DET NATURVIDENSKABELIGE FAKULTET
KØBENHAVNS UNIVERSITET

Kandidatspeciale

Steffen Hansen

Tang, en overset ressource?

- Nye veje mod et bæredygtigt landbrug

1

Vejleder: Kjeld Rasmussen

Afleveret den: 04/07/11

Resume

I denne opgave vil mulige synergieffekter mellem landbruget (landbaseret produktionssystem) og en produktion af sukkertang (havbaseret produktionssystem) blive analyseret og diskuteret. Formålet hermed er at identificere måder, hvorpå Grøn Vækst planens inkluderende bæredygtighedstilgang kan realiseres, herunder fremme af økonomisk vækst inden for landbrugserhvervet parallelt med vedvarende forbedringer af dansk miljø og naturbeskyttelse. Opgavens primære fokus vil her være landbrugets tab af næringsstoffer til det marine miljø, der gennem tiden er søgt reguleret gennem en række vandindsatsplaner. Emnets komplekse karakter fordrer hertil anvendelse af Industrial Ecology som tværvidenskabeligt forskningsfelt, der gennem anvendelse af en systemisk bæredygtighedstilgang tillader en sammenkobling af opgavens forskellige stykker empiri.

På denne baggrund konkluderes det, at det traditionelle landbrug ud fra en Industrial Ecology optik er kendetegnet ved at være et type B system, med et ubæredygtigt tab af knappe ressourcer til tilgrænsende økosystemer. Den landbaserede produktion vil dog kunne tilnærmes et type C system, såfremt der gennemføres en ændring af Industrial Ecology's systemramme, hvorved der skabes en teoretisk ramme, der fordrer en opsamling af næringsstoffer i tilgrænsende økosystemer, og senere en nyttiggørelse heraf i en bioraffineringsproces. Den udvidede systemramme tillader således identifikation af synergier mellem en land- og havbaseret produktion, der fremmer Grøn Vækst planens overordnede formål, men også Industrial Ecology's målsætning om bæredygtighed på en række andre systemiske niveauer. Det konkluderes afslutningsvis, at implementering af markeds-baserede instrumenter, til fremme af positive eksternaliteter relateret til produktion af sukkertang bør overvejes, såfremt der måtte eksistere et politisk ønske om på sigt at fremme en signifikant dansk produktion af sukkertang.

Nøgleord:

Industrial Ecology, Systems Boundries, Blå biomass, Sukkertang, Grøn Vækst, vandmiljøplaner

Abstract

In this thesis possible synergies between the agricultural sector (landbased production system) and a production of Sugar Kelp (seabased production system) will be analysed and discussed. The purpose of such an analysis is to identify possible ways to promoto the goal achievement of the Green Growth political plan, which focuses on a broad approach towards sustainability, hereunder the promotion of both economic growth and a continuous improvement of the environment. The primary focus of this thesis will be directed towards the loss of nutrients from the agricultural production system to the marine environment, which over the years have induced a number of waterprotection scehemes targeting the agricultural sector. The complex nature of this subject demands the use of Industrial Ecology, which as a multidisciplinary research field uses a systemic approach in it's effort to promote systainability, thereby connecting the different pieces of empirical data used in this thesis.

Based on the above it is concluded that traditional agriculture when analysed from an IE perspective can be best be characterized as a type B system, with a unsustainable loss of scarce resources to neighbouring ecological systems. The landbased production, however, can approach a type C system if Industrial Ecology's approach to systems boarders is modified, hereby creating a theoretical framework which makes possible a collection of nutrients in neighbouring ecosystems, later on to be utilised in a bioreffinary process. The modified system boarder allowes for the identification of synergies between a land and seabased production, wich is found to promote the Green Growts plans overall purpose, but also Industrial Ecologys overall purpose in regards to achieving sustainability on a number of other systemic levels. Concludingly it is argued that the implementation of marked based instruments must be considered should there be a political wish to promote the buildup of a significant Danish production of Sugar Kelp in the long run.

Keywords:

Industrial Ecology, Systems Boundries, Blue Biomass, Sugar Kelp, Green Growth Plan, waterprotection scehemes

Indholdsfortegnelse

1 Introduktion ..... 6~~66~~
1.1 Problemformulering ..... 6~~66~~
1.2 Regulering af landbruget ..... 7~~77~~
1.3 Vandrammedirektivet ..... 8~~88~~
1.4 Status for vandmiljøplaner ..... 9~~99~~
1.5 Nye perspektiver ..... 13~~13~~13
1.6 Afgrænsning ..... 15~~15~~15
1.7 Opgavens struktur ..... 16~~16~~16
2 Opgavens teoretiske grundlag ..... 16~~16~~16
2.1 Industrial Ecology's Formål ..... 17~~17~~17
2.2 Systemperspektiv ..... 18~~18~~18
2.3 Industriel symbiose og analogien til økosystemer ..... 19~~19~~19
2.4 Ressourceforbrug og teknologisk innovation ..... 22~~22~~22
2.5 Miljøøkonomisk analyse ..... 24~~24~~24
2.5.1 Regulering af eksternaliteter ..... 25~~25~~25
3 Metode ..... 26~~26~~26
3.1 Studiedesign ..... 26~~26~~26
3.2 Litteratursøgning ..... 27~~27~~27
3.3 Indledende samtaler ..... 27~~27~~27
3.4 Inddragelse af casevirksomhed ..... 27~~27~~27
3.5 Det kvalitative forskningsinterview ..... 29~~29~~29
3.6 Personlige korrespondancer ..... 29~~29~~29
3.7 Kritisk vurdering af Blue Food udbyttedata ..... 30~~30~~30
3.8 Personlig bias ..... 30~~30~~30
4 Analyse og diskussion ..... 31~~31~~31
4.1 Potentiale for produktion af sukkertang i danske farvande ..... 31~~31~~31
4.1.1 Valg af sukkertang ..... 31~~31~~31
4.1.2 Sukkertangens vækststrategi ..... 33~~33~~33
4.1.3 Abiotiske faktorer ..... 35~~35~~35

4.1.4 Biotiske faktorer 363636
4.2 Præsentation samt diskussion af udbyttedata 383838
4.2.1 Blue Food A/S 414141
4.2.2 Optimering af Blue Food's produktionssystem 434343
4.2.3 Opstilling af udbyttescenarier 444444
4.2.4 Opsumering af produktionspotentialet 464646
4.3 Analyse af landbrugets bæredygtighed 484848
4.3.1 Industrial Ecology indenfor traditionelt landbrug 484848
4.3.2 Systemets importposter 505050
4.3.3 Kategorisering af systemet 535353
4.3.4 Systemets strukturelle udvikling 545454
4.4 Diskussion af IE's teoretiske ramme 585858
4.4.1 Nye politiske visioner 606060
4.4.2 Virkemiddelts implementering 636363
4.5 Produktionsscenarier 646464
4.5.1 Kritisk diskussion af table 2 646464
4.5.2 Målopfyldelse af Vandmiljøplaner 666666
4.6 Bioraffinering af sukkertang 717171
4.6.1 Optimalt høsttidspunkt 737373
4.6.2 Kvantificering af produktionens outputs 757575
4.6.3 Produktion af bioethanol 757575
4.6.4 Restfraktionen 777777
4.7 Miljøøkonomisk analyse 838383
5 Konklusion 878787
6 Litteraturliste 898989
7 Akronymer 989898
Bilag 999999

1 Introduktion

Dansk landbrug har siden 1980'erne været reguleret gennem en række indsatsplaner, hvis formål er at nedbringe erhvervets tilførsel af nitrogen (N) og fosfor (P) til naturen, herunder til det marine miljø. Samtidig eksporterer landbruget væsentlige mængder kød og bidrager herigennem til Danmarks eksportindtægter, hvor svineeksporten alene anslås til en værdi af ca. 21 mia. kr. pr år (http://www.dansklandbrug.dk/NR/rdonlyres/5BB36A48-993D-435A-8CE5 CD3A6D8B9282/0/Kap_04_Eksport.pdf). Der eksisterer imidlertid en klar modsætning mellem landbrugets værdigenerering og de væsentlige ressourcer, der lægges i at reducere landbrugets forurening af sårbare marine områder. Opgaven her er et forsøg på at komme med nye forslag til hvordan fortsat vækst, inden for landbruget, kan forenes med en reduceret påvirkning af de marine områder. Mere konkret ønskes det belyst, om der kan identificeres synergier mellem den traditionelle landbaserede produktion af kød og grøn biomasse og en mulig havbaseret produktion af blå biomasse[1]. Denne tilgang til landbrugets bæredygtighedsproblematik kræver imidlertid, at der anlægges et utraditionelt systemperspektiv, hvor næringsstofstrømme skal kunne følges på tværs af de to produktionssystemer, med fokus på en opsamling og nyttiggørelse i havmiljøet. Hertil er der i opgaven søgt inspiration i Industrial Ecology, der som tværvidenskabeligt forskningsfelt insisterer på en vedvarende opfattelse af ressourcers værdi. I relation hertil argumenteres i denne opgave for at landbrugsproduktionens tab af N og P til det marine miljø er en værdi ressource, der endnu ikke er nyttiggjort. Med udgangspunkt i ovenstående er følgende problemformulering udarbejdet:

1.1 Problemformulering

Hvordan kan en produktion af sukkertang i danske farvande bidrage til et mere bæredygtigt landbrug?

I besvarelsen af problemformuleringen vil følgende arbejdsspørgsmål undersøges:

1. Hvilket potentiale rummer de danske saltvands- og/eller brakvandsfarvande i forhold til produktion af sukkertang og hvordan kan dette potentiale bedst realiseres?
2. Med primær fokus på næringsstofsproblematikken hvordan kan en produktion af sukkertang inden for IE's analytiske ramme bidrage til, at landbruget kommer tættere på at realisere de opsatte mål for sektoren i Grøn Vækst og hvordan kan en udvidelse af produktionen da bedst understøttes?

Blå biomasse er et komplekst område med væsentlige kommercielle interesser inden for både mikro- og makroalger. Det er i denne forbindelse fundet nødvendigt at indsnævre fokus til blå biomasse i form af makroalger, der i opgaven refereres til som *tang*. Valget af tang beror på en

[1] Blå biomasse henviser til produktion af biomasse i havet. Begrebet defineres nærmere i indledningen.

række overvejelser, herunder en vurdering af omkostningerne forbundet med produktionen. Herforuden er det fundet nødvendigt at indsnævre fokus til en bestemt tangart, nemlig *Saccarina Lattisima*, der på dansk omtales som sukkertang. Dette valg begrundes i opgavens afsnit 4.1, hvor der argumenteres for at udbyttedata baseret på en produktion af sukkertang i dag udgør den mest troværdige kilde til vurdering af produktionspotentialet i danske farvande. Der skal dog gøres opmærksom på, at sukkertang kun udgør en af flere potentielle danske tangarter egnet til kommerciel produktion.

Indledningsvis er det relevant at beskrive dansk vandmiljøpolitik og den dominerende diskurs her indenfor gennem nyere tid. Denne beskrivelse skal opfattes som en af opgavens primære stykker empiri, der bidrager til at fremhæve problemformuleringens relevans i en opdateret samfundsmæssig kontekst, som senere fortolkes gennem opgavens teori og begrebsfremstilling.

1.2 Regulering af landbruget

Danmark har siden 1980'erne reguleret landbrugssektoren via politisk fastsatte krav i form af Vandmiljøplan 1 (1987), Handlingsplan for Bæredygtigt Landbrug (1991), Vandmiljøplan 2 (1998) og senest Vandmiljøplan 3 (2004). Landbrugets udledning af N til det marine miljø blev i 2003 vurderet til 161.000 tons N, en 48 % reduktion i forhold til 1987 niveau (Christansen 2004:61-83). Langt den største udledning af N til havmiljøet stammer dog stadig fra landbruget, mens hovedparten af udledningen af P tilsvarende kommer fra landbrugsdriften (Larsen et al 2010:48)

Reguleringen af erhvervet skal bl.a. ses ud fra et generelt ønske om at reducere negative påvirkninger af det marine miljø. Således medvirker landbrugets tilførsel af N (og i et vist omfang P) til det marine miljø til en opblomstring af planteplankton, da N i kystnære områder om sommeren betragtes som den primære begrænsende faktor for planteproduktionen (Waagepetersen 2008:30). Dette er problematisk, da den øgede organiske stofmængde og det deraf øgede iltforbrug ved nedbrydning af organisk stof, fører til en reduceret bufferkapacitet i havbunden[2] og dermed øget udbredelse og varighed af iltsvind (Møhlenberg, 2008:2-4).

Mens landbrugets udledning af N primært påvirker de kystnære områder, er størstedelen af de danske indre kystvande tilsvarende eutrofierede[3], inkl. de åbne dele af Kattegat, bælterne, den vestlige del af Østersøen og Øresund (Møhlenberg 2008:2-4). Udenlandske forureningskilder yder her et væsentligt bidrag til næringsstofforureningen af de åbne havområder, hvor der deponeres væsentlige mængder N via luften (Jensen 2010:18).

[2] Dvs. evnen til at modvirke effekter af iltsvind i havbunden.
[3] Eutrofiering henviser til vand, der indeholder væsentlige mængder af næringssalte.

I figur 1 er angivet virkemidler anvendt under VMP 3 i forhold til reduktion af landbrugets N-tilførsel til det marine miljø. Her ses det, at den generelle udvikling inden for landbruget[4] fremhæves som den største post med en forventet reduktion på 11.200 tons N ud af en samlet forventet reduktion på ca. 21.150 tons N. Andre væsentlige virkemidler er etablering af vådområder, skovrejsning, samt øget krav til efterafgrøder.

Figur 1: Angivelse af reduktion i kvælstofudvaskningen ift. forventet ændret arealanvendelse under VMP 3, samt prognose frem til 2015 (MVJ: Miljøvenlige jordbrugsforanstaltninger) (Waagepetersen 2008:23).

	Forventning i VMP III 2004-2015		Prognose 2004-2015	
	Areal (ha)	Red. N-udvask. (tons N)	Areal (ha)	Red. N-udvask. (tons N)
Udvikling i landbruget		11.200		2.000
Skovrejsning	22.800	900	22.800	0
Vådområder (iværksat under VMP II)	4.000	1.050	4.000	980
Yderligere MVJ, herunder våområder	4.000	400	-	150-250
Øget krav til efterafgrøder	125.000	4.600	70.000	2.000
Stramning til kravet af minkgødning		100		130
I alt		Ca. 18.000		Ca. 5.300
Generel skærpelse af krav til udnyttelse af husdyrgødning med 4,5-5%		2.900		1.600
Ophør af braklægningsordningen				-(300-500)

Det er vigtigt at påpege, at imens midtvejsevalueringen af VMP 3 (december 2008) peger på en forventet opfyldelse af reduktionsmålene for P-udledningen, så er landbruget med en forventet reduktion i 2015 på 5.300 tons N pr år langt fra at nå det fastsatte reduktionsmål.

Vandmiljøplan 3 har altså ikke vist sig effektiv nok i forhold til de opstillede miljøpolitiske målsætninger for vandmiljøet. Dette er problematisk ud fra et økologisk perspektiv, men på mange måder også ud fra en økonomisk og samfundsmæssig betragtning, hvor omkostningseffektiviteten pr reduceret kg N ved midtvejsevalueringen blev beregnet til 41 kr., ca. dobbelt så meget som de forventede 19 kr. pr kg (Jakobsen 2009:3-4).

1.3 Vandrammedirektivet

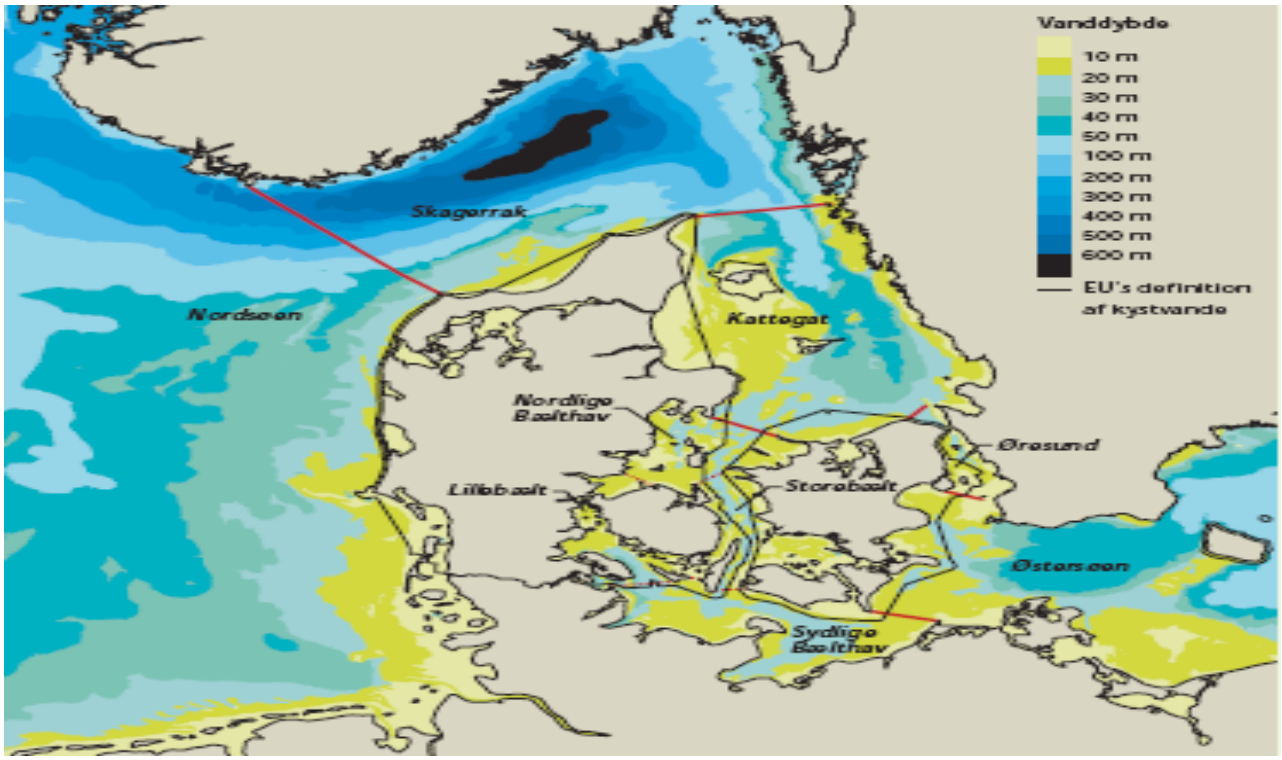
Det generelle ønske om forbedring af vandkvaliteten i VMP 3 kan ikke ses i en isoleret dansk kontekst og skal kædes sammen med kravet om *god økologisk tilstand*[5] fremsat i EU's Vandrammedirektiv. Direktivet er i dansk lovgivning implementeret via Miljømålsloven og har bl.a. til formål at beskytte og forbedre vandmiljøet herunder at gennemføre beskyttende foranstaltninger, der skal sikre stop for udledninger af skadelige stoffer til vandmiljøet (Miljømålsloven, september

[4] Herunder forbedret foderudnyttelse, udtagning af arealer til veje/bebyggelse og ekstensivering af arealer med negativ jordrente.

[5] Måles fra en skala fra 1 – 5, hvor 1 (høj økologisk tilstand) = helt naturlige og upåvirkede vande og 5 (dårlig økologisk tilstand) = stærkt påvirkede og unaturlige vande. God økologisk tilstand er nr. 2 på den angivne skala.

2009). Vandmiljøets økologiske tilstand måles danske marine områder bl.a. ud fra dybdeudbredelsen af ålegræs, som reference for bl.a. vandsøjlens gennemsigtighed (Jensen et al. 2010:7). Figur 2 illustrerer de kystnære egne[6], der defineres som særligt sårbare og derfor falder under Vandrammedirektivets krav om god økologisk tilstand.

Figur 2: Der angives dybdeforskel i de danske farvande, mens den sorte streg angiver de danske kystnære farvande, som defineret i Vandrammedirektivet (Christensen 2004:16).



Da 2/3 af vandafstrømningen fra Danmarks areal netop sker ved afstrømning fra landjorden til lavvandede og lukkede kystvande med relativ høj følsomhed overfor et øget niveau af næringsstoffer, spiller landbruget en afgørende rolle i forhold til overholdelse af Vandrammedirektivets målsætninger for de kystnære områder. Hermed placeres dansk landbrug også i en vanskelig situation i forhold til vore nabolande, hvor høj densitet af dyreenheder pr areal og en procentmæssig stor anvendelse af landarealet til dyrkningsformål (ca. 60 %) stiller særligt store krav om en bæredygtig landbrugspraksis (Miljøministeriet og ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri, 7. februar 2011).

1.4 Status for vandmiljøplaner

[6] Kystvande defineres i Vandrammedirektivet som områder, der ligger inden for de territoriale basisliner, som afgrænser bugter og fjorde samt 1 sømil udenfor basisliner og åbne kyster.

Men hvad er status så i forhold til opfyldelse af VMP 3 målene og Vandrammedirektivet? VK-regeringen valgte i august 2008 at samle evalueringer/forhandlinger om landbrugserhvervets afledte miljøeffekter[7] i en samlet pakke kaldet Grøn Vækst. Grøn Vækst blev introduceret som en ny samlet indsatsplan for landbrug, naturen og miljøet og blev af daværende statsminister Anders Fogh Rasmussen lanceret ved åbningen af Danmarks første nationalpark i Thy:

"*Regeringen* ønsker *en grøn vækst. Hvor naturhensyn og fremskridt ikke er modsætninger. Men hvor vi tværtimod forener miljø og naturbeskyttelse med et moderne og konkurrencedygtigt samfund. Derfor vil regeringen nu sætte et omfattende arbejde i gang for at realisere visionen om grøn vækst*". (http://www.stm.dk/_p_10556.html)

Indvielsestalen indikerer en klar politisk prioritering ved udarbejdelse af en plan for landbrugets rammevilkår i fremtidens Danmark. Herunder et ønske om at bibeholde et effektivt/ konkurrencedygtigt landbrug parallelt med at miljø- og naturbeskyttelse forbedres. Hermed søges to udviklingsspor, der i offentlig diskurs ofte fremhæves som modsætninger, forenet i en fælles vision, hvor landbrugets rolle som positiv bidragsyder til samfundsøkonomien fremhæves.

Grøn Vækst lægger sig derved op ad en inkluderende fortolkning af bæredygtighedsbegrebet, hvor der tages fat på en af de helt store problemstillinger i fremtidens fødevareproduktion: behovet for på sigt at udvikle løsninger, der bidrager med en øget effektivitet/fødevareproduktion og samtidig inkluderer hensynet til miljø- og naturbeskyttelse, der ligeledes på sigt indvirker på drikkevandskvaliteten og ferskvands/saltvandsområders generelle værdi for fremtidige generationer. Grøn Vækst aftalen blev endeligt vedtaget juni 2009 og består af en miljø- og naturplan for Danmark frem mod 2020 og en strategi for et grønt landbrugs- og fødevareerhverv i vækst, jf. figur 3.

[7] Incl. VMP 3, ny pesticidplan, landdistriktsprogrammet og neutraliseringen af braklægningspligten.

Figur 3: Hovedtræk fra regeringens Grøn Vækst udspil (V-K regerings Grøn vækst udspil, april 2009:4)

Under miljø- og naturplanen er listet en række indsatsområder, herunder et vandmiljø af god kvalitet. Da Grøn Vækst strategien følger op på VMP 3, er nye reduktionsmål fremlagt herunder en reduktion på 19.000 ton N af den årlige landbrugsrelaterede tilførsel til fjorde og kystnære områder[8], samt en reduktion på 210 ton P til søer og vandløb i perioden 2010-2015. Det samlede N-reduktionskrav kan deles op i to dele:

- En reduktion på 9.000 ton N pr år, der skal opnås via en række virkemidler, der kategoriseres som generelle[9] eller målrettede[10].

- En markedsbaseret model for omsættelige kvælstofkvoter, der tilsigter en reduktion på 10.000 tons N.

(Grøn Vækst aftale.16. juni 2009)

Reduktionen på 9.000 ton N er endeligt vedtaget og søges udmøntet gennem en fortsat anvendelse af virkemidlerne listet i figur 1. Reduktionen på 10.000 ton N via en markedsbaseret kvotemodel er ikke udmøntet. Efter planen skal et udvalg komme med forslag til en konkret udformning af en

[8] Søer, fjorde og det marine miljø defineres inden for fagterminologien også som recipienter.
[9] Implementeres generelt i hele landet uafhængigt af oplandstype.
[10] Implementeres på specifikke lokaliteter, hvor der menes at være et begrundet behov.

kvotemodel i efteråret 2011 med henblik på at træffe beslutning om ordningens endelige udformning og eventuelle implementering.

Af andre initiativer inden for Grøn Vækst skal nævnes:

Landbruget som leverandør af grøn energi: Styrkelse af landbrugets rolle som leverandør af grøn energi gennem fremme af dyrkning af flerårige energiafgrøder og tilskud til etablering af nye biogasanlæg og forgasning af husdyrgødning.

Indsats for akvakultur: Nedsættelse af akvakulturvalg mhp. analyse af sektorens langsigtede erhvervs- og miljøvilkår.

Danmark som grønt udviklingslaboratorium: Oprettelse af et Grønt Udviklings- og Demonstrationsprogram (GUDP) med henblik på at skabe yderligere sammenhæng mellem forskning, udvikling og demonstration af viden om fødevarer, jordbrug, fiskeri og akvakulturområdet.

Målene for vandmiljøet i Grøn Vækst udmøntes i statslige vandplaner (indsatsprogrammer) gældende for hvert af Danmarks 23 hovedvandoplande[11]. Der udarbejdes altså indsatsprogrammer i 23 hovedvandoplande, der pålægges at gennemføre reduktioner, hvis størrelse fastsættes på baggrund af hovedvandoplandenes forskellige geografiske placering og dermed påvirkning af miljøfølsomme områder (Miljøministeriet – by og landskabsstyrelsen, december 2010:1-10).

Grøn vækst planen lægger vægt på, at implementeringen af vandplaner herunder Vandrammedirektivet, foregår så omkostningseffektivt som muligt. For at kunne danne sig et overblik over påkrævet finansiering er der for de forskellige virkemidler udregnet enhedsomkostninger i form af årligt jordrente tab[12] pr reduceret kg N (Miljøministeriet – by og landskabsstyrelsen. November 2010:1-7) (se bilag 1 for tabel over virkemidler, effektberegninger og reduktionsomkostninger).

I Januar 2010 blev de foreløbige statslige vandplaner sendt i teknisk høring, hvor reduktionskravet blev mødt af stor modstand fra landbrugserhvervet. En kritik primært målrettet en manglende analyse af Grøn Vækst planens erhvervs- og samfundsmæssige konsekvenser, herunder de forventede effekter for yderkantsområder, hvor specielt Limfjordsområdet rammes hårdt. Konkret stilles der krav om en samlet reduktion på 6.637 tons N pr år med en deraf forventet nedgang i beskæftigelsen inden for landbrugs- og følgevirksomheder på ca. 5.000 jobs (Landbrug og Fødevarer, marts 2010).

---

[11] Hovedvandopland refererer til et landareal, der leverer afrend af overfladevand, åvand eller gundvand til recipienten, eksempelvis fjordområder. Kystlinjen tilknyttet hovedvandoplandet medregnes i den geografiske afgrænsning af hovedvandoplandet.

[12] Landmandens forrentning af arealet før fratrukket forrentning af arealet efter implementering af virkemiddel.

Landbrugets massive kritik udmøntede sig i april 2010 i Grøn Vækst aftale 2.0, der indeholder en række initiativer under hensyntagen til erhvervets økonomiske situation. Et af disse initiativer er etablering af et kommissorium, der blandt andet har til opgave at lave en konsekvensvurdering af vandplanernes indvirkning på beskæftigelsen og det erhvervs- og samfundsmæssige omkostningsniveau. Efter planen skal analysen supplere det igangværende udredningsarbejde i Grøn Vækst aftalen fra juni 2009.

Et væsentligt budskab i Grøn Vækst 2.0 var, at kravet om en reduktion på 19.000 tons N pr år i 2015 står ved magt, men at reduktionen ikke må kompromittere erhvervets evne til at skabe vækst og beskæftigelse i alle landets egne herunder yderkantsområder (Grøn Vækst 2.0, april 2010:1-2).
Fra politisk hold har det altså ikke været muligt at finde den rette afvejning mellem hensynet til konkurrenceevne/arbejdspladser i landbruget og fødevareindustrien og overholdelse af danske såvel som europæiske forpligtelser.

Som påpeget tidligere er der endnu ikke truffet endelig afgørelse om vandmiljøplanernes udformning og implementering. Hertil bør dog pointeres at Miljøminister Karen Ellemann d. 9. februar 2011 tilkendegav, at regeringen er indstillet på at udskyde reduktionskravet på 10.000 tons N pr år til 2027. Herunder med henvisning til forringelse af dansk landbrugs konkurrenceevne set i forhold til landene Holland og Tyskland, der netop sigter på fuld implementering af vandrammedirektivet frem mod 2027. (http://www.mim.dk/Nyheder/pressemeddelelser/20110902_Landerapport.htm).

De politiske holdningstilkendegivelser til trods er kommissoriets anbefalinger dog stadig relevante, bl.a. ud fra den betragtning at der ligeledes fremlægges alternative bud på virkemidler til reduktion af landbrugets N-forurening. I relation til opgavens emne vil det være særligt interessant at se om kommissoriet i denne forbindelse anbefaler en øget anvendelse af blå biomasse til opsamling af N.

1.5 Nye perspektiver

Fælles for samtlige initiativer til fremme af en bedre økologisk tilstand i de marine områder er en tilgang til landbrugets tab af N og P til det marine miljø som en kilde til forurening med en negativ samfundsøkonomisk værdi. Fokus har således været målrettet den unaturligt store algeopblomstring og iltsvind som et tilbagevendende fænomen siden 1980'erne - altså et symptom på en ubæredygtig landbrugssektor (Christensen, 2004). Denne tilgang er logisk, da der blandt hovedparten af forskere og videninstitutioner er konsensus vedrørende de negative effekter ved udledning af store mængder næringsstoffer til vandmiljøet. Spørgsmålet er da blot, om en sådan tilgang til et problem reelt begrænser mulighederne for at indrette et produktionssystem, der kan forene miljø og naturbeskyttelse med et landbrug i vækst, som beskrevet i regeringens Grøn Vækst plan?

Spørgsmålet er vigtigt, fordi Grøn Væksts inkluderende bæredygtighedstilgang med plads til et landbrug i vækst, mere natur, samt bedre miljø, endnu ikke har været udforsket inden for rammerne

af et tilsvarende inkluderende systemperspektiv. Vel at mærke et systemperspektiv hvor snitfladen mellem erhverv, natur og miljø samt ”gamle” opfattelser af ressourcers anvendelighed tages op til kritisk revision.

`Et eksempel er mulige synergier mellem landproduktionen og vores salt- og brakvandsarealer. I relation hertil kan nævnes et pilotprojekt fra 2008, hvor effekten ved etablering af 2 km^2 kunstigt stenrev ved Limfjorden blev beskrevet. Konklusionen på projektet var, at etablering af stenrev i dette stærkt eutrofierede område vil bidrage med følgende effekter:

- Forbedret iltforhold ved bundmiljøet gennem øget iltproduktion fra makroalger.
- Markant forbedret artsrigdom for specielt bunddyr samt øget produktion af biomasse i form af makroalger.
- En forventet reduceret N-flux svarende til en reduktion i N- tilførslen fra land på mellem 800-1000 tons pr år forårsaget af makroalgers N-binding.
- En omkostningseffektivitet på mellem ca. 60 – 300 kr. pr reduceret kg N (afhængig af bl.a. materialevalg). (Møhlenberg 2008:39-41)

Altså et målrettet virkemiddel, der mærkbart bidrager til reduktion af N i forhold til det foreløbige reduktionskrav på 6637 tons N pr år[13] for Limfjordsområdet, og derved også til kravet inden for Vandrammedirektivet om god økologisk tilsand. Her er det særligt interessant, at mens stenrev bidrager til Vandrammedirektivets målopfyldelse, så synes der her at være et minimum af konflikt mellem erhvervs- og naturinteresser. Stenrev som målrettet virkemiddel er imidlertid ikke finansieret som et alternativ til de ”traditionelle” virkemidler listet i statens virkemiddelkatalog og fremgår derfor ikke som et muligt alternativ for reduktion af N og P i hovedvandoplandene. Hertil er det endnu uvist om stenrev vil blive anerkendt som virkemiddel ved kommissoriets fremlæggelse af alternative virkemidler. (http://www.nordjyske.dk/artikel/10/5/4/3486603/3/kalender.aspx).

Ovenstående eksempel peger ikke desto mindre i retning af en helt ny form for synergieffekt mellem land og vand, hvor nytteværdien af den blå biomasse er helt central. Begrebet den blå biomasse karakteriseres i faglitteraturen som:

”*Den blå biomasse kan omfatte alt organisk materiale fra vandmiljøet, men bruges typisk til at beskrive vandets ”plantebiomasse”, algerne – både de mikroskopiske ’encellede alger (mikroalger/planteplankton) og storalgerne (makroalger/tang)*” (Bruhn et al 2010:6 linje 9-12)

Den blå biomasse defineres altså primært som alger og findes i et helt andet miljø end den grønne biomasse, der stammer fra landjorden. Netop af denne årsag har blå biomasse været genstand for stigende opmærksomhed. Både fra politisk side, i forskningsmiljøer og blandt innovative

[13] Det virker dog rimeligt at stille spørgsmålstegn ved påstanden om en reduceret N-flux i størrelsesordnen 800-1.000 ton pr år, da tangpopulationen naturligt vil ældes og biomassetilvæksten derfor nærme sig en tilstand af ligevægt. Årligt slid på planten vil dog nødvendiggøre kontinuerlig sæsonbetonet vækst og samlet set opnås stadig en række positive effekter.

erhvervsvirksomheder, hvor interessen for biomassens anvendelighed som fødevare og energi samt til foder til dyr og fisk er stærkt stigende (Bruhn et al, 2010:6).

Den blå biomasses værdi er dog endnu ikke analyseret ved at anlægge en direkte kobling til bæredygtighedsproblematikker inden for landbruget, som fremlagt i ovenstående afsnit. I denne opgave ønskes anlagt et bredt systemperspektiv, der inkluderer en nyttiggørelse af biomassen vurderet i forhold til Grøn Vækst ambitionen om en øget værdiskabelse inden for landbrugserhvervet, parallelt med bevarelse/forbedringer inden for miljø og natur.

1.6 Afgrænsning

En dybdegående analyse af sukkertangs indflydelse på det lokale økosystem (flora, fauna) undlades fra denne opgave, da dette emne er omfattende og fortjener at blive særskilt belyst. Forskning inden for området er ikke desto mindre nødvendig, da tangplantager potentielt kan brede sig over store arealer og dermed kan forventes at have en indflydelse på artsdiversitet, tilflugtssteder, ynglepladser, lokal iltprodukiton, fødegrundlag for lokal flora/fauna mv. Der er ligeledes foretaget en betydelig afgrænsning i forhold til beskrivelse af tangens biologi og vækstvilkår. Som en del af et fremtidigt arbejde inden for opgavens emnefelt vil det derfor være relevant at fokusere yderligere på hydrologisk/vandkemiske forhold, der afgør biomassens produktion pr. hektar på en given geografisk lokalitet.

Da formålet med denne opgave er at undersøge potentialet for realisering af Grøn Vækst målsætningen, er litteratur om produktion af tang i en global kontekst udeladt. Emnet er dog relevant, da der foregår en væsentlig produktion af blå biomasse uden for Danmark/Europa, der til en vis grad vil kunne bidrage med inspiration/viden, såfremt der fra politisk side træffes beslutning om at støtte en fremtidig indsats i danske farvande. I et fremtidigt arbejde vil en komparativ analyse derfor være relevant, hvor der bl.a. bør drages paralleller til Asien, der med en anslået produktion i 2006 på 6,5 millioner tons store brunalger er den altdominerende producent af tang (Handå et al 2009)[14].

Ved analyse af sukkertangens værdi laves i opgaven paralleller til en bioraffineringsproces som scenarium for nyttiggørelse af sukkertang. Herved er en analyse af potentialet for en bioforgasning af sukkertang udeladt, da det vurderes at emnet bør belyses selvstændigt. Bioforgasning er imidlertid en væsentlig del af Grøn Vækst målsætningerne og udviser et stort potentiale for produktion af vedvarende energi (Bruhn et al 2010). Tilsvarende er en analyse af sukkertangens nytteværdi som foderinput til akvakultursektoren fravalgt, hvor bl.a. Holdt (2011) fremhæver et væsentligt potentiale. Disse to emner fortjener ligeledes en selvstændig analyse med fokus på import/eksport ind i systemet (akvakultursektoren), mhp. at analysere implikationerne for systemets bæredygtighed.

[14] Til sammenligning blev der i Europa dyrket 350 tons til en markedsværdi af 2,7 millioner norske kroner.

1.7 Opgavens struktur

Opgaven falder i fem kapitler. I første kapitel er læseren blevet introduceret til problemområdets kontekst, opgavens problemformulering og arbejdsspørgsmål, samt tilgangen til at besvare disse spørgsmål. I kapitel 2 redegøres der for opgavens teoretiske fundament, Industrial Ecology, suppleret med miljøøkonomiske begreber. Kapitel 3 udgør opgavens metodeafsnit, hvor de metodiske overvejelser fremføres og begrundes. I kapitel 4 analyseres opgavens arbejdsspørgsmål ud fra den indsamlede empiri. Analysen er opbygget således, at de konkrete fund under hvert af spørgsmålene løbende diskuteres og anvendes som præmisser i analysen af det næste arbejdsspørgsmål. Kapitel 5 er opgavens konklusion.

2 Opgavens teoretiske grundlag

Følgende er en gennemgang af de forskellige fortolkningsredskaber, der findes relevante at anvende i opgaven. Hertil hentes inspiration fra IE som tværvidenskabeligt forskningsfelt med Robert Ayres og Thomas Graedel som centrale skikkelser. Industrial Ecology henviser til retningens primære inspirationsgrundlag, systemøkologien, hvor økosystemers transport af materiale og energi inden for cykliske kredsløb anvendes som forbillede for industrielle systemer. Industrial Ecology søger dog inspiration fra flere fagdicipliner, herunder miljøøkonomi og ingeniørvidenskab.

Inden for IE søges der inspiration til Material Flow Analysis (MFA) som et centralt redskab til at følge materiale- og energistrømme. Da opgavens primære fokus netop er på materiale- og energistrømsanalyse med fokus på landbrugets import af N og P ind i systemet, systemets tab heraf til økosystemet og endelige en opsamling og recirkulering af næringsstoffer som produktiv ressource. I relation hertil henvises til MFA på både nationalt/globalt niveau samt MFA virksomheder imellem (lokalt/regionalt niveau). Material Flow Analysis[15] er på samme måde som systemøkologien forankret i grundprincipperne bag termodynamikkens første lov, der i henhold til Fog (1997:19-35) siger, at mængden af energi og stof i et lukket system er konstant[16].

Termodynamikkens første lov udgør altså det underliggende princip bag MFA, der altså udgør en af grundstenene inden for IE, hvor et systems bæredygtighed som vist nedenfor vurderes i forhold til dets input/output af materiale og energi.

---

[15] Analyse af energi- og materialestrømme inden for og mellem forskellige systemer.

[16] Herved gælder også, at man ikke vil kunne trække mere stof eller energi ud af systemet, end der strømmer ind. Eksempelvis kan energi og stof omdannes til andre former, men hverken skabes eller ødelægges. Ved omdannelse af stof og energi, biologisk såvel som maskinelt, forekommer der en degradering, hvorved *entropien* (utilgængelighed) øges.

2.1 Industrial Ecology's Formål

En forståelse af IE og dens formål forudsætter, at grundlaget, hvorfra IE som teori opnår legitimitet, beskrives**,** herunder dens overordnede formål. Inden for IE litteraturen opfattes menneskers tiltagende anvendelse af ofte knappe ressourcer, samt jordens evne til at regenerere sig selv ovenpå øgede niveauer af forurening og affald, som værende ubæredygtig inden for en relativ kort tidsperiode. Industrial Ecology som forskningsfelt tilskrives i denne kontekst relevans ved at iagttage den globale befolkningstilvækst, niveauet af industriel og økonomisk aktivitet i relation hertil og helt centralt de miljømæssige konsekvenser forbundet hermed.

Her antages det, at den voksende befolkning med tiden vil søge at tilnærme sig de vestlige industrielle landes levestandarter med dertilhørende krav om øget velstand og ressourceanvendelse. Industrial Ecology har altså som grundlæggende præmis, at et eskalerende globalt ressourceforbrug ikke er kompatibelt med vor nuværende måde at producere på, hvorved ændringer i udformningen af industrielle systemer ses som en nødvendighed for at realisere en fremtidig bæredygtig udvikling. Ressourcer opfattes som begrænsede, hvor industrielle systemer ikke kan ses isoleret fra naturlige økosystemer, hvorved økosystemers evne til at assimilere materialestrømme står centralt (Hond 1999). Industrial Ecology definers derfor som:

"*The study of the flows and materials and energy in industrial and consumer activities, of the effects of these flows on the environment, and of the influences of economic, political, regulatory, and social factors on the flow, use, and transformation of resources*" (Ayres et al, 2002:4, linje 11-15)

En helt central del af IE omhandler altså det at studere energi- og materialestrømme i relation til menneskelig aktiviteter, strømmenes udformning - som funktion af politisk regulering og økonomiske og sociale faktorers indflydelse - samt strømmenes effekt på tilgrænsende økosystemer. I denne henseende forudsættes IE implementerbar inden for alle industrielle systemer herunder "moderne" landbrug:

"*It is intended to represent the sum total of human activity, encompassing mining, manufacturing, agriculture, construction, energy generation and utilization, transportation, product use by customers and service providers and waste disposal. IE is not limited to the domain within the factory walls, but extends to all the impacts on the planet resulting from the presence and actions of human beings.*" (Graedel et al 2003:19)

Inden for IE og med reference til materiale- og energistrømme kan en udvikling betegnes som bæredygtig såfremt kriterierne i boksen nedenfor opfyldes:

1. Anvendelse af knappe ikke-fornybare ressourcer bør ikke ske hurtigere end at fornybare ressourcer kan findes som erstatning.
2. Fornybare ressourcer bør ikke anvendes hurtigere end de kan regenerere sig selv.
3. Biodiversiteten må ikke forringes væsentligt.
4. Udslip af materiale fra industrielle systemer må ikke forgå hurtigere end økosystemers evne til at assimilere dette.
   (Gradel, 2003)

2.2 Systemperspektiv

IE betragter problematikker vedrørende bæredygtighed og anvendelse af ressourcer som systemiske af natur med forbindelser mellem industrielle praksisser/menneskelige aktiviteter og økologisk/miljømæssige processer. Derfor anvendes en systemisk tilgang med fokus på identificering og implementering af strategier, der reducerer negative miljømæssige virkninger (fra processer og produkter) med forbindelse til industrielle systemer.

Målet er at opnå et holistisk syn på miljømæssige problemer og deres links (materiale/energi- og informationsstrømme) til forskellige systemiske niveauer (politiske, sociale, industrielle og økologiske hierarkier), hvorved det antages, at bæredygtighedsproblematikker nemmere identificeres og løses (Garner 1995:2 og 6).

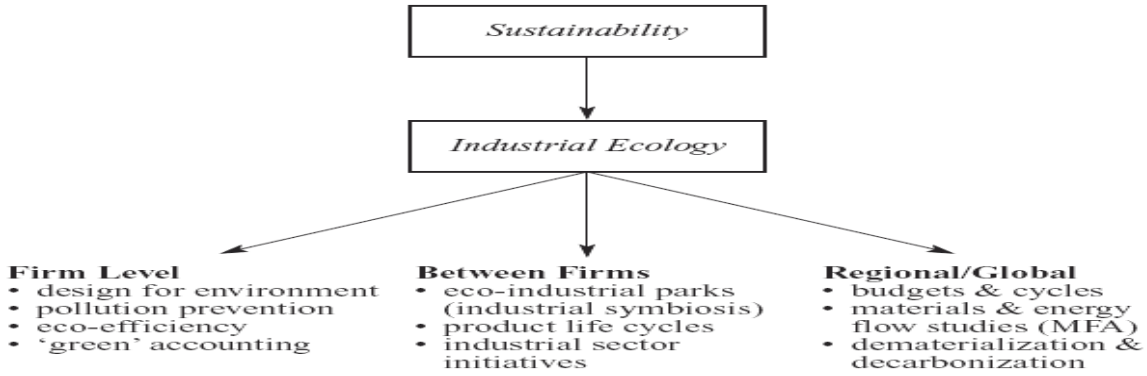
Det vurderes i opgaven her, at en systemisk tilgang er egnet som udgangspunkt i forhold til identifikation af sammenhænge mellem landbrugets egen hierarkiske struktur og dets tilknytning til andre hierarkiske systemer herunder både økologiske og politiske systemer. Industrial Ecology's afgrænsning af industrielle systemer og økologiske systemer skal dog senere kritisk diskuteres i relation til opgavens resultater, hvorefter der i afsnit 4.4 skal argumenteres for relevansen af en mere åben afgrænsning mellem industrielle systemer og tilgrænsende økologiske systemer.

Figur 4: Figuren illustrer IE's systemiske tilgang, hvor systemerne er opdelt i hierarkier, eksempelvis det globale humane ressourceforbrug (øverst i hierakiet) og livscyklus stadier (nederst i hierakiet) (Garner et al, 1995:2).

Political Entities	Social Organizations	Industrial Organizations	Industrial Systems	Ecological Systems
UNEP	World population	ISO	Global human material and energy flows	Ecosphere
U.S. (EPA, DOE)	Cultures	Trade associations	Sectors (e.g., transportation or health care)	Biosphere
State of Michigan (Michigan DEQ)	Communities	Corporations	Corporations/institutions	Biogeographical region
Washtenaw County	Product systems	Divisions	Product systems	Biome landscape
City of Ann Arbor	Households	Product development teams	Life cycle stages/unit steps	Ecosystem
Individual Voter	Individuals/ Consumbers	Individuals		Organism

Som systemisk orienteret multidisciplinært forskningsfelt indeholder IE endvidere en "værktøjskasse" med en bred palette af redskaber, der anvendes med henblik på analyse af bæredygtighed på forskellige systemiske niveauer. Som angivet via figur 5 kan IE's analytiske niveauer groft inddeles i 3 dele: **(1)** firmaniveau **(2)** energi- og materialestrømme virksomheder imellem **(3)** energi- og materialestrømme på regionalt, nationalt og globalt niveau.

Figur 5: Figuren henviser til anvendelse af metodiske redskaber efter inddeling i tre analytiske niveauer: 1. firmaniveau (firm level) 2. Sammenhænge firmaer imellem – herunder på distrikts og sektorniveau (between firms) 3. På regionalt, national og globalt niveau (regional/global) (Ayres et al, 2002:10).



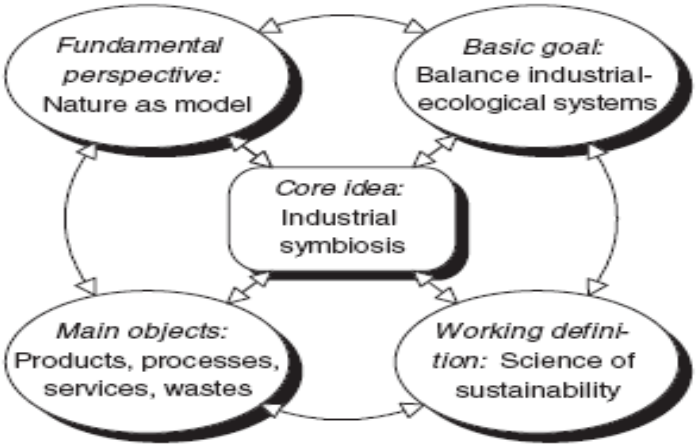
Figur 5 viser IE's analytiske niveauer, der inkluderer en bred vifte af metodiske tilgange til opnåelse af bæredygtighed. Der er i denne opgave sat rammer, hvis tidsmæssige og indholdsmæssige krav kræver en prioritering af IE's anvendelse. Her vægtes en overordnet præsentation af forskningsfeltet med henblik på at synliggøre, at netop samspillet imellem IE's forskellige analytiske niveauer skaber den bedste ramme for besvarelse af opgavens problemformulering. Det er derfor vigtigt at påpege, at IE i denne opgave primært fungerer som inspiration til opgavens analytiske dele, da det er vurderet, at en egentlig detaljeret gennemgang af værktøjer medfører for stort et tab af forskningsfeltets analytiske bredde. Bevarelse af bredde er således indirekte medvirkende til at kunne identificere områder, hvor en fremtidig applikation af forskningsfeltets værktøjer vil være meningsfuld.

En væsentlig del af IE litteraturen omhandler udvekslinger af materiale og energi virksomheder imellem også refereret til som industriel symbiose. Dette analytiske niveau er for opgaven interessant, fordi industriel symbiose er IE's mest kendte bud på en imitation af et økologisk kredsløb, hvorfra det vil være muligt at søge inspiration til en mere bæredygtig udnyttelse af landbrugets ressourcer. Følgende afsnit er derfor en gennemgang af IE's analytiske tilgang til sammenhænge virksomheder imellem.

2.3 Industriel symbiose og analogien til økosystemer

Figur 6 demonstrerer, hvordan industriel symbiose på distrikts- og sektorniveau af mange betragtes som den primære ide inden for IE. For at forstå ideen om industriel symbiose er det dog nødvendigt først at beskrive IE's fundamentale perspektiv med referencer til naturens energi- og stofkredsløb som idealmodel for industrielle systemer. Henvisningen til naturlige økosystemer beror således på naturen som ideal med en næsten komplet recirkulering af materialer og dermed minimering af affald.

Figur 6: Figuren præsenterer IE's grundide, Industriel Symbiose. De opstillede bokse skal udelukkende betragtes som skematisk, ikke fotorealistisk (Isenmann, 2003).

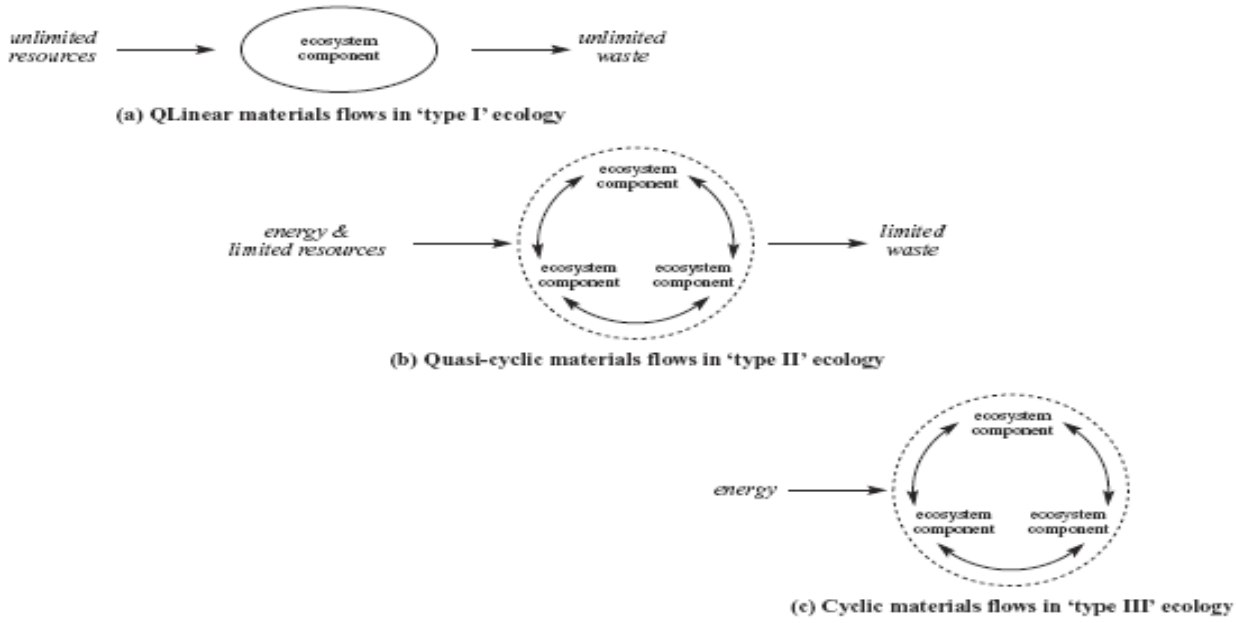


Ved at henvise til naturen som idealmodel for industrielle systemer refererer IE til disciplinen økologi. Her har evolutionen inden for naturlige økosystemer over mange millioner år medvirket til en transformation af økosystemet fra at være et lineært (åbent) system[17] til at være et cyklisk (lukket) system med en dynamisk ligevægt mellem planter, organismer og alskens fysiske, biologiske og kemiske processer. Altså et system, hvor næsten alle materialer udnyttes og recirkuleres, da affaldsstoffer og døde organismer fungerer som føde for andre livsformer. Foruden at søge inspiration i økosystemet kredsløbsopbygning henviser IE også til logikken bag dens udformning, nemlig at anskaffelse af materialer og energi fra diverse reservoirs er en materiale- og energikrævende proces, hvorved recirkulering er en nødvendig præmis for at opretholde højst mulig produktion (Graedel et al, 2003:39-44).

Naturlige økosystemers genanvendelse af materialer betragtes altså som en idealtilstand, der så vidt muligt bør tilnærmes med en eliminering af affaldsproblemet til følge. Figur 7 angiver evolutionen inden for det naturlige økosystem, hvor type A systemet refererer til en lineær materialestrøm med tilstedeværelse af ubegrænsede ressourcer og ubegrænsede muligheder for at assimilere affald til naturlige økosystemer. Type B systemet refererer til et system, der i højere grad er cyklisk af natur med energi og begrænsede ressourcer som inputs, mens kun begrænsede mængder affald forlader systemet. Type C systemet er idealtilstanden, hvor kun energi tilføres og samtlige materialer genbruges og recirkuleres. Med referencen til type C systemet ligger altså implicit en antagelse om, at industrielle systemer, herunder landbruget, med tiden bør nærme sig samme evolutionstrin som de naturlige økosystemer.

[17] Åbent system refererer til organismernes tidlige udviklingsfase, hvor jordens liv bestod af primitive ofte encellede organismer.

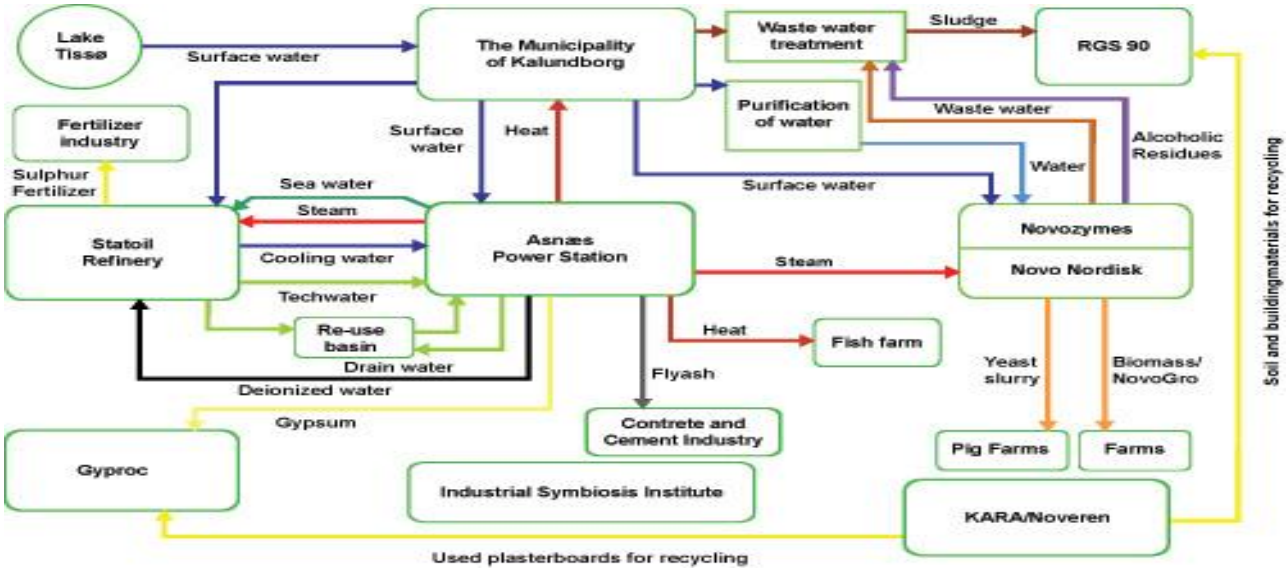
Figur 7: "Type a, b og c systemerne". Beskriver evolutionen indenfor økosystemers kredsløb, hvor tiltagende ressourcekredsløb medvirker til recirkulering af materialer. "Type c systemet" er idealet indenfor IE, hvor kun energi tilføres systemet (Ayres et al, 2002:5)



Det måske mest anvendte eksempel inden for IE i forhold til en tilnærmelse af et type C system finder sted ved Kalundborg eco-industrial park i Danmark, hvor ressourcestrømme søges optimeret ved på kommerciel basis at skabe/optimere interne links virksomheder imellem (industriel symbiose). Herved skabes en gensidig afhængighed, hvor affald/energi udnyttes som input i andre produktioner, hvorved det transformeres fra at have en negativ værdi herunder specielt ved behov for deponering, til at forøge den samlede værdiskabelse inden for de individuelle virksomheder. En central pointe inden for IE er altså, at en bedre ressourceanvendelse virksomheder imellem i sidste ende vil bidrage til en højere værdiskabelse (Hond 1999).

Inden for rammen af denne opgave er denne tankegang først og fremmest interessant, fordi industriel symbiose påpeger behovet for vedvarende at betragte produktionens affald som en værdifuld ressource. Denne tankegang indgår således ikke som en del af grundlaget for den politiske regulering af landbruget, hvor systemets tab af næringsstoffer betragtes som forurening med en stærk negativ værdi. Som det skal vises i afsnit 4.4 vil det dog være nødvendigt at gennemføre modifikationer af IE's systemramme, før en vedvarende betragtning af netop landbrugets tab af næringsstofstrømme kan anskues som en ikke-udnyttet ressource.

Figur 8: Kalundborg eco-industrial park. Eksempel på optimering af ressourcer ved udnyttelse af affald og energi mellem bl.a. et kulfyret kraftværk, et olieraffinaderi og en farmaceutisk virksomhed **(http://www.symbiosis.dk/industriel-symbiose.aspx).**



Forskellige udformninger af produktsystemer medfører forskellige niveauer af miljøpåvirkninger af de økologiske systemer. For at monitorere forskelle i miljøpåvirkning ved ændring af et produktsystems design anvender IE Life Cycle Assesment (LCA) som et vigtigt metodisk redskab. Anvendelse af LCA metodikken inkluderer et vugge-til-grav perspektiv, hvor den totale sum af produkter, processer, faciliteter eller services involveret i fremskaffelsen af en bestemt funktion analyseres og kategoriseres i henhold til effekt kategorier (eksempelvis effekt ved øget CO_2-udledning, forsuring, eutrofikation). Metodikken inkluderer herved alt fra udvinding af råmaterialer, produktion, forbrug samt genbrug (Ayres et al 2002:138-148).

2.4 Ressourceforbrug og teknologisk innovation

Begreberne dematerialization[18] og eco-effiency figurerer ofte inden for IE litteraturen. Dematerialization omhandler årsager til og dermed også måder, hvorpå ressourceforbrug og dertilhørende negative miljøeffekter kan afkobles fra økonomisk vækst. Analyseniveauet er typisk på sektorniveau samt regionale, nationale og globale skalaer, hvor en af de primære analytiske opgaver omhandler forsøg på estimeringer af den fremtidige ressourceanvendelse. Her er fokus bl.a. rettet mod strukturelle ændringer i form af bl.a. **1)** ændringer i den relative andel af inputs (kapital, arbejdskraft, naturressourcer) i produktionsprocessen og **2)** ændringer i økonomiens strukturelle komposition som følge af ændringer i forbrugsmønstre. En reduceret anvendelse af ressourcer er ifølge IE en medvirkende faktor i etableringen af bæredygtige industrielle systemer[19], hvorved det senere skal vurderes, om dansk landbrug har formået at afkoble brugen af

[18] begreberne dematerialization og eco-effiency bruges i analysen i deres engelske form.

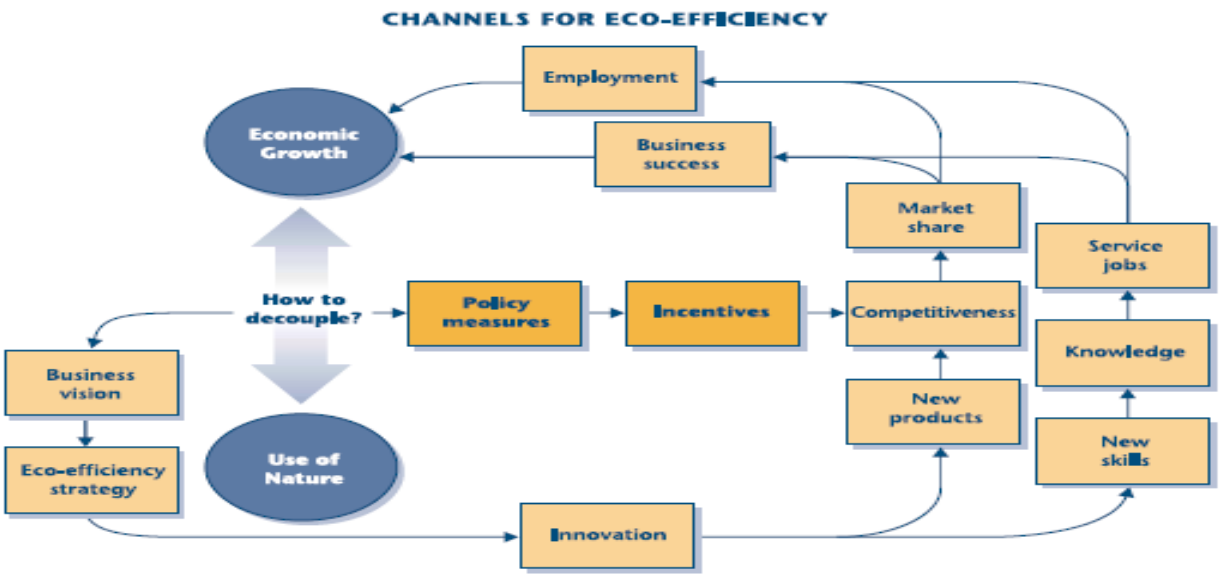
[19] Industrielle systemer opfattes dog først som egentlig bæredygtige såfremt kredsløbet lukkes (tilnærmelse af type C system).

næringsstoffer med vækst. Teknologiske forandringer og effekten heraf spiller dog også en central rolle, hvor netop øget effektivitet ved brug af en given ressource bl.a. gennem ændringer af produktionsprocesser af Ayres et al (2002:8-9 og 209-222) fremhæves som en central drivkraft mod et reduceret ressourceforbrug.

Herved drages der inden for IE litteraturen en sammenhæng mellem aftagende ressourceanvendelse og begrebet eco-efficiency, der på virksomhedsniveau omhandler måder, hvorpå en reduceret anvendelse af ressourcer (og dermed generering af affald) kan kombineres med et tilsvarende eller øget indtjeningsniveau. Fokus rettes her mod innovation på mikroniveau bl.a. via omstrukturering af produktionen, anvendelse af nye og mere miljøvenlige materialer og ændret produktdesign herunder Design for Environment (DfE) (World Business Council for Sustainable Development, 2000). DBH Technology A/S[20] fremhæves i denne opgave som et eksempel herpå, hvor implementering af europæiske regulativer i dansk lovgivning har virket befordrende for en innovationsproces mod en miljømæssig fordelagtig omstrukturering og optimering af et produktionskoncept.

Netop teknologisk innovation (på alle niveauer) fremhæves som en primær drivkraft inden for IE, med en fast forankret tro på, at markedskræfterne, forudsat at de rette regulative rammer implementeres, vil være **1)** den mest effektive aktør til skabelse af innovation og **2)** den bedste facilitator i relation til dennes implementering inden for industrielle systemer (Ayres et al 2002:8).

Figur 9: Ideen bag afkoblingen mellem ressourceanvendelse og økonomisk vækst. Her spiller udformning af politikker en central rolle, der skal leverer de rette incitamenter til virksomheden for en ændring i produktionen, der fordrer en mere bæredygtig ressourceanvendelse (World Business Council for Sustainable Development, 2000:24).



[20] Se afsnit 4.6 for beskrivelse af virksomheden.

Politikernes evne til at facilitere rammer for produktionen, der skal skabe en incitamentsstruktur fordrende en udvikling mod et type C system, er altså af høj prioritet inden for IE. Graedel et al (2003:39) fremhæver således virksomheder som teknologiske organismer, hvis evne til innovation skal muliggøre en hurtig transformation af industrielle systemer. Der skabes derved en kobling til LCA, hvor Hond (1999) påpeger, at det underliggende formål med LCA netop er indsamling og kategorisering af information med det formål at dokumentere eksternaliteter, der kan danne grundlag for ændrede rammebetingelser.

Som vist i opgavens indledning har regulering af landbruget til dato primært taget udgangspunkt i politiske målsætninger målrettet en reduceret påvirkning af bl.a. de kystnære marine områder. I denne sammenhæng beror politikernes valg af virkemidler inden for Grøn Vækst planen på analyser af virkemidlets omkostningseffektivitet. Eller med andre ord: det er et politisk mål at reducere forureningen på den billigst mulige måde. I relation hertil er det derfor relevant at supplere IE's teoretiske ramme, der primært omhandler sammenhænge mellem industrielle og økologiske hierarkiske systemer med en gennemgang af miljøøkonomiske principper.

Inklusion af miljøøkonomisk teori som en del af opgavens teoretiske grundlag bør dog også sættes i relation til IE's inkluderende systemperspektiv. Her rettes fokus til dels rettes mod forurening af vandmiljøet på nationalt/lokalt niveau, men også omhandler en systemisk bæredygtighedstilgang, hvor fokus omhandler måder, hvorpå knappe ikke-fornybare ressourcer kan recirkuleres inden for industrielle systemer. En gennemgang af grundlæggende principper inden for miljøøkonomi skal således muliggøre en kritisk diskussion af logikken bag det nuværende grundlag for regulering af landbruget. Herved er det også hensigten at styrke IE's analyseramme, hvor en af IE's mest centrale teoretikere Robert Ayres netop fremhæver en bred tilslutning inden for IE til de centrale miljøøkonomiske principper[21]. Følgende er en kort gennemgang af emnet.

2.5 Miljøøkonomisk analyse

Udgangspunktet for miljøøkonomien er at optimere samfundets samlede aktiviteter, hvilket kræver at sammenhænge mellem produktion, miljø og natur opgøres. Det er altså nødvendigt at estimere størrelsen af eksternaliteter forbundet med enkelte sektorers produktion af markedsomsatte goder. Her henviser eksternaliteter til den velfærdsmæssige nytte, der ikke omsættes på et marked og derfor ikke prissættes. Uden prissætning indgår eksternaliteter således ikke i producenternes privatøkonomiske omkostningsfunktion, hvorved der ved produktion i en ikke reguleret økonomi vil være forskel på det velfærdsøkonomisk optimale og det privatøkonomisk optimale produktionsomfang. Herved ligger også implicit, at eksternaliteter både kan være positive og negative og identificeres på en række forskellige niveauer[22], hvorved de i sagens natur er komplicerede at opgøre (Schou et al, 2005:9-29).

[21] Herunder troen på at brugen af markedsbaserede instrumenter som den mest effektive måde at facilitere en øget grad af bæredygtighed inden for industrielle systemer.
[22] Eksempelvis med fokus på drivhusgasser (globalt) eller flora/fauna (lokalt).

En velfærdsøkonomisk analyse gennemføres i praksis i regi af enten en first-best eller en second-best-analyse. I en first-best analyse er det afgørende at kunne opgøre natur- og miljømæssige eksternaliteter i monetære enheder med henblik på at lade marginale bidrag til eksterne omkostninger indgå i reguleringsgrundlaget ved en cost-benefit-analyse. Da de velfærdsøkonomiske priser kun er kendt for få eksternaliteter vil en sådan analyse sædvanligvis være vanskelig at gennemføre. Derfor tager praktisk miljøpolitik oftest udgangspunkt i en second best-analyse, med politisk fastsatte målsætninger opsat på baggrund af indhentet biologisk/fysisk viden. Hertil anvendes en omkostningseffektivitets-analyse, hvis formål er at sikre, at de på forhånd specificerede målsætninger realiseres til de lavest mulige omkostninger.

Herved kan også udledes, at de politiske målsætninger ift. landbrugets N og P tilførsel til det marine miljø netop tager udgangspunkt i en omkostnings-effektivitets analyse, hvor udgangspunktet som nævnt er implementering af virkemidler, der reducerer eksternaliteten med mindst mulige omkostninger til følge. Principperne bag de to analyseformer er angivet i figur 10 nedenfor.

Figur 10: Principperne bag first best- og second best-analysen (Schou et al. 2005:11)

	***First best*-analyse**	***Second best*-analyse**
Mål	Økonomisk optimalitet (efficiens)	Omkostningseffektivitet
Metode	*Cost-Benefit* analyse	Omkostningsminimering i forhold til et fastsat mål
Effekter på markedsomsatte goder	Indgår i monetære enheder	Indgår i monetære enheder
Effekter på ikke-markedsomsatte goder (eksternaliteter)	Indgår i monetære enheder	Effekt på målsætningen samt afledte miljøeffekter opgøres kvantitativt. Som minimum bør effekterne beskrives verbalt. Afledte effekter indgår så vidt muligt i monetære enheder

2.5.1 Regulering af eksternaliteter

Spørgsmålet, om hvem der bærer omkostningerne ved en regulering, er udelukkende et politisk spørgsmål og omtales i fagtermer som polluter-pays og provider-gets princippet. Herved er det afgørende, om man eksempelvis opfatter landmanden som en aktør, der har ret til at optimere sin indtjening ved dyrkning af sin jord, eller om det fra samfundets side kan kræves, at aktøren bærer omkostningen uden kompensation (polluter-pays) (Schou et al 2005:11). Denne debat præges i stor grad af hensynet til landbrugserhvervets konkurrenceevne (Jespersen 1998: 83-99) eksemplificeret via opgavens indledning og landbrugets frygt for tab af arbejdspladser og indtjening.

Forudsat at markedet fungerer, herunder at der eksisterer rimelig adgang til information, vil markedsbaserede instrumenter (MBI) være den samfundsøkonomisk billigste måde at realisere en given politisk målsætning. Rationalet er da, at omkostnings-effektivitetsanalysen påregner den billigste pris ift. realisering af en given målsætning, hvorefter prissætningen af eksternaliteten kan internaliseres i virksomheden. Dette sker så ved valg af en række forskellige markedsbaserede

instrumenter, herunder afgifter/tilskud, skatter eller omsættelige kvoter. Udbud og efterspørgsel vil da sørge for, at produktionen når det optimale samfundsøkonomiske niveau.

Alternativet til de markedsbaserede instrumenter er administrative virkemidler (påbud, forbud, ikke omsættelige kvoter), der opfattes som mere pålidelige i forhold til målopfyldelse, herunder med mulighed for direkte sanktionering af overtrædelser. Eksternaliteterne realiseres dog ikke via markedsmekanismen og derfor ofte ikke på den velfærdsøkonomiske mest optimale måde (Jespersen 1998: 83-99). Eksemplificeringer af administrativ regulering inden for dansk miljølovgivning kunne være påbud om etablering af randzoner og forbud mod jordbearbejdning i efterår/vinter perioden.

3 Metode

I nærværende kapitel indføres læseren til studiets metodiske valg og praktiske udførelse. Indledningsvis beskrives studiets design. Herefter redegøres der for indsamlingen af empiri gennem en litteratursøgning samt udførelse af interviews. Formålet med kapitlet er at gøre specialets tilblivelsesproces gennemsigtig og herved reproducerbar, så specialets videnskabelighed og resultaternes validitet kan vurderes.

3.1 Studiedesign

Viden omkring produktion af tang i dansk og europæisk praksis er yderst mangelfuld, hvorfor jeg har valgt et casestudie til at belyse fænomenet. Et casestudie er en detaljeret empirisk undersøgelse af et enkeltstående fænomen, som leder til generering af en hypotese eller teori om dette (Flyvbjerg 2001). Denne metodetilgang er relevant, da der ønskes et overordnet billede af potentialet ved integration af en sukkertangsproduktion i relation til regeringens ambitioner om Grøn Vækst. I relation hertil forudsættes inddragelse af en række aktører, der opererer inden for afgrænsende områder, der hver især besidder en relevans i forhold til at opstille en bredt funderet gennemgang af emnet. Således repræsenterer casestudiet en nødvendig inklusion af aktører på forskellige niveauer, der altså fremstår som en forudsætning for generering af en hypotese vedrørende potentialet ved nyttiggørelse af havet som ressource.

Flyvbjerg (2001) argumenterer for at inddragelse af flere forskellige datakilder styrker casestudiets pålidelighed og muliggør generalisering af fund. Jeg har valgt at inddrage litterære værker, videnskabelige artikler, rapporter og undersøgelser. Desuden inddrages interviews samt uformelle samtaler med relevante informanter. Dette er medtaget for at søge at belyse feltet fra flest mulige perspektiver samt anvende de mest valide data. Denne alsidige tilgang har som påpeget været nødvendig, da specifik litteratur vedrørende problemstillingen ikke eksisterer. Anvendelse af et casestudie er i denne sammenhæng forbundet med subjektivitet, da valget af kilder og holdninger afspejler ens egen forforståelse af emnet. At der ikke findes megen specifik litteratur vedrørende problemstillingen, gør opgavens subjektivitet mere fremtrædende. I denne sammenhæng er

reliabilitet af anvendte kilder afgørende for, at specialets konklusioner kan anføres som valide. Reliabilitet og validitet diskuteres derfor løbende gennem kapitlet.

3.2 Litteratursøgning

I dataindsamlingens første fase har jeg indsamlet litteratur via videnskabelige biblioteks- og artikeldatabaser. Formålet hermed var en indledende ”afsøgning” af tilrådeværende litteratur til besvarelse af problemformuleringen. Denne søgning kan deles op i to dele herunder en søgning på centrale begreber i henhold til opgavens valgte analytiske ramme: Industrial Ecology and agriculture, systems boundaries, Material Flows Analysis og Life Cycle Analysis osv. Endvidere blev der indsamlet forskellige rapporter og dokumenter, hvor der blev søgt på centrale begreber som blå biomasse, sukkertang, Grøn Vækst og vandmiljøplaner. Miljøministeriet, Fødevareministeriet, Danmarks Miljøundersøgelser, Danmarks Tekniske Universitet og Det Jordbundsvidenskabelige Fakultet bør her nævnes som de mest centrale kilder.

Denne litteratursøgning resulterede i anvendelig faglitteratur og videnskabelige artikler, hvorfra det via gennemgang af centrale teksters referencelister har været muligt at finde yderligere relevant faglitteratur. Denne proces, af Bryman (2001) refereret til som kædesøging, er efterfølgende gentaget, hvorved det i størst muligt omfang er forsøgt sikret, at den anvendte faglitteratur repræsenterer et bredt udsnit af den relevante faglitteratur inden for området.

3.3 Indledende samtaler

Fra opgavens begyndelse har det været en prioritet at etablere kontakt til relevante forskningsmiljøer og virksomheder med det formål at teste relevansen af mine indledende ideer, herunder om der før er tænkt i samme baner, om der foreligger publicerede studier inden for emnevalget og om besvarelsen af opgavens problemformulering medvirker til at udfylde et ”videnshul” inden for feltet. Sideløbende med den indledende litteratursøgning har jeg derfor gennemført et semistruktureret interview med Post Doc. Susan Holdt fra Danmarks Tekniske Universitet (DTU)[23].

3.4 Inddragelse af casevirksomhed

Gennemgangen af faglitteraturen samt interviewet med Post Doc. Susan Holdt var med til at bekræfte, at en ukritisk anvendelse af faglitteraturens udbytteestimater nødvendigvis vil medføre en lav generaliserbarhed af opgavens resultater. En generel problemstilling inden for forskningsfeltet er således en meget begrænset adgang til dataserier, der baseres på kommercielle produktioner, hvorved faglitteraturen ofte baseres på ukritiske ekstrapoleringer af småskalaforsøg. Med denne præmis i baghovedet har det derfor tidligt i opgavens forløb været en prioritet at tilknytte relevante

[23] Det er valgt at vedlægge en beskrivelse af interviewguiden i form af bilag 3.

erhvervsvirksomheder, da opgavens problemstilling, der primært tager afsæt i landbrugets tab af næringsstoffer til det marine miljø, netop fordrer en optimering af udbyttedatas generaliserbarhed. Herforuden har det været et klart ønske at skabe koblinger til virksomheder, hvor ideer, der udfolder sig på teoretisk niveau, kan placeres i en samfundsmæssig relevant kontekst, så den blå biomasses potentielle værdi på forskellige aktørniveauer synliggøres.

Rasmus Bjerregaard blev derfor kontaktet, da han som medejer af Danmarks eneste kommercielle tangproduktion (Blue Food A/S), er at betragte som den mest pålidelige kilde til primærdata herhjemme. Med afsæt i mit opnåede vidensniveau gennemførte jeg herefter to semistrukturede interviews, hvor det er min opfattelse, at en kritisk bevidsthed om faglitteraturens fejl og mangler bidrog til en væsentlig forbedret evne, til kritisk at vurdere de af virksomheden opgivne udbyttedata[24]. Herforuden har det været vigtigt med en kritisk bevidsthed omkring informantens egen forforståelse af emnet. Herunder er det kvalitative forskningsinterview, som beskrevet af Christensen et al (2007), netop er velegnet, hvor forskningsformålet er at få forståelse for og viden om menneskers intentioner, oplevelser, motiver og handlinger. Ud fra en bevidsthed om informanternes subjektivitet har det derfor været afgørende at vurdere og så vidt muligt sandsynliggøre alle informationer bl.a. ved at tage afsæt i faglitteraturen, men også ved at sammenligne de forskellige informanternes oplysninger med det formål at identificere eventuelle divergerende informationer.

Interviewinformationer af mere teknisk karakter perspektiveres i opgaven til sekundærlitteraturen, da det er min opfattelse, at den mest troværdige fortolkningsramme skabes herved. Det er endvidere vurderet, at en kritisk inddragelse af virksomhedens produktionstekniske erfaringsgrundlag øger troværdigheden af de refererede udbyttedata, eftersom disse informationer er indsamlet via en kontinuerlig produktion[25]. Disse vil altså ikke kunne genfindes i sekundærlitteraturen (rapporter, videnskabelige artikler), hvor udbyttedata som omtalt baseres på kortere tidsserier. Denne problemstilling er i tråd med Flyberg (2004), der argumenterer for, at cases værdi som kilde til kvalitative data opstår, når generel viden udfordres i forhold til dets applikation inden for et praktisk kontekstafhængigt eksempel.

Foruden inddragelse af Blue Food blev der ved samme lejlighed etableret et samarbejde med virksomheden Danish Biofuel Holding Technology A/S[26] (DBH Technology). DBH Technology vurderes her at være særlig interessant, da virksomhedens produktionskoncept demonstrerer en høj grad af innovation, med nytænkning inden for forarbejdning af biomasse i en bioraffineringsproces. DBH Technology er derfor relevant, da en nyttiggørelse af sukkertangen med afsæt i et innovativt produktionskoncept har skabt muligheden for at tage udgangspunkt i et sandsynliggjort teknologisk

[24] Det er valgt at vedlægge en beskrivelse af interviewguiden i form af bilag 3, mens gengivelse af interviewoplysninger er fremlagt i afsnit 4.1.6. Pålideligheden og generaliserbarheden af Blue Food's udbyttedata behandles i et særskilt afsnit nedenfor samt løbende i relevante afsnit.

[25] Virksomheden har indgået i en helårlig produktion af tang gennem en 4-årig periode.

[26] DBH Technology er som udviklingsvirksomhed grundlægger af hveiti a/s, der ved produktionsopstart midt 2013 bliver Danmarks første storskala bio-raffinaderi.

scenarie. Dette som et forsøg på at skabe en kobling mellem værdiskabelsesprocessen på produktionsniveau (Blue Food) og et højere samfundsøkonomisk analyseniveau (Grøn Vækst målsætningerne).

3.5 Det kvalitative forskningsinterview

Det semistrukturerede forskningsinterview blev valgt, da jeg ønskede at opnå viden omkring et specifikt felt herunder primært produktion af sukkertang i danske farvande. Gennem denne vidensindsamling har det været en prioritet at give informanterne plads til selv at bidrage med overvejelser og tanker, som der ikke direkte blev spurgt ind til. Det har altså været en prioritet at gennemføre mere ”frie” interviews med fokus på de problemstillinger og overvejelser, som var relevante for informanten. Denne tilgang passer således med Tjørnhøj-Thomsen et al (2007), der netop pointerer, at uanset hvilken viden om et fænomen, man besidder på forhånd, er det nødvendigt at være ”potentielt uvidende” og dermed udforskende. En grundig forberedelsesproces har derfor været afgørende, hvor jeg udformede en interviewguide til informanterne med de spørgsmål, jeg personligt fandt relevante, men uden intention om at insistere på en spørgsmålsrækkefølge, der vil kunne forstyrre samtalens naturlige flow, hvorved relevante informationer risikerer at gå tabt.

3.6 Personlige korrespondancer

Ved besvarelse af problemformuleringens spørgsmål 1 er endvidere gennemført personlige korrespondancer med Susan Holdt (DTU) og Mads Birkeland fra Dansk Hydraulisk institut (DHI)[27]. Dette har været nødvendigt i det omfang, at den ønskede information ikke har været tilgængelig via offentlige rapporter samt i de tilfælde, hvor der har været tale om et mere uofficielt vurderingsspørgsmål. Formålet hermed har altså været at inkludere forskernes eget erfaringsgrundlag i de tilfælde, hvor sekundærlitteraturen ikke fremstår fuldt opdateret. Ulempen herved er imidlertid, at der ikke redegøres for de præcise spørgsmål, der er stillet under samtalen, eller de præcise svar, der er afgivet. Tilsvarende er der en risiko for, at svarene er præget af bias, da vedkommende, som påpeget af bl.a. Christensen et al (2007) og Andersen (1990), nødvendigvis tager udgangspunkt i sin egen erfaring, hvorved de givne oplysninger derfor til en vis grad repræsenterer vedkommendes egen forforståelse af emnet. Denne problematik opfattes dog ikke som et troværdighedsproblem, da informationerne kun i et mindre omfang indgår i opgaven (og ikke inden for en generaliserende kontekst), og eftersom at fortolkning af disse data foregår med reference til sekundærlitteraturen. Hermed mener jeg, at der kan argumenteres for at referere til disse personlige korrespondancer (i et passende omfang) alene i kraft af oplysningernes informationsværdi.

[27] For at synliggøre kilden er der lavet referencer til Susan Holdt og Mads Birkelands stillingsbeskrivelser (se bilag 2)

Foruden de afholdte semistrukturerede interviews og personlige korrespondancer har jeg haft en række mailkorrespondancer med blandt andre Anne Belinda Bjerre (Teknologisk Institut), Annette Bruhn (AU), Jørgen Windolf (DMU), Finn Pilgaard Vinter (Agri Science), Nuria Canibe (DJF), Svend Brandstrup (DBH Technology) og Senior konsulent Kaare Michelsen (Dansk Akvakultur). Formålet med disse samtaler har været at lette forståelsen af tekniske data omkring vandmiljøplaner, udredning af detaljer af akvakulturudvalgets anbefalinger, samt tekniske detaljer vedrørende DBH Technologys valg af procesteknologi. Der vurderes her ikke at være væsentlige problemer med troværdigheden, da disse korrespondancer har været afgrænset til teknisk betonede områder, hvorved opgavens overordnede emner ikke er diskuteret. Som eksempler kan nævnes korrespondance vedrørende tekniske begrundelser for anvendelse af forskellige retentionskoefficienter (se bilag 4).

3.7 Kritisk vurdering af Blue Foods udbyttedata

Troværdigheden og derved generaliserbarheden af udbyttedata anvendt ved besvarelse af problemformuleringens spørgsmål 1 indvirker uundgåeligt på troværdigheden af opgavens øvrige konklusioner. I relation hertil vurderes, at de udbyttedata fra Blue Food, der er baseret på vejning af høstet biomasse pr. meter over tid med stor sandsynlighed vil kunne gentages uden betydelige afvigelser.

Troværdigheden af udbyttedata fra Blue Food er søgt forstærket gennem triangulering (Andersen, 1990). Her er Blue Foods verificerede udbytterdata samt antagelser om produktionens fremtidige størrelse vurderet i forhold til et repræsentativt udvalg af dansk/internationalt refererede udbyttedata, hvorved de anvendte udbyttedatas generaliserbarhed bedre kan bedømmes.

Det vurderes i denne sammenhæng, at virksomhedens verificerede udbyttedata på nuværende tidspunkt bør betragtes som bedste bud på en gennemsnitlig produktion pr ha for danske farvande. Denne konklusion afspejler først og fremmest det nuværende produktionsniveau, hvor data fra en enkelt casevirksomhed er af betragtelig værdi, såfremt udbyttescenarier ønskes baseret på verificerede udbytter.

3.8 Personlig bias

Jeg benytter mig i opgaven af informationer fra virksomheden DBH Technology. Det bør i denne sammenhæng påpeges, at direktøren for firmaet er en nær slægtning, hvorved tilvejebringelse af informationer er foregået på en let og ubesværet måde. Imidlertid er det vigtigt, at være opmærksom på risikoen for, at der i en eller anden form introduceres en manglende objektivitet og bias ved bearbejdning af informationer. Denne mulige bias er forsøgt minimeret gennem kritisk refleksion over problematikken samt ved i videst mulig omfang at inddrage sekundærlitteratur ved bearbejdning af informationer fra virksomheden. Anvendelse af DBT Technology vurderes derfor ikke at kompromittere validiteten af opgavens konklusioner.

4 Analyse og diskussion

4.1 Potentiale for produktion af sukkertang i danske farvande

Problemformuleringens spørgsmål 1 lyder:

Hvilket potentiale rummer de danske saltvands og/eller brakvands farvande i forhold til produktion af sukkertang og hvordan kan dette potentiale bedst realiseres?

Besvarelse af problemformuleringens spørgsmål 1 betragtes som en forudsætning for at kunne besvare problemformuleringens spørgsmål 2, der som fremhævet i afsnit 4.4 forudsætter en systemøkologisk analyse mellem den land- og havbaserede produktion. I afsnittet redegøres kort for algers biologi og økologiske interaktioner. I den forbindelse begrundes valget af Saccharina latissima (sukkertang), og der redegøres for sukkertangens grundlæggende biologi, samt en række udfordringer relateret til produktion af sukkertang i danske farvande. I den forbindelse belyses det nuværende teknologistadie for dyrkningskonstruktioner efterfulgt af en kritisk diskussion af faglitteraturens udbyttedata. Som et bud, på hvordan det danske dyrkningspotentiale bedst realiseres, præsenteres sidst i afsnittet opgavens case virksomhed Blue Food A/S med henblik på opstilling af udbyttescenarier i danske farvande. Afslutningsvis holdes de fremlagte udbytteestimater op imod udbytterestimater for produktion af dansk foderhvede, hvorefter det diskuteres om sukkertangens udbytteestimater kan betegnes som signifikante.

Det skal indledningsvis pointeres, at der inden for den danske og internationale faglitteratur primært fokuseres på tilgængelighed af N ved estimering af produktionspotentialet (Birkeland, 2009) (Handå et al, 2009) (Reith et al, 2005). Dette fokus vil altså afspejles i nedenstående afsnit. Fokus på tilgængelighed af N inden for faglitteraturen kan begrundes ved, at N om sommeren betragtes som den primære begrænsende faktor for planteproduktionen (Waagepetersen 2008:30) (Regeringens akvakulturudvalg af 2009, 1 juli 2010). Nedenstående afsnits manglende omtale af P skal derfor udelukkende ses som et udtryk for faglitteraturens begrænsende omtale heraf. Der gennemføres i afsnit 4.3 en analyse af bæredygtighedsproblematikker forbundet med det traditionelle landbrugs P anvendelse. Ydermere vises i afsnit 4.5.2 og 4.6.2, at sukkertangens indhold af P potentielt har væsentlige implikationer for det traditionelle landbrug bæredygtighed, såfremt sukkertangens næringsstoffer recirkuleres ind i det traditionelle landbrug som værdifuld ressource.

4.1.1 Valg af sukkertang

Læren om alger betegnes fykologi. Ordet alger forbindes af mange med det opskyllede plantelignende materiale, man finder på de danske strande. Alger er dog meget forskellige organismer og lever både i fersk og saltvand, på og i jorden. I vandmiljøet finder man alger i såvel bundmiljøet (bentiske alger) og den øvre del af vandsøjlen (planktoniske alger). Artsrigdommen er

overvældende og der menes som minimum at findes 35.000 algearter, hvoraf ca. halvdelen lever i havet.

Alger oplagrer de samme typer stoffer som landplanter nemlig stivelse (og andre kulhydrater som fx laminaran og mannitol) og fedtsyrer (olie). Fordelingen af oplagringsstoffer varierer dog væsentligt mellem mikro- og makroalger, som er de to primærgrupper inden for fykologien. Både mikro- og makroalger anses for at indeholde store kommercielle muligheder, hvor både algernes energipotentiale og deres indhold af funktionelle stoffer[28] tiltrækker sig stigende opmærksomhed (Felby et al 2010:9-10).

Produktion af mikroalger til f.eks. energiproduktion med nuværende teknologi, forudsætter rådighed over betydelige landarealer. Som eksempel kræver en produktion af biodiesel til en værdi af 100 millioner $[29] i laveffektive raceways[30] hen ved 350 ha landjord (Felby et al 2010:69). På Lolland ønsker man at teste det såkaldte OMEGA-koncept (Off-shore Membrane Enclosure for Growing Algae) med dyrkning af mikroalger i havet. Ideen er at dyrke ferskvandsalger i det åbne hav ved hjælp af poser fremstillet af semipermeable membraner (http://wind-sea-algae.org). OMEGA produktionsmetoden er dog langt fra færdigudviklet og man må således forvente, at mikroalger i den nærmeste fremtid fortsat vil produceres i en investeringsmæssigt tung landbaseret produktion.

Da fokus for denne opgave er at identificere mulige synergier mellem land og hav, er det af høj prioritet at undersøge en algeafgrøde, der i dag anvendes i havbaserede dyrkningssystemer. Der er derfor valgt at fokuser på Saccharina Latissima[31] også kaldet sukkertang. Der er fra forsøg med dyrkning af sukkertang i Nordsøen observeret vækstrater i længden på 2 cm pr dag i den eksponentielle vækstfase og en vækst på 1,5-2 meter over en vækstsæson (februar til juli) (Buck et al, 2004). Da Nordsøen præges af stor bølge og vindenergi udviser sukkertangen hermed stor tolerance overfor fysisk stress[32], hvilket også er med til at begrunde valg af sukkertang frem for andre potentielt hurtigere voksende tangarter. Udover at sukkertang udviser høje vækstrater, er tangen valgt ud fra bl.a. tilgængeligheden af faglitteratur, samt ud fra den betragtning, at Blue Food A/S anvender sukkertang som primærafgrøde.

At en stor del af den tilgængelige faglitteratur herhjemme fokuserer på sukkertang er ikke kun en konsekvens af tangens vækstpotentiale, men også dens indholdsstoffer, hvor sukkertang, som navnet antyder, indeholder en stor mængde let tilgængelige kulhydrater, der bl.a. af DBH Technology på sigt tiltænkes anvendt i en produktion af bioethanol.

---

[28] Funktionelle stoffer referer til biomassens indhold af potentielt værdifulde stoffer eksempelvis vitaminer og mineraler.

[29] Med udgangspunkt i en relativ effektiv produktion under israelske klimatiske forhold.

[30] Produktion af mikroalger forgår enten i åbne raceways, hvor algedensiteten er mindre og kontamineringsrisikoen større, eller via fotobioreaktorer, som er lukkede systemer med mindre risiko for kontaminering og højere produktionensrater pga. kontrol af vækstparametre (Bruhn et al 2010:13).

[31] Det latinske navn er nyligt ændret fra *Lamininaria saccharina* til *Saccharina latissima*.

[32] Nordsøen karakteriseres ved stor bølgeenergi og stærk strøm.

4.1.2 Sukkertangens vækststrategi

Sukkertang har interkalær[33] vækst og samtidig med at et nyt blad vokser ud fra overgangen mellem stilken og bladet, hvor meristemet (vækstzonen) er placeret, vil toppen slides/eroderes. Dette er essentielt, da tangen dermed kan beholde sin form og danne vegetation gennem hele året. Ved at studere sukkertang i Skagerrak ses det, at væksten i visse tilfælde stopper helt i sommerperioden[34] (Moy, 2008:37-50), hvilket bekræftes af forskning i tangdyrkningssystemer ved Nordsøen (Buck et al:2004). Den lavere vækst i længden om sommeren hænger sammen med sukkertangs stratificerede strategi for næringsstofsoptag, nærringsstofslagring og vækstproduktion, der er styret af lyset (langdagsrespons).

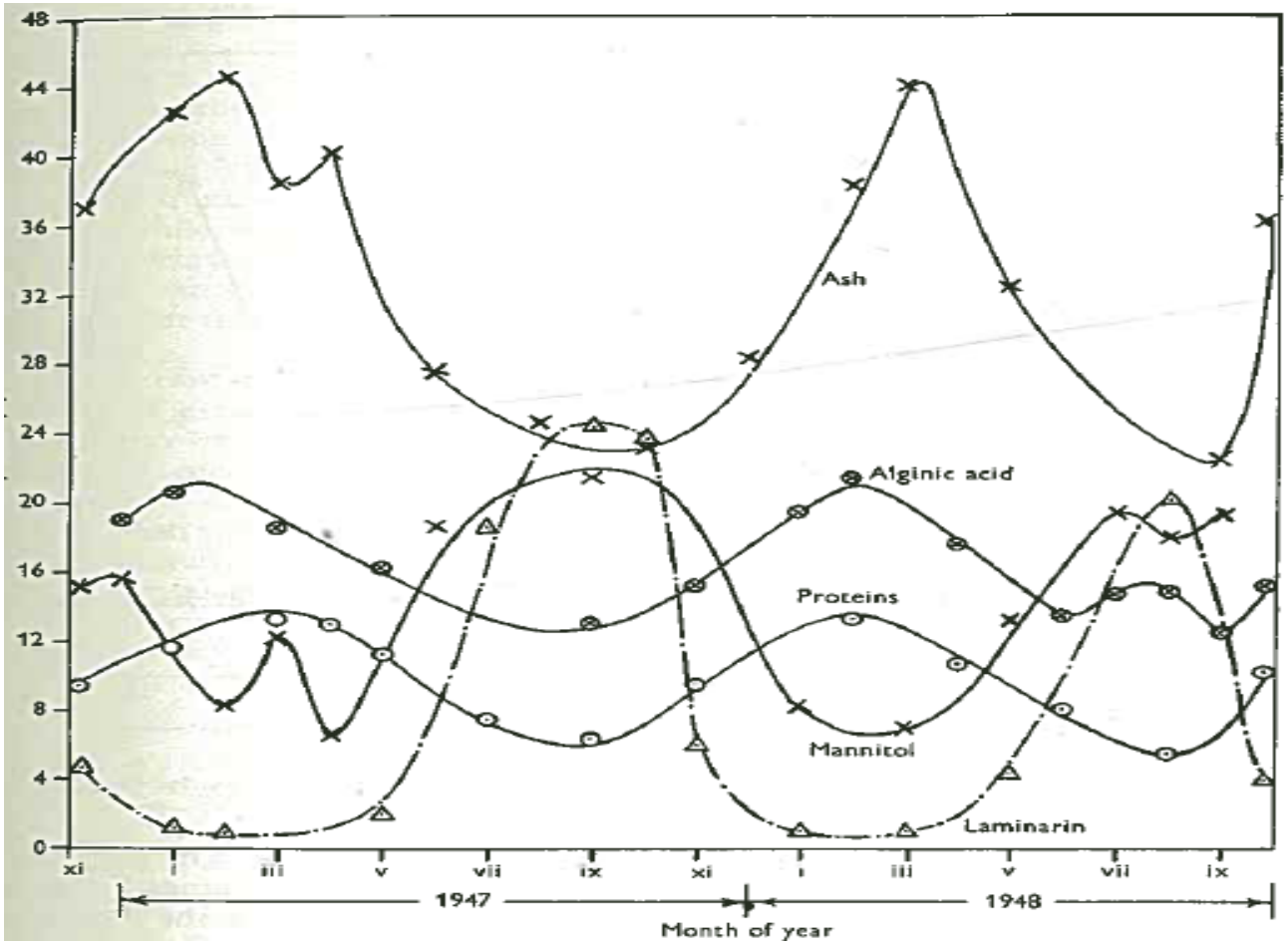
Sukkertangens sæsonbetonede vækststrategi er en konsekvens af små kortlevende mikroalger, der med deres ringe evne til at producere oplagsstoffer er afhængige af en kontinuerlig tilgang af næringsstoffer. Derfor har de i deres vækstperiode om sommeren udviklet hurtig respons på næringssalte i vandet og har en høj produktionsevne selv ved små næringsstofstilførelser, hvorved sukkertangen vil være næringsstofbegrænset. Mineralisering af mikroalger bevirker, at næringssaltskoncentrationerne er naturligt høje i vinterhalvåret og det tidlige forår, hvor sukkertang samler næring og udviser vækst i længden.

I faglitteraturen peges på at sukkertang kun i ringe grad vil kunne udnytte tilgængelige næringsstoffer om sommeren (væksthastigheden reduceres gennem foråret). Frem for vækst i længden investeres fotosynteseprodukterne i reproduktion samt til produktion af oplagsstofferne laminarin og mannitol, der af sukkertangen anvendes til igangsætning af tidlig vækst sen vinter/tidligt forår (Moy 2008:37-50). Sukkertang vil dog fortsætte med at opsamle og lagre NO_3- og $NH4^+$ selvom tangen stopper sin længdevækst. Det må dog betegnes som usikkert, om sukkertangen vil kunne ændre sin stratificerede vækststrategi ved tilstedeværelsen af store mængder næringsstoffer fra eksempelvis dambrug[35]. Her syntes faglitteraturen primært at tage udgangspunkt i tangens vækst gennem de naturlige sæsonbetonede næringsstofkoncentrationer som anvist af Black (1950:60-68).

[33] Vækstcentret sidder i basis af bladet efter stilken.
[34] Reduceres i maj/juni med minimumvækst/eller ingen vækst i august.
[35] I henhold til personlig korrespondance med Susan Løvstad Holdt.

I figuren nedenfor ses, hvordan sukkertangens biokemiske indhold af protein, laminarin, mannitol[36], alginat[37] og aske (mineraler) varierer over året:

Figur 11: Andelen af sukkertangs biokemiske komponenter over årets 12 måneder (angivet som procentpoint af tørstof af hele sukkertangens biomasse) (Black 1950:67).



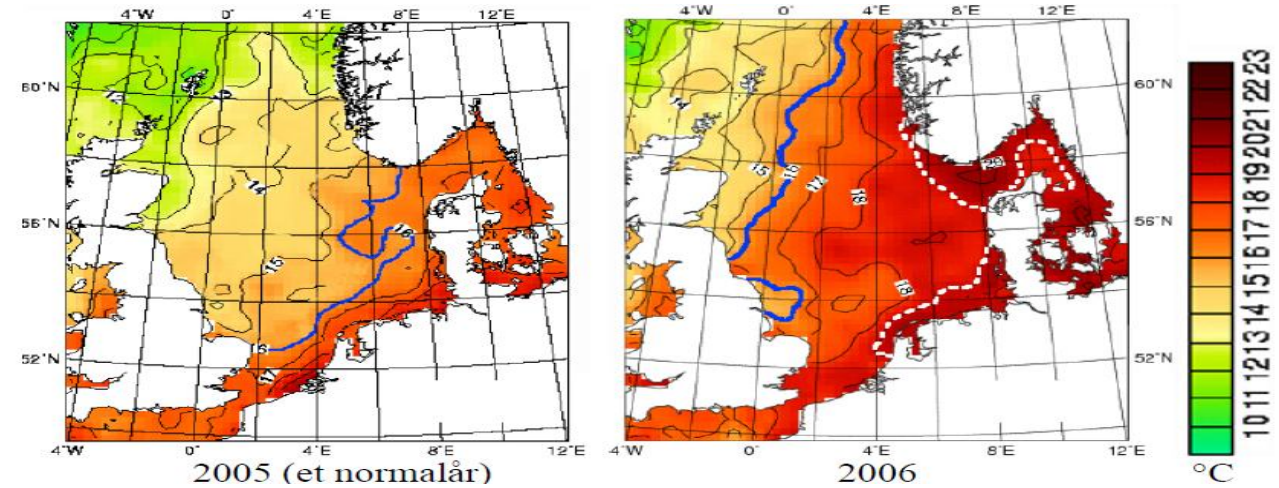
Figur 10 indikerer altså en udtalt årstidsvariation i sukkertangens biokemiske komponenter med optima af kulhydraterne mannitol og laminarin (oplagringsstoffer) sensommer/tidligt efterår, mens andelen af alginat og protein topper over vinteren. Som angivet vil biomassetilvæksten fra omkring marts til september altså primært udgøres af oplagringsstoffer, hvilket altså ses via en reduceret koncentration af alginat og protein. Aske refererer til sukkertangens mineraler og sporstoffer, hvor de primære komponenter af Holdt (2011:48) angives som iod, calsium, fosfor, magnesium, jern, natrium, kalium, og chlor. Mineralindholdet i tang er generelt mange gange højere end i landafgrøder eksemplificeret ved et mineralindhold for majs på 2,6 %, mens spinat som den mest mineralholdige landafgrøde ligger på 20 % (Holdt 2011:49).

[36] Sukkertangen oplagrer mannitol og laminarin over forårs og sommerperioden. Kulhydrater anvendes i tangen til at igangsætte en tidlig vækst i vinterperioden.
[37] Alginater er salte af alginsyre, f.eks. kalciumalginat.

4.1.3 Abiotiske faktorer

Sukkertang har som koldvandsart en vid geografisk udbredelse på den nordlige halvkugle, hvor grænsen for dens sydligste udbredelse i Europa forekommer ved Portugals kyster ved sommerisotermer på ca. 19 ^{0}C (i overfladevand) i august måned. Høje overfladetemperaturer forekommer dog ikke kun i det sydlige Europa og tangens naturlige populationer i farvandene omkring Danmark reguleres også til en vis grad via temperatursvingninger i overfladevandet, se figur 12.

Figur 12: Gennemsnitlig havoverfladetemperatur i august måned 2005 (normal sommer) og i august 2006 (varm sommer). Den hvide stiplede linje til højre er isotermen, der viser grænsen for overfladetemperaturen <eller> 19 ^{0}C (den traditionelle udbredelse for sukkertang). Den blå linie er isotermen, der markerer skillelinjen mellem temperaturen <eller> 16 ^{0}C (traditionel udbredelse af vingetang - *Alaria esculenta)* (Moy 2008:63)



Tilgang af suspenderede partikler i form af uorganisk/organisk materiale fra bl.a. å-udløb kan påvirke den vertikale lystilstrømning, hvor partiklerne reflekterer solens stråler og giver næring til mikroalger, der ligeledes hæmmer lys i dybden (Moy 2008:37-50). Endvidere kan den vertikale lysgennemstrømning påvirkes af kraftige vindstyrker i områder med ringe dybde, hvor bundsedimenter kan opslynges og ligeledes bortreflektere solens stråler.

For at undgå negativ indvirkning på tangens vækst vil det ifølge Buck et al (2004) være nødvendigt med en minimumdybde på 5-8 m for dyrkningslokaliteter. Hertil bør tilføjes, at optimale dybdeforhold nødvendigvis vil være en funktion af de forventede strøm- og vindforhold og vil derfor kunne variere mellem valgte dyrkningslokaliteter. Buck et al (2004) konkluderer på baggrund af dyrkningsforsøg fra Nordsøen at:

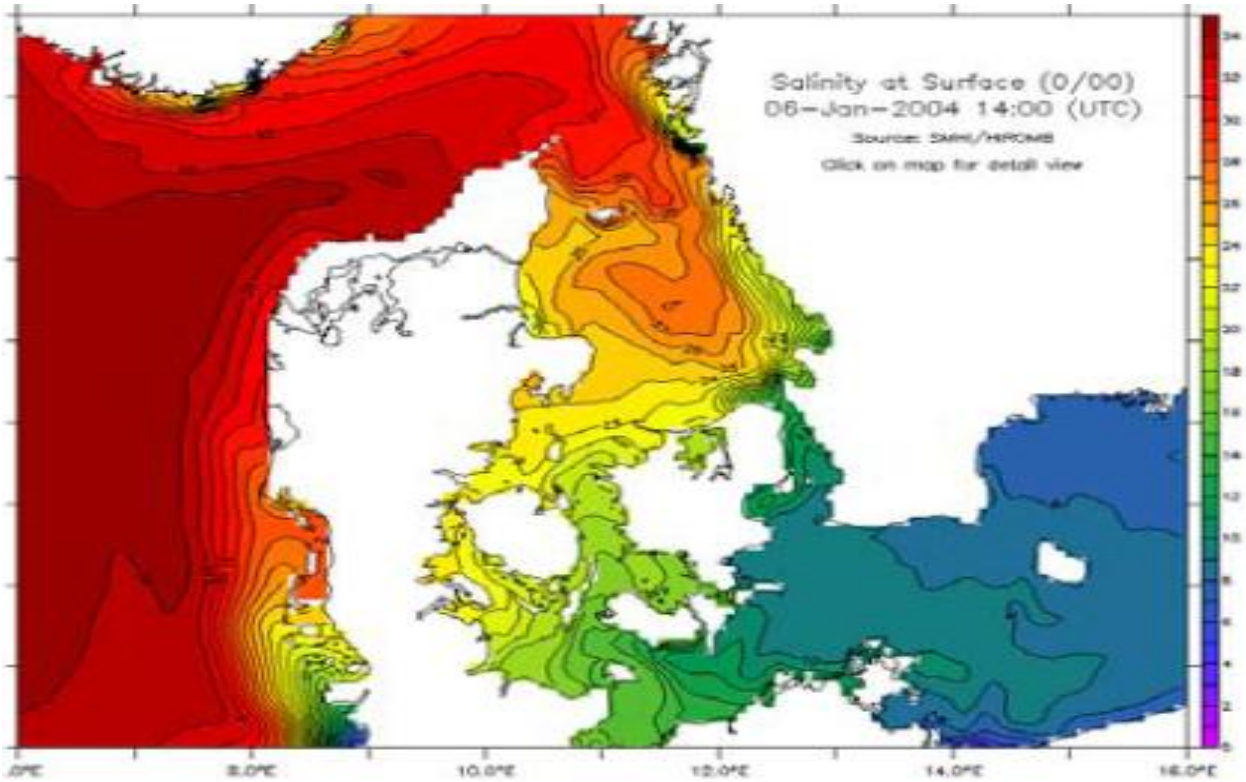
"Consentrations of dissolved O_2 and CO_2 and a good transparency of the water column stimulate algal growth. High current velocities provide sufficient nutrient supply, prevent fouling but do not impair plant performance." (Buck 2004:367)

Ovenstående bekræftes af Felby et al (2010:40-43), der netop fremhæver, at fotosynteseraten i høj grad vil bestemmes af vandbevægelserne, der sørger for tilgængeligheden af CO_2 og næringsstoffer

til tangens celler. Hertil påpeges, at der kan observeres forbedringer af fotosynteseraten på op til fire gange, hvis udplantningen af tang er foretaget i områder med tilstrækkelige strømforhold.

Som angivet via figur 13 er salinitetsniveauet i Nordsøen relativt højt sammenlignet med de danske indre farvande. Netop salinitetsniveauet er en helt væsentlig faktor for sukkertangens trivsel og de bedste vækstforhold indtræffer ved høje salinitetsniveauer på 30-35 ‰ (Handå 2009:19)[38] . Dette gør sig også gældende for andre tangarter og der registreres et fald i både artssammensætning og udbredelse af de individuelle arter fra vest mod øst i de danske farvande[39], hvor saltholdigheden omkring Bornholm er faldet til ca. 8 psu (Felby et al 2010:21-22).

Figur 13: Figuren angiver saltholdigheden i de danske farvande. Der ses tydeligt hvordan saltgradienten falder mod øst, hvor de saltholdige vandmasser fra Nordsøen møder de relativt ferske vande fra Østersøen (Felby, april 2010, side 22).



4.1.4 Biotiske faktorer

Udover at sørge for tilstrømning af næringsstoffer indvirker strøm og bølgeenergi ved at skabe friktion på tangplantens overflade og hjælper dermed med at holde overfladen ren for begroning af hydroider og kiselager samt forskellige trådformede brunalger. Overbegroning af tangliner kan have alvorlige indvirkninger på sukkertangens vækst og i værste fald udkonkurrere tangen som

[38] Salinitet måles I Practical salinity unit (PSU) = ‰

[39] Den lavere saltholdighed kan medføre osmotisk stress, idet balancen mellem salte i og uden for tangens celler bliver for markant.

konsekvens af en reduceret lys- og næringsstoftilførsel. Nedenfor er angivet billeder fra forsøg med dyrkning af sukkertang ved Limfjorden, hvor tangen tydeligt er udkonkurreret og må stoppe sin vækst (Wegeberg 2010).

Dyrkningsline til venstre med vækst af unge sukkertang. Til højre ses dyrkningslinen, der nu er kraftigt overbegroet og ikke vil kunne fortsætte sin vækst (Wegeberg 2010:8)

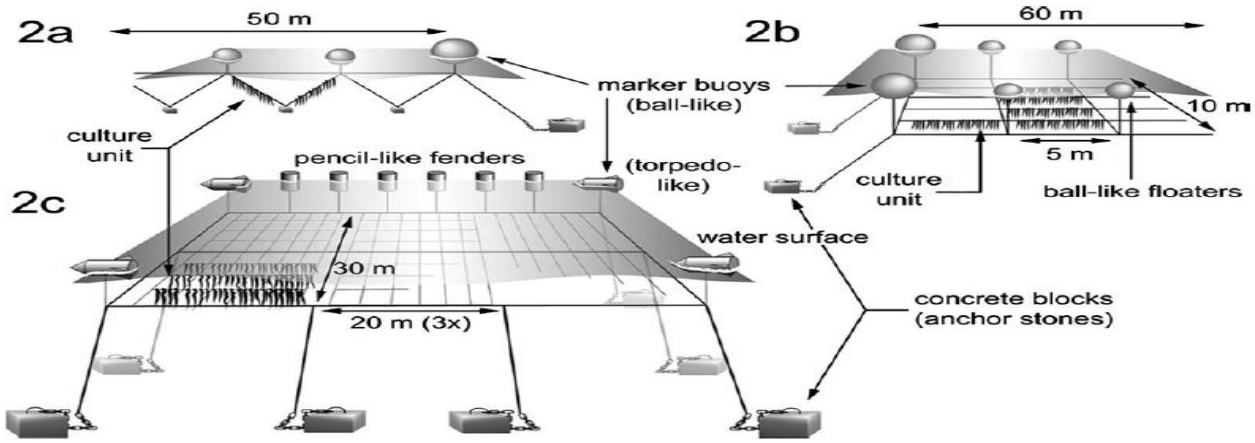
Det konkluderes da også fra Limfjordsforsøget, at lokaliteter, der i teorien udgør områder med potentiale for optimal vækst, skal efterprøves i praksis:

"*The problems experienced in this cultivation project underscores, that a substantial amount of research and development work is needed for commercial sea-based large-scale cultivation of macroalgae.*" (Wegeberg 2010:10)

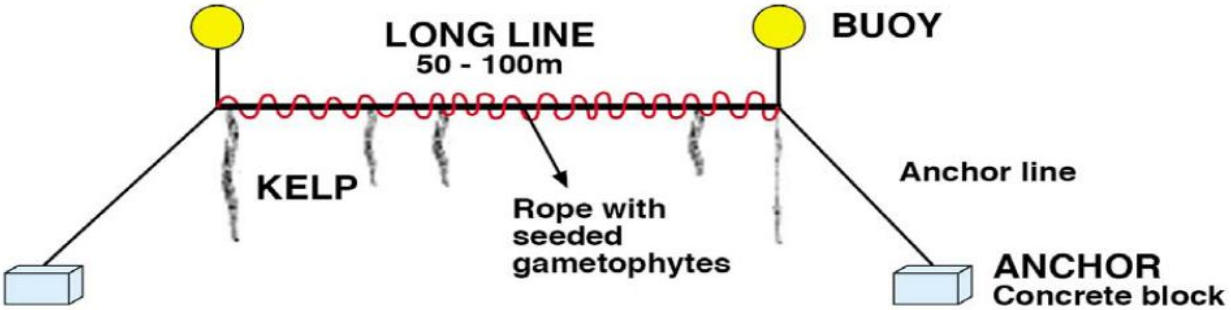
Hertil påpeger Buck et al (2004) igen vigtigheden af høj strømføring, der vil forebygge overbegroning og derved altså ligeledes sikre en kontinuerlig tilgang af næringsstoffer. Det er dog vigtigt at nævne, at Bucks dyrkningsresultater fra Nordsøen ikke inkluderer resultater fra alle udsatte dyrkningskonstruktioner, hvor bl.a. hårde vejrforhold forvoldte skade på konstruktionerne, der i sidste ende måtte opgives (Buck 2004). Herfra kan konkluderes, at mens sukkertangens vækstbetingelser er nær optimale i Nordsøen, så har tilrådeværende dyrkningskonstruktioner endnu ikke nået et teknologisk stadie, hvor implementering af storskala produktionssystemer kan realiseres uden betydelig risiko i havområder præget af stor vind- og strømenergi. Denne konklusion er i tråd med anbefalinger fra Blue Revolution projektet (2010), hvis formål netop er en videreudvikling af bl.a. dyrkningskonstruktioner til brug i Nordsøen.

Figur 14 og 15 illustrerer principperne bag nuværende dyrkningskonstruktioner, der altså vil kunne variere væsentligt i udformning og derved også driftsstabilitet. Som påpeget i afsnit 4.2.1 anvender Blue Food en konstruktionstype, der repræsenterer en opgradering af principperne bag konstruktionen angivet via figur 15.

Figur 14: Designsystemer for dyrkning af Laminaria (2a) Langlinekonstruktion med vækst af tang i vinkel mod bunden (2b) Stigekonstruktion, hvor tangen vokser mellem "trinene" (2c). Tangvækst i rektangulær skeletkonstruktion (Buck et al 2004).



Figur 15: Den røde markering symboliserer befrugtet rebline viklet om hovedlinen, der holdes nede af to betonklodser (der henvises fra anden litteratur til figuren i Felby et al, 2010:46).



På trods af at Buck et al (2004) ikke havde succes med indhentning af data fra alle dyrkningskonstruktionstyper, er konklusionerne dog stadig af væsentlig værdi, da de samme vejledende principper for identifikation af optimale dyrkningslokaliteter vil gøre sig gældende i de indre danske farvande. Nedenfor gengives faglitteraturens udbyttedata, mens ovenstående beskrivelse af optimale dyrkningsforhold og teknologiniveau skal danne grundlag for en diskussion og problematisering af litteraturens ofte meget høje udbytteestimater.

4.2 Præsentation samt diskussion af udbyttedata

I faglitteraturen angives meget forskellige estimater for produktion per hektar for store brunalger. Dette gør sig også gældende for sukkertang, hvilket nødvendiggør en diskussion om mulige årsager til udbyttevariationer. I figur 16 er angivet et udsnit af udbyttedata fra faglitteraturen:

Figur 16: I figuren er specifikt refereret udbyttedata gældende for sukkertang. Metoden, hvorpå udbyttedata er udregnet, er angivet nedenfor tabellen.

Art	Vækstperiode (mdr)	Land/område	Ton tørvægt pr ha pr år	Kilde
S. latissima	6	Indre farvande (DK)	21	Felby et al (2010)**B**
S. latissima	5	Nordsøen (Helgoland)	22	Felby et al (2010)**A**
S. latissima	5	Nordsøen (Helgoland)	60-70	Felby et al (2010)**A**
S. latissima	ikke navngivet	Nordsøen(Holland)	20-50	Reith et al (2005)**E**
S. latissima	ikke navngivet	Irland	20	Bruton et al (2009)**C**
S. latissima	4,5	Norge (Nordkysten)	14-20	Hånda (2009)*****
Tangskov	Årlig	Norge	60	Hånda (2009)**D**

* Refereret til som upubliceret.
A: Produktion er ekstrapoleret på baggrund af data fra dyrkningsforsøg.
B: Udbyttedata er ekstrapoleret på baggrund af eksperimentel dyrkning i nærheden af et havørredhavbrug. Data fra eksperimentel dyrkning blev anvendt til kalibrering af en matematisk model for udbytte pr ha.
C: Estimatet for produktion er estimeret på baggrund af andre datakilder.
D: De 60 ton tørvægt er omregnet fra 400 ton vådvægt, med et antaget tørstofindhold på 15 %. De 400 ton vådvægt repræsenterer et estimatet af en vildt voksende årlig produktion pr ha langs Norges kyst.
E: Estimatet for produktion er estimeret på baggrund af andre datakilder. Ved estimering af udbytte pr ha kalkuleres med muligheden en teoretisk mulighed for at dyrke rød-/brun-/grønalger på forskellige dybder men på samme areal.

Bruton et al (2009) påpeger, at antagelser omkring lokalt produktionspotentiale gjort på baggrund af referencer i faglitteraturen medfører væsentlige udfordringer, da de forskellige udbyttedata som refereret i foregående afsnit netop vil være en funktion af strøm og vandkemiske forhold specifikke for lokaliteten. Hertil skal tilføjes, at hovedparten af faglitteraturens udbyttedata baseres på

ekstrapoleringer på baggrund af data fra eksperimentelle plots eller ved dyrkning af sukkertang over korte tidsserier, hvorved tangplantens naturlige vækstcyklus set over hele året ikke inkluderes.

Ligeledes baseres hovedparten af udbytteestimater på antagelser om en maksimal udnyttelse af arealet, hvorved der sjældent tages forbehold for dyrkningskonstruktioners tidlige udviklingsstadie. Reith et al (2005) kan nævnes som eksempel, hvor der angivnes et udbytte på 50 ton tørvægt pr ha pr år. Udbytteestimaterne er her baseret på en teoretisk dyrkningsmodel, hvor der dyrkes flere tangarter i 3 forskellige dybder inden for samme areal (Reith et al 2005:2-4). Hertil er produktionen tiltænkt etableret i synergi med offshore vindmølleparker i Nordsøen, hvorved der altså ikke tages hensyn til de betydelige vejrbetingede udfordringer påpeget af Buck et al (2004).

Referencer til udbytter baseret på teoretiske estimeringer fra naturlige populationer er også problematiske. Herunder fordi vilde populationer af flerårige tangpopulationer modsat unge individer af sukkertang udsat på dyrkningslinen vil have en stor biomasse fra starten af vækstsæsonen og derfor kunne udnytte en procentmæssig større del af indstråling til fotosyntese (Birkeland 2009:30).

Anvendelse af faglitteraturens estimerede udbyttedata er altså særdeles problematisk. Ønskes på sigt at fremme en dansk produktion af sukkertang, vil det derfor være nødvendigt at følge samme retningsliner som påpeget af Bruton et al (2009:36) og basere estimater om forventet udbytte på forsøg med lavteknologiske dyrkningskonstruktioner specifikt for danske farvande:

”*It is clear that the only reliable data that could be used for estimating the Irish resource and developing a business model in Ireland would be the results of grow-out trials of relevant species under low cost conditions here*” (Bruton et al 2009:36).

En tilsvarende kritisk tilgang til refererede udbyttedata fra danske farvande er dog nødvendig, da der vil være en stor variation i vandkemiske forhold i indre danske farvande bl.a. anvist via figur 13.. Her kan Birkeland (2009), der har gennemført dyrkningsforsøg med sukkertang mellem Fyn og Sjælland, anvendes som eksempel. Grundet områdets relativt lave saltholdighed er vandsøjlen karakteriseret ved udpræget vertikal opdeling i forår og sommer, hvor epilimnion[40] er fattig på nitrogen, mens metalimnion og hypolimnioner[41] karakteriseres ved relativ lav temperatur, høj saltholdighed og næringsstofkoncentration. Den vertikale lagdeling er mest udpræget i perioden april – september, hvorved næringsstofkoncentrationen (>1 µmol NO_3- og NH_4) og den lave saltholdighed vil begrænse den unge sukkertangs vækst, da denne i sin første vækstfase vil have et væsentligt behov for optimale vækstvilkår (Birkeland 2009:7).

Birkeland kunne dog påvise en relativ høj biomasse tilvækst på en del af de udsatte dyrkningsliner grundet en placering neden strøms et stort havbrug, hvorved næringsstofkoncentrationen inden for

[40] Her defineret fra overfladeniveau og ≈ 5 m ned

[41] Epilimnion, metalimnion og hypolimnion refererer til en termisk vertikal lagdeling af vandsøjlen, hvor epilimnion udgør det øverste lag, metalimnion det mellemste og hypolimnion det nederste.

epilimnion var kunstig høj. På baggrund af ekstrapolering af Birkeland's data fra dyrkningsliner lokaliseret tæt ved havbruget har Felby et al (2010:72-73) udregnet anslået udbyttepotentiale for indre danske farvande til 21 ton tørvægt pr ha. Dette estimat er problematisk, da det implicit forudsætter etablering af havbrug i umiddelbar nærhed til sukkertangsproduktionen, men også da Felby et al ikke inkluderer overvejelser omkring tilrådeværende dyrkningsteknologi og en deraf ikke optimal arealanvendelse.

Ovenstående demonstrerer vigtigheden af kritisk at vurdere faglitteraturens udbyttedata, der ofte karakteriseres af usikre antagelser og forskellige bias ved ekstrapoleringer. Ved estimering af det danske produktionspotentiale vurderes derfor hensigtsmæssigt at tage udgangspunkt i den eneste danske produktion af sukkertang. Hertil skal pointeres, at Blue Foods udbyttedata refererer til gennemsnitsudbytter for kommerciel produktion over 4 år og inkluderer både sommer/vinter produktionscyklus. Det skal dog nævnes at valg af produktionslokalitet altid vil influere på udbytte pr ha og det bør tilsvarende understreges, at de angivne estimater kun kan opfattes som vejledende.

Hertil bør bemærkes, at Blue Food A/S produktionsudbytter ligger væsentligt under de refererede udbytter i faglitteraturen. Herved bekræftes vigtigheden af den rette produktionslokalitet, men også den store usikkerhed vedrørende faglitteraturens udbyttedata, som på nuværende tidspunkt danner grundlag for antagelser om produktionsudbyttet.

4.2.1 Blue Food A/S

Blue Food A/S drives af Rasmus Bjerregaard[42] og Lars Holtegård og har primært fokus på opdræt af muslinger og sukkertang. Fokus vil her være på sukkertangsproduktionen, der bl.a. er lokaliseret ved Knebel Vig. Virksomhedens valg af Knebel Vig som produktionslokalisation hænger sammen med lokalitetens beskyttelse fra stor bølge og vindenergi, hvilket reducerer skader på dyrkningskonstruktioner og gør det muligt at betjene dyrkningsliner med mindre fartøjer. Saltholdigheden i vigen ligger på en middelværdi i forhold til de øvrige indre farvande (24-28 ‰), men udsættes ikke for store fluktuationer forårsaget af ferskvandstilstrømning fra bælterne.

Billedet viser Knebel Vig markeret med rød pil, mens Århus ses til venstre i billedet (Kilde: Google Earth)

[42] efter interview af Rasmus Bjerregaard d. 15-12-2010.

Blue Food A/S har tilladelse til dyrkning af 3 plots a 20 ha i vigen, men anvender kun 1 plot, hvorved 40 ha ligger brak. Anvendte dyrkningskonstruktioner følger principperne for longline-konstruktionen (figur 15), men dog med væsentlige modifikationer. For hver ha er placeret 4 langliner på 250 m i en aflang formation med en afstand af 10 m på tværs og 50 m på langs. Frem for betonklodser er konstruktionerne fastgjort til havbunden med et skrueanker og for hver 1,5 m langlinerne er der påsat en 5 m lang og 8 mm tyk dyrkningsline, der hænger vertikalt mod bunden med et vægtlod i enden. Ved at påsætte dyrkningsliner på selve langlinen opnås 833 m dyrkningsline pr 250 m langline svarende til ca. 3333 m pr ha.

Grundet begrænset produktionskapacitet/opbevaringsplads udsættes dyrkningslinerne over perioden september – februar. Blue Food producerer i dag sukkertang ligeligt fordelt mellem to produktionscyklusser:

1. Dyrkningsliner udsat september – november vil ved høst næstkommende marts have en biomasse på 5 kg vådvægt pr m (**scenarie 1**).
2. Dyrkningsliner udsat i perioden december-februar vil ved oversomring og høst næstkommende forår (marts) have en vægt på 12 kg vådvægt pr m (**scenarie 2**).

Oversomring refererer til, at sukkertangen forbliver i havet sommeren over. Ved oversomring skal sukkertangen betragtes som en flerårig afgrøde. Eftersom at udsætning af dyrkningsliner tidligst kan foregå pr september er udbyttet for oversomring af sukkertang reelt at betragte som arealudbytte for en periode af to fulde år.

Indtil nu har Blue Food udelukkende produceret sukkertang til fødevareformål og høsttidspunktet omkring marts måned er strategisk valgt, da tangens blade endnu er rene og fri for overbegroning af fremmede organismer. Efter høst tørres tangen med henblik på løbende salg til det udenlandske konsummarked.

Oversomring foretrækkes dog med henblik på maksimering af udbytte, hvor biomassetilvæksten er ca. 16,7 % højere pr ha pr år for produktionscyklus 2. Oversomring har desuden den fordel, at mængden af arbejdstimer reduceres pr vægtenhed høstet biomasse. Det er derfor udelukkende af økonomiske hensyn, at sukkertangen høstes efter 5-7 måneders vækst[43].

Blue Food A/S har ikke høstet sukkertang til kommercielle formål senere end marts – april. Rasmus Bjerregaard påpeger dog, at foreløbige erfaringer med tidligt udsatte dyrkningsliner (september-november) ved oversomring og høst næstkommende tidlige forår (marts) kan forventes at have en biomasse på ≈ 13 kilo vådvægt pr m **(scenarie 3)**. Tilsvarende indikerer nuværende erfaringer en yderligere vægtstigning på ca. 35 % pr m til 17,55 kg ved oversomring og høst i august måned **(scenarie 4)**.

[43] Høst uden oversomring foregår udelukkende med henblik på at dække produktionens løbende udgifter.

Blue Food A/S har i 2010 gennemført en væsentlig kapacitetsudvidelse og forventer i 2012 at kunne producere op til 500 km dyrkningsline klar til udsætning anno september samme år. De nye faciliteter muliggør en udvidelse af nuværende dyrket areal og Rasmus Bjerregaard påpeger, at strategien på sigt er en væsentlig udvidelse af produktionen.

4.2.2 Optimering af Blue Foods produktionssystem

Tidligere beskrevne problemer med overbegroning af substrat overkommes af Blue Food ved at sikre en høj densitet af sporofytter på den relativt tynde 8 mm dyrkningsline, med den effekt at sukkertangen optager pladsen på substratet fra et tidligt stadie. Stor bølge- og strømenergi er derfor ikke i samme grad påkrævet for at holde substratet fri af overbegroning, hvilket bekræftes af produktionens placering i en afskærmet vig. Der er således sandsynlighed for, at Limfjordsforsøgene ville have givet bedre resultater, hvis dyrkningslinen ikke var påført direkte til langlinen med krav til den juvenile sukkertang om at dække et langt større substrat over en kortere periode. Fordelene ved identificering af optimal sporedensitet bekræftes også af Felby et al (2010:55)

På billedet Rasmus Bjerregaard, der viser sukkertangseksemplar fra dyrkning (fotograf Susan Holt). Kilde: (Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri. Maj 2010:6)

Ovenstående demonstrerer vigtigheden af valg af dyrkningskonstruktion, der er stærkt indvirkende på muligt max udbytte pr ha. Eftersom at hver lokalitet har specifikke karakteristika, skal dyrkningskonstruktioner vælges ud fra hensyn til både vækstparametre, vejrmæssige og logistiske hensyn, der alle indvirker på investeringens størrelse og rentabilitet. Fra faglitteraturen ses, at dyrkningskonstruktioner og valg af materialer i høj grad bygger på de involverede forskeres individuelle erfaringer, der omvendt reflekterer det tidlige stadie, som tangdyrkning i Europa fortsat befinder sig på. Det er derfor forventeligt, at yderligere forskning samt øget tilgang af investeringer inden for sektoren vil forbedre udbytte pr ha og dermed også konstruktionernes rentabilitet.

Som fremhævet af Felby et al (2010:54) har tang modsat landafgrøder kun i mindre omfang fundet anvendelse i storskaladrift og har derfor i ringe grad gennemgået en forædlingsproces. Blue Foods langsigtede strategi om udvidelse af produktionen forudsætter ifølge Rasmus Bjerregaard anvendelse af nye og mere produktive arealer end Knebel vig, da det vurderes, at N i vigen vil blive en begrænsende faktor ved storskala produktion.

Blue Food A/S forventer med nye produktionslokaliteter, løbende avlsarbejde samt selektion af nye produktionsområder at kunne fordoble udbytte pr ha for martshøst **(scenarie 5)** og en august **(scenarie 6)** inden for de næste 5-10 år. Det bør dog fremhæves, at sådanne forventede udbyttedata beror på antagelser, der ikke vil kunne bekræftes. Det vil derfor være nødvendigt med væsentlige forbehold ved anvendelse af scenarie 5 og 6 i en generaliserende kontekst.

4.2.3 Opstilling af udbyttescenarier

Tabel 1: Tabel 1: Udbyttescenarier angivet efter nummereringen 1 - 6. Tørvægtestimaterne er udregnet ud fra, at 1 ton vådvægt = 180 kilo tørvægt (18 %). Stjernen (*) henviser til scenarier, hvor sukkertangen oversomrer, mens scenarierne 1 og 2 er markeret med fed skrift og repræsenterer de eneste 2 kommercielt opnåede udbyttescenarier. Udbyttet pr år angives i parentes, mens estimater uden for parentes altså er udtryk for en 2-årig produktionscyklus, såfremt afgrøden oversomrer.

Udbytte scenarier	Udsæt af dyrkningsliner	Vækst-periode i mdr.	Høst	Udbytte pr m line i kg vådvægt (pr år)	Udbytte pr langline i ton vådvægt (pr år)	Udbytte pr hektar i ton vådvægt (pr år)	Udbytte pr hektar i ton tørvægt (pr år)
Scenarie 1	**September – november**	**5-7**	**Marts**	**5**	**4,2**	**16,7**	**3,0**
Scenarie 2	**December – februar**	**14-16***	**Marts**	**12 (6,0)**	**10,0 (5,0)**	**40,0 (20,0)**	**7,2 (3,6)**
Scenarie 3	September – november	17-19*	Marts	13 (6,50)	10,83 (5,41)	43,32 (21,66)	7,80 (3,90)
Scenarie 4	September – november	22-24*	August	17,55 (8,78)	14,62 (7,31)	58,48 (29,24)	10,53 (5,26)
Scenarie 5	September - november	17-19*	Marts	26 (13)	21,66 (10,82)	86,64 (43,32)	15,60 (7,80)
Scenarie 6	September - november	21-23*	August	35,1 (17,55)	29,24 (14,62)	116,96 (58,48)	21,05 (10,53)

Bruhn et al (2010:17) har udarbejdet to scenarier for produktion af sukkertang i de danske farvande. Her anvendes to estimater 1) lavt produktionsniveau = 10 ton tørvægt pr ha pr år og 2) højt produktionsniveau = 50 tons tørvægt pr ha pr år. Scenarierne tager udgangspunkt i estimater fra Reith et al (2005), der som påpeget baserer sine udbyttedata på en teoretisk produktion i Nordsøen, hvor udvikling og test af dyrkningskonstruktioner endnu er i sin indledende fase.

På trods af et væsentligt lavere udbytte pr ha pr år kan der argumenteres for, at Blue Foods udbyttescenarier 1- 4 har en højere generaliserbahed end udbyttescenarier opstillet af eksempelvis Bruhn et al (2010). Dette fordi produktionen ikke baseres på ekstrapoleringer og tager

udgangspunkt i den nuværende dyrkningsteknologi. Virksomheden drives derforuden kommercielt og tager derfor udgangspunkt i produktionens rentabilitet, som netop af Bruton et al (2009:36) fremhæves som en forudsætning for en estimering af potentiel sukkertangsproduktion. Blue Food fremstår altså på nuværende tidspunkt som bedste eksempel på en realisering af potentialet for kommerciel produktion i indre danske farvande.

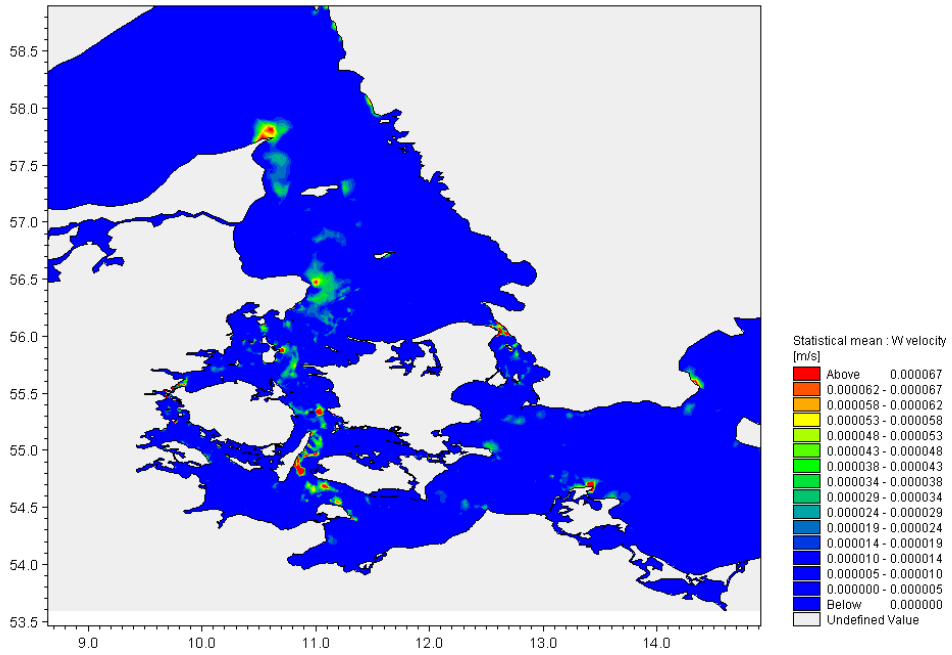
I henhold til tabel 1 anvendes udbyttescenarie 3 og 4 som de primære scenarier i den videre besvarelse af problemformuleringens spørgsmål 2, mens udbyttescenarium 1 ikke fremover vil blive inddraget. Valget af udbyttescenarier 3 og 4 er foretaget, da hektarudbyttet som beskrevet øges ved at lade sukkertangen oversomre. En udbyttestigning på 35 % for udbyttescenarium 4 synes endvidere sandsynliggjort med udgangspunkt i data fremlagt af Black (1950), hvor figur 11 viser en stigning på 31 procentpoint af laminarin og mannitol i perioden marts-august. For at sikre en høj pålidelighed og generaliserbarhed vil scenarierne 5 og 6 udelukkende blive inddraget som et forsøg på at afgive et begrundet bud på produktionens udvikling over tid.

Det er dog vigtigt at være bevidst omkring danske farvandes vandkemiske karakteristika, bl.a. eksemplificeret via figur 13, der derfor omtales løbende gennem den resterende analyse. Det synes dog allerede nu muligt at komme med bud på bedst egnede lokaliteter til en eventuel udvidelse af Blue Foods produktion til storskalaniveau. Med udgangspunkt i informationer fremlagt i foregående afsnit kan valg af dyrkningsområder med tilstrømning af koldt, salt- og næringsholdigt bundvand forventes at yde optimale betingelser for sukkertangens vækst, da bl.a. temperatur- og saltvandsfluktuering kan forventes reduceret. Som vist via figur 17 fremgår, hvilke områder der præges af upwelling[44], hvor op til 150 mg N/m^3 transporteres over springlaget til overfladelaget med en potentiel merproduktion på 8-12 ton tørvægt pr ha [45].

Rette valg af upwellingområder vil endvidere muligvis kunne forebygge, at N og P bliver en begrænsende faktor for biomassetilvæksten i center af store dyrkningsplots. Det bør derfor undersøges, om en vertikal tilstrømning af næringsrigt bundvand kan forventes at udjævne væksten inden for store produktionsarealer med fokus på den mest optimale densitet af tangplanter fordelt på arealet.

[44] Upwelling refererer til vertikal opdrift af bundvand.
[45] I henhold til personlig korrespondance med Mads Birkeland (DHI).

Figur 17: Kort over upwelling områder i indre danske farvande. Nederst til højre angives den vertikale opdrift i m/s. (figuren er fremstillet ved Dansk Hydraulisk Institut (DHI) af Mads Birkeland)



Grundlæggende er det dog vigtigt at kæde sæsonvariationer i næringsstofstilgængeligheden sammen med sukkertangens stratificerede strategi for næringsstofoptag, næringsstoflagring samt vækst i længden. Som påpeget synes der at herske nogen tvivl om sukkertangens evne til at udnytte tilgængelige næringsstoffer til vækst i længden i sommermånederne (juni, juli, august) og om hvilken betydning en eventuelt forlænget vækstsæson vil have på tangens kemiske sammensætning[46]. Dette spørgsmål er vigtigt, da det i afsnit 4.2.10 vises, at sukkertangens sæsonbetonede kemiske sammensætning influerer på dens værdi som råvare i en bioraffineringsproces. En teoretisk analyse af egnede tangdyrkningsarealer her eksemplificeret via upwellingområder er derfor ikke tilstrækkelig og skal i givet fald suppleres med praktiske erfaringer. Udsætning af dyrkningsliner for at forbedre vores forståelse af optimale dyrkningslokaliteter i relation til sukkertangens indholdsstoffer vil derfor være nødvendig[47].

4.2.4 Opsummering af produktionspotentialet

Den endelige besvarelse af problemformuleringens spørgsmål 1 forudsætter afslutningsvis en kort vurdering af produktionens størrelse. Da DBH Technology planlægger at basere produktionen af bioethanol på foderhvede, er denne afgrødesort valgt som det mest åbenlyse sammenligningsgrundlag. Her ses det, at en dansk produktion af foderhvede (vinterhvede) pr ha pr år gennemsnitligt yder 8 ton. (http://www.landbrugsinfo.dk/Miljoe/Klima/Sider/pl_11_451.aspx#_Toc286320359).

[46] I henhold til personlig korrespondance med Mads Birkeland (DHI) og Susan Løvstad Holdt.
[47] I henhold til personlig korrespondance med Susan Løvstad Holdt.

Til sammenligning kan en produktion af sukkertang ved høst i august forventes at yde 5,26 ton tørvægt pr år vægtmæssigt svarende til ca. 66 % af foderhvedeudbyttet. Dette estimat, til trods for den signifikante forskel i produktion pr ha, vurderes som et betragteligt udbytte, alene ud fra det ræsonnement, at havarealet ikke almindeligvis anskues som en ressource for produktion af biomasse.

Imidlertid kræver en meningsfuld besvarelse af produktionens betydende størrelse en nærmere gennemgang af biomassens biokemiske karakteristika (og markedsværdi) samt en analyse af produktionens input, sammenholdt med tilsvarende data for en produktion af foderhvede. En dybdegående analyse heraf er for stort et emne for opgaven. Dog skal emnerne senere berøres, hvor der henvises til et behov for anvendelse af LCA metodikken, der som beskrevet er et centralt værktøj inden for IE skolen.

Endvidere bør signifikansen af udbytteestimater ved produktion af sukkertang vurderes i forhold til de produktionsmæssige udfordringer, der langt hen af vejen bør ses i relation til produktionens tidlige stadie. Denne pointe er søgt fremhævet via figur 18, der opsummerer en række af de vigtigste udfordringer forbundet med en op-eskalering til storskala tangproduktion.

Figur 18: Dyrkning af sukkertang i Danmark. Figuren angiver de nuværende udfordringer ved opskalering til storskalaproduktion og angiver hertil produktionens nuværende vidensniveau/teknologiske niveau.

Faser	Udfordringer	Nuværende vidensniveau/ teknologisk status
Produktion af sporeliner	Mekanisering og opskalering af produktion	Daglængde manipulation af sporeliner kun udført på kommerciel basis af Blue Food
Dyrkning i havet	Optimal kemisk sammensætning	Ufuldstændige oplysninger om årstidsvariation i tangens kemiske sammensætning
	Højere produktivitet og udpegning af egnede dyrkningslokaliteter	Manglende data for potentielt egnede dyrkningslokaliteter
	Afprøvning af kommercielle storskala dyrkningssystemer	Begrænset kommerciel produktion og småskalaforsøg
Høst	Automatisering og design af høstfartøjer	Manuel høst/små fartøjer
Logistik	Design af storskala dyrkningssystemer mhp. reduktion af energiforbrug/udsætning af dyrkningsliner og høst	Manglende erfaring/ behov for udvikling af opbevaringsfaciliteter

4.3 Analyse af landbrugets bæredygtighed

Analysens spørgsmål 2 lyder:

Med primært fokus på næringsstofproblematikken, hvordan kan en produktion af sukkertang inden for IE's analytiske ramme bidrage til, at landbruget kommer tættere på at realisere de opsatte mål for sektoren i Grøn Vækst?

Besvarelsen af problemformuleringens spørgsmål 2 forudsætter inddragelse af informationer fra problemformuleringens spørgsmål 1 herunder de opsatte udbyttescenarier 3 og 4. Før disse informationer inddrages, vil det dog indledningsvis være relevant at analysere landbrugets produktionssystem ud fra en IE optik. Ved at kvantificere de forskellige inputs og outputs i form af forskellige næringsstof- og energistrømme og efterfølgende vurdere produktionssystemets bæredygtighed herudfra, vil det således senere i afsnit 4.5.2 og 4.6.4 være muligt at analyse de mulige effekter ved at recirkulere næringsstoffer tilbage ind i produktionssystemet. I relation hertil vil det ligeledes være muligt at vurdere om IE's analytiske ramme reelt er befordrende for dansk landbrugs overgang til et type C system, der som vist via figur 7 er det endelige mål.

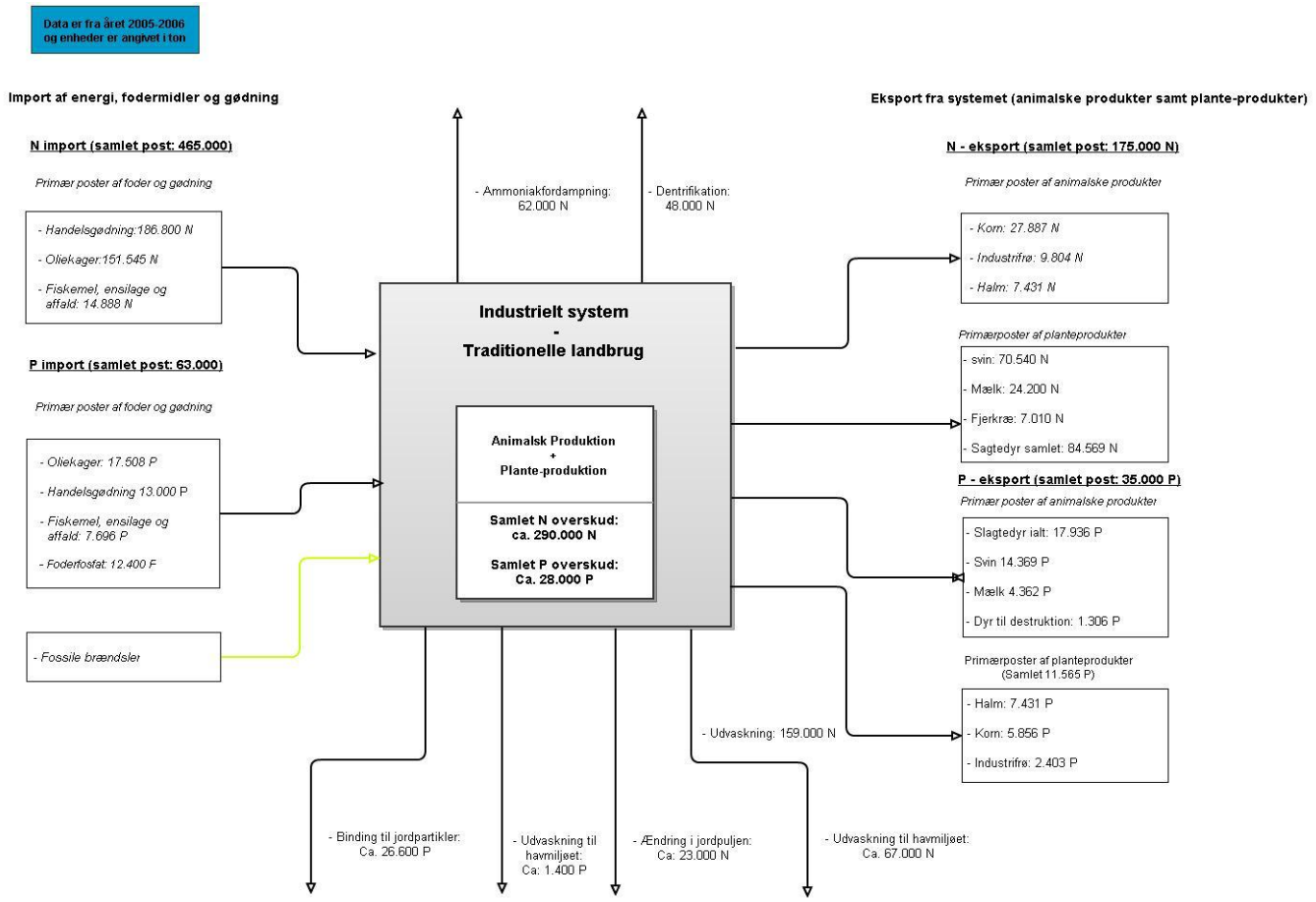
Nedenstående analyse inddeles i en række forskellige dele. Første del indeholder en IE fortolkning af det traditionelle landbrugs inputs med analyse af materiale- og energistrømme til og fra produktionssystemet. Herefter følger en kategorisering af systemet inden for et type A, B eller C system, hvor der argumenteres for nødvendigheden af at tage udgangspunkt i landbrugets strukturelle udvikling. Med udgangspunk i analysens resultater lægges der herefter op til en kritisk diskussion af IE's systemafgrænsning, hvis formål er at skabe en teoretisk ramme, hvorfra landbrugets tab af næringsstoffer kan nyttiggøres i en havbaseret produktion af sukkertang.

4.3.1 Industrial Ecology inden for traditionelt landbrug

Med inspiration fra MFA samt energistrømanalyse laves en overordnet IE analyse og diskussion af materiale- og energistrømme til og fra den traditionelle fødevaresektor som industrielt system[48]. Det primære fokus er på næringsstoffer, mens der af hensyn til opgavens begrænsede omfang fokuseres på de kvantitativt største import- og eksportkategorier, der for overskuelighedens skyld fremlægges via figur 19.

[48] I denne opgave defineret som *den* landbaserede produktion af animalske og vegetabilske produkter.

Figur 19: Figuren angiver næringsstofstrømme af N og P til det traditionelle landbrug. Inden for landbruget som afgrænset industrielt system er angivet det samlede N og P overskud, hvoraf en del tabes fra produktionssystemet (vertikale pile). Primærkilde til konstruktion af figuren er Kyllingsbæk tabelmateriale (2008:43-63). Derforuden refereres der til Børgesen (2009:23) for angivelse af N udvaskning, mens der på baggrund af mailkorrespondance med Finn Pilgaard Vinter (Agri Science) er anvendt en retentionskoefficient[49] på 58%, der tilsvarer den anvendte retentionskoefficient i Grøn Vækst. For angivelse af ammoniakfordampning, denitrifikation og ændring i jordpuljen refereres til Børgesen (2009:24), mens fosforudvaskning til havmiljøet er baseret på et groft skøn på baggrund af data fra Larsen (2010:48). For yderligere kommentarer til figur 19 henvises til bilag 4.



[49] Retentionskoefficienten skal ses som et forsøg på at estimere den N andel, der holdes tilbage på sin vej mod havmiljøet og derfor defineres som forskellen mellem udvaskning til rodzonen og tilførslen derfra til vandmiljøet (Jørgensen, 2009:46) Ved anvendelse af en retentionskoefficient på 58 % vil 42 % af N-udvaskningen altså tilføres til havmiljøet.

4.3.1.1 Diskussion af figurens datakilder

To punkter skal anføres i forhold til generaliserbarheden af input outputdata ved konstruering af figur 19. Første punkt vedrører de anvendte import/eksport data. Her har det ikke har været muligt at finde data efter år 2005-2006, hvorved estimater angivet i figuren ikke direkte er repræsentative for 2011 niveau. Hertil skal dog anføres, at landbrugets N reduktion i perioden 2005-2009 anses for beskeden (1700 tons pr år) og behæftet med stor usikkerhed (Waagepertersen: 2008). Det syntes derfor rimeligt at argumenteres for, at N strømme i figur 19 er tilnærmelsesvis repræsentative for 2011 niveau. Denne argumentation bakkes op af Jensen et al (2010:5) og Larsen et al (2010:46), hvor det anføres, at der efter en korregering af nedbørsdata ikke er sket betydelige ændringer i N tilførslen fra landbruget til det marine miljø de seneste 6 år. Hvad angår P udledningen er denne faldet med 6.500 ton i perioden 2001/02 – 2007/08, svarende til 23 % (Børgesen, 2009:10). Fosfor udvaskning til havmiljøet er sat til 1.400 ton (Larsen 2010:48), hvilket bør betragtes som et groft estimat, der varierer betydeligt fra år til år.

Andet punkt vedrører grundlaget for beregningerne angivet af Kyllingsbæk (2008). Her er N og P beregnet på grundlag af netto til- og fraførsel, hvor der tages udgangspunkt i kvantitet (mængden af produktet), samt data for tørstofindhold og indhold af P og N[50]. Sådanne ”grove” data er nødvendigvis relateret til en vis usikkerhed, da de vil være baseret på antagelser om gennemsnitsværdier. Et eksempel herpå er fraførsel via kornprodukter, hvor N og P indholdet vil være afhængig af lokale vækstbetingelser. Endvidere vil estimater i forhold til N tilførsel fra kvælstoffiksering og atmosfæren være baseret på et skøn og dermed også relateret til usikkerhed.

4.3.2 Systemets importposter

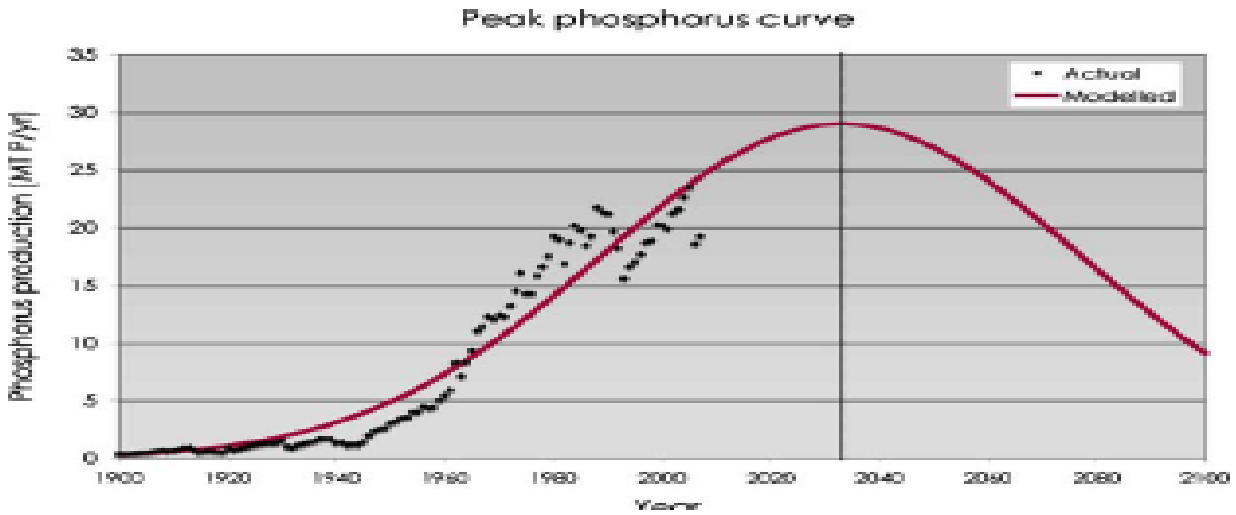
Udgangspunktet for analysen af det traditionelle landbrug og dets bæredygtighed som industrielt system tager sit afsæt i figur 19, hvor systemets bæredygtighed vurderes i forhold til import af materialer og energi samt mængden af tabte næringsstoffer fra systemet. Derfor er det indledningsvis relevant at analysere importen af materiale- og energistrømme med udgangspunkt i principperne listet i figur 7.

En analyse af den traditionelle landbrugssektors importposter er vigtig i forhold til kritisk at kunne vurdere bæredygtigheden af systemets strukturelle komposition og udvikling. Herved overlapper analysen med empirien fremlagt i opgavens indledning, der derfor tilsvarende kritisk kan vurderes inden for IE fortolkningsrammen. En analyse af materialer og energi importeret ind i systemet bliver dog hurtigt omfattende. Det er derfor besluttet at indsnævre fokus til én importkategori nemlig systemets import af P. Denne afgrænsning kan dog forsvares, da en analyse af P importen ligeledes berører elementer relateret til både import af energi og N, der derfor tilsvarende underlægges IE’s fortolkningsramme.

[50] N er her beregnet ud fra data om råproteinindholdet.

Som påpeget af Graedel et al (2003:10) bør anvendelse af knappe, ikke-fornybare ressourcer ikke ske hurtigere end fornybare ressourcer kan findes som erstatning. Hertil skal nævnes, at langt hovedparten af P importen ind i systemet stammer fra mineralsk fosfor udvundet fra fosforsten[51] ved minedrift. I denne forbindelse vurderer Cordell et al (2008), at verdens P reserver i form af højkvalitetsfosfatsten slipper op inden for en periode af 50-100 år. Produktionen forventes at nå sin max volumen omkring år 2033, hvorefter den tilgængelige volumen og gødningskvaliteten heraf vil være faldende, se figur 20. Anvendelse af mineralsk P udvundet af højkvalitetsfosfatsten som et essentielt primærinput til systemet skal derfor betragtes som en knap, ikke-fornybar ressource.

Figur 20: Figuren indikerer "peak" for globale fosforreserver (ca. 2033), hvorefter produktionen forventes at falde (Cordell 2008:298)



I figur 19 ses, at det traditionelle landbrug i 2005 importerede 63.000 tons P, hvoraf ca. 43.000 tons stammer fra import af foderfosfat, handelsgødning og oliekager, mens ca. 15.000 tons importeres i form af fiskemel, ensilage og affald. Både foderfosfat, handelsgødning og oliekager er enten direkte[52] eller indirekte[53] forbundet med brug af mineralsk fosfor udvundet fra fosfatsten. Det traditionelle landbrug er derfor i overvejende grad afhængig af en knap ikke-fornybar ressource.

Om end der foregår en delvis genanvendelse af P bl.a. via nedpløjning af afgrøderester og genanvendelse af husdyrgødning, så tabes en stor del af puljen gennem bl.a. binding til jordpartikler og eksport ud af systemet, hvor fæces og urin fra mennesker i ringe grad recirkuleres tilbage til marken[54]. Den væsentlige P import indikerer altså et behov for at optimere fosforudnyttelsen samt for at implementere recirkulationsmekanismer, såfremt systemet skal kunne tilnærme sig en balancetilstand.

---

[51] Den mineralske komponent blev dannet for mellem 10-15 millioner år side.

[52] Ved produktion af foderfosfat og handelsgødning anvendes fosfatsten.

[53] Import af oliekager medvirker til anvendelse af fosfatsten i det omfang kunstgødning er anvendt ved produktion af afgrøden før presning.

[54] I henhold til Cordell et al (2008) er en væsentlig udfordring at undgå at fæces og urin blandes med forurenede elementer, tungmetaller mv., hvorved udskillelse ved renseanlæg bliver omkostningsfuld.

Importen af P og N via handelsgødning, oliekager, foderfosfat er endvidere inden for IE fortolkningsrammen problematisk. Dette i og med at begge gødningskomponenter er udvundet ved brug af et væsentligt energiinput fra fossile brændsler, der på samme måde som fosfor er at betragte som en knap, ikke-fornybar ressource. Cordell et al (2008:302) vurderer således, at produktion af gødning[55] i USA udgør 29 % af landmandens energiinput eksklusiv transport af eksempelvis handelsgødning til marken. Til sammenligning udgør fremstilling af gødning i relation til systemets klimapåvirkning i en dansk produktion af vinterhvede ca. 65 % af klimapåvirkningen fra alle hjælpestoffer[56] og sammenlagt 44 % af den samlede klimapåvirkning ved dyrkning af vinterhvede (http://www.landbrugsinfo.dk/Planteavl/Afgroeder/Korn/Vinterhvede/Sider/pl_09_033.aspx).

Herved kan også konkluderes, at den indirekte import af fossil energi til systemet er en væsentlig større klimabelastning end den direkte import markeret med den gule pil i figur 19. Det bør her tilføjes, at mens produktion af N gødning pr kg (69.530 KJ/kg) i dag er en tungere energipost end produktion af P gødning pr kg (7.700 KJ/kg) (Gellings et al 2004)[57], så kan det forventes, at forholdet mellem energiinput pr produceret enhed over tid medfører en udvikling mod P som en tungere energipost. Dette fordi at udvinding af P, hvis værdi forudsætter en høj koncentration, kan forventes at blive tiltagende energikrævende i takt med, at globale P ressourcer udvindes og spredes med en langt lavere koncentration til følge.

Som fremhævet af Cordell et al (2008) bliver en af fødevaresektorens primære fremtidige udfordringer netop at udvikle metoder til recirkulering af P. Her vil den anvendte energi pr produceret enhed derfor være afhængig af, om P kan recirkuleres ind i det industrielle system i relativt koncentreret form. Overordnet kan konkluderes, at den markante afhængighed af fossilt brændstof ved produktion af N og P kombineret med landbrugets direkte input af fossil energi, er medvirkende til at forringe landbrugets klimaprofil og dermed øge de negative eksternaliteter forbundet med produktionen på både globalt og lokalt niveau[58].

Tilsvarende kan konkluderes, at Industrial Ecology's systemiske tilgang ved kortlægning af materialestrømme ikke tillader, at det industrielle systems bæredygtighed udelukkende vurderes i forhold til dets effekter på nationalt plan, som det er tilfælde for Grøn Vækst såvel som VMP 1, 2 og 3. Her er den dominerende diskurs blandt de relevante aktører (stat, landbrug,

---

[55] Her refereres både til minedrift af fosfatsten og atmosfærisk N fiksering.

[56] Hjælpestoffer benævnes som brændstof, tørring, maskiner, kalk, udsæd og pesticider.

[57] Gillings et al (2004) har anvendt en datakilde, der refererer til 1992 data som et gennemsnit for den globale produktion. De refererede tal bør derfor udelukkende opfattes som en indikation for forholdet mellem energiinput ved N/P produktion.

[58] Denne forurening er altså global i sit spænd men også i høj grad aktuel i relation til lokale danske økosystemer, hvor klimaforandringer (ændrede nedbørsmønstre og temperaturer) medvirker til at underminere de positive effekter ved en reduceret udledning fra landbruget, herunder øget næringsstofstab fra rodzonen, øget mikrobiel nedbrydning af organisk stof i vandmiljøet, øget lavdeling samt en for vandet reduceret evne til at opbevare ilt ved stigende temperaturer (Waagepertersen et al, 2008).

interesseorganisationer), som vist i indledningen centreres omkring systemets tab af næringsstoffer til lokalt/nationalt definerede recipienter (kystnæreområder, søer og grundvand). En offentlig debat vedrørende import af ikke-fornybare ressourcer er altså næsten ikke eksisterende. Derfor landbrugets fremhæves tab af P og N inden for den danske bæredygtighedsdiskurs entydigt som en kilde til forurening, frem for en værdifuld ressource, der endnu ikke er nyttiggjort.

4.3.3 Kategorisering af systemet

Nedenstående analyse beror på systemets input/output data fra året 2005-2006 som gengivet i figur 19. Ser man indledningsvis på tilførslen af N til systemet, ses det, at denne domineres af handelsgødning som den dominerende post. Oliekager, der som påpeget af Fog (1997:146) for en stor del udgøres af proteinrigt kraftfoder (eksempelvis sojamel fra Brasilien og Argentina), er dog også en betragtelig post med sine 151.545 ton N/år, mens fiskemel, ensilage og affald, der primært importeres fra den danske fiskeriindustri, udgør den tredje største årlige N importpost.

Tilførslen af N ind i systemet i 2005/06 på ca. 465.000 tons viser tydeligt, at dansk landbrug som industrielt system er afhængigt af N import for at kunne bibeholde sin nuværende produktion med eksport af overvejende animalsk N i form af svin. Det samme gør sig gældende for fosfor med en samlet import post på 63.000 ton, hvor oliekager, handelsgødning og foderfosfat udgør de tre største poster.

Som allerede påpeget i opgavens indledning er der væsentlige udfordringer forbundet med at implementere en bred bæredygtighedstilgang i relation til landbrugets naturressourceanvendelse. Inden for den offentlige diskurs såvel som den anerkendte forskningsverden fremhæves det traditionelle landbrug generelt som ikke bæredygtigt med et stort tab af overskydende næringsstoffer, der fører til en forringelse af tilgrænsende økosystemers biodiversitet. Herved fremstår det traditionelle landbrugs N import indirekte som systemets problembarn. Der importeres således 465.000 ton N ind i systemet, hvoraf 290.000 ton (63 %) figurerer som overskud, mens de resterende 175.000 ton N (37 %) eksporteres primært i form af animalske produkter. For fosfors vedkommende ligger overskuddet på 28.000 ton P ud af 63.000 (ca. 44 %), hvor eksportposter af animalske produkter ligeledes dominerer.

Kyllingsbæk (2008:8) fremhæver i denne forbindelse det traditionelle landbrugs næringsstofoverskud som en god miljøindikator, da alle næringsstoffer, der ikke eksporteres ud af produktionssystemet, direkte er relateret til risikoen for et tab til omgivelserne. Herved er Kyllingsbæks analytiske tilgang på linje med den dominerende diskurs inden for dansk miljøforvaltning.

Inden for IE's analytiske ramme skelnes der tilsvarende mellem industrielle systemer og tilgrænsende økosystemer med en opfattelse af landbruget som et isoleret industrielt system. Tab af næringsstoffer fra systemet angives derimod som affald, der i henhold til IE fortolkningsrammen blot endnu ikke er nyttiggjort. Mens IE's analyseramme altså fremhæver næringsstoffers

vedvarende værdi som ressource, så synes der inden for den danske miljøforvaltningsdiskurs samt IE's analytiske ramme at være enighed om at afgrænse en nyttiggørelse af ressourcen til at foregå inden for på forhånd definerede industrielle systemer[59].

De 67.000 tons N og de ca. 1.400 tons P, der udvaskes til havmiljøet, betragtes altså inden for IE analyserammen som en tabt ressource med en negativ indvirkning på miljøet, idet det forlader det industrielle system og overgår til økosystemsfæren. Med udgangspunkt i ovenstående kan det traditionelle landbrug, såfremt der udelukkende konkluderes på baggrund af input/output data fra figur 19, bedst beskrives som et type A system. Herunder med en betragtelig anvendelse af knappe, ikke- fornybare ressourcer samt et tilsvarende stort tab af affald til økosystemet.

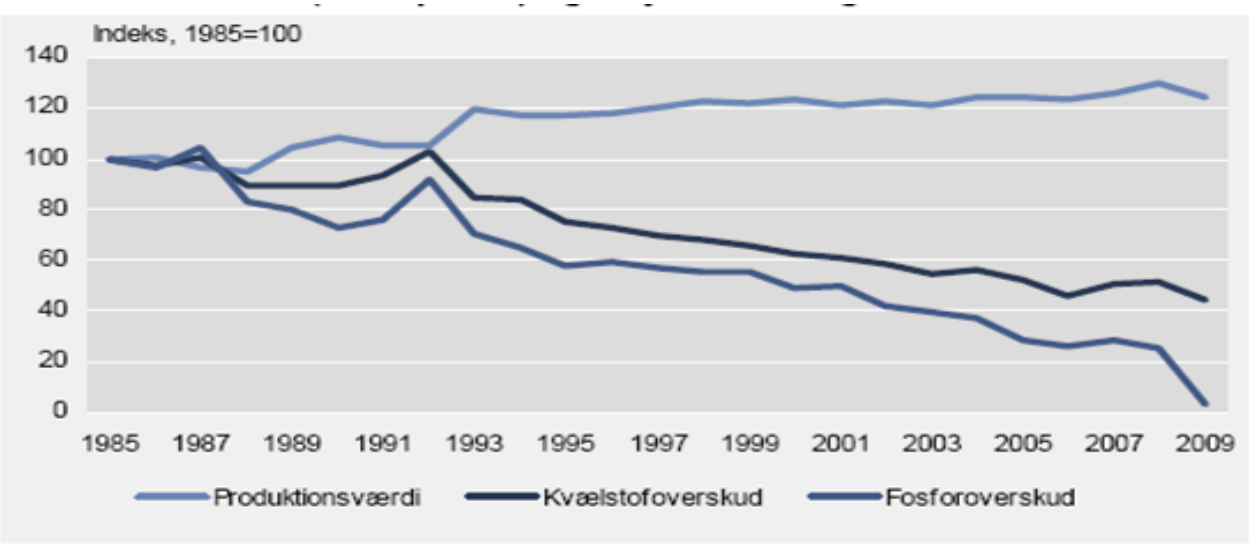
4.3.4 Systemets strukturelle udvikling

Konklusionen indtil nu er entydig, at det traditionelle landbrug ikke fungerer som et lukket kredsløb. Spørgsmålet er da, i hvilket omfang landbruget som industrielt system over tid har været i stand til at implementere IE principperne herunder etablering af næringsstofkredsløb?

Med udgangspunkt i forureningen af fjord og kyststrækninger er det traditionelle landbrug gennem en længere årrække blevet pålagt at gennemføre N reduktioner med en substantiel reduktion (48 %) i forhold til 1987 niveau til følge. Herved kan udledes, at mens figur 19 gav en indikation af landbrugets forureningsniveau ud fra et statisk øjebliksbillede (2005-2006 niveau), så bidrager en sådan figur ikke fyldestgørende til identifikation af IE-træk inden for det traditionelle landbrug. Således er en vigtig pointe, at reduktionerne er forekommet parallelt med, at landbruget som industrielt system over tid har bibeholdt sin produktionsværdi. Det traditionelle landbrug har altså gennemgået en dematerialization-proces og afkoblet ressourceforbruget fra økonomisk vækst. Udviklingen fremgår via figur 21, hvor det ses, at produktionsværdien har været tilnærmelsesvis konstant siden 1993, mens N og P overskuddet har været faldende.

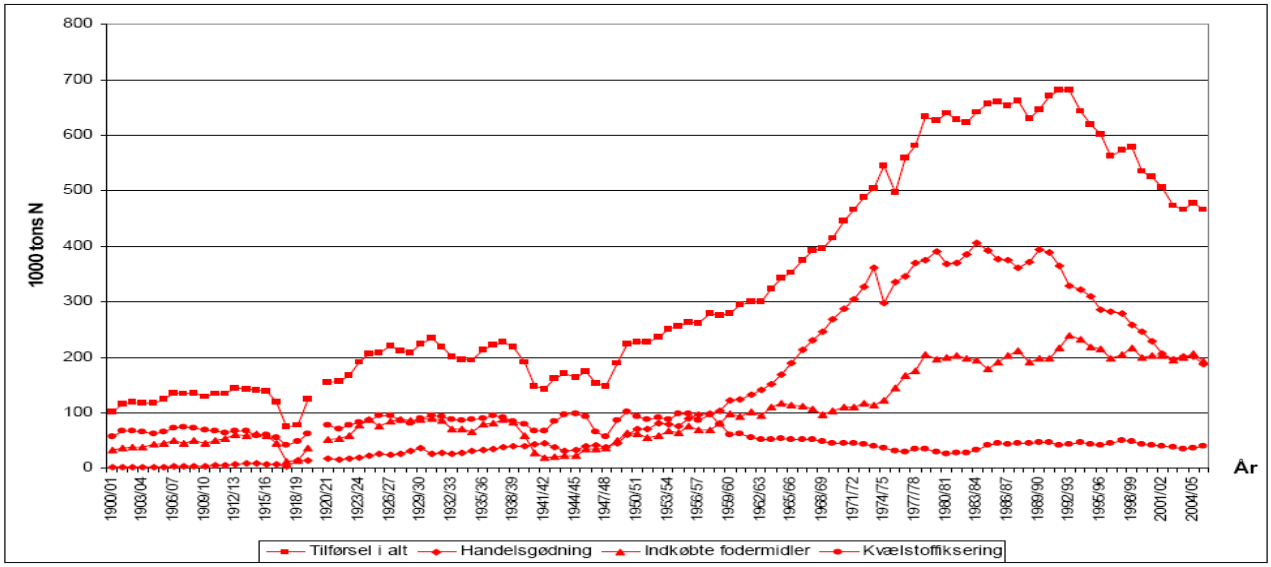
[59] Det bør dog påpeges at overskuddet i en IE optik først vil kunne defineres som affald, idet det gøres utilgængeligt som en produktionsressource indenfor det industrielle system, bl.a. ved N udvaskning fra rodzonen.

Figur 21: Forholdet mellem produktionens N og P overskud og produktionens værdi. Produktionsværdien er angivet i faste priser, mens miljøbelastning indeks er konstrueret ud fra at året 1985 = 100 (landbrug og fødevarer, 7. februar 2011).

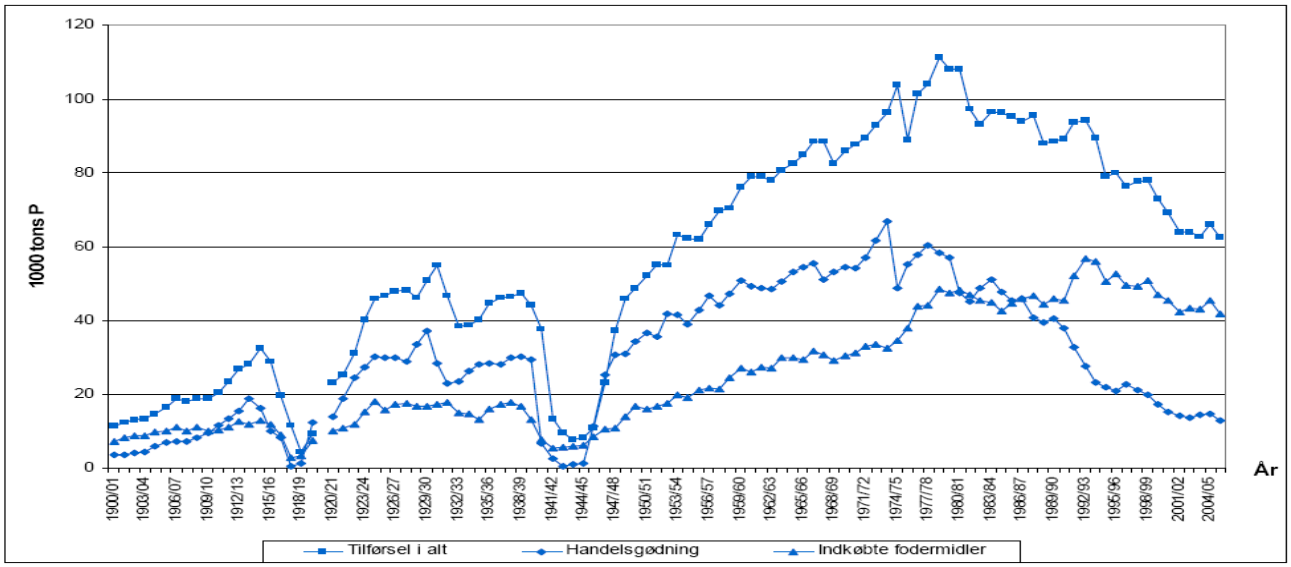


Figur 21 underbygges af figur 22 og 23, hvor det ses, at tilførslen (importen) af handelsgødning siden starten af 1990'erne har været støt faldende, mens forbrug af fodermidler har været nogenlunde konstant. Reduktionen af N kan her tillægges de med vandmiljøplanerne indførte restriktioner for anvendelse af N herunder stigende minimumskrav for udnyttelsen af husdyrgødning, øget krav om efterafgrøder, maksimale kvælstofnormer for de respektive afgrøder mv. Herimod skal baggrunden for reduktion af P ifølge Kyllingsbæk (2008) tilskrives en erkendelse af, at afgrødernes behov kan dækkes af en mindre P applikation end hidtil (jordens P mæthedsgrad er øget med tiden).

Figur 22: Tilførselen af kvælstof til det traditionelle landbrug inddelt i *kategorierne* handelsgødning og *indkøbte fodermidler* og *kvælstoffiksering* (Kyllingsbæk 2008:18).



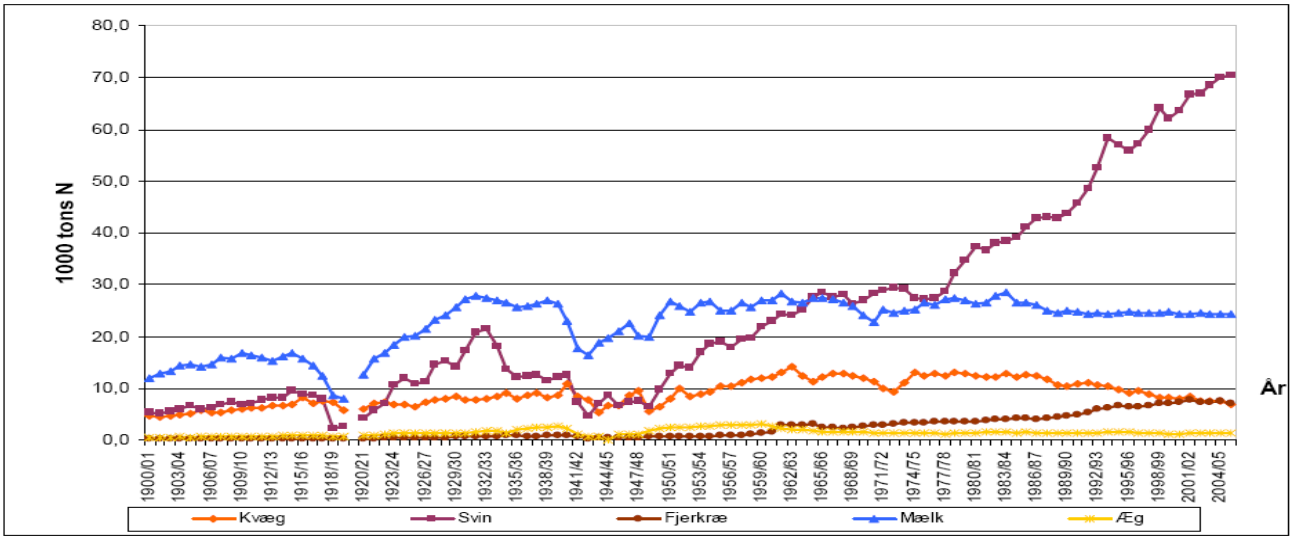
Figur 23: Tilførselen af fosfor til det traditionelle landbrug inddelt i kategorierne *handelsgødning* og *indkøbte fodermidler* (Kyllingsbæk, 2008:22).



Restriktioner ift. N anvendelse har medført, at næringsstofudnyttelsen[60] over tid er steget betydeligt. Således lå udnyttelsesgraden[61] for N i 1980'erne på ca. 20 %, mens den i 2005 lå på 38 %. Tilsvarende lå udnyttelsesgraden for P på ca. 20 % i 1950'erne, mens udnyttelsesgraden i 2005 var steget til 56 % (Kyllingsbæk 2008:7). Som tidligere beskrevet vil ændringer i det industrielle systems strukturelle komposition dog være en afgørende faktor for dematerialization over tid som følge af ændringer i produktionsmønstre. Ser man på figur 24 ses en klar tendens mod en øget produktion af svin inden for det traditionelle danske landbrug, der er den klart dominerende post i fraførslen af N og P. Denne tendens ses også via. figur 19, hvor N fraførslen fra svin i 2005/2006 (70.540 ton N) udgjorde ca. 40 % af den samlede N fraførsel af både animalske og planteprodukter.

Ændringen over tid påpeger det traditionelle landbrugs effektivitet ved produktion af svin, hvor erhvervets markedsandele samtidig må forventes at stige parallelt med stigningen i den globale efterspørgsel efter proteinrig kost. Landbrugssektoren formodes altså også i fremtiden at fungere som en forædlingsstation med omdannelse af vegetabilsk protein til animalsk protein. Kyllingsbæk (2008) påpeger her, at denne strukturelle ændring over tid vil kunne reducere udnyttelsesgarden af N, da der forekommer et N tab (ammoniakfordampning) ved udbringning af husdyrgødning ift. fraførsel ved direkte salg af planteprodukter. Herved vil en forøgelse af den animalske produktion på sigt kunne ændre tendensen mod dematerialization.

Figur 24: Fraførsel af N angivet ved forskellige animalske produkter, fjerkræ, mælk, æg, kvæg og svin (Kyllingsbæk 2008:34).



Om end det er usikkert om den fremtidige strukturelle udvikling tillader en tilsvarende entydig afkobling mellem ressourceforbrug og økonomisk vækst, så er faktum, at landbruget de senere år

[60] Beregnet som fraførsel i % af tilførslen.

[61] Grundet den fortsatte udvikling mod en optimeret N og P udnyttelse vil tal for udnyttelsesgraden muligvis være sat for lavt i forhold til niveauet i dag.

har bevæget sig mod dematerialization, der ifølge IE er en stærkt medvirkende faktor ved etableringen af bæredygtige industrielle systemer[62]. Dematerilazation udgør dog ikke det primære budskab inden for IE skolen, der som bekendt advokerer for etablering af lukkede kredsløb, såfremt et system skal kunne betegnes som bæredygtigt.

Spørgsmålet er da, om der findes sådanne lukkede kredsløb inden for det traditionelle danske landbrug? Det måske mest åbenlyse eksempel er Grøn Vækst planens tilskyndelse (gennem tilskud) til etablering af flere biogasanlæg, der skal bidrage til at skabe en større nytteværdi af den store gyllepost forbundet med den animalske produktion. Mens afgasning af gyllefraktionen bidrager til en produktion af vedvarende energi (VE) samt til at øge plantetilgængeligheden af gyllens næringsstofkomponenter (Hansen, 2004), så skabes der ikke herved et egentligt kredsløb, men blot en forbedret udnyttelsesgrad. En produktion af energiafgrøder til brændselsformål, der som vist i indledningen ligeledes fremstår som en politisk prioritet inden for Grøn Vækst, er potentielt et bedre eksempel. Recirkulation af eksempelvis P er dog i realiteten problematisk, da 1) biomassen ofte anvendes som supplement i kulfyrede brændselsovne og 2) tilgængeligheden af P efter opvarmning reduceres kraftigt (https://pure.au.dk/portal/files/2783257/536602.pdf). En udfasning af fossile brændsler til fordel for biomasse må dog i fremtiden formodes at bidrage til en delvis løsning af problematikken.

Ikke overraskende har reduktionskrav til landbruget medført teknologik innovation, hvor forbedret gyllehåndtering ved afskaffelse af bredspredning til fordel for slangeudlægning (reduceret ammoniakfordampning) er et godt eksempel på eco-effiency. Den overordnede konklusion synes ikke desto mindre at være, at mens div. regulativer inden for vandmiljøplaner, nu integreret i Grøn Vækst, har bidraget til en kraftig reduktion i anvendelsen af næringsstoffer og dermed udledningen til havmiljøet, så har det ikke i væsentlig målestok været muligt at skabe egentlige lukkede næringsstofkredsløb, hvorved ikke-fornybare ressourcer kan genanvendes.

På denne baggrund synes det rimeligt at argumentere for, at landbruget bevæger sig mod et type B system, med et begrænset input af næringsstoffer samt et begrænset næringsstofstab (karakteriseret som affald) til omgivelserne, men altså stadig ikke inden for en IE optik kan karakteriseres som bæredygtigt. Tilsvarende synes konklusionen at være, at der ikke inden for landbruget som industrielt system findes måder, hvorpå tabte næringsstoffer kan indfanges og recirkuleres som input til systemet.

4.4 Diskussion af IE's teoretiske ramme

Som påpeget af Isenmann (2003) betragter IE skolen naturen som et fundamentalt redskab til orientering - her både i forhold til at påpege nødvendigheden af samt principperne bag en rekonstruering af vor industrielle systemer. Hertil skal industrielle systemer grundlæggende forstås

[62] Industrielle systemer opfattes dog først som egentlig bæredygtige, såfremt kredsløbet lukkes (tilnærmelse af type c system).

som værende isoleret fra tilgrænsende økosystemer (Hond 1999) (Ayes et al 2002) (Gradel et al 2003) (Garner et al 1995) med en så begrænset interaktion mellem de to systemsfærer som muligt. Denne systemafgrænsning er umiddelbart logisk med utallige eksempler på uønskede økosystemændringer som en konsekvens af ofte væsentlige affaldsstrømme fra industrielle type A og B systemer. Industrial Ecology's systemafgrænsning forekommer derfor også relevant i forbindelse med det traditionelle landbrug som industrielt system, hvor affald i form af næringsstoftab ikke kan optages af tilstødende økosystemer. Økosystemet undergår derfor ændringer, der inden for dansk miljøpolitik traditionelt har medvirket til skærpede politiske reduktionskrav i forhold til landbrugets N og P anvendelse (Waagepertersen 2008) (Børgesen, 2009).

Mens de forskellige regulativer formuleret inden for rammerne af vandmiljøplanerne og nu Grøn Vækst falder under IE's brede bæredygtighedstilgang bl.a. ved at bidrage til dematerialization (Ayes et al 2002:8-9 og 209-222), så findes der som påpeget inden for det traditionelle landbrug ingen eller meget få teknologiske applikationer, der i betydelig grad via recirkulering har formået at forhindre udvaskning af næringsstoffer til havmiljøet. Denne konklusion bakkes op af antallet af indsatsplaner, der gennem tiden er afsat til deres realisering. Tilsvarende giver ovenstående analyse en del af svaret på problematikkens langvarige karakter, hvor landbrugets strukturelle komposition med et indbygget behov for en stor N og P import til trods for dematerialization vil medføre uønskede næringsstab til havmiljøet.

Spørgsmålet er da, om IE til dette specifikke problem besidder en analytisk ramme, der tilfredsstillende kan fremme en udvikling hen imod et type C system? Modsat Kalundborg Eco-industrial park, der inden for litteraturen fremhæves som et af IE's mest kendte eksempler på etablering af lukkede kredsløb (Ayres, 2002:3-5) (Hond, 1999) (Garner 1995), er landbrugsdrift som vist ikke blot en industriel proces, der kan isoleres inden for fabriksmurer. Herunder hvor ressourcestrømme nemmere monitoreres, ændres og transporteres. Landbrugssektoren repræsenterer snarere en gråzone mellem naturlige økosystemer og traditionelle industrielle systemer, hvor IE i henhold til ovenstående analyseafsnit er velegnet til at identificere bæredygtighedsproblematikker, men ikke egner sig til at bidrage med en systemisk ramme, der fremmer nye innovative teknologiske løsningsforslag til, hvordan eksempelvis N kredsløbet kan lukkes.

Med udgangspunkt i landbrugsproduktionens placering i en gråzone mellem industri og økosystemer synes det derfor relevant med en ændring af IE's analytiske ramme. Landbruget som industrielt system skal derfor i denne opgave redefineres som værende et antropogent manipuleret økosystem. I overensstemmelse med IE's vejledende økologiske principper er tab af næringsstoffer fra systemsfæren herved ikke er at betragte som en "tabt ressource", men derimod en ressource, der kan nyttiggøres af tilgrænsende økosystemer. Kvælstof og fosfor bliver således stadig betragtet som knappe, værdifulde ressourcer, mens tilstødende økosystemer på samme måde som industrielle systemer skal kunne gøres til genstand for teknologiske applikationer/innovative løsninger, hvorefter de også tilsvarende vil kunne fremstå som delvist antropogent manipulerede økosystemer.

Denne ændring af IE's analyseramme kan fremstå kontroversiel. Imidlertid synes den ikke langt fra IE's oprindelige epistemologiske interesse for naturen som et orienteringsredskab - der som beskrevet af Isenmann (2003:151-154) i teoretiske termer udfolder sig gennem en betragtning af naturen som model for industrielle systemer - til at betragte landbruget og dets forankring delvist inden for økosystemsfæren som blot ét af potentielt flere manipulerede økosystemer. Denne udvidelse af IE's systemforståelse leder hen imod en implementering af en systemøkologisk rammeforståelse inden for IE. Her ændres fokus væk fra den gængse implicitte antagelse inden for traditionel miljøforvaltning - at sidste led i produktionskæden pr definition skal befinde sig inden for det traditionelle landbrug - til at næringsstoffer skal nyttiggøres uafhængigt af dens vekslen mellem systemsfærer.

Formålet med den forslåede systemændring bunder i et behov for at "tænke ud af boksen". Herunder at undersøge om en nyttiggørelse af kystnære områder, der både inden for Grøn Vækst og generel dansk miljøforvaltning defineres som sårbare recipienter, med fordel kan redefineres som potentielt produktive arealer. Det er imidlertid vigtigt kun at opfatte denne ændrede systemrammeforståelse som en måde, hvorpå IE implementeres mere konstruktivt i forhold til opgavens overordnende problemstilling. IE's epistimologiske tilgang til naturen udforskes derfor nu blot inden for et udvidet systemperspektiv, hvor tab fra systemet i henhold til IE's vejledende principper skal opfattes som en rest fra produktionen, som blot endnu ikke er nyttiggjort.

På baggrund af ovenstående sondring foreligger der nu en analytisk ramme, hvor opgavens del 1 – bestående af en analyse af potentialet for produktion af sukkertang i danske farvande - kan sammenkobles med N og P strømme fra det traditionelle landbrug. Tilsvarende tillader den udvidede systemramme nu en analyse og diskussion af politiske ambitioner inden for såvel den land- og havbaserede fødevareproduktion.

Ved at analysere akvakulturudvalgets anbefalinger ift. etablering af en bæredygtig havbaseret produktion kan der således identificeres nye politiske visioner, der medvirker til at underbygge den netop foreslåede udvidede systemramme inden for dansk miljøforvaltning. En sådan analyse er i opgaven prioriteret, da det findes vigtigt at påpege de muligheder, der i dag foreligger for på administrativt niveau at sammenkoble landbrugets tab af næringsstoffer med en produktion af sukkertang. Hertil er IE's systemiske tilgang fordrende, hvor det på figur 4 ses, hvordan landbrugets egen hierarkiske struktur bør analyseres i henhold til dets tilknytning til andre hierarkiske systemer herunder det politiske niveau. Ved at gennemføre nedenstående analyse bliver det således muligt i afsnit 4.7 at argumentere for implementeringen af MBI ud fra en opdateret samfundsmæssig kontekst, hvorved opgavens konklusioner fremstår mere tilgængelige ift. eventuelle fremtidige politiske tiltag på området.

4.4.1 Nye politiske visioner

Akvakulturudvalget blev nedsat midt 2009 af daværende Miljøminister Troels Lund Poulsen samt daværende Fødevareminister Eva Kjær Hansen. Det eksplicitte formål hermed var at udarbejde

anbefalinger til, hvordan akvakulturerhvervets ønske om vækst kan forenes med de miljømål, der fremgår af Vandrammedirektivet og de nationale vand- og naturplaner herunder kravet om ikke-forringelse af miljøets tilstand (Regeringens akvakulturudvalg af 2009, 1. juli 2010).

Den marine akvakultur som afgrænset system er altså på samme måde som det traditionelle landbrug underlagt restriktioner i forhold til dets N-udledning til det marine miljø, hvorved erhvervets vækst- og udviklingsmuligheder tilsvarende afhænger af dets evne til at reducere N-tab fra produktionen. Tilsvarende er akvakulturen underlagt den dominerende offentlige miljøpolitiske diskurs med fokus på systemets N-tab, hvorimod hverken tab af P eller politikker til opsamling heraf indgår som en del af udvalgets anbefalinger.

Udvalgets overordnede anbefaling er, at: ”*akvakulturen fremover reguleres gennem en resultatbaseret forvaltning, hvor målfastsættelsen og kontrollen sker direkte på udledningerne, og hvor der indføres et system med omsættelige kvoter for kvælstofbelastningen.*”

Endvidere pointeres det at: ”*Denne forvaltning vil fokusere indsatsen på målet, og den vil skabe en incitamentsdrevet udvikling af teknologien i erhvervet m.h.p. at opnå det største værdiudbytte, i forhold til lavest mulige miljøbelastning.*”

(Regeringens akvakulturudvalg af 2009, 1. juli 2010: punkt 2, linje 3-6 samt punkt 2 linje 12-14)

Herunder fremhæves det at, en ordning med omsættelige kvælstofkvoter bør inddeles i to faser, hvor fase 1 lægger op til, at kvoter omsættes inden for erhvervet selv[63], mens det i fase 2 anbefales at etablere et system med handel med kvælstofkvoter mellem forskellige sektorer, f.eks. landbrug og akvakultur med det formål at sikre en samfundsmæssig optimal udnyttelse af kvælstoffet (Regeringens akvakulturudvalg af 2009, 1. juli 2010: punkt 2.2). Der foreligger altså konkrete anbefalinger, der tilskynder til en fælles administrativ forvaltning ift. statens regulering af negative eksternaliteter forbundet med N tilførsel til havmiljøet.

Til forskel fra det traditionelle landbrug har akvakulturen formået at formulere en fælles vision for bæredygtig vækst med tilslutning fra såvel producenter og relevante interesseorganisationer inden for miljø og naturområdet. På baggrund af en generel forståelse mellem Dansk Akvakultur, Danmarks Naturfredningsforening og Danmarks sportsfiskerforbund (Regeringens akvakulturudvalg af 2009, 1 juli 2010: bilag 2) anslås det således, at danske havbrug kan øge N udledningen til 600 ton pr år (en merudledning på 250 ton N), forudsat at merudledningen af N fra kystnære havbrug kompenseres fuldt ud gennem en merreduktion i andre sektorer herunder landbruget[64].

---

[63] Erhvervets udledning af N er på samme måde som landbruget underlagt hovedvandoplande som administrativ ramme.

[64] I henhold til vandplanerne forudsættes det, at reduktionen fuldt ud sker inden for det hovedvandopland, hvor akvakulturens N udledning forekommer.

En politisk vision om etablering af en ordning med omsættelige kvælstofkvoter er særlig relevant, da det af akvakulturudvalgets anbefalinger yderligere fremgår, at der blandt de nævnte aktører er enighed om, at anvendelse af fangkulturer[65] herunder tang skal anerkendes som virkemiddel inden for den marint baserede akvakulturproduktion. Hertil fremhæves det, at fangkulturer på sigt skal sikre, at havbrugenes fiskeproduktion bliver kvælstofneutral (Regeringens akvakulturudvalg af 2009, 1 juli 2010: bilag 2).

Anbefalingerne er dog allerede taget til efterretning på kommunalt niveau, hvorved Blue Food har kunnet indgå kontrakt med Snaptun Fiskeksport og Hjarnø Havbrug (placeret inden for Horsens hovedvandopland) i forhold til etablering af en fangkulturproduktion af sukkertang[66]. Kvælstofopsamlingen forventes af Snaptun Fiskeksport og Hjarnø Havbrug anvendt i forhold til etablering af en merproduktion af havørreder, hvorved etablering af fangkultur ikke i første omgang vil medføre en reduktion af akvakulturens N og P udledning[67].

Såfremt den politiske vision om etablering af en kvælstofkvoteordning realiseres, er der tilsvarende åbnet op for, at produktion af sukkertang på sigt kan indgå som et virkemiddel i forhold til opsamling af det traditionelle landbrugs N tab. Introduktionen af sukkertang som virkemiddel inden for akvakulturen kan dog ikke forventes at have en signifikant effekt i forhold til det oprindeligt fastsatte krav om en reduktion på 19.000 ton N pr år, eftersom størrelsen af de frigivne N-kvoter reelt vil være bundet op på størrelsen af den samlede tildeling af N-kvoter inden for akvakulturen. Herforuden kan det forventes, at havbrugene i vid udstrækning ønsker at nyttiggøre den opsamlede N til en mer-produktion af fisk som eksemplificeret via Snaptun Fiskeksport og Hjarnø Havbrug.

Vigtigt er det dog at pointere, at udvalgets begrundelse for en fælles regulering af landbrug og akvakultur ikke bør opfattes som en ambition om at nyttiggøre tab af N fra produktionssystemerne. Derimod bør det ses som et politisk ønske om en samfundsøkonomisk optimal regulering af negative eksternaliteter forbundet med N tilførslen til det marine miljø (Regeringens akvakulturudvalg af 2009, 1. juli 2010: punkt 2.0-2.2). Således tager udvalgets anbefalinger netop afsæt i de beskrevne miljøøkonomiske principper, hvor anvendelse af markedsbaserede instrumenter med en internalisering af eksternalisteten indenfor virksomheden (i dette tilfælde via omsættelige kvælstofkvoter) skal bidrage til en samlet omkostningseffektiv markedsbaseret regulering af de to produktionssystemer.

---

[65] Fangkulturer bruges som faglig term inden for akvakultur og henviser til marin produktion af både tang og muslinger, der bidrager til at fjerner kvælstof fra vandmiljøet. I opgaven her anvendes termen *virkemiddel*, når der refereres til sukkertangens potentiale for opsamling af N og P.

[66] Snaptun Fiskeksport og Hjarnø Havbrug har i dag tilladelse til etablering af produktion af fangkultur på 90 ha, hvorved N og P opsamlingens størrelse vil afhænge af yderligere tildeling af produktive arealer (I henhold til interview med Rasmus Bjerregaard d. 2-5-2011).

[67] I henhold til interview med Rasmus Bjerregaard d. 2-5-2011.

4.4.2 Virkemiddelts implementering

Med udgangspunkt i IE's udvidede systemramme forekommer det relevant at vurdere muligheden for at implementere sukkertang som virkemiddel ift. opsamling af næringsstofstrømme fra det traditionelle landbrug. En implementering af tang som virkemiddel inden for det traditionelle landbrug vil være plausibel, såfremt der tages udgangspunkt i analysens resultater fra afsnit 4.3, hvor det ses at landbruget som type B system udleder betydelige mængder N og P til det marine miljø. Anlægges hertil den betragtning, at N og P strømme ved tilførsel til vandmiljøet vanskeligt vil kunne relateres til en specifik kilde herunder hverken landbrug (som diffus kilde) eller havbrug (som punktkilde), kan en administrativ begrænsning af tang til kun at gælde akvakulturen ikke funderes i systemøkologiske principper. Herforuden stilles der i vandmiljøplanerne udelukkende krav til, at reduktionen gennemføres inden for samme hovedvandopland og ikke i umiddelbar nærhed til punktkilden[68] som eksemplificeret via Birkelands studie (2009).

Det forekommer derfor sandsynligt, at en stor del af den N og P, der opsamles ved Blue Foods etablering af fangkulturer inden for Horsens vandopland, oprinder fra diffuse kilder på land. Denne antagelse sandsynliggøres yderligere, da landbruget som vist i indledningen netop betragtes som den primære forurener af fjorde og kystnære områder. Inden for akvakulturudvalgets anbefalinger syntes der derfor at foreligge en mulighed for at udvide brugen af sukkertang som virkemiddel til også at inkludere opsamling af næringsstoffer direkte relateret til de i figur 19 kalkulerede tilførsler til det marine miljø. En integration af sukkertang som virkemiddel vil herved være sammenfaldende med IE's udvidede systemperspektiv, hvor næringsstoffer netop følges værdifuld ressource på tværs af grænser mellem tilgrænsende manipulerede økosystemer.

Som påpeget er både den land- og havbaserede produktion underlagt krav om reduceret påvirkning af marine områder, der herved bliver den primære begrænsning for systemernes vækst. Det er derfor sandsynligt, at en administrativ udvidelse af nuværende anbefalinger for brug af fangkulturer yderligere vil tilskynde til R & D ift. produktion af tang. En sådan forskning vil skulle målrettes analyser af sukkertangens kemiske sammensætning samt applikation og udvikling af storskaladyrknings-systemer, der som fremhævet via figur 18 er blandt de primære udfordringer, såfremt en storskalaproduktion med effekt skal kunne etableres.

Med udgangspunkt i IE's udvidede systemramme er nu præsenteret en mulig administrativ ramme, der vil kunne danne grundlag for implementering af sukkertang som virkemiddel. Nedenstående tabel 2 repræsenterer en række mulige reduktionsscenarier ved anvendelse af sukkertang baseret på de informationer for sukkertangens N og P indhold, der er til rådighed i dag.

[68]Da vækstsæsonen for sukkertang ikke fuldt korrelerer med sæsonen for prodution af fisk i danske farvande, kan sukkertangens optag af N selv ved placering i umiddelbar nærhed til punktkilden ikke direkte relateres til punktkildes udledning (efter interview af Rasmus Bjerregaard).

4.5 Produktionsscenarier

I tabel 2 præsenteres udbytteestimater for næringsstofopsamlingen direkte relateret til den politiske målsætning inden for Grøn Vækst, hvor udgangspunktet altså er en reduktion på 19.000 ton N pr år i 2015 (det oprindelige Grøn Vækst mål) samt det forventede politiske kompromis med en reduktion på 9.000 ton N pr år i 2015. De to Grøn Vækst reduktionsscenarier er valgt da IE's udvidede systemramme nu tillader at følge IE's grundliggende princip som illustreret via Kalundborg Eco-industrial Park, der tager højde for en ressources vedvarende værdi også selvom den måtte forlade det oprindelige produktionssystem. Herforuden er der angivet et reduktionsscenarium på 1.000 ton N pr år, der er fremlagt som et muligt bud på N opsamling i særligt sårbare fjordområder.

Da estimater fremlagt i tabel 2 udgør et vigtigt grundlag for opgavens konklusioner, er det indledningsvist vurderet relevant at gennemføre en kritisk diskussion af de datakilder, der udgør grundlaget for beregningerne.

4.5.1 Kritisk diskussion af table 2

Tabel 2: Tabellen angiver en teoretisk maks. produktion baseret på biomasseproduktion pr år ved nyttiggørelse af de i Grøn Vækst anviste reduktionsmålsætninger for landbrugets N- tilførsel til det marine miljø. Hertil er anført landbrugets årlige P-tilførsel til det marine miljø, den forudsatte P binding i biomassen samt differencen mellem landbrugets P- tilførsel og den forudsatte binding af P. Til højre i tabellen angives arealbehov angivet i ha pr år. I forhold til data anvendt i beregningerne henvises til tabel 1 og figur 19. Der henvises til bilag 5 for eksemplificering af udregninger.

19.000 ton N = oprindelige Grøn Vækst mål og 9.000 ton N = Grøn Vækst mål fratrukket ambition om omsættelige kvoter	**Reduktionsmål i N tilførslen fra landbruget i ton pr år**	**Maks. produktion i ton vådvægt pr år**	**Produktion i tørvægt (18 %) i ton pr år**	**P- tilførsel fra landbruget i ton pr år**	**P – binding ved maks. Produktion i ton pr år**	**Difference i ton P pr år**	**Påkrævet areal i ha pr år**
Udbyttescenarie 3	19.000	3.089.430	556.097	1.400	2.778	-1.378	142.633
Udbyttescenarie 3	9.000	1.463.415	263.414	1.400	1.316	84	67.563
udbyttescenarie 3	1.000	162.602	29.268	1.400	146	1.254	7.507
Udbyttescenarie 4	19.000	4.269.663	768.539	1.400	3.846	-2.446	146.021
Udbyttescenarie 4	9.000	2.022.472	364.045	1.400	1.822	-422	69.168
Udbyttescenarie 4	1.000	224.719	40.449	1.400	202	1198	7.685

Der er i dag et meget begrænset udvalg af studier omhandlende de store brunalgers N og P indhold i relation til årstid. Hertil foreligger kun ét studie af Gevaert et al (2001), der specifikt omhandler N-indholdet for sukkertang[69]. Gevaert et al (2001) angiver dog ikke et N-indhold direkte relateret til

[69] I sit studie indsamlede Gevaert's (2001) sukkertangen ved *Dover strait* (den engelske kanal). Indsamlingen foregik over en 4-årig periode.

udbyttescenarie 4 (august), hvorved det er fundet nødvendigt at anvende hans estimat angivet for september måned. Da N- indholdet for august ifølge Gevaert et al (2001) kan forventes at være relativt mindre, foreligger altså her en mulig bias. Det vurderes dog, at august/september niveauet vil være tilnærmelsesvis korrelerende, hvorfor det er besluttet at anvende N data for september. Gevaert et al (2001) angiver et gennemsnitligt N-indhold for marts måned på 3,42 % (+/- 0,09) på tørstofbasis, mens N-indholdet for september angives til 2,47 % (+/- 0,13). En diskussion af Gevaert's (2001) estimater for N indhold i relation til de opsatte udbyttescenarier 3 og 4 er dog nødvendig.

Som angivet i afsnittet 4.2.1 regnes der med en biomassetilvækst på 35 % mellem marts og august. Med udgangspunkt i det angive N-indhold for marts/august kan det udregnes (se bilag 6 og 5), at der i marts måned (udbyttescenarium 3) vil være bundet 133,38 kilo N pr ha pr år[70], mens der i august vil være bundet 130,00 kilo N pr ha pr år. Herved kan observeres et fald i N-indholdet fra marts til august på 3,38 kilo N pr ha pr år svarende til et fald på 2,53 %. Faldet i kilo N pr ha pr år kan ikke forklares via faglitteraturen, hvor Moy (2008: 37-50) og Buck et al (2004) fremhæver, at sukkertangen vil stoppe sin længdevækst fra det sene forår og over sommeren, men altså ikke reduceres i længde, hvilket formodes at være en forudsætning for en N-reduktion.

Til trods for et samlet fald vil der dog kunne argumenteres for, at ændringen i N-mængden er usignifikant, bl.a. med udgangspunkt i at udbyttescenarium 4 ikke er realiseret gennem en kommerciel produktion, hvorved den angivne biomassetilvækst kan forventes at udgøre et groft estimat. Såfremt den absolutte N-mængde skal forblive konstant forudsættes en biomassetilvækst fra marts til august på 38,2 % (se bilag 6) modsat den anslåede tilvækst på 35 %. Antagelser om en væsentlig forhøjet tilvækst i biomassen sandsynliggøres dog ikke via figur 11, hvor Black angiver tilvæksten i laminarin og mannitol i samme periode til ca. 31 procentpoint.

Det synes i denne forbindelse plausibelt at antage, at tabet af N skal forklares ud fra en række usikkerheder herunder den angivne usikkerhedsmargen relateret til estimaterne angivet af Gevaert et al (2001). Hertil bør påpeges et væsentligt behov for yderligere studier af sukkertangens N-indhold specifikt for danske farvande. Selvom pålideligheden af det angivne N-indhold for marts og august således vurderes at være høj (her med forbehold for en lille afvigelse for augustestimatet), så vil Gevaert's (2001) resultater optimalt set skulle verificeres gennem komparative studier, hvor der bl.a. korrigeres for afvigelser forbundet med metodevalg. En komparativ analyse vil således yderligere højne generaliserbarheden af N af data fremlagt i tabel 1.

Ovenstående pointe går igen ift. udregning af sukkertangens indhold af P, hvor der ligeledes foreligger et begrænset antal studier, og hvor ingen af disse er udført i danske farvande. Der er her taget udgangspunkt i Murata et al (2001) som eneste refererede kilde i faglitteraturen, der angiver et P-indhold på 0,5 % af tørvægt over årets 12 måneder. Da P-indholdet således antages at være konstant gennem året, vil N/P-forholdet variere i henhold til årstid som en indikation på faldet i N.

[70] N- bindingen pr ha pa år er et udtryk for den mængde N der bindes i sukkertangen pr år. Ved høst efter en 2-årig produktionscyklus vil altså kunne opsamles 2 * 133,38 kilo N = 266,76 kilo N.

Ud fra de foreliggende oplysninger er der beregnet et N/P-forhold for marts på 6,84/1, mens N/P forholdet for august estimeres til 4,94/1 (se bilag 5). Det synes dog rimeligt at antage at P-indholdet vil udvise små udsving over året, hvorved yderligere studier vil bidrage til at øge generaliserbarheden af estimaterne i tabel 2, der netop sigter på identifikation af sæsonmæssige udsving.

Anvendte data for N og P skal altså betragtes som en grov indikation ift. sukkertangens potentiale som virkemiddel i danske farvande. Behovet for en øget forskningsindsats tydeliggøres gennem akvakulturudvalgets anbefalinger samt ved en eventuel implementering af sukkertang som virkemiddel. Således vil en større mængde data over tangens indholdskomponenter bidrage til en højere generaliserbarhed ved effektberegninger eksempelvis relateret til dyrkning af sukkertang i fjordområder, hvorved en samfundsøkonomisk analyse af N/ P-opsamling nemmere kan vurderes i forhold til arealets øvrige anvendelsesmuligheder (nytteværdi). Blue Food og DTU har til dette formål søgt projektmidler fra GUDP med det formål at dokumentere biokemiske komponenter fra den dyrkede sukkertang i henhold til sæson[71].

Til trods for ovenstående forbehold kan der identificeres en tilnærmelsesvis overensstemmelse med principperne bag sukkertangens stratificerede strategi for næringsstofoptag, nærringsstoflagring og længdevækst, hvor faldet i procentpoint for tangens indhold af N modsvares af sukkertangens tilvækst i let tilgængelige kulhydrater. Indholdet af N pr ha vil derfor forblive tilnærmelsesvist konstant, da biomassetilvæksten pr arealenhed udjævner den årstidsrelaterede procentmæssige reduktion i sukkertangens N-indhold.

Ovenstående diskussion af datas generaliserbarhed bekræfter altså overordnet de estimater, der i dag foreligger for sukkertangens N-indhold. Der foreligger derfor nu et grundlag hvorfra næringsstofopsamlingens signifikans kan analyseres og diskuteres. Her skal analysen omhandle en opfyldelse af Grøn Vækst mål om vækst kombineret med et forbedret miljø som angivet via vandmiljøplanerne, men også en overordnet bæredygtighedsanalyse med udgangspunkt i IE og den udvidede systemramme, der er blevet argumenteret for.

4.5.2 Målopfyldelse af Vandmiljøplaner

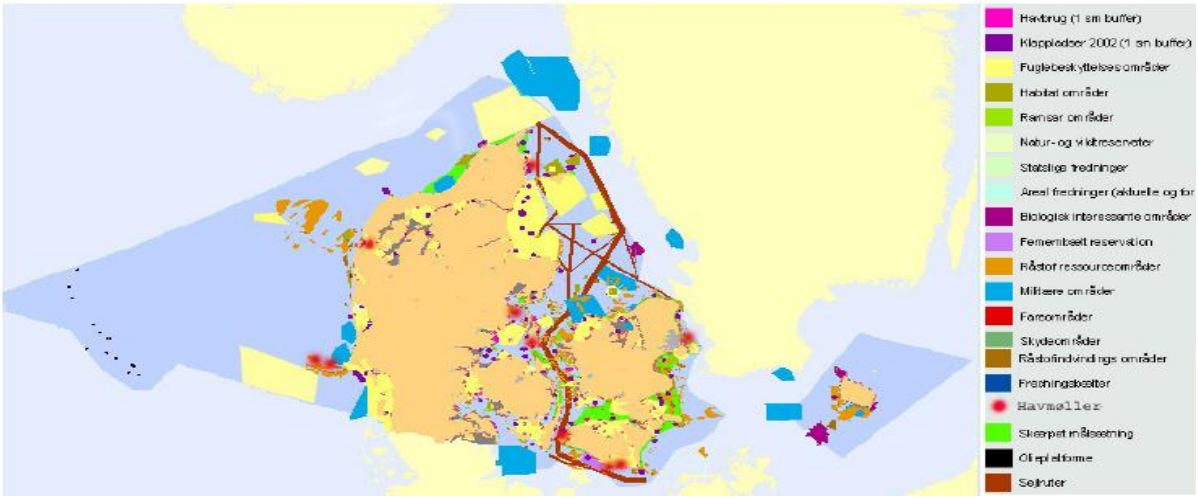
Det er i tabel 2 valgt at fremlægge et reduktionsscenarium på 1.000 ton N pr år, der forudsætter en nyttiggørelse af et areal på ca. 7.500 ha (75 km^2) svarende til ca. 0,28 % af det dyrkede landareal, der af Grant (2008) er angivet til 27.120 km^2. Reduktionen af 1.000 ton N pr år skal ses som et muligt bud på et reduktionsscenarium, der vil kunne udgøre et fundament ifm. en eventuel politisk beslutning om etablering af sukkertangsproduktion specifikt for fjordområder. Før signifikansen ved en reduktion af 1.000 ton N analyseres er det dog fundet nødvendigt at fremlægge en række af produktionens begrænsninger, der vil influere på sukkertangens mulige udbredelse og dermed også implementering som virkemiddel inden for de afgrænsende hovedvandoplande. Størrelsen af det

[71] I henhold til personlig korrespondance med Susan Løvstad Holdt.

fremlagte reduktionsscenarium skal derfor ses som en konsekvens af første del af nedenstående analyse.

Af figur 25 ses det, hvordan dele af de danske farvande er inddelt i henhold til en række administrative kategorier, der afspejler en samfundsøkonomisk vurdering af områdernes naturværdi, og derfor er underlagt specifikke restriktioner ift. anvendelse. Herunder kan nævnes fuglebeskyttelsesområder, natura 2000 områder, sejladsruter, råstofindvindingsområder mv.

Figur 25: Marint område og arealanvendelse inden for Dansk Eksklusiv Økonomisk Zone (EEZ) (Bruhn et al, 2010, side 20).



I henhold til Bruhn et al (2010, side 18) udgør den danske eksklusive økonomiske zone et areal på 105.000 km^2, hvoraf 72.080 km^2 ikke er underlagt administrative restriktioner og derfor i teorien kan nyttiggøres. Som beskrevet i afsnit 4.1.4 er akvakulturproduktion i Nordsøen imidlertid ikke på nuværende tidspunkt en reel mulighed og der findes ikke kommercielt anvendelige dyrkningskonstruktioner til produktion af hverken sukkertang eller fisk. Derfor begrænses det potentielle produktionsareal på nuværende tidspunkt til de kystnære indre danske farvande, der som beskrevet ligeledes er underlagt en række begrænsninger i henhold til abiotiske/biotiske faktorer.

Her vil saltvandsfluktuationer med vertikal opdeling af vandsøjlen forår og sommer være den måske mest begrænsende faktor, hvor produktion af sukkertang i områder med udprægede ferskvandsfluktuationer ikke kan forventes at yde udbytte i henhold til fremlagte scenarier 3 og 4. En praktisk implementering af sukkertang som virkemiddel kan derfor forventes at begrænses til de mere saltholdige østlige farvande, hvor de lokale strøm- og dybdeforhold tilsvarende kan forventes at indvirke på en given lokalitets egnethed som produktionslokalitet.

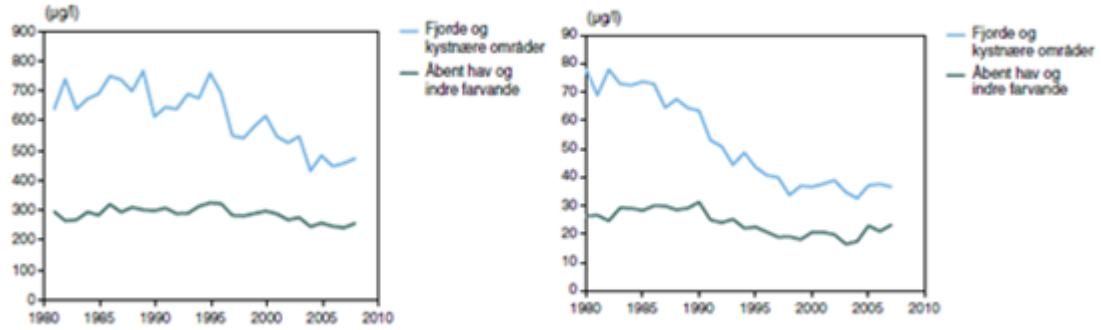
Med forbehold for bl.a. lokale strøm- og dybdeforhold synes det dog rimeligt at tage udgangspunkt i figur 13 som en indikation af de bedst egnede produktionslokaliteter, hvor kystlinjen fra omkring Horsens Fjord og opefter mod Skagen (inkl. Limfjordsområdet) med en relativ høj saltholdighed er umiddelbart bedst egnet. Denne strækning repræsenterer således en grov indikation af, hvilke

hovedvandoplande der med effekt vil kunne anvende sukkertang som virkemiddel. Hertil bør bemærkes at udbyttescenarier 3 og 4 netop er opnået på en lokalitet, der repræsenterer et groft gennemsnit af saltholdigheden på denne kystlinje.

De ovenfor påpegede geografiske og administrative begrænsninger medvirker til at demonstrere, at sukkertang som virkemiddel ikke kan erstatte de landbaserede virkemidler. Landbrugets N-tilførsel belaster således primært fjorde og kystnære områder eksemplificeret via figur 26, hvor en eventuel storskalaproduktion formentlig på flere lokaliteter netop vil begrænses af abiotiske faktorer som dybde, temperatur og partikelkoncentrationsforhold, der vil kunne indvirke negativt på produktivitet pr areal. Herforuden bør produktionens placering afbalanceres ift. arealets øvrige anvendelser under hensyn til bl.a. lystsejladsens pladsbehov[72].

Sukkertang som virkemiddel bør således opfattes som en mulig del af en bred palet af virkemidler, mens implementering af landbaserede virkemidler, der tilskynder til dematerialization, bør være det primære indsatsområde. Herudfra kan ligeledes udledes, at akvakulturudvalgets tilskyndelse til brug af fangkulturer kun bør følges, såfremt tilførslen af næringsstoffer til det marine miljø foregår uden for særligt sårbare marine områder eller, såfremt det findes muligt og med effekt, at etablere fangkulturen i netop disse områder.

Figur 26: årsmiddelkoncentrationen af kvælstof (N) og fosfor (P). Grøn streg: åbent hav og indre farvande. Blå streg: fjorde og kystnære områder. (Normander 2009: 55)



Valget af et reduktionsscenarium på 1.000 ton N skal som påpeget ses som en konsekvens af de ovenstående begrænsninger ved produktion af sukkertang i de særligt sårbare fjordområder. For at fremkomme med et mere nøjagtigt estimat for arealet til rådighed for produktion af sukkertang i fjordområder vil det være nødvendigt med en bred dialog mellem aktører med interesse i anvendelsen af fjordområderne samt en mere detaljeret gennemgang af abiotiske faktorer for hver af de relevante fjorde. En nærmere gennemgang af de abiotiske faktorer fremlægges via Blue Revolution projektet (2010) i 2013, hvorfor det i opgaven her ikke har været muligt at fremkomme med et mere præcist estimat.

[72] Herforuden bør man ligeledes overveje den visuelle forurening forbundet med produktion, bl.a. bøjer og andre synlige dele af dyrkningskonstruktionen.

Ved vurdering af N-reduktionens signifikans kan det forventes, at en sukkertangsproduktion på ca. 7.500 ha vil bidrage med tilnærmelsesvis samme reduktioner som ved etablering af vådområder (reduktionsevne sat til 1132 ton N) og som ved en ændring af normsystemet (reduktionsevne sat til 1080 ton N). Da disse to virkemidler i Grøn Vækst planen fremstår blandt de primære landbaserede virkemidler til reduktion af N (se bilag 1) vil en nyttiggørelse af 7.500 ha altså medføre en signifikant reduktion. Ser man på landbrugets årlige udledning af P til det marine miljø på 1.400 ton, vil den beregnede P-binding ligeledes være betragtelig svarende til 10,4 % (udbyttescenarium 3) og 14,4 % (udbyttescenarium 4). En indledende forudsætning for virkemidlets effekt vil dog være at pålægge relevante administrative enheder på hovedvandsoplandsniveau at tilgængeliggøre de 7.500 ha til produktionsformål.

Anvendelse af sukkertang som virkemiddel ift. realisering af Vandrammedirektivets målsætning har altså et væsentligt potentiale. Dette på trods af det nuværende teknologiske stadie med betydelige muligheder for teknologiske fremskridt herunder ifm. en videreudvikling af dyrkningskonstruktioner. Herudfra kan ligeledes udledes, at IE's udvidede systemramme, hvor det traditionelle landbrugs tab af næringsstoffer kontinuerligt betragtes som en produktionsressource, udgør et frugtbart udgangspunkt ift. at mindske påvirkningen af tilgrænsende økosystemer.

En reduktion på 1.000 ton vil med henvisning til opgavens indledning være særlig interessant, da denne kan gennemføres uden indvirkning på den landbaserede produktion. Der eksisterer altså ikke en modsætning mellem sukkertang som virkemiddel og en fortsat vækst inden for det traditionelle landbrug, hvorved en produktion af sukkertang virker fordrende for den overordnede Grøn Vækst bæredygtighedstilgang, hvor miljø og naturbeskyttelse kan forenes med vækst inden for landbruget.

De anviste beregninger i tabel 2 for reduktion af henholdsvis 19.000 ton N og 9.000 ton N kan ligeledes relateres til ambitionerne om en god økologisk tilstand. Dette eftersom de indre danske farvande i henhold til Møhlenberg, 2008:2-4) generelt er at betragte som eutrofierede, hvorved en N-binding i alle indre farvande kan forventes at bidrage til en overordnet forbedret økologisk tilstand. Dette uafhængigt om denne opsamling foregår i henhold til en ligelig fordeling mellem de geografisk afgrænsede hovedvandoplande, inden for nogle få afgrænsede hovedvandoplandsområder eller helt uden for de administrative grænser defineret under vandmiljøplanerne.

Akvakulturudvalgets anbefalinger, der bygges op omkring Vandrammedirektivets geografiske afgrænsning til kyst- og fjordområder, udgør altså ikke nødvendigvis det rette grundlag, hvorpå sukkertang mest effektfuldt implementeres som virkemiddel. Med udgangspunkt i de fremlagte miljøøkonomiske principper er det derfor i opgavens afsnit 4.7 fundet relevant at analysere og diskutere en højere grad af administrativ fleksibilitet ved en eventuel implementering af sukkertang som virkemiddel.

Såfremt der tages udgangspunkt i IE's overordnede principper er scenarierne for reduktion af de 9.000 ton N og 19.000 ton N dog særligt relevante. Her vil en tilnærmelse af et type C system ikke kunne underlægges Vandrammedirektivets administrative grænser, da målet her nok er en reduceret påvirkning af tilgrænsende økosystemer, men også en recirkulering af "tabte" ressourcer i form af næringsstoffer. I henhold til IE's bæredygtighedstilgang er det derfor relevant at opsamle den størst mulige andel af systemets N og P tab med henblik på at kunne recirkulere ressourcen tilbage i systemet. Med udgangspunkt i analysens afsnit 4.3.2 bør både N og P således betragtes som knappe ressourcer, hvortil Cordell et al (2008) fremhæver recirkulation af netop P som en nødvendig præmis for landbrugsproduktionens bæredygtighed på sigt.

Ud fra tabel 2 ses, at en reduktion på 19.000 ton N med afsæt i udbyttescenarium 3 forudsætter en P-binding, der overstiger det traditionelle landbrugs tilførsel til det marine miljø med 1.378 ton P pr år. Tilsvarende forudsætter en nyttiggørelse af 19.000 ton N med afsæt i udbyttescenarium 4 en P-binding, der overgår det traditionelle landbrugs P-tilførsel til det marine miljø med 2.446 ton pr år. Fosfor vil altså kunne gå hen og blive en begrænsende faktor for en storskala produktionen af sukkertang. Det bør dog pointeres, at det traditionelle landbrug ikke er eneste kilde til udledning af P til det marine miljø. I denne forbindelse fremhæver Larsen et al (2010:48), at der på årsbasis udledes ca. 500 ton P til det marine miljø fra punktkilder, hvorved denne næringsstofstrøm ligeledes kan forventes at indgå som en produktiv ressource i en storskalaproduktion.

Ved nyttiggørelse af 19.000 ton N vil produktionens arealkrav for begge udbyttescenarier ligge på ca. 146.000 ha (1.460 km^2) svarende til ca. 5,4 % af det opdyrkede landareal. Her skal det dog pointeres at en egentlig storskalaproduktion vil kræve betydelige teknologiske forbedringer herunder mekanisering af høst og en forventet opgradering af dyrkningskonstruktioner. Tilsvarende forudsættes det, at produktionens inputs i form af arbejdstimer, transport, forbrug af fossile brændsler mv. kan minimeres. Målet vil her være en minimering af produktionens omkostninger herunder gennem valg af optimale dyrkningslokaliteter som illustreret via upwellingområder afbildet på figur 17.

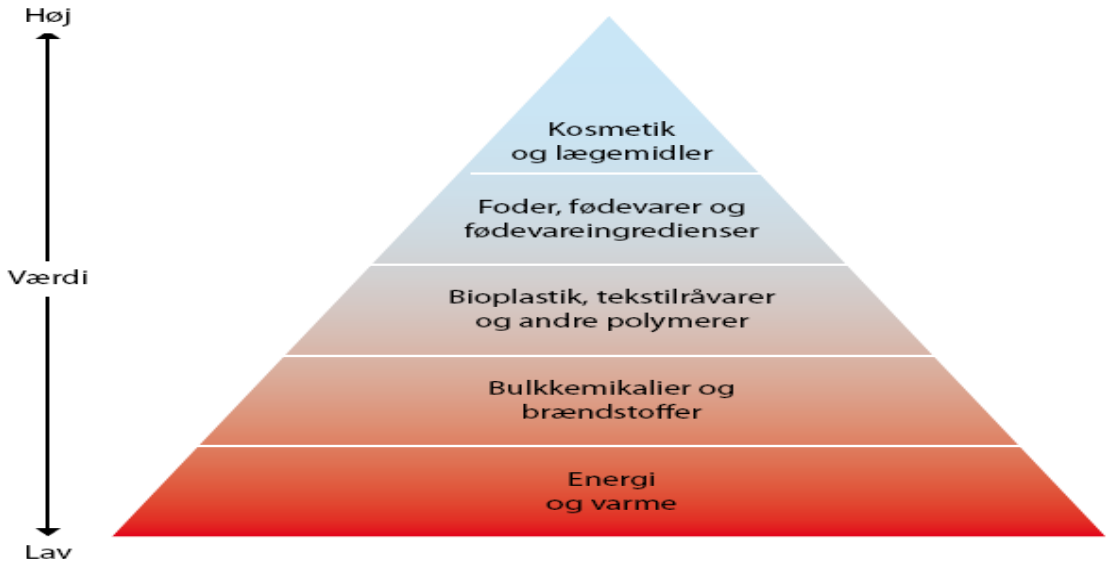
Ved nyttiggørelse af sukkertangen til kommercielle formål vil biomassens prisniveau således være en afgørende faktor herunder ved anvendelse i en bioraffineringsproces som anbefalet af Fødevareministeriet (Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri. Maj 2010). En egentlig vurdering af produktionsomkostninger forbundet med produktion af sukkertang ligger dog uden for opgavens emne. I opgaven baseres nyttiggørelsen af sukkertang derfor på en antagelse om, at sukkertang med tiden prismæssigt vil kunne konkurrere med andre råvaretyper.

Nedenstående afsnit er en analyse og diskussion af muligheden for at nyttiggøre sukkertang i en bioraffineringsproces samt en vurdering af nyttiggørelsens overordnede implikationer for det traditionelle landbrugs bæredygtighed.

4.6 Bioraffinering af sukkertang

Som påpeget i opgavens indledning fremhæver Fødevareministeriet en bioraffineringsproces som en optimal teknologisk applikation ved nyttiggørelse af ressourcer fra havet. Begrundelse for teknologivalg skal ses ud fra et ønske om at udnytte råvarens forskellige biokemiske komponenter, hvor højværdiprodukter først udvindes fra råvaren, hvorefter produkter af faldende værdi kan udvindes og nyttiggøres. Figur 27 eksemplificerer tankegangen, der samtidig angiver en række af de produkter, som bioraffinering af fiskeaffald og alger på sigt forventes at bidrage med.

Figur 27: Figuren illustrerer den gængse logik bag en bioraffinering af blå biomasse, hvor først højværdiprodukter udvindes efterfulgt af produkter af faldende værdi. (Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri. Maj 2010)



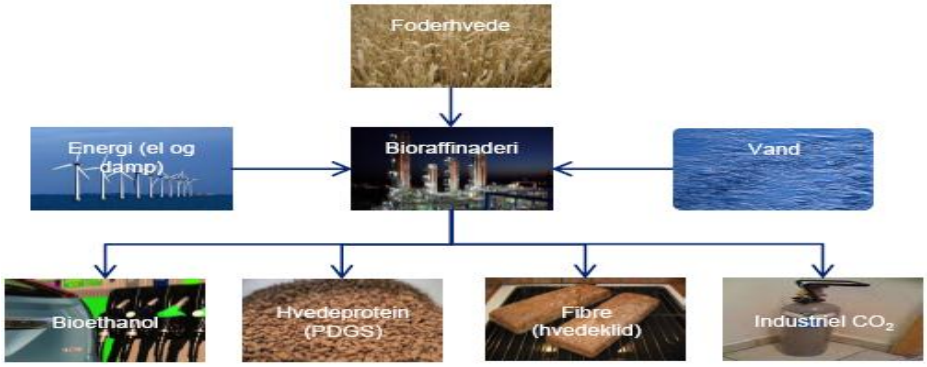
Da der ikke i dag forefindes eksempler på en storskala bioraffinering af blå biomasse bør figur 27 imidlertid ikke opfattes som udtryk for et teknologisk scenarium, som er realiserbart på kommerciel basis. Det er derfor i opgaven valgt at tage udgangspunkt i udviklingsvirksomheden DBH Technology, der via firmaet hveiti a/s planlægger opførelse af et bioraffinaderi ved Grenå havn (informationer omkring den planlagte produktion fremgår via bilag 7), hvor produktionen af bl.a. bioethanol baseres på dansk stivelseholdig foderhvede[73].

Valget af netop DBH Technology som inspirationsgrundlag for nyttiggørelse af sukkertang er truffet ud fra en række hensyn, herunder et ønske om at løfte denne del af analysen fra et teoretisk plan til et mere sandsynliggjort teknologisk scenarium. Målet er således at gengive en bioraffineringsproces, hvor referencer til forarbejdningsteknologi, råvaretype og påkrævede råvaremængder er en funktion af de markedsvilkår, der gør sig gældende i dag. Herved ses bort fra en række af de produkter som gengivet i figur 27, der altså først og fremmest bør ses som en

[73] Foderhvede refererer til hvede med et højt stivelsesindhold, hvis kvalitet ikke vurderes egnet til humankonsum.

teoretisk gengivelse af produktionens fremtidige muligheder. I stedet tages udgangspunkt i DBH Technologys produktionsdesign, som angivet via figur 28 nedenfor, som en grov skabelon for en mulig nyttiggørelse af sukkertang.

Figur 28: Bioraffinaderi – fra foderhvede til slutprodukter. Billedet angiver det procesdesign der forventes anvendt af DBH Technology (Billedet er taget fra Deloitte's feasibility study lavet for DBH Technology - angivet via bilag 7).



Valget af foderhvede som råvare begrundes ud fra anlæggets planlagte kapacitet med behov for en helårlig stabil leverance på ca. 530.000 ton eller ca. 1.500 tons pr dag. Råvarevalget er dog ligeledes en konsekvens af muligheden for værdioptimering af hvedekernen sat i forhold til dens traditionelle anvendelse som ubearbejdet foderkomponent i landbruget. Ved anvendelse i en bioraffineringsproces udnyttes kernens stivelseindhold til en produktion af bio-ethanol, der fremstår som det primære output med en forventet årlig produktion på 200 mio. liter.

Produktionen af fiber (hvedeklid) til humankonsum foregår ved at afskalle kernen før enzymatisk behandling af biomassen, mens opsamling af CO_2 til industrielle formål finder sted under selve fermenteringsprocessen[74]. Herforuden produceres højværdi hvedeprotein (PDGS)[75], der er tiltænkt anvendt som foderprodukt i en svine- og/eller fiskeproduktion. Produktionens input af energi baseres på vedvarende energikilder, herunder halm og vindmølleenergi, mens produktionens forbrug af procesvand i fermenteringsprocessen leveres i form af overskudsvand fra de Danske Gærfabrikker.

En væsentlig del af den opnåede værdiskabelse opstår ved en recirkulering af N og P i form af proteinholdig PDGS tilbage til det traditionelle landbrug. Her er det forventningen, at den termisk/enzymatiske bearbejdning af biomassen bl.a. med henvisning til foderforsøg af Shurson et (2004) og Stein et al (2008), vil bidrage til en øget N og P udnyttelsesgrad blandt svin.

DBH Technology er dog ikke kun relevant for opgaven pga. virksomhedens forarbejdning af råvaren. Som gengivet af Hond (1999) er en af IE's bærende principper tiltroen til, at en bedre

[74] Fermenteringsprocessen (i relation til DBH Technologys procesdesign) refererer til en opvarmning af vand og biomasse til 137 C^o med det primære formål at kontrollere bakteriologien gennem den resterende produktion.
[75] PDGS står for Protein Distillers Grain Solubles og refererer til et biprodukt med et højt indhold af hvedeprotein.

ressourceanvendelse virksomheder imellem bidrager til en højere værdiskabelse. Denne tilgang til ressourceoptimering af energi- og affaldsstrømme kan tilsvarende identificeres mellem DBH Technology og tilgrænsende virksomheder. Et af flere eksempler herpå er DBH Technologys planlagte samarbejde med Grenå Fjernvarmeforsyning, hvor koldt vand fra fjernvarmeforsyningen anvendes til nedkøling af den opvarmede biomasse, hvorefter det recirkuleres tilbage til fjernvarmeforsyningen[76] mhp. genanvendelse som energikilde til opvarmning af bebyggelse. Det synes altså muligt at drage paralleller til Kalundborg Eco – Industrial Park, hvor affalds- og energistrømme recirkuleres til nærliggende virksomheder med en kollektivt øget værdiskabelse til følge.

En analyse af produktionens output ved anvendelse af sukkertang som råvarekomponent kræver indledningsvis et overblik over sukkertangens biokemiske komponenter i henhold til høsttidspunktet. Herved vil det være muligt at fastsætte det optimale høsttidspunkt mhp. at højne sukkertangens værdi som råvare i en bioraffineringsproces.

4.6.1 Optimalt høsttidspunkt

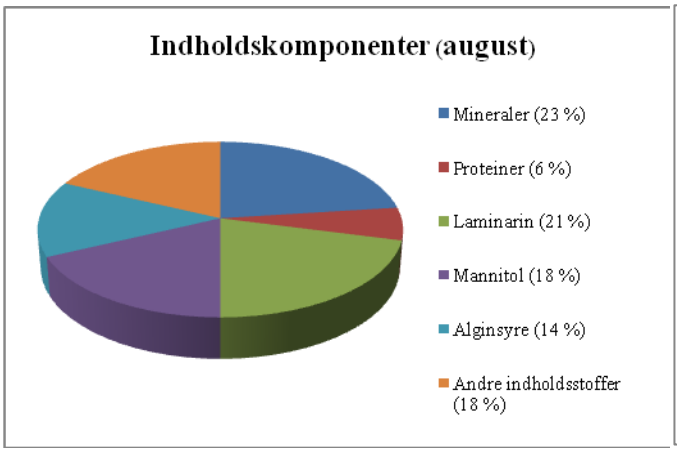
Sukkertangens indholdskomponenter er for marts og august angivet ved cirkeldiagrammerne nedenfor. Da der er mangel på repræsentative dataserier for danske vækstbetingelser, er det valgt at tage udgangspunkt i data indsamlet af Black (1950:60-67) som gengivet i figur 11, hvor fordelingen af sukkertangens biokemiske komponenter på tørstofbasis er angivet. Kategorien ”andre indholdsstoffer” dækker over indholdsstoffer såsom phenoler (antioxidanter), lipider[77] og pigmenter[78] og er tilføjet med udgangspunkt i Holdt’s (2011) beskrivelse af tangens biokemiske komponenter[79].

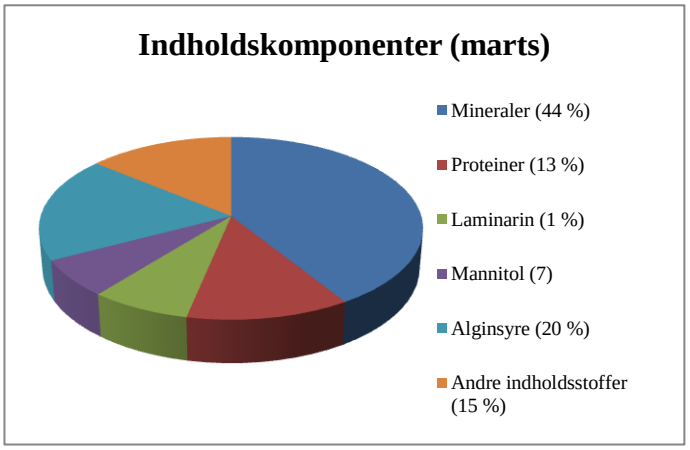
[76] Vandet recirkuleres med en gennemsnitstemperatur på 80 C^0.

[77] Lipider refererer til tangens indhold af fedtsyrer, der vil variere mellem tangarter med en maks. mængde på 4,5 %.

[78] Pigmenter består bl.a. af klorofyl, der i alle alger (og jordens plantevækst) udfører fotosyntesen.

[79] Som påpeget af Holdt (2011:49-50) kan mineralindholdet for danske tangarter nå op på 55 % (Holt 2011:49-50). Det må dog antages at være sandsynligt, at indholdet af mineraler som angivet i figur 11 er sat for højt, da Black (1950) har indsamlet sukkertangen ud for Skotlands vestkyst (Black 1950:60) og ikke vasket sukkertangen før analyse af dens biokemiske komponenter. Da havet ud for Skotland ikke præges af saltvandsfluktrationer, vil dette altså medføre en bias, eftersom danske farvande selv ved samme metodiske fremgangsmåde vil efterlade en mindre andel af salte på sukkertangens overflade.





Laminarin og mannitol udgør sukkertangens andel af let tilgængelige kulhydrater. I relation hertil angiver Horn et al (2000) en konverteringsfaktor[80] på 0,38 for mannitol, mens konverterings-faktoren for laminarin sættes til 0,51[81]. Omvendt påpeger Bruhn et al (2010), at der endnu ikke er udviklet enzymtyper, der muliggør en forgæring af sukkertangens strukturelle kulhydrater i form af fibre i cellevæge og alginatsyre[82], der begge er svært nedbrydelige.

Indholdet af laminarin og mannitol med udgangspunkt i den nuværende bioteknologiske know how er altså afgørende for størrelsen af en produktion af bioethanol. Ved observation af ovenstående cirkeldiagrammer ses en markant forøgelse på 29 % af netop disse to sukkerstoffer i perioden marts-august. Sukkertangens samlede værdi som råvare i en bioraffinaderi vil stige væsentligt ved valg af en augusthøst (udbyttescenarium 4). Det synes derfor rimeligt at antage at en augusthøst er en forudsætning for opnåelse af størst mulig rentabilitet ved anvendelse af sukkertang i det fremlagte teknologiscenarium, hvor produktion af bioethanol netop udgør den primære outputkategori.

Hertil påpeger Horn et al (2000), at en øget forskningsindsats med fokus på bl.a. nye enzymtyper kan formodes at forbedre konverteringsgraden, hvilket bekræftes af Adams et al (2008), der henviser til den begrænsede mængde fermenteringsforsøg til dato. Der foreligger altså et ikke realiseret potentiale, hvor en forbedret konverteringsfaktor for laminarin og mannitol samt udvikling af enzymtyper til tilgængeliggørelse af alginatkomponenten kan formodes at øge produktionen væsentligt. Her vil valg af enzymtyper skulle afprøves ift. en forventet høj saltkoncentrationen under fermenteringsprocessen, der muligvis vil være en af de begrænsende faktorer ved en yderligere nyttiggørelse af sukkertangens kulhydratindhold.

---

[80] Konverteringsfaktoren henviser til den andel af sukrene der vil kunne forgæres til bioethanol.
[81] Konverteringsfaktoren for laminarin er oplyst af Anne Belinda Bjerre, seniorkonsulent ved Danmarks Tekniske Universitet.
[82] Udvikling af enzymtyper mhp. forgæring af alginatdelen angives af Bruhn et al (2010) som sandsynlig inden for nær fremtid.

4.6.2 Kvantificering af produktionens outputs

Der er ved kvantificering af produktionens outputs valgt kun at angive to outputkategorier, herunder **1)** produktion af bioethanol i millioner liter og **2)** restfraktionen bestående af ikke fermenterbare kulhydrater samt mineraler og proteiner. Begrundelsen for valg af kun to outputkategorier bunder i en stor usikkerhed omkring teknologiske muligheder for differentiering af de forskellige biokemiske komponenter i separate kategorier. Derfor er det vurderet mest hensigtsmæssigt at foretage en analyse og diskussion med udgangspunkt i disse to kategorier (se bilag 8 for forslag til andre separationskategorier).

Tilsvarende er det valgt at undlade udbyttescenariet, der baseres på en nyttiggørelse af 1.000 ton N fra det traditionelle landbrug. Som vist i afsnit 4.5.2 vil den opsamlede mængde N og P således være signifikant i relation til målopfyldelsen af vandmiljøplanerne under Grøn Vækst, hvorimod den angivne mængde af tørstof er for lille til at indgå som et separat scenarium i en bioraffineringsproces.

Tabel 3: Tabellen angiver output ved en bioraffinering af sukkertang for august måned (udbyttescenarium 4). Output kategorierne er inddelt efter biomassens samlede indhold af N og P, bioethanol i mio liter, samt en restfraktion bestående af ikke fermenterbare kulhydrater/mineraler og proteiner. Ved beregning af bioethanol potentialet er efter samtale med senior forsker Anne Belinda Bjerre fra Teknologisk Institut anvendt en konverteringsfaktor på 0,51 for laminarin, mens der er anvendt en konverteringsfaktor for mannitol på 0,38 (Horn et al, 2000). Til sammenligning er konverteringsfaktoren ved fermentering af foderhvede af DBH Technology angivet til 0,675. For eksemplificering af tabellens beregninger henvises til *bilag 9*.

Samlet mængde nitrogen i ton	Samlet mængde fosfor i ton	Produktion i tørvægt (18 %) i ton	Produktion af bioethanol i mio. liter	Restfraktion: ikke fermenterbare kulhydrater/mineraler proteiner i ton
19.000	3.846	768.539	172,644	633.661
9.000	1.822	364.045	81,780	300.155

Nedenstående er en analyse og diskussion af de to outputkategorier, hvor formålet er at synliggøre værdien af bioethanolen samt restfraktionen. En værdisætning vurderes i denne sammenhæng med udgangspunkt i IE's forståelsesramme, hvorved der ligeledes laves en vurdering af bæredygtighedsimplikationer forbundet med den i opgaven argumenterede udvidelse af landbrugets systemafgrænsning.

4.6.3 Produktion af bioethanol

IE's udvidede systemramme henviser til en nyttiggørelse af netop landbrugets tab af næringsstoffer, hvorved det følger, at en produktion af bioethanol vil være i overensstemmelse med Grøn Vækst målsætningen om landbruget som leverandør af grøn energi. En produktion af bioethanol kan dog ikke forventes at indvirke direkte på bæredygtigheden af det traditionelle landbrug som system, hvor maskinparken formodes primært at bestå af dieselmotorer. Da udledning af CO_2 har

implikationer for den globale bæredygtighed, forekommer det derfor mest relevant at vurdere signifikansen af en bioethanolproduktion i forhold til Danmarks forpligtelser til iblanding af bioethanol i benzin. Denne forpligtelse kommer til udtryk gennem EU's direktiv om fremme af anvendelsen af energi fra vedvarende energikilder (http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32009L0028:DA:NOT), hvor der konkret er fremsat krav om anvendelse af 10 % vedvarende energi til transportformål i 2020.

Ved vurdering af produktionens signifikans er det mest relevant at tage afsæt i det danske forbrug af benzin til transportformål, der i 2010 udgjorde 2.089.370.000 mia. liter (http://www.eof.dk/Priser-og-Forbrug/Benzin-forbrug.aspx). Et iblandingskrav på 10 % svarer altså til ca. 208,937 millioner liter. Herved vil en nyttiggørelse af 19.000 ton N, svarende til 172,644 mio. liter bioethanol, udgøre 82,63 % af iblandingskravet. Omvendt vil en nyttiggørelse af 9.000 ton N, svarende til 81,780 mio. liter bioethanol, udgøre 39,14 % af iblandingskravet. Begge disse estimater er altså stærkt signifikante og medvirker til at fremhæve et væsentligt potentiale ved nyttiggørelse af en eventuel storskala sukkertangsproduktion.

I henhold til IE's anlagte systemperspektiv illustreret via Garner et al (1995) og figur 4 bør signifikansen af bioethanolens værdi optimalt set vurderes ud fra biobrændstoffets CO_2-reduktionsevne, der vil være en determinant for dets evne til reduktion af negative eksternaliteter forbundet med afbrænding af fossile brændsler. Hertil er anvendelse af sukkertang som råvare interessant, da en yderligere optimering af bioethanolens CO_2-reduktionsevne næppe kan forventes realiseret gennem en forbedret udnyttelse af overskudsvarme fra DBH Technologys produktion. Det samme gør sig gældende for produktionens input af energi, der leveres fra vedvarende energikilder, sideløbende med at interne CO_2-reduktioner søges gennemført. En yderligere CO_2-reduktionevne vil derfor primært skulle realiseres gennem en reduktion af råvarekomponentens klimabidrag.

Som påpeget i afsnit 4.3.2 udgør bidraget fra fremstilling af handelsgødning i en dansk produktion af foderhvede 44 %, hvilket ved råvarens anvendelse overføres til bioethanolens samlede klimabelastning. Anvendelse af sukkertang kan her potentielt bidrage til en væsentlig forbedret CO_2-reduktionsevne, da denne i relation til IE's udvidede systemramme nyttiggør tab af N og P fra det traditionelle landbrug, og derved ikke belastes af det negative klimabidrag relateret til den landbaserede produktions input af handelsgødning. Som påpeget under afsnit 4.2.4. vil formodninger om en optimeret klimaprofil ved anvendelse af sukkertang som råvarekomponent dog skulle verificeres gennem et LCA studie, hvor produktionens inputs i henhold til retningsliner angivet under afsnit 2.3. udregnes i forhold til en række effektkategorier.

Den foretagne afgrænsning til udbyttescenarium 4 præsenterer dog en række logistiske udfordringer, da valg af råvaretype som påpeget forudsætter en kontinuerlig leverance gennem året. Herved vil der være et behov for udvikling af lavenergiteknologier til at gøre sukkertangen lagerstabil, hvilket forudsætter at vandindholdet reduceres væsentligt. Bruhn et al (2010) fremhæver her en centrifugeringsproces som bedst egnede lavenergimetode, mens en yderligere nedbringelse af vandindholdet muligvis vil kunne realiseres med udgangspunkt i principperne bag industriel

symbiose. Her vil en omdirigering og nyttiggørelse af en del af produktionens overskudsvarme fra fjernvarmeforsyningen til tørringsfaciliteter muligvis vil udgøre en mere optimeret ressourceanvendelse.

4.6.4 Restfraktionen

Kigger man opad i værdipyramiden finder man også produktion af foder som et højværdiprodukt. Inden for denne sammenhæng fremhæver Holdt (2011:67-70) en tiltagende interesse for anvendelse af tang som supplement i foderblandinger til svin. I denne sammenhæng er der foretaget forsøg med tilsætning i foderblandinger til smågrise, hvor foreløbige resultater indikerer et reduceret behov for anvendelse af antibiotika ved iblanding af tang[83]. Tilsvarende påpeger Hoebler et al (2000) en række effekter relateret til tangens høje fiberindhold med positive implikationer for slagtesvins fordøjelsessystem. Ovenstående indikerer altså et betydeligt potentiale for anvendelse af restfraktionen som fodersupplement.

Sukkertangens aminosyreprofil, der differentierer væsentligt fra landbaserede vegetabilske proteiners, kan ligeledes vise sig at repræsentere en væsentlig værdi. I denne forbindelse er der indgået samarbejde mellem Blue Food og firmaet Fermentationexperts A/S, der er specialiseret i fermentering af en række restprodukter herunder rapskager med henblik på øget optagelighed af proteinkomponenten i foderblandinger. Hertil påpeger direktør for Fermentationexperts, Jens Legarth, at der er igangsat forsøg med iblanding af sukkertang i foderblandinger til økologiske svin og kyllinger, hvor en større diversitet inden for foderets aminosyresammensætning forventes at medføre en forhøjet foderværdi (Grovvarenyt, 2011).

Relevansen ved eventuel nyttiggørelse af restfraktionen fra en storskala sukkertangsproduktion som fodersupplement i svinefoder fremhæves via figur 22 og 23, hvor det ses, at tilførslen af N og P via fodermidler i dag repræsenterer systemets to største importposter. Hertil viser figur 24 den strukturelle udvikling inden for det traditionelle landbrug over tid, hvor produktion af svin altså udgør den klart største eksportpost af N. Den strukturelle udvikling inden for systemet indikerer derfor en stadig voksende animalsk produktion, der herved kan udpeges som det primære indsatsområde, såfremt systemets bæredygtighed skal forbedres. I relation hertil indikeres via tabel 4 væsentlige implikationer for systemets bæredygtighed, såfremt sukkertang kan forventes at indgå som substitution for en række af systemets N og P inputkategorier. Her ses bl.a. at en N-binding ved nyttiggørelse af 19.000 ton N som produktiv ressource overgår den samlede N-import fra fiskemel, ensilage og affald med ca. 28 %, mens den udgør 4,1 % af den samlede import af N. Tilsvarende ses, at P-bindingen udgør 50,0 % af P-importen fra fiskemel, ensilage og affald og 31,0 % af importeret foderfosfat.

[83] Forbrug af antibiotika er generelt højt, når smågrise vænnes fra soen, hvor tarmfloraen skal tilvænnes indtag af en foderblanding.

Tabel 4: Nedenstående beregninger indikerer signifikansen af N- og P-bindingen i sukkertangen (målt i %) i henhold en række af det traditionelle landbrugs N- og P-importkategorier. Der er ved beregninger taget udgangspunkt i udbyttescenarie 4. I forhold til data anvendt ved beregninger henvises til figur 19 samt tabel 2.

N Import kategorier	N-reduktion som % af importkategorier (*ved* nyttiggørelse af 19.000 ton N)	N-reduktion som % af importkategorier (ved nyttiggørelse af 9.000 ton N)
N-import samlet	**4,1**	**1,9**
Oliekager	**12,5**	**5,9**
Fiskemel, ensilage og affald	**-27,62**	**60,5**

P-Import kategorier	P-binding som % af importkategorier (ved nyttigørrelse af 19.000 ton N)	P-binding som % af importkategorier (ved nyttiggørelse af 9.000 ton N)
Foderfosfat	**31,0**	**14,7**
Oliekager	**22,0**	**10,4**
Fiskemel, ensilage og affald	**50,0**	**23,7**

Da både foderfosfat og oliekager i henhold til figur 19 er to af det traditionelle landbrugs primære N- og P-foderimportposter kan det fra ovenstående udledes, at en nyttiggørelse af restfraktionen potentielt har en signifikant indvirkning på systemets bæredygtighed og transformation mod et type C system.

Hertil skal en mere dybdegående analyse og diskussion af bæredygtighedsrelaterede effekter ved recirkulation af restfraktionen tilbage til produktionssystemet nødvendigvis sættes i relation til mulige synergiefekter direkte relateret til en række forskellige emner. Der tænkes her på produktion af råvaren, forarbejdning af råvaren i en bioraffineringsproces, anvendelse af restfraktionen i foderblandinger samt bæredygtighedsprofilen på de importkategorier, der reduceres. I relation hertil påpeges det af Nuria Canibe[84] (DJF), at en del af restfraktionens værdi ved recirkulering beror på en forventet øget N-tilgængelighed[85], mens Shurson et al (2004) og Stein et al (2008) ud fra forsøg med bioraffinering af majs primært fremhæver en øget P-tilgængelighed. Såfremt det findes bevist, at sukkertangens N- og P-indhold tilsvarende opnår en højere fordøjelighed blandt svin gennem en bioraffineringsproces, vil en recirkulering derfor kunne bidrage til en højere foderudnyttelsesgrad.

Relevansen heraf fremhæves i opgavens afsnit 4.3.4, hvor det ses, at netop en optimering af foderudnyttelsesgraden har været en stærkt medvirkende faktor ift. en afkobling mellem ressourceforbrug og økonomisk vækst. Endvidere fremhæves vigtigheden af en vedvarende forbedring af foderudnyttelsesgraden af Kyllingsbæk (2008), der henviser til et forventet fald i N-udnyttelsen over tid. Argumentationen herfor beror på en forventning om en øget ammoniakfordampning ved udbringning af husdyrgødning, der relateres til landbrugets strukturelle

[84] Efter mailkorrespondance med senior forsker Nuria Canibe, Institut for Husdyrbiologi og -sundhed, Forskningscenter Foulum.

[85] DBH Technology planlægger at fraføre restfraktionen med et relativt højt vandindhold (30-35 %), der forventes at optimere restfraktionens indhold af aminosyren Lysin, der betragtes som en essentiel aminosyre ved produktion af animalsk protein.

udvikling mod en stigende animalsk produktion. En bearbejdning af råvarekomponenten forud for anvendelse i foderblandinger henviser imidlertid til muligheden for en fortsat udvikling mod dematerialization med en tiltagende fraførsel af N og P fra systemet bundet i animalsk produkter. En bioraffineringsproces bør altså ses som en mulig teknologisk applikation, der potentielt kan bidrage til Grøn Vækst målopfyldelsen med en fortsat afkobling mellem ressourceforbrug og økonomisk vækst.

Uafhængigt af ovenstående kan det dog forventes, at Grøn Vækst målsætningen om øget bioforgasning af gylle, der i henhold til Hansen et al (2004) bidrager til en øget N-plantetilgængelighed samt en reduceret ammoniakfordampning ved udbringning af gyllen, vil bidrage til en fortsat afkobling mellem systemets N- og P-inputs og økonomisk vækst[86]. Kyllingsbæks (2008) antagelse om en faldende næringsstofsfraførsel fra systemet synes altså ikke sandsynliggjort, hvor både nuværende Grøn Vækst målsætninger samt et muligt fremtidigt scenarie med bioraffinering af sukkertang repræsenterer muligheder for en reduktion i næringsstofoverskuddet.

Den forventede fortsatte udvikling inden for det traditionelle landbrug mod dematerialization synes herved at bekræfte den generelle antagelse inden for IE, hvor Ayres et al (2002:8-9, 209-222) påpeger at implementering af ”ny” teknologi bl.a. gennem ændringer af produktionsprocesser, vil være den primære drivkraft mod et reduceret ressourceforbrug. Kigger man på figur 19, ses at ud af en samlet N- import på 465.000 ton og P- import på 63.000 ton, så tabes 290.000 ton N fra systemet og tilsvarende 28.000 ton P. Det store næringsstofoverskud indikerer altså et betydeligt behov for en stigning i N- og P-udnyttelsen og herved en større fraførelsesprocent via animalske produkter. Herved drages også en direkte parallel til målsætningen om god økologisk tilstand i de marine områder, hvor en opsamling og nyttiggørelse af sukkertangen altså vil kunne bidrage til realisering af Vandrammedirektivet på to måder:

- Gennem en opsamling af tabte næringsstoffer og herved en reduceret eutroficiering af (sårbare) marine områder.
- En recirkulering af N og P i systemet som værdifuldt tilskud til foderblandinger, der via en øget tilgængelighed for svins fordøjelsessystem medvirker til en stigende N- og P-fraførsel via animalske produkter og derved et reduceret tab af N og P fra systemet til tilgrænsende sårbare økosystemer.

En recirkulation kan altså potentielt bidrage til en tilnærmelse til et type C system parallelt med graden af dematerialization øges internt i det traditionelle landbrug. En vigtig pointe er her, at en sukkertangproduktion vil være befordrende for en fortsat vækst inden for landbruget, da en reduceret eutroficiering gennemføres uden at pålægge den landbaserede produktion yderligere

[86] Oppositionens ambitioner ift. bioforgasning af gyllekomponenten rækker ud over de nuværende Grøn Vækst mål med forslag om forgasning af al udbragt gylle (http://nyhederne.tv2.dk/article.php/id-41090960:oppositionen-totalt-gylleforbud.html?forside) i 2021.

restriktioner, mens sukkertangens værdi vil indgå som et værdifuldt højværdiinput til produktionen. Der er derfor potentiale for et reduceret konfliktniveau mellem erhverv og myndighed eksemplificeret via indledningens beskrivelse af Grøn Vækst 2.0, med krav fra landbruget om konsekvensvurdering af vandplanernes indvirkning på bl.a. beskæftigelse og produktionens rentabilitet i yderkantsområder. En nyttiggørelse af værdifulde næringsstoffer via en produktion af sukkertang vil derfor være i overensstemmelse med den grundlæggende ide bag Grøn Vækst, hvor miljø og naturbeskyttelse skal forenes med et moderne og konkurrencedygtigt samfund.

Relevansen af at facilitere en sådan udvikling bør tilsvarende fremhæves med udgangspunkt i IE's formål som beskrevet i opgavens afsnit 2.1. Her henviser Graedel et al (2010) til den såkaldte "livestock revolution" (Graedel et al, 2010:28) i lavindkomstlande (Asien, Centralamerika, Caribien, Mellemøsten, Nordafrika og Sydamerika), hvor andelen af kornprodukter anvendt som foderinput til produktion af animalsk protein er steget drastisk gennem de seneste årtier. Som eksemplificering heraf påpeger Graedel et al (2010) en stigning i efterspørgselen efter animalsk protein i perioden 1982-1992 på 1 % i højindkomstlande, mens stigningen i samme periode lå på 5,4 % i lavindkomstlande. Tendensen mod en stigende efterspørgsel drives af en række faktorer specifikt relateret til lav- og mellemindkomstlande herunder primært et stigende indkomstniveau, tiltagende urbanisering samt en hurtigt voksende befolkning. Hertil viser fremskrivninger, at den globale kornproduktion i perioden 1997-2050 vil stige med 56 %, mens produktionen af animalsk protein vil stige med 90 % (Graedel 2010:28).

Den tiltagende efterspørgsel efter animalsk protein kan direkte relateres til dansk landbrugs store importpost af vegetabilsk protein, hvor den dominerende importkategori i henhold til figur 19 udgøres af oliekager. Ifølge Frese et al (2006:21-25) består hovedparten af importen af oliekager af sojakager fra Sydamerika. Her har den globale efterspørgsel efter animalsk protein været stærkt medvirkende til at gøre sojadyrkning til den mest hurtigvoksende industri med en fordobling af arealanvendelse mellem 1996-2006. Den danske import af sojakager lå i 2004 på godt 1,8 mio. ton (Frese et al 2006:22-23), hvoraf hovedparten anvendes som proteinkilde i svinefoder. Hertil vurderer Frese et al (2006:23), at den danske sojaimport sætter et fodaftryk på et globalt landareal på ca. 1,3 mio. hektar, mens der hvert år ryddes et areal på 2,4 mio. ha skov og skovsavanna med henblik på at imødekomme den globale efterspørgsel.

Det traditionelle landbrugs produktion af animalsk protein medfører altså et pres på globale landarealer. Hertil følger at Grøn Vækst planens målsætning om en reduktion af N- og P-tabet fra det traditionelle landbrug ikke blot har implikationer for bæredygtighed relateret til det nationale niveau herunder eutroficiering af danske indre farvande, men i høj grad også bør ses i relation til en global bæredygtighedsproblematik. Analyseres ovenstående ud fra en klimavinkel, kan det ligeledes udledes, at det traditionelle landbrugs klimabidrag er væsentligt større end opgjort i dag, hvor Danmarks samlede udledning af CO_2-ækvivalenter opgøres ud fra den nationale udledning (http://www.landbrugsinfo.dk/Planteavl/Afgroeder/Korn/Vinterhvede/Sider/pl_09_033.aspx), hvorved den i Kyotoprotokollen påkrævede reduktionsforpligtelse altså ikke inkluderer et indirekte

pres på karbonrige globale arealer[87]. Ser man på tabel 4, ses at en opsamling af 19.000 ton N potentielt kan reducere importen af oliekager med 12,5 %, mens en opsamling af 9.000 ton N bidrager til en reduktion på 5,9 %. Hertil vil bindingen af P kunne erstatte henholdsvis 22,0 % og 10,4 % af P-importen via oliekager. En dansk storskala produktion af sukkertang har altså en effekt på en række systemiske niveauer, hvor landbrugets klimaprofil, såfremt denne opgøres via LCA metoden, muligvis vil kunne forbedres ved at erstatte sojakager med restfraktionen fra en produktion af bioethanol.

På trods af at der endnu ikke er gennemført en LCA på en kommerciel produktion af sukkertang, synes en forbedret CO_2-reduktionsbalance sandsynliggjort alene ud fra det faktum, at der ikke ryddes vegetation ved nyttiggørelse af havarealer. Hertil vil en produktion af sukkertang formentlig kunne reducere det traditionelle landbrugs negative bidrag til den samlede globale proteinmængde, da produktion af animalsk protein repræsenterer et ekstra led i produktionskæden, som ifølge Fog (1997:19-35) medfører et tab af ellers tilgængelig vegetabilsk protein ved direkte humankonsum. Tilsvarende ses, at en anvendelse af en udvidet systemramme, hvor sidste led i produktionskæden ikke pr. definition skal placeres inden for et afgrænset industrielt system, er et frugtbart udgangspunkt ift. at reducere bæredygtighedsproblematikker specifikt relateret til landbruget.

Ved anvendelse af IE's udvidede systemramme er det altså muligt at identificere en række potentielle bæredygtighedseffekter relateret direkte til anvendelsen af restfraktionen. Herunder med implikationer for det traditionelle landbrugs bæredygtighed på forskellige systemiske niveauer:

- Vandplanernes mål om god økologisk tilstand udtrykt gennem Grøn Vækst planen (implikationer for systemets bæredygtighed på nationalt niveau).
- Produktion af bioethanol parallelt med en værdioptimering af sukkertangens N- og P-komponenter (implikationer for systemets bæredygtighed på nationalt/globalt niveau).
- Reduceret import af knappe ikke-fornybare ressourcer (implikationer for systemets bæredygtighed på nationalt/globalt niveau).
- En formodet forbedring af systemets klimabidrag herunder ved recirkulering af N og P (implikationer for systemets bæredygtighed på globalt niveau).
- En reduceret import af sojaprotein, med et reduceret pres på globale landarealer (implikationer for systemets bæredygtighed på globalt niveau).

Ovenstående er vigtigt, da det herved vises, at IE's målsætning om recirkulation af knappe ressourcer, hvor målet er fremme af en bæredygtig udvikling inden for flere systemiske niveauer, er sammenfaldende med Grøn Vækst målsætningen om bæredygtighed relateret til nationale/lokale bæredygtighedsproblematikker. Anlæggelse af et bredt systemperspektiv er altså i denne opgave vist at være sammenfaldende med en realisering af nationale målsætninger. Hertil er tilsvarende

[87] Tilsvarende inkluderes produktionens input af handelsgødning derfor ikke i det globale klimaregnskab.

vist, at den i afsnit 4.4 argumenterede udvidede systemafgrænsning er en nødvendig præmis, såfremt IE's analyseramme inden for opgavens emne skal kunne implementeres med effekt.

Ovenstående analyse illustrerer tilsvarende de væsentlige udfordringer, som dansk landbrug i fremtiden står overfor. Størrelsen af den animalske produktion skal her ses som en funktion af den globale efterspørgsel på animalsk protein eksemplificeret ved en eksport på ca. 85 % af svineproduktionen (Frese et al, 2006). Det synes hertil rimeligt at antage, at en stigende global efterspørgsel på sigt vil indvirke på råvarepriserne, hvor tre femtedele af verdens produktion af grovkorn[88] allerede i dag anvendes som input i en animalsk produktion (Graedel 2010:28). Tilsvarende kan det forventes, at en tiltagende knaphed på P, som illustreret via Cordell et al (2008), yderligere vil bidrage til omkostninger forbundet med produktion af animalsk protein.

Der vil altså opstå en tiltagende nødvendighed ift. ressourceoptimering af knappe ikke-fornybare ressourcer, der vil virke fordrende for en reduktion af systemets tab af næringsstoffer, men tilsvarende udgøre en udfordring ift. fastholdelse af vækst inden for produktionssystemet. Hertil findes det på sigt sandsynligt, at to grundlæggende forskellige incitamentsstrukturer dannes, der begge vil fordre en udvikling, hvor tab af næringsstoffer fra systemet søges minimeret:

- Den nuværende incitamentsstruktur inden for landbruget, hvor reduktion af N- og P-tabet sker som en konsekvens af implementering af politisk bestemte generelle og målrettede virkemidler.
- En intern incitamentsstruktur inden for produktionssystemet, der i tiltagende grad vil være økonomisk motiveret, efterhånden som produktionens rentabilitet i stigende grad vil afhænge af effektiv udnyttelse og recirkulation af værdifulde næringsstoffer.

Der kan herved identificeres en mulig udvikling inden for det traditionelle landbrug, hvor hensynet til god økologisk tilstand i marine områder i højere grad vil være korrelerende med landbrugets egne økonomiske interesser. Hvorved vil der på sigt kunne forekomme en reduceret grad af konflikt mellem relevante aktører ved realisering af Grøn Vækst målsætningen. Der synes således at være sammenfaldende interesser inden for både erhverv og de lovgivende instanser ift. at fremme systemets bæredygtighed gennem en vedvarende betragtning af næringsstoffer som en værdifuld ressource.

Grundlæggende mangler dog et væsentligt incitament for selve råvareproducenten i opgaven her eksemplificeret via virksomheden Blue Food A/S. Det virker i denne forbindelse usandsynligt, at en dansk storskalaproduktion af sukkertang, der bør ses som en forudsætning for at realisere de listede positive eksternaliteter relateret til sukkertangens nyttiggørelse, over tid kan opbygges uden en incitamentsstruktur, der er direkte målrettet råvareproducenten. Vigtigheden heraf fremhæves via figur 18, der påpeger et væsentligt behov for en videre vidensudvikling inden for produktion af

[88] Grovkorn består af: majs, sorghum, byg, rug, havre og hirse.

tang. Den afsluttende del af denne opgave skal derfor omhandle, hvordan en produktion af sukkertang bedst understøttes med udgangspunkt i principperne bag miljøøkonomisk analyse.

4.7 Miljøøkonomisk analyse

Udgangspunktet for den velfærdsøkonomiske analyse er som beskrevet at optimere samfundets samlede aktiviteter, der kræver at sammenhænge mellem produktion, miljø og natur opgøres. Regulering af eksternaliteter forbundet med landbrugets produktion er traditionelt foregået med udgangspunkt i principperne bag second best-analysen med politisk fastsatte målsætninger for sektoren opsat på baggrund af indhentet biologisk/fysisk viden. Formålet med dette afsnit er tilsvarende at diskutere nytteværdien af en produktion af sukkertang i henhold til principperne inden for omkostnings-effektivitets-analysen forklaret under afsnit 2.5, hvis formål er at sikre, at de politiske målsætninger realiseres til den lavest mulige pris. Som påpeget i indledningen medfører landbrugets tab af N og P en række negative eksternaliteter herunder iltsvind i de indre danske farvande med ændring af flora/fauna til følge. Spørgsmålet er da, om sukkertang vil være et omkostningseffektivt virkemiddel til reduktion af eksternaliteter forbundet med tabet af næringsstoffer?

En besvarelse af dette spørgsmål fordrer viden om omkostninger forbundet med N- og P-reduktioner. Det er ved en vurdering af omkostnings-effektiviteten ved implementering af sukkertang som virkemiddel valgt at tage udgangspunkt i virkemiddelkatalogets beregninger (Miljøministeriet – by og landskabsstyrelsen. November 2010), der ligger til grund for finansiering af Grøn Vækst vandplanerne. Her betragtes de generelle virkemidler[89] med en anslået omkostning pr reduceret kg N på 25,63 kr. som den mest omkostnings-effektive reduktionsmetode (se bilag 1 for tabel over virkemidler). Som påpeget i afsnit 4.4.1 har Blue Food indgået kontrakt med Snaptun Fiskeeksport og Hjarnø Havbrug ift. opsamling af N, hvor der er aftalt en betaling på 30 kr. pr reduceret kg N fra Horsens hovedvandopland[90]. Da de to beløbsstørrelser er relativt identiske kan der herved påvises et sammenfald mellem prisniveauet for de velfærdsøkonomisk billigste (landbaserede) virkemidler til reduktion af N og Blue Foods privatøkonomiske omkostningsfunktion. Under forudsætning af en politisk målsætning ift. introduktion af sukkertang som virkemiddel kunne omdirigering af vandplansmidler foregå ved etablering af en tilskudsordning, der som et MBI ifølge Jespersen (1998) vil være en omkostnings-effektiv metode til reduktion af N overskuddet. I henhold til afsnit 4.5.1 optager sukkertang 130,00 kg N pr ha pr år for en augusthøst, hvorved et tilskud til opsamling af N altså vil bidrage med en merindtægt på 130,00 * 25,63 kr. = 3.332 kr. pr år pr ha.

---

[89] De generelle virkemidler implementeres over hele landet og antages at være den billigste måde at opnå N-reduktioner. Den anførte enhedsomkostning på 25,63 kr. pr. kg reduceret N er opgjort som et gennemsnit af de generelle virkemidler, der bl.a. inkluderer forbud mod visse former for jordbearbejdning i efteråret og forbud mod pløjning af fodergræsmarker i visse perioder.

[90] I henhold til interview med Rasmus Bjerregaard d. 2-5-2011.

En produktion af sukkertang medfører dog en række andre positive eksternaliteter, hvortil opsamling af P som knap ikke-fornybar ressource i henhold til IE bør inkluderes. Hertil er der argumenteret for, at der over tid vil være et stigende økonomisk incitament for opsamling af P, hvorved der findes at være væsentlige argumenter for etablering af en tilskudsordning. Prissætningen af sukkertangens P-opsamling kan dog vanskeligt baseres på virkemiddelkatalogets estimater, hvor P for en begrænset andel af virkemidlerne medregnes under estimatet på 25,63 kr. pr reduceret kg N (Miljøministeriet – by og landskabsstyrelsen, November 2010)).

Regulering af P foregår generelt gennem afgifter på systemets import af mineralsk P (foderfosfat) (Jacobsen, 2009:37), hvorved udgiften altså internaliseres inden for det traditionelle landbrug. Dette aspekt problematiseres yderligere ved, at tab af P ikke karakteriseres som et væsentligt forureningsproblem i marine områder, hvorved tabet ikke karakteriseres som en negativ eksternalitet under Grøn Vækst. En eventuel tilskudsordning målrettet opsamling og etablering af et effektivt recirkulationssystem af P vil derfor afhænge af ændrede politiske målsætninger. Hertil er der er behov for politisk fremsyn, da finansieringen af tilskuddet ud fra en velfærdsøkonomisk vinkel skal berettiges ud fra en forventet udvikling over tid, hvor behovet vil tydeliggøres efterhånden som prisen på P stiger i takt med efterspørgselen og ressourcens tiltagende knaphed[91].

Finansieringen af vandplanerne foregår primært ud fra provider – gets princippet, hvor staten f.eks. finansierede ca. 2/3 af de årlige udgifter på 200 mio. kr. under VMP 3 (Jacobsen 2009:38). Såfremt der skulle opstå politisk tilslutning til en tilskudsordning målrettet sukkertangproduktionens reduktion af N i det marine miljø, vil dette princip altså tilsvarende blive fulgt. Som påpeget i forrige afsnit eksisterer der imidlertid en incitamentsstruktur blandt centrale aktører ift. implementering af sukkertang som virkemiddel. Tages der udgangspunkt i akvakulturudvalgets anbefalinger angivet under afsnit 4.4.1 synes der således at foreligge en mulighed for at internalisere omkostninger forbundet med negative eksternaliteter inden for erhvervet, hvor en ordning med omsættelige kvælstofkvoter vil kunne udgøre den primære ramme. Hertil vil det være afgørende med en række overvejelser ift. ordningens optimale indretning. Således bør en ordning både bør tilsigte målopfyldelse af Vandrammedirektivets målsætninger, men også en etablering af et type C system, der som vist i forrige afsnit bidrager til en øget værdiskabelse inden for systemet og derved også til den overordnede målopfyldelse af Grøn Vækst visionen.

En mulig indretning af en ordning med omsættelige kvælstofkvoter kunne være at tage afsæt i det oprindelige Grøn Vækst udspil med oplæg til reduktion af 10.000 ton N pr år i 2015. Jævnfør indledningen bliver forslag til N-kvoteordningens praktiske implementering først fremlagt i forbindelse med kommissoriets udspil i efteråret 2011, hvor der samtidig afgives bud på implementering af andre alternative virkemidler herunder muligvis etablering af stenrev. Antages det, at en N-kvoteordning implementeres i henhold til den nuværende administrative struktur, hvor reduktionen relateres specifikt til hovedvandoplandsniveau, kan det forventes, at visse områder rammes relativt hårdere end andre. Herunder henvises specifikt til Limfjordsområdet, der som

[91] Der henvises til *bilag 10* for kort analyse af økonomiske aspekter ved produktionens CO_2-binding.

fremhævet i opgavens indledning pålægges en samlet reduktionskrav på 6.637 tons N pr år med en deraf forventet nedgang i beskæftigelsen inden for landbrugs- og følgevirksomheder på ca. 5.000 jobs (Landbrug og Fødevarer, marts 2010).

I henhold til afsnit 4.5.2 kan det forventes, at sukkertang på sigt vil kunne medvirke til en reduktion af ca. 1.000 ton N pr år i fjordområderne, mens Limfjordsområdet som nævnt kan forventes at være et område med relativt gunstige vilkår for realisering af det estimerede hektarudbytte. Ved implementering af sukkertang som virkemiddel i hovedvandoplandet vil en integration af sukkertangsproduktionen inden for N-kvoteordningen være en mulighed, hvor landbruget ved køb af N-kvoter fra sukkertangsproducenten skal kunne anvende relativt mere N i produktionen. Herved vil sukkertang reelt medvirke til at reducere en række af de socioøkonomiske konsekvenser for yderkantsområderne, der netop har givet anledning til kritik af reduktionskravet og i sidste ende en politisk afstandtagen til forslaget. Hertil følger dog implicit, at markedets værdisætning af N-kvoter nødvendigvis vil skulle være korrelerende med sukkertangsproducentens omkostningsfunktion, der altså forudsætter en pris i omegnen af 25-30 kr. pr opsamlet kg N.

Det underliggende princip må dog på sigt nødvendigvis være at tilskynde til et reduceret næringsstofstab fra systemet. Kvoteordningen vil derfor skulle indrettes, så køb af 1 kvote N (eksempelvis 1 ton N) udmøntes i en tilladelse til udledning af eksempelvis 900 kg N. Herved vil sukkertang som virkemiddel i de særligt følsomme marine områder reelt bidrage til samme effekt som de landbaserede virkemidler, der som fremhævet tilskynder til en fortsat dematerialization inden for produktionssystemet. For at skabe den bedst mulige incitamentsstruktur bør hertil overvejes at tildele landbrugssektoren mulighed for delvist ejerskab af tangproduktionen, hvorved den værdi, der opstår ved produktion af blå biomasse, medvirker til en fortsat værditilvækst inden for erhvervet og dermed også indirekte til en øget tilskyndelse til R & D inden for tangsektoren.

Såfremt en sådan ordning på politisk niveau findes plausibel vil det tilsvarende være hensigtsmæssigt at skabe en sammenhæng mellem sektor- og miljøpolitik, hvor et styringsmiddel inden for landbrugspolitikken bør virke befordrende for et bredt udsnit af politiske målsætninger inden for miljø/naturpolitikken. Hertil kan der drages en klar parallel til opgavens indledning og etablering af stenrev, hvor (Møhlenberg, 2008:1-3) fremhæver et øget vegetationsdække og iltproduktion i fjordområder som faktorer, der virker til fremme af Habitatdirektivet, der som påpeget tilsigter bevarelse af den biologiske diversitet gennem bevarelse af (truede) naturtyper og arter. Der vil altså være et vist overlap mellem de to direktivers målsætninger om henholdsvis gunstig bevarelsesstatus og god økologisk tilstand. Dette er vigtigt, eftersom anvendte virkemidler vil være sammenfaldende, såfremt direktivernes manglende målsætningsopfyldelse beror på samme påvirkningsfaktor. Denne forudsætning synes langt hen ad vejen opfyldt, hvor (Møhlenberg 2008:2-4) beskriver samtlige danske kystvande som præget af eutrofiering inkl. de åbne dele af Kattegat, bælterne, den vestlige del af Østersøen og Øresund.

Integration af sukkertang inden for et kvælstof kvotesystem skal dog nødvendigvis begrænses til den N- reduktion, der specifikt kan henføres til det enkelte hovedvandopland herunder

fjordområderne. Begrundelsen herfor beror på behovet for miljømæssig præcision (Schou, 2005:15-20), der i denne kontekst refererer til miljøpolitiske målsætninger om god økologisk tilstand specifikt for fjordområderne. Ved at begrænse en kvælstofkvoteordning til at gælde særligt sårbare arealer vil det således være muligt at undgå modstridende interesser internt i systemet. Dette da køb af N-kvoter i relation til en storskalaproduktion uden for hovedvandoplandet potentielt vil medvirke til en øget næringsstofkoncentration i netop fjordområder, mens selve opsamlingen og derved den velfærdsøkonomiske værdi heraf muligvis vil forekomme i mindre sårbare marine områder eksemplificeret via figur 17. Denne argumentation fordrer derved også en naturlig begrænsning ift. virkemidlets effekt på den landbaserede produktion, hvor nyttiggørelse af 7.500 ha svarende til 1.000 ton N som påpeget muligvis vil være produktions naturlige begrænsning.

Såfremt der måtte opstå et politisk ønske om at realisere de påpegede eksternaliteter forbundet med en storskalaproduktion af sukkertang, vil det derfor være hensigtsmæssigt, at staten yder tilskud til en opsamling af N og P, uafhængigt af om produktionen placeres inden for hovedoplandsniveau. Dette tilskud skal i så fald være relativt mindre og modsvare, at N-reduktionen ikke foretages i særligt sårbare marine områder. Formålet hermed vil være at tilskynde til etablering af en storskalaproduktion, hvor en merproduktion pr areal på sigt skal modsvare den lavere pris pr opsamlet kg N og P. Den velfærdsøkonomiske gevinst vil her kunne relateres til en generel reduktion af eutrofieringsgraden af de indre danske farvande, sideløbende med at en recirkulering af N og P gennem en bioraffineringsproces skal bidrage til en øget værdiskabelse inden for det traditionelle landbrug.

Ovenstående er en række bud på etablering af en mulig incitamentsstruktur, hvor MBI anvendes til fremme af en sukkertangsproduktion. Dette da det er fundet, at sukkertang netop vil kunne indgå som en del af en ellers kompleks løsning, der er nødvendig ift. at opfylde Grøn Vækst ambitionen, hvor natur- og miljøhensyn ønskes forenet med et moderne og effektivt landbrug. Der lægges dog samtidig op til en debat både ift. IE litteraturens bæredygtighedstilgang, der altså begrænses til analyse af lukkede industrielle systemer, men også i forhold til dansk miljøpolitiks gængse tilgang til at fremme Vandrammedirektivet, hvor de miljøpolitiske tiltag til dato har taget udgangspunkt i ønsket om en minimering af den antropogene indflydelse på økosystemet.

5 Konklusion

Formålet med denne opgave har været at undersøge, om der kan identificeres synergier mellem det traditionelle landbrugs produktionssystem og en havbaseret produktion af sukkertang, der kan medvirke til at fremme Grøn Vækst planens bredt funderede bæredygtighedstilgang. Herunder at undersøge hvordan miljø og naturbeskyttelse kan forenes med et moderne og konkurrencedygtigt landbrug.

Ved besvarelse af arbejdsspørgsmål 1 er det fundet, at potentialet for dyrkning af sukkertang i dag begrænses til de indre danske farvande. Hertil begrænses produktionen blandt andet af ferskvandstilstrømning fra bælterne, der reelt indsnævrer potentielt optimale produktionslokaliteter til de østlige indre farvande eller alternativt til spredte upwelling områder i indre farvande. Gennem en analyse af faglitteraturens udbytteestimater er det endvidere fundet, at en ukritisk anvendelse af refererede udbytter medfører en væsentlig bias, der kompromitterer generaliserbarheden af opgavens resultater. For at højne generaliserbarheden er Blue Foods udbytteestimater anvendt, herunder da virksomhedens udbyttedata fremstår som bedste bud på en estimering af det danske produktionspotentiale. Produktionens størrelse er i denne forbindelse vurderet til at være signifikant, hvor en høst af sukkertang i august findes at svare til ca. 66 % af foderhvedeudbyttet pr ha pr år. Der eksisterer altså et væsentligt potentiale for produktion af sukkertang i dele af de indre danske farvande.

Ved besvarelse af arbejdsspørgsmål 2 er det fundet, at mens det traditionelle landbrug umiddelbart minder om et type A system, med et vedvarende stort tab af næringsstoffer fra produktionssystemet, så viser en kritisk analyse af systemets bæredygtighed over tid, at systemet bør kategoriseres som et type B system med en tiltagende afkobling mellem vækst og produktionens input. Der argumenteres i denne sammenhæng for en ændring af Industrial Ecology's systemramme, hvorved næringsstoffer vedvarende betragtes som en produktiv ressource, uafhængigt af overgangen til det marine miljø.

Hertil argumenteres der for, at sukkertang som virkemiddel bør kædes sammen med landbrugets tab af nitrogen og fosfor, hvorefter der identificeres en mulig administrativ ramme til virkemidlets implementering. Her skønnes det, at en ibrugtagning af 7.500 ha i sårbare marine fjordområder svarende til en opsamling af 1.000 ton N pr år, er et sandsynligt bud på virkemidlets effekt. Denne reduktion er signifikant og vil i væsentlig grad kunne bidrage til den nuværende Grøn Vækst målsætningen om en samlet nitrogen reduktion på 9.000 ton pr år frem mod 2015.

Industrial Ecology foreskriver, at systemets tab af nitrogen og fosfor i videst muligt omfang skal recirkuleres i produktionssystemet. I henhold hertil beregnes bl.a., at en anvendelse af 19.000 ton nitrogen som produktiv ressource svarende til det oprindelige Grøn Vækst reduktionsmål potentielt vil kunne bidrage til en produktion af sukkertang på 768.539 ton tørvægt pr år. Med henblik på recirkulering af nitrogen og fosfor fremhæves produktionens signifikans gennem en nyttiggørelse i en bioraffineringsproces. Her ses det, at produktionens størrelse kan konverteres til en produktion af

bioethanol på 172.644 mio. liter, hvilket svarer til 82,63 % af EU's krav om anvendelse af 10 vedvarende energi i transportsektoren i 2020.

Produktionen af bio-ethanol efterlader en restfraktion på 633.661 ton. Der argumenteres i opgaven for, at en nyttiggørelse af restfraktionen som fodertilskud i svinefoder potentielt kan medvirke til etablering af et type C system. Dette da produktionssystemets oprindelige tab af nitrogen og fosfor recirkuleres som en værdifuld produktiv ressource. Hertil forventes en bioraffineringsproces at øge optageligheden af sukkertangens nitrogen og fosfor indhold, med mulighed for en øget fraførsel fra produktionssystemet via animalske produkter og derved på sigt en reduktion af systemets tab af næringsstoffer.

Ud fra ovenstående konkluderes, at Industrial Ecology's udvidede systemramme fremmer nationale bæredygtighedsmål, herunder en større grad af miljø- og naturbeskyttelse. Dette sideløbende med at en værdioptimering af sukkertangen bidrager til en større værdiskabelse inden for systemet som helhed. Endvidere vises det, at en vedvarende betragtning af nitrogen og fosfor som produktive ressourcer reducerer produktionssystemets import af knappe ikke-fornybare ressourcer og herved presset på karbonrige arealer. En udvidet systemramme virker altså fordrende for en opfyldelse af Industrial Ecology's målsætning om bæredygtighed, der ikke kan begrænses til det nationale niveau.

Opgaven afsluttes med en miljøøkonomisk analyse, hvor der gives bud på regulering af eksternaliteter forbundet med det traditionelle landbrugs produktion. Her ses det at implementering af generelle virkemidler med en anslået omkostning pr reduceret kg nitrogen på 25,63 kr. bør betegnes som den mest omkostningseffektive reduktionsmetode. Hertil påvises et sammenfald mellem prisniveauet på de 25,63 kr. pr reduceret kg nitrogen og Blue Foods privatøkonomiske omkostningsfunktion, hvorved det vurderes, at en sukkertangsproduktion i dag vil være en omkostningseffektiv metode til opsamling af næringsstoffer fra det marine miljø. Der argumenteres herefter for brug af en nitrogen(kvælstof)- kvoteordning, der skal internalisere en del af udgifterne inden for erhvervet ved køb af nitrogen- kvoter fra en tangproduktion. Tilsvarende argumenteres for en statsfinansieret tilskudsordning med henblik på at fremme en storskala sukkertangsproduktion uafhængigt af produktionens placering.

Afslutningsvis lægges op til debat ift. Industrial Ecology litteraturens bæredygtighedstilgang, der begrænses til analyse af lukkede industrielle systemer. Herforuden stilles der spørgsmålstegn ved dansk miljøpolitiks hidtidige tilgang til fremme af god økologisk tilstand i marine områder, hvor de miljøpolitiske tiltag til dato ensidigt har taget udgangspunkt i ønsket om en minimering af den antropogene indflydelse på økosystemet.

6 Litteraturliste

Bøger:

Ayres, Robert. U. Ayres., Leslie, W. 2002. ”A Handbook of Industrial Ecology”. Edward Elgar Publishing Limited. 3:645.

Mouritzen, Ole. G. 2009. ”Tang, Grøntsager fra Havet”. Nyt Nordisk Forlag: Arnold Busk.

Garner, Andy., Keoleian, Gregory.1995.”Industrial Ecology: An introduction”. National Pollution Prevention Center for Higher Education. University of Michigan.
/
Graedel, Thomas., Allenby, Braden.R.2003.”Second edition: Industrial Ecology”. Pearson Education, Inc.

Graedel, Thomas., Allenby, Braden.R.1995.”Industrial Ecology”. Udgivet af Prentice Hall. AT & T.

Andersen, Ib. 1990.”Valg af organisationssociologiske metoder – et kombinationsperspektiv”. Samfundslitteratur.

Bryman, A.2001.”Social Research Methods”. Oxford University Press, Oxford.

Jespersen, Jesper.1998.”Miljøøkonomi”. Jurist- og Økonomforbundets Forlag. 2:197.

Christensen, V., Schmidt, L., Dyhr, L. 2007.”Forskningsmetoder i folkesundhedsvidenskab”.Munksgaard Danmark.

Tjørnhøj – Thomsen, T., Whyte, S. 2007.”Forskningsmetoder i folkesundhedsvidenskab”.Munksgaard Danmark.

Rapporter:

Felby, Claus., Wegeberg, Susse. 2010. ”Algae Biomass for Bioenergy in Denmark – Biological/Technical Challenges and Opportunities”. University of Copenhagen.

Wegeberg, Susse. April 2010. ”Cultivation of kelp species in the Limfjord, Denmark”. Department of Biology, SCIENCE, Copenhagen University.

Bruhn, Anette., Rasmussen, Michael. 2010. ”Notat, den blå biomasse – potentialet i danske farvande”. Danmarks Miljøundersøgelser

Moy, F., Christie, H., Steen, H., Stålnacke, P., Asknes, D., Alve, E., Aure, J., Bekkby, T., Frederiksen, S., Gitmark, J., Hackett, B., Magnusson, J., Pengerud, A., Sjøtun, K., Sørensen, K., Tveiten, L., Øygarden, L., Åsen PA. 2008. Sluttrapport fra Sukkertareprosjektet. SFT-rapport TA-2467/2008, NIVA-rapport 5709. 131.s.

Holdt, Susan. Løvstad. 2011.“Bioactive compounds in seaweed; review, with emphasis on available species in Danish waters”. Founded by DTU Aqua, the report is not yet published. 1:76.

Holdt, Susan. Løvstad. 2009.”Nutrient reduction in aquaculture waste by macroalgae production”. Ph.D.thesis. University of Southern Denmark.

Handå, Aleksander., Forbord, Silje., Broch, Ole. Jakob., Richardsen, Roger., Skjermo, Jorunn., Reitan, Kjell. Inge. Juli 2009. ”Utredning om dyrkning og anvendelse av tare, med spesiell fokus på bioenergi i nordområderne”. Rapport nr: SFH80 A092036, SINTEF Fiskeri og havbrug A/S

Bruton, Tom., Dr Lyons, Henry., Dr Lerat, Yannik., Dr Stanley, Michele., Rasmussen, Michael. Bo. 2009. ”A Review of the Potential of Marine Algae as a source of Biofuel in Ireland”. Report prepared for Sustainable Energy Ireland (SEI).

Felby, Claus., Wegeberg, Susse. April 2010. ”Introduktion til alger”. Københavns Universitet.

Larsen, Peter., Windolf, Jørgen., Pedersen, Anette., Bøgestrand, Jens., Ovesen, Niels., Larsen, Søren., Thodsen, Hans., Sode, Anette., Kristensen, Esben., Kjeldgaard, Ane. 2010.”Vandløb 2009”. Faglig rapport fra DMU nr. 804. Danmarks Miljøundersøgelser, Århus Universitet. 5:102.

Reith, J.H., Deurwaarder, E.P., Hemmes, K., Curvers, A.P.W.M., Kamermans, P., Brandenburg, W., and Zeeman, G. 2005.”BIO-OFFSHORE. Grootschalige teelt van zeewieren in combanitie met off-shore windparken in de Noordzee.” Report ECN – C – 05 – 008: 1-137.

Waagepertersen, Jesper., Grant, Ruth., Bøgesen, Christen., Iversen Torben. December 2008. ”Midtvejsevaluering af vandmiljøplanen 3”. Det jordbrugsvidenskabelige fakultet (Århus Universitet) og Danmarks miljøundersøgelser (Århus Universitet) side 3-36.

Børgesen, Christen., Waagepetersen, Jesper., Iversen, Torben., Grant, Ruth., Jakobsen, Brian., Elmholt, Susanne.2009.”Midtvejsevaluering af VMP 3 – Hoved og baggrundsnotater”. Rapport Markbrug nr. 142. Århus Universitet, Det jordbundsvidenskabelige Fakultet samt institut for Jordbrugsproduktion- og Miljø. 9:227.

Møhlenberg, Flemming., Andersen, Jesper., Murray, Ciaran., Christensen, Peter., Dalsgaard, Tage., Fossing, Henrik., Jensen, Dorte. 16 september 2008. ”Stenrev i Limfjorden: Fra naturgenopretning til supplerende virkemiddel”. Projekt nr. 11700654 sider 1-43.

Jacobsen, Brian., Hasler, Berit., Hansen, Line. Juni 2009. ”Økonomisk Midtvejsevaluering af Vandmiljøplan 3”. Udarbejdet af: Fødevareøkonomisk Institut (afd. for miljø og regional udvikling) og Danmarks Miljøundersøgelser (afd. for systemanalyse).

Grøn Vækst aftale.16 juni 2009.”Aftale om Grøn Vækst”. Aftalen er indgået af Regeringen (Venstre og De Konservative) og Dansk Folkeparti.
Publikationen kan hentes på Dansk Folkepartis hjemmeside:
http://danskfolkeparti.dk/pictures_org/Grn%20Vkst-aftale_final.pdf
Dato for seneste opdatering:
Besøgt dato: 13/03-2011

Grøn Vækst 2.0. 9. april 2010. ”Aftal mellem Regeringen og Dansk Folkeparti om Grøn Vækst 2.0”
Publikationen kan hentes via følgende link:
http://www.mim.dk/NR/rdonlyres/89DD7552-E925-4CA0-8E5B-C5072D40D18D/0/GroenVaekst2_0.pdf
Dato for seneste opdatering:
Besøgt dato: 03/07-2011

Jensen, Poul., Boutrup, Susanne., Bijl, Lillian., Svendsen, Lars., Grant, Ruth., Larsen, Peter., Jørgensen, Torben., Ellermann, Thomas., Hjort, Morten., Josefton, Alf., Bruus, Marianne., Søgaard, Bjarne., Thorling, Lærke., Dahlgren, Karin. 2010. ”Vandmiljø og Natur 2008 – NOVANA. Tilstand og udvikling, faglig sammenfatning”. Faglig rapport fra Danmarks Miljøundersøgelser nr. 767. 1:104

Miljøministeriet – by og landskabsstyrelsen. November 2010. ”Virkemiddelkatalog – til brug for vandplanindsatsprogrammer for: overfladevand, grundvand, sø – og vandløbsrestauering, spildevand, regnvand, dambrug”.
Publikationen kan hentes på naturstyrelsens hjemmeside:
http://www.naturstyrelsen.dk/NR/rdonlyres/03199357-748B-4210-9FDB-AF5CF6D53FD4/116445/Virkemiddelkatalog_vers_offhoering_3_Samlet.pdf
Dato for seneste opdatering:
Besøgt dato: 20/03-2011

Christensen, Peter Bonde., Hansen, Ole Schou., Ærtebjerg, Gunni.2004.”Iltsvind”. Udgivet af Danmarks Miljøundersøgelser og Miljøministeriet under serienavnet *Miljøbiblioteket*. ISBN 87-7739-734-7. Forlaget Hovedland 1:128
Publikationen kan hentes via følgende link:
http://www2.dmu.dk/1_viden/2_Publikationer/3_miljobib/rapporter/MB04.pdf
Dato for seneste opdatering:
Besøgt dato: 23/03-2011

Miljøministeriet – by og landskabsstyrelsen. December 2010.”Retningslinjer for udarbejdelse af indsatsprogrammer – version 5.0”.
Publikationen kan hentes via naturstyrelsens hjemmeside:
http://www.naturstyrelsen.dk/NR/rdonlyres/7DF13B8D-028F-41EE-9742-AB701E9EA40F/120333/Retningslinjer.pdf
Dato for seneste opdatering:
Besøgt dato: 24/03-2011

Ministeriet for Fødevare, Landbrug og Fiskeri. Maj 2010.”Havet - en uudnyttet ressource: En videnssyntese om danske muligheder indenfor marin bioteknologi og anden udnyttelse af havets ressourcer”. ISBN 978-87-7083-778-1
Publikationen kan hentes på Ministeriet for Fødevare, Landbrug og Fiskeri hjemmeside:
http://www.fvm.dk/Default.aspx?ID=18484&PID=165769&NewsID=6112
Dato for seneste opdatering: 03-06-2010
Besøgt dato: 24/03-2011

Hansen, Nørregaard., Martin, Birkmose., Mortensen, Børge. 2004. ”Grøn Viden – Miljøeffekter af bioforgasning og separering af gylle”. Videncenter for husdyrgødnings og Biomasseteknologi.
Publikationen kan hentes via hjemmesiden:
http://www.manure.dk/index.php?page_id=3
Dato for seneste opdatering:
Besøgt dato: 02/07-2011

Jørgensen, Leif Bach., Hagensen, Jette., Jørgensen, Christian Ege., Viby, Knud., Petersen, Klaus Bonderup., Bennekou, Gunver. 2009. ”Miljøintegration i EU’s landbrugspolitik”. Det Økologiske Råd.
Rapporten kan hentes på Økologisk Råds hjemmeside: www.ecocouncil.dk
Dato for seneste opdatering:
Besøgt dato: 24/06-2011

Frese, Signe., Ibsen, Søren., Bang, John., Andersen, Jakob.2006. ”Madens Globale Fodaftryk – en analyse af det globale fodaftryk fra Danmarks produktion og forbrug af mad, med specielt fokus på soja og palmeolie”. Rapporten er udgivet af Verdensnaturfonden. 4:28.
Publikationen kan hentes via linket:
http://www.wwf.dk/dk/Service/Bibliotek/Globalt+fodaftryk/Rapporter+mv./Madens+globale+fodaftryk.pdf
Dato for seneste opdatering:
Besøgt dato: 26/06-2011

Jensen, Poul., Boutrup, Susanne., Bijl, Lillian., Svendsen, Lars., Grant, Ruth., Larsen, Peter., Petersen, Ditte, Ellermann, Thomas., Hjort, Morten.,Bjerring, Rikke., Søgaard, Bjarne., Thorling,

Lærke., Dahlgren, Karin. 2010. ”Vandmiljø og Natur 2009 – NOVANA. Tilstand og udvikling, faglig sammenfatning”. Faglig rapport fra Danmarks Miljøundersøgelser nr. 806. 5:105

Miljømålsloven. 24 september 2009.”Bekendtgørelse af lov om miljømål mv. for vandforekomster og internationale naturbeskyttelsesområder (Miljømålsloven)”.
Publikationen kan hentes på Miljøministeriets hjemmeside:
https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=127102#K6
Dato for seneste opdatering:
Besøgt dato: 26/03-2011

World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). 2000. “Eco-effiency – creating more value with less impact”. Publiceret af WBCSD.
Publikationen kan hentes via følgende link (eller via WBCSD hjemmeside):
http://www.wbcsd.org/web/publications/eco_efficiency_creating_more_value.pdf
Dato for seneste opdatering:
Besøgt dato: 18/04-2011

Schou, Jesper., Hasler, Berit., Hansen, Lars. 2005.”Styringsmidler i naturpolitikken – miljøøkonomisk analyse”. Faglig rapport nr. 564. Danmarks Miljøundersøgelser.

Kyllingsbæk, Arne. 2008.”Landbrugets husholdning med næringsstoffer 1900-2005 – kvælstof, fosfor, kalium”. Intern rapport: Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet, Århus Universitet. 3:76.

Regeringens akvakulturudvalg af 2009. 1 juli 2010. ”Anbefalinger til en bærende udvikling af dansk akvakultur – hovedrapport”.
Rapporten kan hentes via Miljøministeriets hjemmeside: http://www.mst.dk/Virksomhed_og_myndighed/Landbrug/Dambrug/Udvalg_og_Arbejdsgrupper/Udvalg_arbejdsgrupper_dambrug.htm
Dato for seneste opdatering: 09.10.2010
Besøgt dato: 30.05.2011

Journaler/tidsskrifter/ugebreve/artikler/anden litteratur:

Murata, Masakazu., Nakazoe, Jun – ichi. 2001. ”Production and use of marine algae in Japan”. Jarq – Japan Agricultural Recearch Quarterly. 35: 281-290.

Miljøministeriet og Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri. 7. februar 2011.”Implementering af vandrammedirektivet og nitratdirektivet i Nederlandene, Slesvig- Holsten og Danmark”.
Publikationen kan hentes på Miljøministeriets hjemmeside:

http://www.mim.dk/NR/rdonlyres/9E80D72F-AB4F-423C-8782-513F02E26251/0/Rapportomandrelande090211.pdf
Dato for seneste opdatering:
Besøgt dato: 20/03-2011

Landbrug og Fødevarer. 7 februar 2011.”Fald i landbrugets miljøbelastning fortsætter”. Økonomisk Analyse. 1:6.

Landbrug og Fødevarer: Økonomisk Analyse. Marts 2010. ”Vandmiljøplaner kan koste 5.100 jobs i Limfjordsområdet”.
Publikationen kan hentes via følgende link:
http://www.lf.dk/~/media/lf/Tal%20og%20analyser/Samfundsokonomiske%20analyser/Vandmiljoe%20-%20Limfjordsomraadet.ashx
Dato for seneste opdatering:
Besøgt dato: 23/03-2011

Birkeland, Mads. 2009. ”Biofiltering efficiency and primary production by Saccharina Latissima, estimated from mathematical modeling and experimental cultivation near a sea cage farm”. Department of biology, University of Copenhagen. MSc thesis.

Grovvarenyt – viden og perspektiv. 12 maj 2011. nr 19 – 17 årgang.”Verdenspremiere på økologisk proteinfoder af fermenteret tang”. Af Helge Lynggaard.

Flyvberg, Bent. 2004.”Five misunderstandings about case-study research”. Publiseret af Sage publications - London and Thousand Oaks, CA. Side 420:434.

Flyvberg, Bent.2001. “Making science matter – Why social inquiry fails and how it can succeed again”. Cambridge University Press.

Hoebler, Christine., Gullion, Fabienne., Darcy-Wrillon, Beatrice., Vaugelade, Pierre., Lahaye, Marc., Worthington, Emily., Duee, Pierre-Henri., Barry, Jean-Luc. 2000.”Supplementation of pig dietwith algae fibre changes the chemical and physicochemical characteristics of digesta”. Journal of the Science of Food and Agriculture, 80: 1357:1364.

Horn, S.J., Aasen, I.M., Østergaard, K. 2000. ”Production of ethanol from mannitol by Zymobacter palmae”. Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology (2000) 24, 51-57.

Gevaert, F., Davoult, D., Creah, A., Kling, R., Janquin, M.-A., Seuront, L., Lemoine, Y. 2001. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom. J. M. Biol. Ass. U.K. (2001), 81, 727 – 734.

Adams, M Jessica., Gallagher, A Joseph., Donnison, S Ian. 2008. “Fermentation study on Saccharina latissima for bioethanol production considering variable pre-treatments”. J Appl Phycol (2009) 21:569–574.

Shurson, G., Spiehs, M., Whitney, M. 2004. AnimalScience.com Reviews (2004) No. 9. Pig news and information 25 (2), 75 N – 83 N. Published by CAB International.

Stein, H H., Shurson, G C. 2008. “Board Invited Review: The use and application of distillers dried grains with solubles in swine diets”. Journal of Animal Science.

Gellings, Clark W., Parmenter, Kelly. 2004.”Energy Efficiency in Fertilizer Production and Use, in efficient use and conservation of energy”. Encyclopedia Of Life Support Systems (EOLSS). Developed under the Auspices of the UNESCO, Eolss Publishers, Oxford , UK.

Grant, Ruth. 2008.“Notat vedr. opgørelse af landbrugsarealet i Danmark fra 2003 og fremefter til brug for VMP 3”. Danmarks Miljøundersøgelser. Århus Universitet.

Blue Revolution projektet. Kontaktperson Svend Steenfeldt (Danmarks Tekniske Universitet). 2010. Projektbeskrivelse: ”Perspektiver for havbaseret fødevareproduktion - The blue revolution”. Deltagende parter: Danmarks Tekniske Universitet, Institut for Akvartiske ressourcer

Cordell, Dana., Drangert, Jan-Olof., White, Stuart. 2008.”The story of phosphorus: Global food security and food for thought”. Journal of *Global Environmental Change* **19** (2009), page 292:305. Publikationen er udgivet af Elsevier Ltd.

Hond, F. den. 1999.”Industrial ecology: a review”. Udgivet i *Regional Environmental Change* 1 (2) Juli 2000. Publiceret af Springer-Verlag.

Fog, Kåre. 1997.”Økologi – en grundbog”. G.E.C Gads Forlag. 5:423.

Buck, Hieronymus., Buchholz, Maria. 2004. “The Offshore-ring: A new system design for the open ocean aquaculture of macroalgae”. Journal of Applied Phycology 16: 355-368. Kluwer Academic Publishers.

Black, W. A. P. 1950. “The seasonal variation in weight and chemical composition of the common British Laminariaceae”. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 29, pp 45-72 doi:10.1017/S0025315400056186

Isenmann, Ralf.2003.”Industrial Ecology: Shedding more light on its perspective of understanding nature as model”. University of Kaiserslautern (Tyskland). Publiseret I tidsskriftet *Sustainable development***:** 11, side 143-158 (2003).

Ma, Peter., Elisseeff, Jennifer.2006. ”Scaffolding In Tissue Engineering”. Taylor and Grancis Group, LLC. 13:25

Internet referencer:

https://pure.au.dk/portal/files/2783257/536602.pdf
Linket refererer til et notat udarbejdet af Det Jordbundsvidenskabelige Fakultet – Århus Universitet. ”Kort notat om konsekvenser for fosfor ved afbrænding af biomasse”.
Dato for seneste opdatering:
Besøgt dato: 03.06-2011

http://wind-sea-algae.org
Trent, D Jonathan: Wind – Sea – Algae Workshop Proceedings – Offshore Algae Cultivation for Biofuels and Beyond.
Dato for seneste opdatering:
Besøgt dato: 30.03-2011

http://www.dongenergy.dk/privat/El/co2-certifikater/Pages/co2certifikater.aspx
Linket referrer til Dong Energy’s hjemmeside med angivelse af CO_2 kvoteprisen d. 30.06.2011.
Dato for seneste opdatering:
Besøgt dato: 30.06-2011

http://www.ens.dk/da-DK/KlimaOgCO2/CO2Kvoter/fakta_om_CO2-kvoter/Sider/Forside.aspx
Linket referrer til Energistyrelsen og artiklen ” Fakta og Vejledning om Co_2 – kvoter”.
Dato for seneste opdatering:
Besøgt dato: 30.06-2011

http://www.dansklandbrug.dk/NR/rdonlyres/5BB36A48-993D-435A-8CE5-CD3A6D8B9282/0/Kap_04_Eksport.pdf
Linket refererer til et pdf – dokument udgivet af Dansk Landbrug, med henvisning til erhvervets eksportindtægter i perioden 2003-2007.
Dato for seneste opdatering:
Besøgt dato: 29.06-2011

(http://www.aditiva-concepts.ch/download/Alginate.pdf)
Linket refererer til en pdf fil: ”Grindsted – Alginat – Products – Danisco”.
Dato for seneste opdatering:
Besøgt dato: 29.06-2011

(http://nyhederne.tv2.dk/article.php/id-41090960:oppositionen-totalt-gylleforbud.html?forside)
Artiklen stammer fra tv2 nyhederne nettjeneste. Fredag d.24 juni. ”Oppositionen – Totalt gylleforbud”. Af David Buch.

Dato for seneste opdatering:
Besøgt dato: 24.06-2011

http://www.eof.dk/Priser-og-Forbrug/Benzin-forbrug.aspx
Linket henviser til *energi- og olieforum* og viser en opgørelse over det danske benzinforbrug 2010.
Dato for seneste opdatering:
Besøgt dato: 23.06-2011

http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32009L0028:DA:NOT
Euro –lex: Europa-Parlamentets og Rådets direktiv 2009/28/EF af 23. april 2009 om fremme af anvendelsen af energi fra vedvarende energikilder og om ændring og senere ophævelse af direktiv 2001/77/EF og 2003/30/EF
Dato for seneste opdatering:
Besøgt dato: 12.06-2011

http://www.symbiosis.dk/industriel-symbiose.aspx
The kalunborg centre for industrial symbiosis. ”Industriels Symbiose”.
Dato for seneste opdatering:
Besøgt dato: 09.04-2011

http://www.stm.dk/_p_10556.html
Statsminister Anders Fogh Rasmussens tale ved indvielsen af Nationalpark i Thy den 22. august 2008.
Dato for seneste opdatering:
Besøgt dato: 13.03-2011

http://www.mim.dk/Nyheder/pressemeddelelser/20110902_Landerapport.htm
Miljøministeriet, pressemeddelelse af 9. februar 2011: ”Miljøminister vil anvende flere planperioder”.
Dato for seneste opdatering:
Besøgt dato: 20.03-2011

http://www.nordjyske.dk/artikel/10/5/4/3486603/3/kalender.aspx
Egon Kjøller. 2 februar 2010.”Limfjorden burde omfatte stenrev”. Nordjyske Netavis, Erhvervssektionen.
Dato for seneste opdatering:
Besøgt dato: 23.03-2011

http://www.landbrugsinfo.dk/Planteavl/Afgroeder/Korn/Vinterhvede/Sider/pl_09_033.aspxVidensc enter For Landbrug**.** 2009. ”Klimapåvirkning ved dyrkning – vinterhvede som eksempel”.
Dato for seneste opdatering: 02-12-2009
Besøgt dato: 28.05-2011

http://www.landbrugsinfo.dk/Miljoe/Klima/Sider/pl_11_451.aspx#_Toc286320359
Videnscenter For Landbrug.2011. ”Klimapåvirkning fra svinefoder”.
Dato for seneste opdatering: 24-02-2011
Besøgt dato: 28.05-2011

7 Akronymer

IE: Industrial Ecology
LCA: Life Cycle Analysis (livscyklusvurdering)
PSU: Salinitet måles som Practical Salinity Unit (PSU) = $‰_0$
DBH Technology: Danish Biofuel Technology
DTU:Danmarks Tekniske Universitet
DJF: Dansk Jordbunds fakultet
AU: Århus Universitet
GUDP: Grønt Udviklings og Demonstrations Program
DMU: Danmarks Miljøundersøgelser
PDGS: Protein Distillerys Grain Solubles

8 Bilag

BILAG 1:

Figuren er konstrueret via oplysninger fra Virkemiddelskataloget **(**Miljøministeriet – by og landskabsstyrelsen. November 2010).

Reduktion af næringspåvirkning	**Omfang i tusinde Ha**	**Effekt (tons N)**	**Effekt (tons P)**	**Effekt (Kg N pr ha)**	**Effekt (kg P pr ha)**	**Pris i kr. pr kg N**
Generelle virkemidler[92]						
Ændring af normsystem [93]	**50**	**1080**				**25,63**
Forbud mod visse former for jordbearbejdning i efteråret	**110**	**739**	**18**	**6,7**		**25,63**
Forbud mod pløjning af fodergræsmarker i visse perioder	**15**	**540**				**25,63**
Efterafgrøder i stedet for vintergrønne marker	**50**	**690**		**13,7**		**25,63**
10 m randzoner langs åer og søer > 100 m2	**50**	**2561**	**160**	**ca. 50**	**1,4-4,8**	**25,63**
Målrettede virkemidler						
Etablering af arealer med periodevis oversvømmelser i ådale	**3000**		**30**		**10**	**500**
Etablering af vådområder til kvælstoffjernelse	**10**	**1132**		**113**		**144**
Omsættelige kvælstofkvoter		**10.000**				
Udenfor kategori						
Yderligere brug af efterafgrøder i sædskiftet	**140**	**1950**		**13,9**		**421**

[92] Der anvendes en landsdækkende budgetøkonomisk enhedspris. Den anførte enhedsomkostning på 25,63 kr. pr. kilo reduceret N er opgjort som et gennemsnit af de generelle virkemidler.
[93] Det antages at der tages 50.000 ha ud til byudvikling og veje over en 5 årig periode.

Bilag 2

Personlige korrespondancer:

Susan Løvstad Holdt. Post.doc og forsker ved Danmarks Tekniske Universitet, Department of Environmental Engineering.

For videre detaljer og publikationer se: http://www.dtu.dk/English/Service/Phonebook.aspx?lg=showcommon&type=person&id=27809

Overordnet emne for samtale:

- Sukkertangens biologi og økologiske interaktioner.
- Sukkertangens generelle sæsonbetonede næringsstofs optag.
- Sukkertangens forventede biokemiske indhold ved ændringer i den sæsonbetonede N tilgængelighed.
- Sukkertangens biokemiske komponenter, herunder deres hidtidige anvendelser.

Mads Joakim Birkeland - Biolog, ansat ved DHI ved - Water - Environment - Health

Overordnet emne for samtale:

- Overordnet emne for interview: Sukkertangens økologiske interaktioner i relation til dyrkning ved dambrug.
- Forventede ændringer i sukkertangens biokemiske komponenter ved vækst i upwellingområder.

Bilag 3

Ramus Bjerregaard - medejer af Blue Food A/S

Overordnet emner for interview (15-12-2010):

- Fremvisning af produktionsfaciliteter, teknologiske applikationer (dyrkningskonstruktioner) samt diskussion af udbyttedata.
- Udfordringer ved dyrkning i fjorden, herunder overbegroning af dyrkningsliner.
- Optimalt tidspunkt for udsætning af dyrkningsliner, optimalt høsttidspunkt.
- Havbundsforhold og metoder til fæstning af dyrkningskonstruktioner.
- Udfordringer ved produktion af dyrkningsliner.
- Brug af tid ved tilsyn af dyrkningsliner og tidsforbruget tilknyttet udsætning, samt høst af tangen.

Overordnet emne for interview (d. 2-5-2011):

- Indgåede kontrakter med Snaptun Fiskeeksport og Hjarnø Havbrug.
- Viden om sukkertangens indhold af N og P pr ton vådvægt.
- Andre tilskudsordninger i akvakulturen.
- Muligheder for fremtidig udvidelse af produktionen.
- Produktionens omkostningsniveau, herunder den nødvendige betaling ved opsamling af akvakulturens N udledning.
- Potentielle anvendelser af den forventede mer-produktion over tid, herunder en eventuel afsætning til Fermentationexperts A/S.

Susan Løvstad Holdt- tangforsker

Overordnede emner for interview:

- Tangproduktion i Danmark.
- Videns-huller indenfor feltet: potentielle faldgrupper og identificering af områder, med mulighed for at bidrage med ny relevant viden.
- Overblik over nuværende erfaring med produktion af tang på internationalt plan.
- Tangens værdi og anvendelse.
- Indledende litteratur gennemgang, litteraturens pålidelighed og problematikker relateret til den beskedne erfaring indenfor området.
- Personlige erfaringer med dyrkning af tang.
- Formidling af kontakt til relevante fagpersoner.

Bilag 4

Yderligere kommentarer til figur 19:

Tal for udvaskning er nedbørskorrigeret i forhold til tilfældige årlige variationer i klimaet (Børgesen, 2009:23). Ydermere bør indvendes at fraførsel af N og P med korn ikke kan tages som udtryk for kornproduktionens størrelse, da en stor del af produktionen anvendes som foder i den animalske produktion (Kyllingsbæk 2008). Ud af den samlede ammoniakfordampning deponeres ca. 10 kg/ha til havområderne, hvor deponeringens størrelse vil afhænge af tætheden til kilden. Samlet anslås ammoniakfordampningen af Jørgensen (2009:47) at bidrage med op til 5 ton kvælstof til vandområderne på årsbasis. Tilgang af N til produktionssystemet gennem kvælstoffiksering (her menes via bælgplanter og fritlevende organismer), samt atmosfærisk deponering, er begge betydelige poster, sammenlagt anslået til ca. 60.000 ton N pr år (Kyllingsbæk: 45). For overblikkets skyld udelades disse poster dog, da strømme til det traditionelle landbrug fra andre industrielle systemer i forhold til opgavens fokus er mere aktuelt.

Det fremhæves på baggrund af Larsen et al (2010) at N tilførslen fra diffuse kilder (landbrug inkl. Ikke dyrkede arealer) til marint vand i 2005 lå på 60.100 ton N. Herved tyder det på at N-udvaskning fra landbruget er højt sat. Den beregnede tilførsel fra landbruget vil dog afhænge af den anvendte beregningsmetode, herunder den anvendte gennemsnitlige retentionskoefficient[94], hvorved der i litteraturen kan findes forskellige beregninger. Det er derfor valgt at bibeholde estimatet på ca. 67.000 ton N/år, med udgangspunkt i at baggrundsdata er udførligt refereret og denne problemstilling er påtalt.

[94] Larsen et al (2010) tager udgangspunkt i en retentionskoefficient på 64,1 %. I denne opgave er valgt at tage udgangspunkt i en retentionskoefficient på 58 %, der anslås at være den anvendte gennemsnitlige retention i Grøn Vækst.

Bilag 5

Sukkertangens indhold af N (vådvægt) i marts er estimeret til 0,615 % (se bilag 6). På baggrund heraf kan maks. produktion i ton vådvægt pr år udregnes. Det oprindelige Grøn Vækst reduktionsmål på 19.000 ton N bruges her som eksemplificering, hvor der tages udgangspunkt i en marts høst (udbyttescenarium 3).

N – tilførsel på 19.000 ton pr fra landbruget omregnes fra ton til kilo: 19.000 * 1.000 = 19.000.000 kilo N pr år
Herefter udregnes kilo N pr ton vådvægt for sukkertangen i henhold til udbyttescenarie 3 (marts):

1000 kilo vådvægt * 0,00615 = 6,15 kilo N pr ton vådvægt
Maks. produktion i ton vådvægt pr år kan udregnes som: 19.000.000 kilo N pr år / 6,15 kilo N pr ton vådvægt pr år = 3.089.430 ton vådvægt pr år

Tilsvarende beregning kan laves for maks. produktion i ton vådvægt pr år for udbyttescenarie 4:

Landbrugets N – tilførsel i kilo: 19.000.000 kilo N pr år
Herefter udregnes kilo N pr ton vådvægt for sukkertangen i henhold til udbyttescenarie 4 (august):
1000 kilo vådvægt * 0,00445 = 4,45 kilo N pr ton vådvægt
Maks. produktion i ton vådvægt pr år kan udregnes som,
19.000.000 kilo N pr år / 4,45 kilo N pr ton vådvægt pr år = 4.269.662 ton vådvægt pr år

Herudfra kan så udregnes den forudsatte biomassetilvækst, såfremt den absolutte N mængde mellem månederne marts og august skal være konstant:

4.269.662 ton vådvægt pr år- 2.089.430 ton vådvægt pr år = en årlig difference på 1.180.232 ton vådvægt år.

Denne difference svarer til en stigning i biomasse på 1.180.232 ton vådvægt pr år * 100 / 3.089.430 = 38,2 %

Der forudsættes altså en stigning i biomassetilvæksten fra udbyttescenarium 3 (marts) frem til udbyttescenarium 4 (august) på 38,2 %, såfremt den absolutte mængde N skal forblive konstant.

Eksemplificering af udregning af P – binding ved maks. produktion pr år:

Først udregnes N og P forholdet for henholdsvis udbyttescenarie 3 og udbyttescenarie 4

Udbyttescenarie 3:
Her angiver Murata et al (2001) et fast P - indhold på 0,5 % af tørvægt.
Forholdet mellem N og P kan da udregnes:

3,42 (tørvægt) / 0,5 = 6,84:1

Tilsvarende udregning kan laves for udbyttescenarie 4, hvor N:P forholdet for august måned angives til:

2,47 (tørvægt) / 0,5 = 4,94:1

Der kan nu laves en eksemplificerende udregning for P – binding i ton pr år ved maks. produktion. Eksemplet laves med udgangspunkt i udbyttescenarium 3 (marts) og en N – tilførsel fra landbruget pr år på 19.000 ton:

N:P forholdet er sat til 6,84:1

P – binding i biomassen kan udregnes til:

19.000 ton N pr år / 6,84 = 2.778 ton P pr år

Samme eksemplificerende udregning kan laves med udgangspunkt i udbyttescenarium 4 (august) og en N – tilførsel fra landbruget pr år på 19.000 ton:

N:P forholdet er sat til 4,94:1

P – binding i biomassen udregnes til:

19.000 ton N pr år / 4,94 = 3.846 ton P pr år

Difference i ton P pr år udregnes som:

Difference i ton P pr år sættes til differencen mellem P – tilførsel fra det traditionelle landbrug og P binding ved maks. produktion. Eksemplificering laves ved udbyttescenarium 3 og en N tilførsel på 19.000 ton N pr år:

Tilførsel af 1.400 ton P pr år fratrukket binding ved maks. pro. (2.778 ton P) = - 1.378 ton P pr år

Eksemplificering af udregning af påkrævet areal i hektar. Der tages udgangspunkt i udbyttescenarium 3 og en tilførsel på 19.000 ton N pr år.

Da udbytte pr ha pr år er sat til 21,66 ton vådvægt, kan det påkrævede areal udregnes som 3.089.430 ton vådvægt pr år / 21,66 ton vådvægt pr år = 142.633 ha pr år

Bilag 6

Udregning af N – indhold (vådvægt) for marts måned.

Følgende udregning er eksemplificeret med udgangspunkt i udbyttescenarium 3 (angivet via tabel 1), samt ved anvendelse af estimat for N – indhold (tørvægt) som af Gevaert et al (2001) angives til 3,42 %

N – indhold for marts høst (udbyttescenarium 3) i vådvægt kan udregnes til:

Via tabel 1 angives udbytte i vådvægt pr ha til 21,66 ton pr år. Da der regnes med en vådvægtsprocent på 18 % vil tørstof pr ha pr år svare til 21,66 * 0,18 = 3,90 ton tørvægt pr ha pr år

Tørstof pr ha pr år i kilo kan udregnes til: 3,90 ton tørvægt pr ha pr år * 1000 = 3.900 kilo tørstof pr ha pr år

N – indhold i kilo pr ha tørvægt er da: 3.900 kilo tørvægt pr ha pr år * 0,0342 = 133,38 kilo N pr ha pr år

N – indhold i ton vådvægt pr ha pr år kan herefter udregnes:

Omregning fra ton til kilo: 1000 * 21,66 = 21.660 kilo vådvægt pr ha pr år, hvor

133,38 kilo N pr ha pr år * 100 / 21.660 = 0,615 % af vådvægt pr ha pr år

Samme beregningsmetode benyttes til estimering af N indhold (vådvægt) pr ha pr år for en augusthøst (udbyttescenarium 4). Her anvendes Gevaert's estimat på 2,47 % N (tørvægt), mens udbytte pr ha i ton vådvægt angives til 29,24 pr år (se tabel 1).

Tørstof pr ha pr år svarer til 29,24 * 0,18 = 5,26 ton tørvægt pr ha pr år

Tørstof pr ha pr år i kilo kan udregnes til: 5,26 ton tørvægt pr ha pr år * 1000 = 5.263 kilo tørstof pr ha pr år

N – indhold i kilo pr ha tørvægt er da: 5.263 kilo tørvægt pr ha pr år * 0,0247 = 130,00 kilo N pr ha pr år

N – indhold i ton vådvægt pr ha pr år kan herefter udregnes:

Omregning fra ton til kilo: 1000 * 29,24 = 29.240 kilo vådvægt pr ha pr år, hvor

130,00 kilo N pr ha pr år * 100 / 29.240 = 0,445 % af vådvægt pr ha pr år

Fra ovenstående udregnes N reduktionen mellem marts og august udregnes:

Det er vist at N – indhold i kilo pr ha pr år for marts måned = 133,38 kg og N – indhold i kilo pr ha pr år for august = 130,00 kg.

Differencen kan derfor udregnes som 133,38-130,00 = 3,38 kg N pr ha pr år

Differencen i procent er da:

3,38 kg * 100 / 133,38 kg = 2,53 %

Bilag 7

Bilag er taget fra Deloitte feasibility study af 21. juni 2011 og viser den planlagte produktion af bioethanol og bi-produkter placeret ved Grenå Havn. Rapporten er fortrolig og bilagene gengives derfor ikke i denne version af specialet.

Bilag 8

Outputkategorien benævnt ”restfraktionen” indeholder potentielt set en række værdifulde biokemiske komponenter, der parallelt med en videreudvikling af bioraffineringsteknologi vil kunne udskilles i en række separate outputkategorier. Potentialet synes her at være betragteligt, hvor det på sigt bl.a. vil være attraktivt at udvikle teknologi til ekstraktion af sukkertangens lipider, der ifølge (Holt 2011) anslås at udgøre ca. 2 % af biomassen. Særligt interessant er her de superumættede fedtsyrer EPA (eicosapentaensyre) og AA (arachidonsyre), i almen tale omega 3 og 6 fedtsyrer, der udgør langt hovedparten af tangens flerumættede fedtsyrer og ifølge Mouritzen (2009:61-62) har en væsentlig ernæringsmæssig værdi[95].

Hertil vil separation af sukkertangens alginatkomponent være interessant for en virksomhed som Danisco, der producerer alginsyre udvundet fra vildthøstede brunalger, mhp. anvendelse som geleringsmiddel i fødevareindustrien (http://www.aditiva-concepts.ch/download/Alginate.pdf). Ved at betragte cirkeldiagrammet for august ses at alginsyrekomponenten udgør 14 % af tørvægt, hvorved det i teorien vil være muligt at udvinde hen ved 51.000 ton alginat ved en nyttiggørelse af 9.000 ton N. Eftersom at den globale efterspørgsel efter alginat ligger på ca. 30.000 ton på årsbasis (Ma, 2006:13), vil en nyttiggørelse derfor kunne mætte efterspørgselen[96].

Ovenstående illustrerer relevansen af et væsentligt fremtidigt arbejde med udvikling af nye bioteknologiske teknologier, samt en bedre forståelse for den optimale seperationsrækkefølge. Det er her forventeligt at procesdesignet skal ændres, hvor opvarmning af biomassen med henblik på kontrol af bakteriologien vil skulle foregå efter separation af eksempelvis lipider[97].

---

[95] Den ernæringsmæssige værdi af tangens omega 3 og 6 fedtsyrer består i det interne forhold mellem EPA og AA, der ifølge Mouritzen (2009:61-62) anses for at være tæt på ideelt, med en række positive sundhedsfremmende egenskaber til følge. En eventuel udvinding af sukkertangens superumættede fedtsyrer til humankonsum kan altså forventes at udgøre et højværdiprodukt, placeret højt i ”værditrekanten”.

[96] Alginatens kvalitet vil dog være afgørende for dens værdi på markedet. Der vil derfor skulle udvikles separationsmetoder, der ikke kompromitterer kvaliteten, men stadig fordrer en separation af andre højværdiprodukter.

[97] Efter mailkorrespondance med DBH Technology direktør Svend Brandstrup.

Bilag 9

Baggrundsviden

Ved konvertering af laminarin til bioethanol er anvendt en faktor 0,51. Faktoren er angivet af Anne Belinda Bjerre, senior forsker fra Teknologisk Institut (tidl. DTU - Risø). Konverteringsfaktoren gælder for omregning af glukose, mannose og xylose til ethanol. Ifølge Adams et al (2008) vil laminarin udgøres af glukose og fruktose, der efter hydrolisering vil kunne forgæres til alkohol. Ved konvertering af sukkerkomponenterne fra mannitol er anvendt en konverteringsfaktor på 0,38, som angivet af Horn et al (2000).

Anvendelse af ovenstående konverteringsfaktorer forudsætter en enzymatisk behandling af biomassen, hvor sukkerstofferne hydroliseres, hvorefter de kan omdannes til ethanol.

Eksemplificering af udregning fra ton tørvægt til liter ethanol ved konvertering af 19.000 ton N til tørvægt (udbyttescenarie 4):

Sukkertang vil i august indeholde 18 % *mannitol* og 21 % *laminarin* på tørstofsasis.

Den samlede mængde kulhydrater i form af laminarin for august i tørstof kan da udregnes til:
768.539 ton tørvægt * 0,21 = 161.393 ton tørvægt

Den samlede mængde kulhydrater i form af mannitol for august i tørstof kan da udregnes til:

768.539 ton tørvægt * 0,18 = 138.337 ton tørvægt

Ved konvertering til ethanol anvendes for laminarin en konverteringsfaktor på 0,51:
161.393 ton tørvægt (laminarin)* 0,51 = 82.310 ton ethanol

Ved konvertering til ethanol anvendes for mannitol en konverteringsfaktor på 0,38:
138.337 ton tørvægt (mannitol) * 0,38 = 52.568 ton ethanol

Da massefylden for ethanol er 0,72/cm^3 kan der anvendes en konverteringsfaktor på 1,28 ved omregning fra ton til m^3:

Først findes den samlede mængde ethanol:

82.310 ton ethanol (laminarin) + 52.568 ton ethanol (mannitol) = 134.878 ton ethanol

Herefter omregnes fra ton til m^3:

134.878 ton ethanol * 1,28 = 172.644 m^3

Herefter kan regnes fra m^3 til liter:

172.644 m^3 * 1000 = 172.644.000 liter ethanol

Eksemplificering af udregning af restfraktion på baggrund af ovenstående udregning:

Den samlede mængde tørvægt for august er 768.539 ton. Heraf fratrækkes 134.878 ton kulhydrater, der er forgæret til ethanol:
768.539 ton – 134.878 ton = 633.661 ton restfraktion

Bilag 10

Tilskud målrettet produktionens binding af CO_2 er ikke i dag aktuelt, da EU's CO_2 kvotesystem kun er målrettet store energitunge virksomheder (http://www.ens.dk/da-DK/KlimaOgCO2/CO2Kvoter/fakta_om_CO2-kvoter/Sider/Forside.aspx). Imidlertid genforhandles Kyoto-protokollen i 2013, hvor det endnu er uvist om landbrugs- og transportsektoren ligeledes underlægges et CO_2 kvotesystem. En eventuel merindtægt ved salg af CO_2 kvoter skal ikke desto mindre kort omtales, under henvisning til produktionens potentielle positive bidrag til den nationale CO_2 - balance. Prisen på CO_2 kvoter (1 kvote =1 ton CO_2) sættes d. 30/6-2011 til 161 kr. (http://www.dongenergy.dk/privat/El/co2-certifikater/Pages/co2certifikater.aspx), mens der i 1 ton biomasse alger (tørvægt) i henhold til Bruhn et al (2010:19) vil være bundet ca. 1,8 ton CO_2. Ud fra tabel 1 ses at 1 ha pr år producerer 5,26 ton tørvægt for en augusthøst, svarende til en potentiel merindtægt på 5,26 * 161 kr. = 846,9 kr. pr ha pr år.

Produktionens forbrug af CO_2 vil dog skulle fratrækkes CO_2 bindingen, hvorved høst, tilsyn af tangplots, produktion af dyrkningsliner mv. vil reducere CO_2 opsamlingen og dermed også muligheden for salg af CO_2 kvoter. Som påpeget vil der skulle foretages en LCA før produktionens CO_2 balance kan verificeres.