av de ledende leverandører i Europa på dyre- og fiskefôr, og verdens nest største kjøper av astaxanthin. Selskapet hadde i 1997 en omsetning på NOK 12 milliarder.

11.2 Grove markedsvurderinger

Spirulina

I 1997 anslo man den årlige produksjonen til rundt 2000 tonn tørrvekt algebiomasse. Kvantumet forventes å øke betraktelig fremover. I følge boken Earth Food Spirulina (Henrikson 1997) viser en

spørreundersøkelse utført i perioden 1993-1997 i industri- og forskningsmiljøer at produksjonen av *Spirulina* på verdensbasis kommer opp i mengder som vist i **Tabell 6**.

Tabell 6. Estimert biomasseproduksjon av *Spirulina* på verdensbasis i tonn tørrvekt.

Land	1997	1998	1999
USA-California	500	600	800
China	500	700	900
USA-Hawaii	450	500	600
India	250	300	500
Thailand	150	150	150
Taiwan	70	80	80
Andre	170	300	330
Sum	2.090	2.630	3.360

Chlorella

En tilsvarende mikroalge er nå under utprøving av Felleskjøpet A/S til bruk i fôr til høns. Hensikten er bl.a. proteintilskudd og å oppnå ønsket farge på egg. Det er foreløpig ikke klart hvor store kvanta fôr det blir behov for hvis resultatene blir vellykket. Men det vil være betydelig mer enn hva som eventuelt kan produseres i et fullskala produksjonsanlegg for mikroalger i Vestfold.

Når det gjelder protein til fôr er totalmarkedet i Norge på 1 mill. tonn husdyrfôr. Av dette utgjør 50% fôr til fjørkre og gris. Av dette volumet er det 5-7% proteinbehov som kan skiftes ut med alger som råstoff. Det tilsvarer 25.000 tonn årlig forutsatt at pris og kvalitet er konkurransedyktig.

Det kan nevnes at et tysk firma (Preussag AG) driver produksjon av *Chlorella* i et forsøksanlegg. Algebiomassen brukes som fôrtilskudd til kalkun. Man regner med at produksjonen er lønnsom med en pris på 25 DM/kg algebiomasse. Et større anlegg med beregnet produksjon på 350 tonn/år vil bli etablert i 1999 (K.-H. Ujma, pers. med.).

Fargestoffet astaxanthin

Til fiskefôr: totalmarked på verdensbasis tilsvarer ca 1000 mill. NOK årlig, med en veksttakt på 15% hvert år. Halvparten av markedet er i Norge. Til dyre- og fjørkrefôr: Trolig tilsvarer dette 300-500 mill. NOK årlig på verdensbasis, med forventet sterk vekst.

Salgspris pr. kg tørket biomasse

Salgsprisen avhenger av flere faktorer bl.a. av konsentrasjonen av verdistoff i biomassen. I **Tabell 7** er enkelte markedspriser angitt.

Tabell 7. Eksempler på internasjonale salgspriser for biomasse, henholdsvis verdistoff.

Type	Pris pr. kg biomasse NOK	Konsentrasjon av verdistoff	Pris pr kg ren vare NOK
Spirulina	75	2%	3.800
Chlorella	188	100%	188
Haematococcus	225	1%	22.500

12. Anbefaling av videre arbeid

Pilotfasen vil omfatte flere stadier på vei mot et eventuell fullskala produksjonsanlegg i Vestfold. En rekke avgjørende forhold må belyses, og viktige spørsmålsstillinger avklares.

1. Tekniske forhold:
 - Mulige teknologiske løsninger på fullskala-anlegg.
 - Tekniske og klimamessige kritiske faktorer.
 - Hvilke algetyper egner seg best ut fra erfaringene i pilotfasen.
 - Kontakt med aktuelle leverandører av anlegg for fremstilling av algebiomasse.
 - Beregne produksjonskostnader pr. kg biomasse basert på valgt teknologi og ved ulike algetyper og produksjonsmengder.

2. Markedsmessige sider:
 - Nærmere produkt- og markedsanalyser.
 - Markedsutvikling.
 - Prisnivå.
 - Konkurrenter .
 - Kunder/kjøpere av biomasse.
 - Distribusjonsmønster fra biomasse til sluttbruker.
 - Kritiske suksessfaktorer.

3. Anbefalt konklusjon fremskaffes på markedsmessige og teknologiske valg med konkretisert forretningsplan for storskaladrift.

4. Utarbeide prospekt for investormiljøet.

5. Kontakt mot investormiljøet og offentlige aktører etableres med sikte på finansiering og selskapsdannelse. (I statsbudsjettet for 1999 er f.eks. 100 mill. NOK øremerket investeringsstøtte for utnyttelse av spillvarme).

13. Referanser

- Becker, E.W. 1988. Micro-algae for human and animal consumption. - In: M.A. Borowitzka & L.J. Borowitzka (eds.), *Micro-Algal Biotechnology*, p. 222-256. - Cambridge University Press, Cambridge.
- Becker, E.W. 1994. *Microalgae. Biotechnology and Microbiology*. - Cambridge Studies in Biotechnology 10. Cambridge University Press, Cambridge. 293 pp.
- Bergdahl, J.C. 1990. Nori (*Porphyra* C. Ag.: Rhodophyta) mariculture research and technology transfer along the Northeast Pacific coast. - In: I. Akatsuka (ed.), *Introduction to Applied Phycology*, p. 519-551. - SPB Academic Publishing bv, The Hague.
- Borowitzka, M.A. 1992. Algal biotechnology products and processes - matching science and economics. - *J. Appl. Phycol.* 4: 267-279.
- Borowitzka, M.A. & Borowitzka, L.J. 1988. *Micro-algal biotechnology*. - Cambridge University Press, Cambridge. 477 pp.
- Bourelly, P. 1970. *Les Algues d'eau douce. Tome III: Les Algues bleues et rouges*. Éditions N. Boubée & Cie, Paris.
- Bulik, C.G. 1993. How the *Spirulina*, a blue-green alga, preserves the cell from degeneration, and extends youth and human lifespan - In: F. Doumenge, H. Durand-Chastel & A. Toulemont (eds.), *Spirulina, algae of life*, p. 121-132. *Bulletin de l'Institut océanographique, Monaco*, no special 12. - Monaco Musée Océanographique.
- Burlew, J.S. (ed.) 1964. *Algal culture from laboratory to pilot plant*. - Carnegie Institution of Washington Publication 600, Washington D.C. 357 pp.
- De Pauw, N. & Persoone, G. 1988. Micro-algae for aquaculture. - In: M.A. Borowitzka & L.J. Borowitzka (eds.), *Micro-Algae Biotechnology*, p. 197-221. - Cambridge University Press, Cambridge.
- Elhai, J. 1994. Genetic techniques appropriate for the biotechnological exploitation of cyanobacteria. - *J. Appl. Phycol.* 6: 177-186.
- Fott, B. 1971. *Algenkunde*. - Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- Fox, R.D. 1993. Health benefits of *Spirulina* and proposal for a nutrition test on children suffering from kwashiorkor and marasmus. - In: F. Doumenge, H. Duran-Chastel & A. Toulemont (eds.), *Spirulina, algae of life*, p. 179-222. *Bulletin de l'Institut océanographique, Monaco*, no spécial 12. - Monaco Musée Océanographique.
- Fox, R.D. 1996. *Spirulina: Production & Potential*. - EDISUD, Aix-en-Provence. 232 pp.
- Gaffron, H. & Rubin, J. 1942. Fermentative and photochemical production of hydrogen in algae. - *J. gen. Physiol.* 26: 219-240.

- Glombitza, K.W. & Koch, M. 1989. Secondary metabolites of pharmaceutical potential. - In: R.C. Cresswell, T.A. Rees & N. Shah (eds.), *Algal and Cyanobacterial Biotechnology*, p. 161-228. - Longman Scientific & Technical, Essex.
- Goldman, J.C. 1979. Outdoor algal mass cultures. Photosynthetic yield limitations. - *Water Research* 13: 119-136.
- Gromov, B.V. 1968. Main trends in experimental work with algal cultures in the U.S.S.R. - In: D.F. Jackson (ed.), *Algae, man and the environment*, p. 249-278. - Syracuse University Press, New York.
- Gudin, C. & Armstrong 1997. Valuable products from microalgae. - Proceeding at 3rd European Workshop, *Biotechnology of Microalgae*, Potsdam, 16-17 June, 1994.
- Gudin, C. & Chaumont, D. 1984. Solar biotechnology and development of tubular solar receptors for controlled production of photosynthetic cellular biomass for methane production and specific exocellular biomass. - In: W. Paiz & D. Pinewitz (eds.), *Energy from biomass*, p. 184-193. - D. Reidel, Dordrecht.
- Hall, D.O. & Rao, K.K. 1994. *Photosynthesis. Studies in biology*. Fifth edition. - Cambridge University Press. Cambridge. 211 pp.
- Henrikson, R. 1997. *Earth food Spirulina*. - Ronore Enterprises, Inc., Laguna Beach, California. 180 pp.
- Hoffmann, J.P. 1998. Wastewater treatment with suspended and nonsuspended algae. - *J. Phycol.* 34: 757-763.
- Huber-Pestalozzi, G. 1961. *Das Phytoplankton des Süßwassers. Chlorophyceae, Ordnung: Volvocales*. - E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- Le Gal, Y. & Muller-Feuga, A. (eds.) 1998. *Marine microorganisms for industry* - Editions Ifremer, Plouzané. 207 pp.
- Massyak, N.P. 1966. Mass culture of the carotene-bearing alga *Dunaliella salina* Teod.- *Ukranskyia Botanichnyia Zhurnal* 23: 12-19.
- Matsunaga, T. & Takeyama, H. 1998. Marine genome technology. - In: Y. le Gal & A. Muller-Feuga (eds.), *Marine microorganisms for industry*, p. 48-55. - Editions Ifremer, Plouzané.
- Metting, B. & Pyne, J.E. 1986. Biologically active compounds from microalgae. - *Enzyme microb. Technol.* 8: 386-394.
- Oswald, W.J. 1975. Experiences with new pond designs in California. - In: E.F. Gloyna, J.F. Malina & E.M. Davis (eds.), *Ponds as a wastewater treatment alternative*. - *Water Resources Symp. No. 9*. University of Texas, Austin.
- Oswald, H.J. & Golueke, C.G. 1960. Biological transformations of solar energy. - *Adv. Appl. Microbiol.* 2: 223-233.
- Patterson, G.M.L., Larsen, L.K. & Moore, R.E. 1994. Bioactive natural products from blue-green algae. - *J. Appl. Phycol.* 6: 151-157.

- Pringsheim, E.G. 1949. Pure cultures of algae. - Cambridge University Press, Cambridge. 119 pp.
- Renstrøm, B., Borch, G., Skulberg, O.M. & Liaaen-Jensen, S. 1981. Optical purity of (3S, 3'S)-astaxanthin from *Haematococcus pluvialis*. - *Phytochemistry* 20(11): 2561-2564.
- Richmond, A. 1986. Outdoor mass cultures of microalgae. - In: A. Richmond (ed.), *Handbook of Microalgal Mass Culture*, p. 285-330. - CRC Press, Boca Raton.
- Richmond, A. 1990. Large scale microalgal culture and applications. *Progress in Phycological Research*, Vol. 7, p. 269-330. (Round/Chapman, eds.). - Biopress Ltd. Bristol.
- Samson, R.A.; Stalpers, J.; van der Mei, D. & Stouthamer, A.H. 1996. Culture collections to improve the quality of life. - World Federation for Culture Collections, ISBN 90-70351-33-1, Ponsen & Looyen, Wageningen, The Netherlands. 504 pp.
- Semenenko, V.E.; Vladimirova, M.G.; Soglin, L.N.; Tants, M.I.; Phillipovskiy, N.; Klyachko-Gurvich, G.L., Kuznetsov, E.D.; Kovanova, E.S. & Raijkov, N.I. 1966. Prolonged continuous directed cultivation of algae and physiological and chemical characteristics of the productivity and efficiency of light energy utilization by *Chlorella*. - *Upr. Biosynthes. U.S.S.R.*, 128. 136 pp.
- Šetlík, I., Sust, V. & Málek, I. 1970. Dual purpose open circulation units for large scale culture of algae in temperate zone. Basic design considerations and scheme of pilot plant. - *Algol. Stud. Třeboň*, 1: 111-164.
- Shelef, G.; Oswald, W.J. & Mc Gauhey, P.H. 1970. Algal reactor for life support systems. - *J. Sanit. Eng. Div. Am. Soc. Civ. Eng.*, 96(SA 1): 91-125.
- Shelef, G. & Soeder, C.J. (eds.) 1980. *Algae Biomass. Production and Use*. - Elsevier/North-Holland Biomedical Press, Amsterdam. 852 pp.
- Skulberg, O.M. 1994. Oscillatorialean cyanoprokaryotes and their application for algal culture technology. - *Arch. Hydrobiol./Suppl.* 105, *Algological Studies* 75:265-278.
- Soeder, C.J. 1980. Massive cultivation of microalgae: Results and prospects. - *Hydrobiologia* 72: 197-209.
- Tomaselli, L. 1997. Morphology, ultrastructure and taxonomy of *Arthrospira (Spirulina) maxima* and *Arthrospira (Spirulina) platensis*. - In: A. Vonshak (ed.), *Spirulina platensis (Arthrospira): Physiology, Cell-biology and Biotechnology*, p. 1-15. - Taylor & Francis Ltd, London.
- Vonshak, A. (ed.) 1997. *Spirulina platensis (Arthrospira): Physiology, Cell-biology and Biotechnology*. - Taylor & Francis Ltd., London. 233 pp.
- Watanabe, M.M. 1992. Proceedings of the symposium on culture collection of algae. - National Institute for Environmental Studies, Environment Agency. - ISEBU, Tsukuba, Japan. 76 pp.
- Yamaguchi, K. 1997. Recent advances in microalgal bioscience in Japan, with special reference to utilization of biomass and metabolites: a review. - *J. Appl. Phycol.* 8: 487-502.

- Yufera, M. & Lubián, L.M. 1990. Effects of microalgal diet on growth and development of invertebrates in marine aquaculture. - In: I. Akatsuka (ed.), Introduction to Applied Phycology, p. 209-227. - SPB Academic Publishing, The Hague.
- Yürüm, Y. (ed.) 1995. Hydrogen Energy System. Production and Utilization of Hydrogen and Future Aspects. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 341 pp.
- Zaborsky, O.R. (ed.) 1998. BioHydrogen. - Plenum Press, New York. 552 pp.
- Aasgaard, G.F., Englund, G., Hansen, H.E., Källqvist, T., Skulberg, O.M. & Skulberg, R. 1995. Professional background for development of algal culture technology - a perspective on progress. - Norwegian Institute for Water Research. ISBN 82-577-2900-0. Oslo. 21 pp.