

# ØKOSYSTEMTJENESTER FRA GRØN PRODUKTION

---

DCE SEMINAR OM GRØN OMSTILLING  
2-3 DECEMBER, SLAGELSE

MARIANNE THOMSEN  
PHD, SENIOR SCIENTIST  
HEAD OF RESEARCH UNIT, ECOINDUSTRIAL SYSTEM ANALYSIS (EISA)  
SCIENCE PROGRAM COORDINATOR, SUSTAINABLE RESOURCE FLOWS  
WASTE SECTOR EXPERT, NATIONAL EMISSION INVENTORY  
SECTION ON EMISSION MODELING AND ENVIRONMENTAL GEOGRAPHY (EMMI)  
DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL SCIENCE  
FACULTY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY  
AARHUS UNIVERSITY  
FREDERIKSBORGVEJ 399  
4000 ROSKILDE

# FORSKNINGSPROGRAM - BÆREDYGTIGE RESSOURCE STRØMME

[HTTP://ENVS.AU.DK/FORSKNING/SCIENCEPROGRAMS/RESSOURCEEFFEKTIVITET/](http://envs.au.dk/forskning/scienceprograms/ressourceeffektivitet/)

---

Forskningsprogrammet leverer forskningsunderstøttet rådgivning af myndigheder, kommuner og andre interessenter og fokuserer specifikt på følgende temaer:

**Tema 1. Økosystemernes tjenester, fremtidens arealanvendelse og ressourceeffektivitet**

**Tema 2. Udnyttelse og recirkulering af biomasseaffald fra landbrugsproduktion og husholdninger**

**Tema 3. Udnyttelse af økosystem tjenester i havet - makroalger, muslinger og fiskeri**

# GRØN PRODUKTION

## DESIGNET TIL BESKYTTELSE AF MILJØ OG KLIMA

---

- › **Teknologier – produkter – serviceydelser**
- › **Teknologieffektivitet**
  - › – mere for mindre
- › **Produkt**
  - › – biobaseret kontra fossilt baseret - produktkvalitet
- › **Serviceydelse**
  - › Ressourceforvaltningsmodeller som understøtter bevarelse af økosystemers sundhed og tjenester

# BÆREDYGTIG EFFEKTIVITET

---

- › Ressource effektivitet (Flagskibsinitiativet Et ressourceeffektivt Europa under Europa 2020-strategien)
  - › Mere produkt for mindre forbrug af ressourcer
  - › Adfærdsændringer hos producenter og forbrugere
  - › Teknologiforbedringer, Ændringer indenfor visse sektorer
  
- › Økoeffektivitet - Økoinnovation
  - › Mindre ressourceforbrug, øget energieffektivitet, mindre emissioner
  
- › Bæredygtig ressource effektivitet
  - › Biobaseret produktion fra økosystembevarende cirkulære ressourcestrømme (= grøn produktion)
  - › Tekniske nærrigsstofstrømme i "closed loop" systemer



# TEMA 1. ØKOSYSTEMERNES TJENESTER, FREMTIDENS AREALANVENDELSE OG RESSOURCEEFFEKTIVITET

## RESSOURCER

### – FOR MEGET OG FOR LIDT

---

# BÆREDYGTIG RESSOURCE EFFEKTIVITET

- › LCA udvidet med samfundsøkonomiske analyser
- › systemgrænser bestemt af ressourcestrømmen/-ene
- › Netværksanalyse til kvantificering og dimensionering af ressourcestrømmene
- › kombineret med LCA til kvantificering af kvaliteten af input og output

Journal of Environmental Management 118 (2013) 21–31



Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

Journal of Environmental Management

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/jenvman](http://www.elsevier.com/locate/jenvman)



Network Analysis as a tool for assessing environmental sustainability:  
Applying the ecosystem perspective to a Danish Water Management System

Massimo Pizzol<sup>a,\*</sup>, Marco Scotti<sup>b</sup>, Marianne Thomsen<sup>a,1</sup>

<sup>a</sup> Department of Environmental Science, Aarhus University, Frederiksborgvej 399, 4000 Roskilde, Denmark

<sup>b</sup> The Microsoft Research – University of Trento Centre for Computational and Systems Biology, Piazza Manifattura 1, 38068 Rovereto, Italy

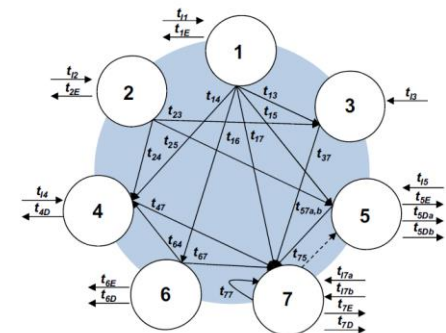
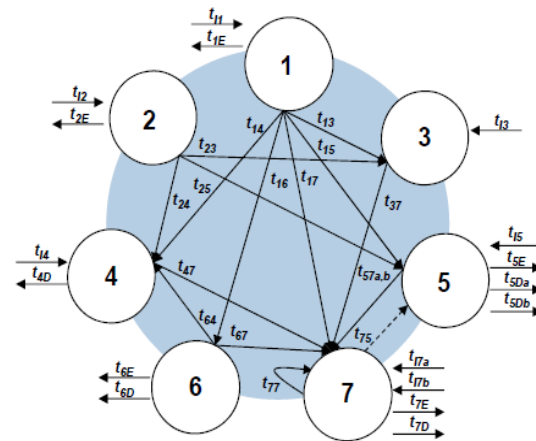


Fig. 1. Graphical representation of the WMS network. Intensities of water flows are summarized in Table 1. (1) PBWS, Water Supplier, Public; (2) PVWS, Water Supplier, Private; (3) PS, Public Service; (4) HH, Households; (5) ID, Industry; (6) EP, Energy Production; (7) WWT, Waste Water Treatment. I, Import; E, Export; D, Dissipation.

# NETVÆRKSANALYSE - ET REDSKAB TIL BÆREDYGTIG RESSOURCEFORVALTNING ØKOSYSTEMTJENESTER I SMARTE BYER

## › *Innovativ vandforvaltning – brug af regnvand som ressource*

- (1) Water Supplier, Public
- (2) Water Supplier, Private
- (3) Public Service
- (4) Households
- (5) Industry
- (6) Energy Production
- (7) Waste Water Treatment.

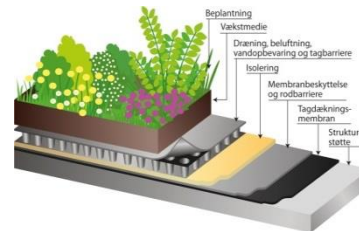


I, Import; E, Export; D, Dissipativ

Erstatning af drikkevand med regnvand  
Vandregulering fra en grøn infrastruktur  
- grønne tage  
- Grønne korridorer og bassiner

I, Import ↓  
E, Export; ↓  
D, Dissipation ↓

## Økosystem baserede tilgange til klimatilpasning - muligheder og konflikter i byområder [ØKOKLIM] Inddragelse af økosystemtjenesten 'vandregulering' fra grønne tage





- **Habitat services** – creating new (and rare) habitats for animals and fauna in urban areas
- **Regulating services** – mitigating urban heat island; attenuating surface water run off; slowing down hydrology; absorbing noise; encouraging biking/walking;
- **Cultural services** – recreation, relaxation, aesthetics, sense of place and identity; increasing property values; prolonging roof material life time; improving the use of areas already in use
- **Provisioning services** – food/honey production; removal of pollutants from water





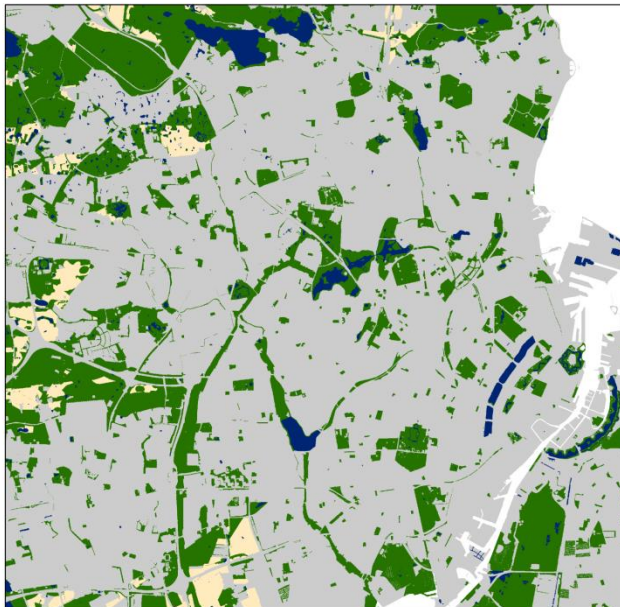
# DEN GRØNBLÅ STRUKTUR I BYOMRÅDER - ØKOSYSTEMTJENESTER I SMARTE BYER

- 30 % eller næsten 900 km<sup>2</sup> af Storkøbenhavn er bebygget eller befæstet mens grønblå arealer omfatter omkring 37 % af regionen
- 400 km<sup>2</sup> ikke er bebygget eller befæstet



Grønblå infrastruktur:




-  grønne arealer (parker, kirkegårde, skov, naturarealer)
-  blå arealer (søer)

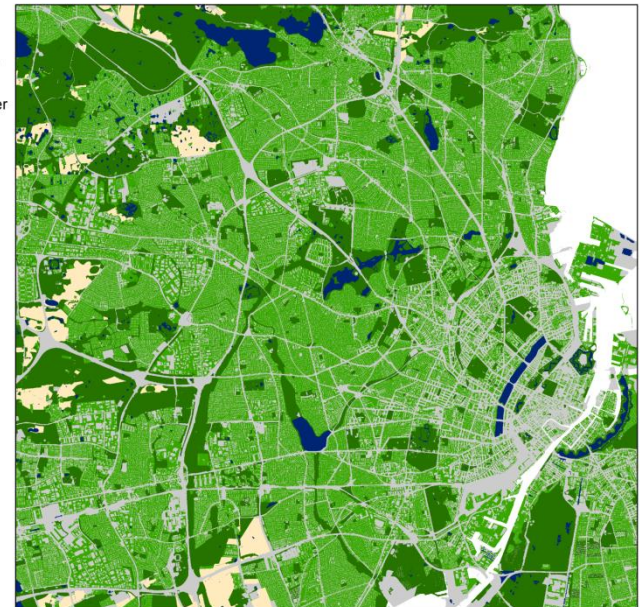
-  bebyggede / befæstede arealer
-  landbrug



Grønblå infrastruktur:

-  grønne arealer (parker, kirkegårde, skov, naturarealer)
-  blå arealer (søer)

-  bebyggede / befæstede arealer
-  grønne arealer omkring bebyggelse
-  landbrug







# DEN GRØNBLÅ STRUKTUR I BYOMRÅDER - ØKOSYSTEMTJENESTER I SMARTE BYER

Grønne arealer omkring  
bebyggelse:

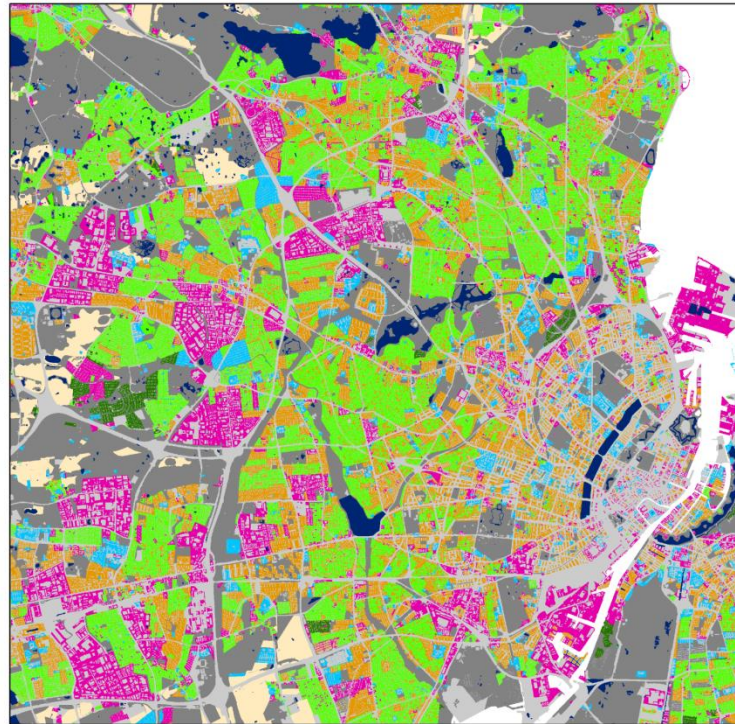
-  parcelhuse
-  række- / etagebebyggelse
-  kolonihaver / sommerhuse
-  erhverv / industri
-  offentlig bebyggelse

Andre grønblå arealer  
(primært offentligt forvaltede)

-  søer
-  grønne arealer (parker,  
kirkegårde, skov, naturarealer)

-  bebyggede / befæstede arealer
-  landbrug

0 1 2 4 kilometer



- Arealmæssige økosystemtjenester som fx retention af vand involverer private, industrielle såvel som offentligt ejede arealer og aktører
- Der er behov for forskellige policy instrumenter til at skabe rammen om fremtidens ressourceforvaltning og økosystemtjenester i smarte byer
- Økofors projektet ser på de infrastrukturelle og arealmæssige økosystemtjenester der kan realiseres fra en grønblå struktur i form af funktionerne: Naturkvalitet/biodiversitet, luftkvalitet og retention af regnvand

---

# TEMA 2. UDNYTTELSE OG RECIRKULERING AF BIOMASSEAFFALD FRA LANDBRUGSPRODUKTION OG HUSHOLDNINGER

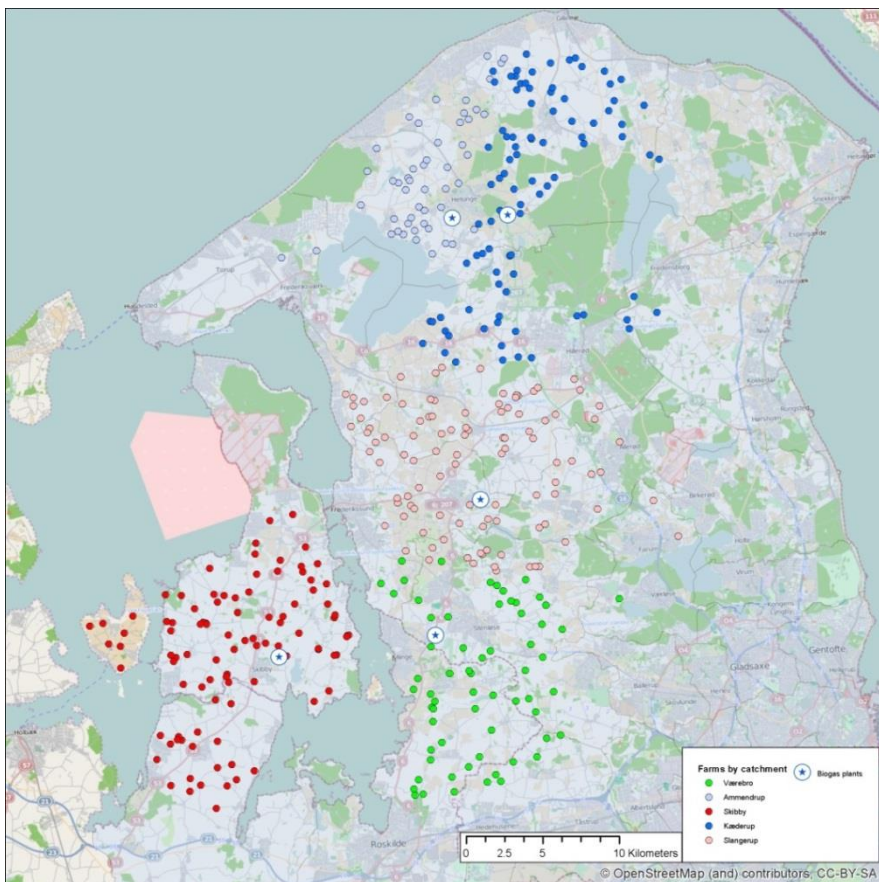
# ET STRATEGISK PROJEKT OM LOKALISERING AF BIOGAS

- › Udgangspunkt: Policy mål for husdyrgødning
  - › Grøn vækst: op til 50% af husdyrgødningen skal bioforgasses i 2020
  - › Anslået 50 kommuner skal finde plads til biogasanlæg
  - › Kriterier for lokalisering, fra NSTs biogassekretariat:
    - › Husdyrtæthed (og lokaliseringsplaner for store husdyrbrug)
    - › Transportveje
    - › Afstand til beboelse
    - › Bevaringsværdige landskaber og beskyttede områder
    - › naturgasledninger
-

# RESSOURCESTRATEGIEN

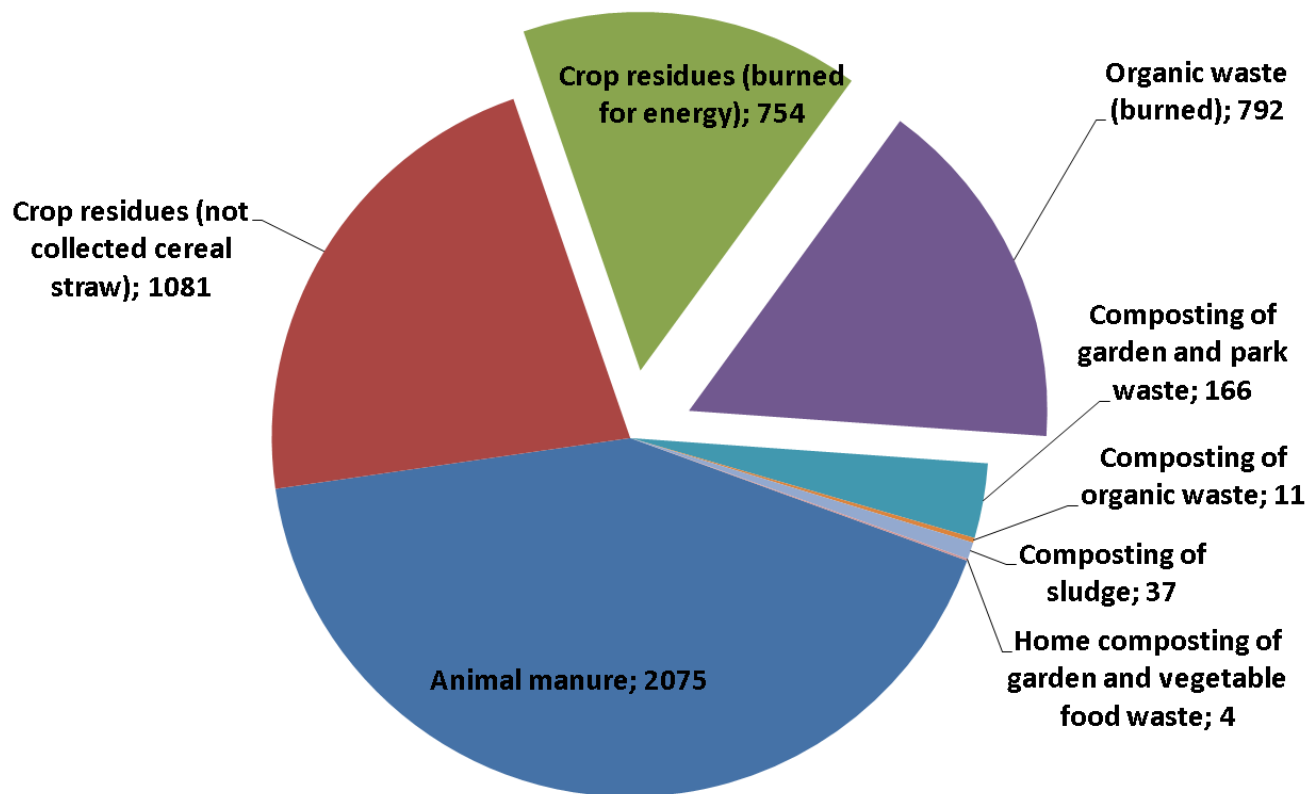
- › Her lægges vægt på større anvendelse af det organiske affald til biogas konvertering.
  - › Efterfølgende er det interessant at analysere scenarier for :
    - › potentielle lokaliteter for biogasanlæg, givet at substratet kan bestå af såvel husdyrgødning som organisk affald,
    - › Under kriterier for transportafstand og anlægstørrelser,
    - › Under hensyn til andre plantemaer
    - › Miljø- og energi effekter ift. en reference med udbringning og forbrænding, inkl. luftemissioner, energi og jordkvalitet
-

# EKSEMPEL: RUMMLIGE ASPEKTER



- › Potentielle lokaliteter for biogasanlæg, jvf (kommuneplan 2013)
- › Bedrifter i 15 km kørselsafstand på vej
- › Hvilke emissionseffekter er der af denne transport, ift til udbringning
- › Næste skridt: inddragelse af husholdningsaffald

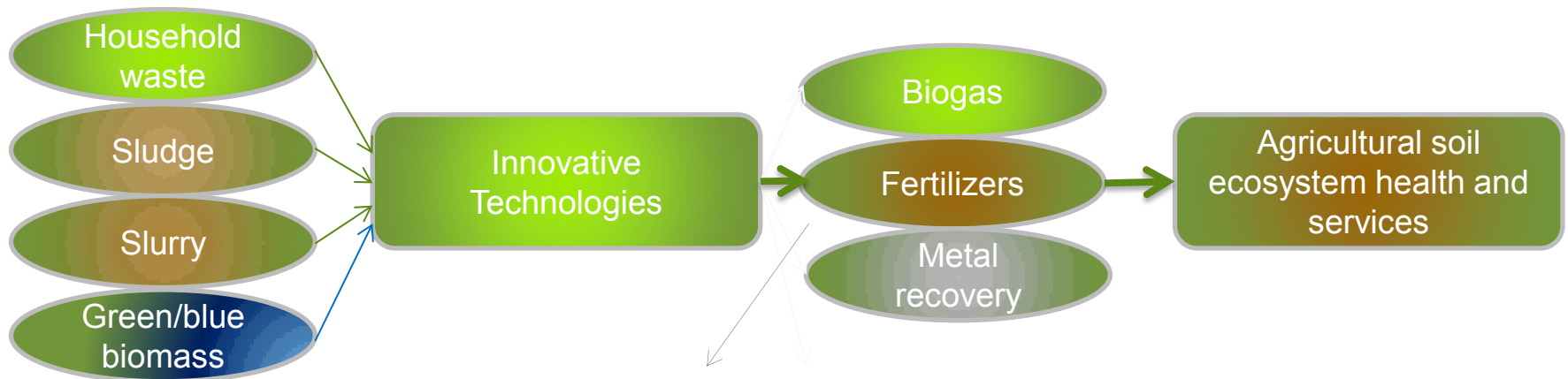
# C I FORSKELLIGE BIOMASSE FRAKTIONER- 2011



[Gg C, Kilde: Beregnet ud fra de nationale emissionsopgørelser, Malene Nielsen, Kajta Hjelgaard, Rikke Albrechtsen, Steen Gyldenkærne, sgy@dmu.dk]

# ENERGI OG RESSOURCEEFFEKTIVITET

## -RECIRKULERING AF FOSFOR I BIOFORGASSET BIOMASSE



$C_p$ , biomasse  $\uparrow$  medfører  $C_{Me/P}$ , biomasse  $\downarrow$

øget produktkvalitet – et spørgsmål om teknologier samt innovativ udvekslingen af ressourcestrømme imellem aktører



# Tilbageførsel af næringsstoffer og carbon til landbrugsjord

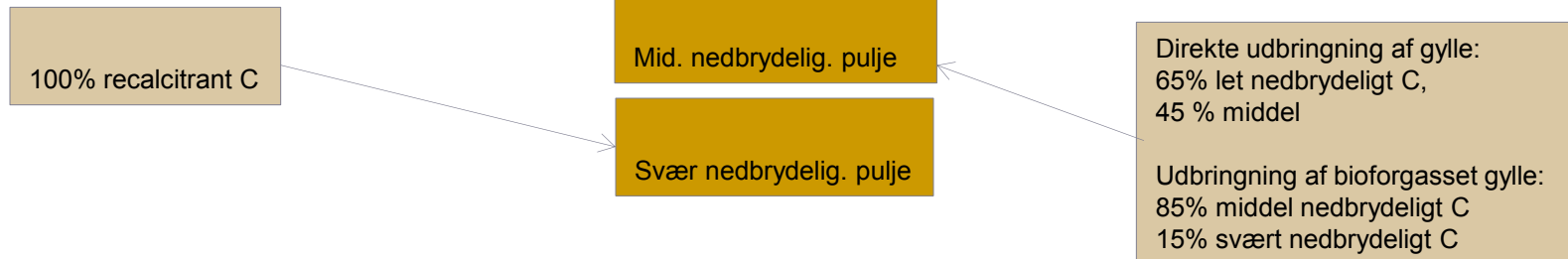
## Teknologi – Produkt - Serviceydelse

- › Hvordan får vi en langtidsholdbar udvikling i landbrugsjordenes C-indhold
- › Fjernelse af den let omsættelige fraktion til energiformål
- › Bibeholde/øge den svært nedbrydelige fraktion som jordforbedring

### › Betydningen af forbehandling

- › –Termisk behandling  
Biogas og Biochar

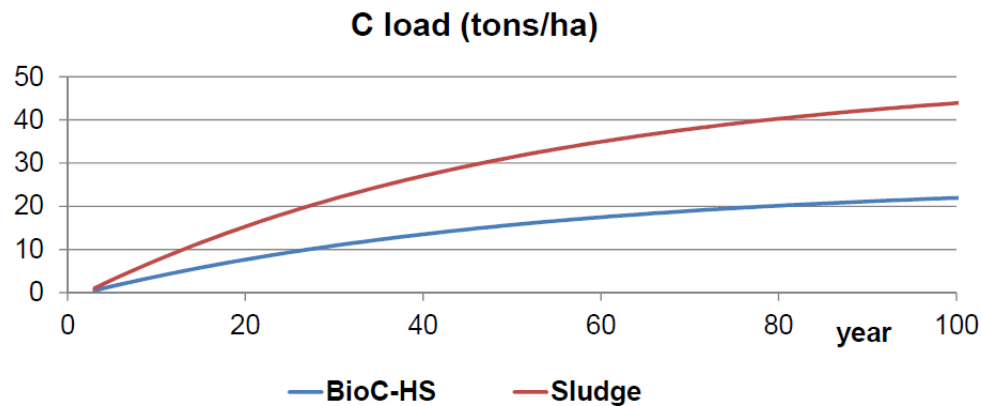
- Bioforgasning  
–Biogas og org. restprodukt



Biochar øger jordens evne til at opbevare næringsstoffer og herved mindske fx tab af N.  
Bioforgasset organisk materiale understøtter jordens biodiversitet idet det har et højere indhold af alfatiske funktionelle strukturer

# KLIMA MITIGERING

- › Udbringning af gylle, slam (bioforgasset sammen med husholdningsaffald)
- › Hvilke krav skal der stilles til produkt og proces?
- › En afvejning mellem mange formål



Accumulated increase in top-soil organic carbon  
 - assumption of 0.14 percent of the organic carbon added to cultivated soils remaining after 100 years

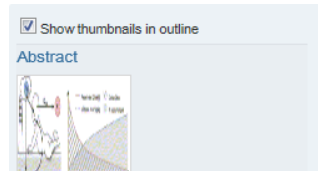
# BÆREDYGTIG RESSOURCEEFFEKTIVITET

---

- › Gødningsproduktkvalitet er central
- › LCA/LCIA – kan meget, men aldrig alene!
- › Eutrofiering, Udtømning af fossile ressourcer og klima forandringer
  - › Tilbageførsel af overskydende næringsstoffer fra grønt affald til jord
  - › Substitution af syntetiske med naturlige organiske gødningsprodukter
- › Human, ferskvands-, marin- og terrestrisk (øko-) toksicitet
  - › Øget re-allokering af tekniske næringsstoffer (kritiske såvel som tungmetaller)
- › Ressourcestrømme og teknologi kombinationer er vigtige
- › Tidshorisont for klima og miljøvurderinger er et afgørende punkt

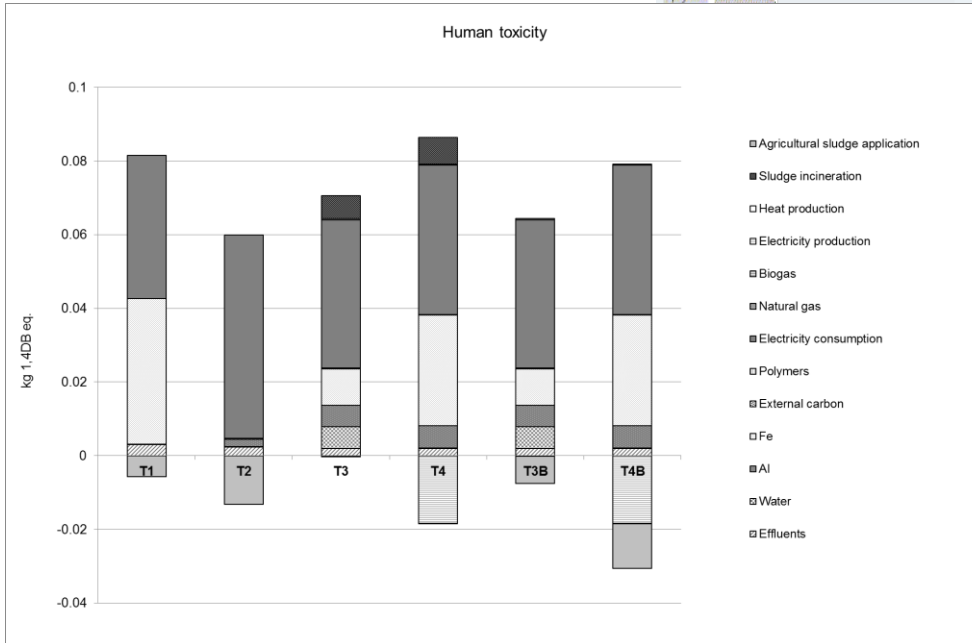
# RESSOURCESTRØMME PÅ TVÆRS AF SEKTORER

## EXTERNALITETER



Journal of Environmental Management

Volume 121, 30 May 2013, Pages 170–178



Niero et al., 2013. Comparative life cycle assessment of wastewater treatment in Denmark including sensitivity and uncertainty analysis, *subm.*

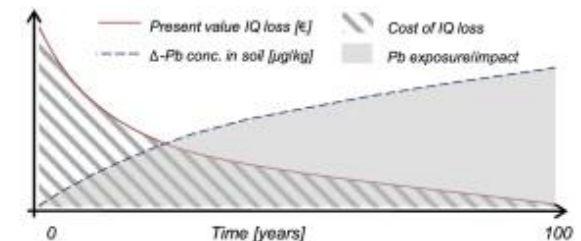
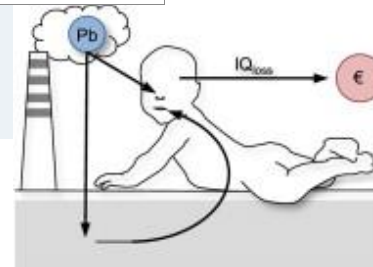
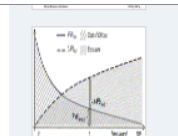
### External costs of atmospheric lead emissions from a waste-to-energy plant: A follow-up assessment of indirect exposure via topsoil ingestion

Massimo Pizzol<sup>1</sup>, Flemming Møller<sup>1</sup>, Marianne Thomsen<sup>2</sup>

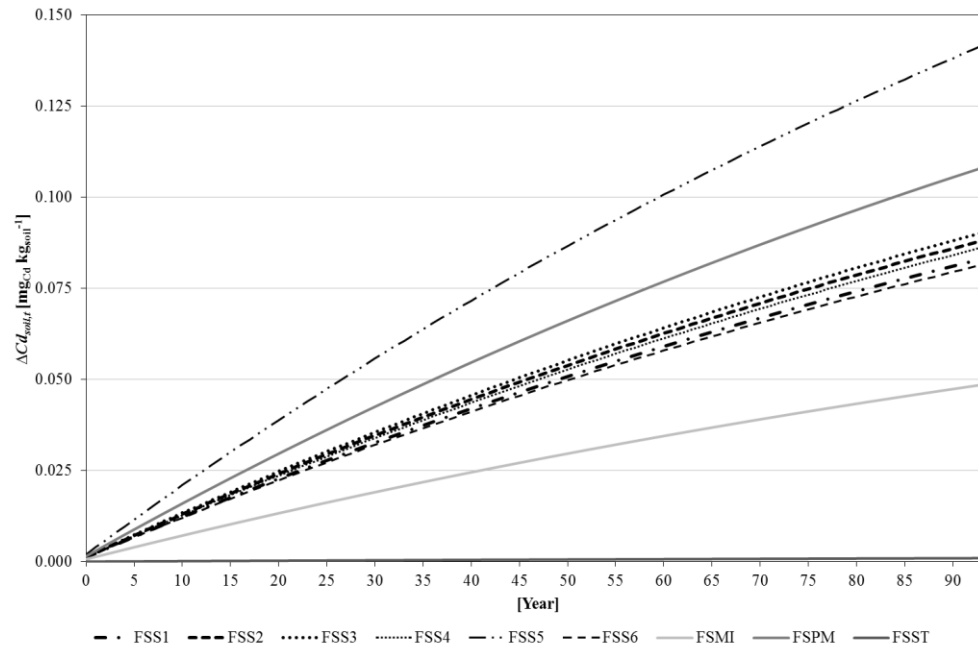
Department of Environmental Science, Aarhus University, Frederiksborgvej 399, Postboks 358, 4000 Roskilde, Denmark

#### Abstract

In this study the Impact Pathway Approach (IPA) was used to calculate the external costs associated with indirect exposure, via topsoil ingestion, to atmospheric emissions of lead (Pb) from a waste-to-energy plant in Denmark. Three metal-specific models were combined to quantify the atmospheric dispersion of lead, its deposition and accumulation in topsoil, and the increase in blood lead concentration for children resulting from lead intake via topsoil ingestion. The neurotoxic impact of lead on children was estimated using a lead-specific concentration-response function that measures impaired cognitive development in terms of IQ points lost per each incremental  $\mu\text{g}/\text{dl}$  of lead in blood. Since IQ loss during childhood can be associated with a percent decrease in expected lifetime earnings, the monetary value of such an impact can be quantified and the external costs per kg of lead emitted from the plant were then calculated. The costs of indirect exposure calculated over a time horizon of 100 years, for the sub-population of children of 0–3 years, and discounted at 3%, were in the range of 15–30 €/kg. Despite the continued accumulation of lead in topsoil resulting in increasing future indirect exposure, the results indicate that costs associated with this exposure pathway are of the same order of magnitude as costs associated with direct exposure via inhalation, calculated at 45–91 €/kg. Moreover, when the monetary value of future impacts is discounted to the present, the differences between the two exposure pathways are diminished. Finally, setting a short time horizon reduces the uncertainties but excludes part of the costs of indirect exposure from the assessment.



# UNDGÅEDE SUNDHEDSOMKOSTNINGER SOM FUNKTION AF KVALITETEN AF GØDNINGSPRODUKTER



- › Markedsværdi af handelsgødning er 12 kr/kg P
- › Værdien af eksternaliteter forbundet med udbringning af organiske gødningsprodukter er per kg P på mellem 0.1 og 4 kr/kg P
- › svarende til mellem 1 og 34 % af handelsgødningsværdien

# JORDSYSTEMETS ØKOSYSTEMTJENESTER

- › EU har identificeret flere trusler mod jordbundens biodiversitet og jordens økosystemtjenester og en EU-Jord temastrategien er under udarbejdelse.
- › Jordens økosystemtjenester er forbundne: primærproduktion, fotosyntese, næringsstofkredsløb og vand cykling, er alle forskellige aspekter af de samme biologiske processer.

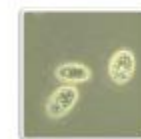
# BIODIVERSITET OG ØKOSYSTEMFUNKTIONER

- › Institut for Miljøvidenskab, AU, (<http://envs.au.dk/>) har stor erfaring i EU-projekter og deltager i 11 EU FP7-projekter og 1 Marie Curie ITN.
- › Instituttets bidrager med integrerede analyser og modeller indenfor områderne: miljø mikrobiologi, bioteknologi og kemi, luftforurening og transport, emissioner og modellering, klimaforandringer, mitigering og tilpasning, livscyklus analyse, miljøøkonomi, sociologi og politisk analyse.

- › ITN Trainbiodiverse
- › FP7 EcoFINDERS
- › FP7 OpenNess
- › BESAFE



Distribution of 81 tested sites representing a pedo-climatic transect across Europe.

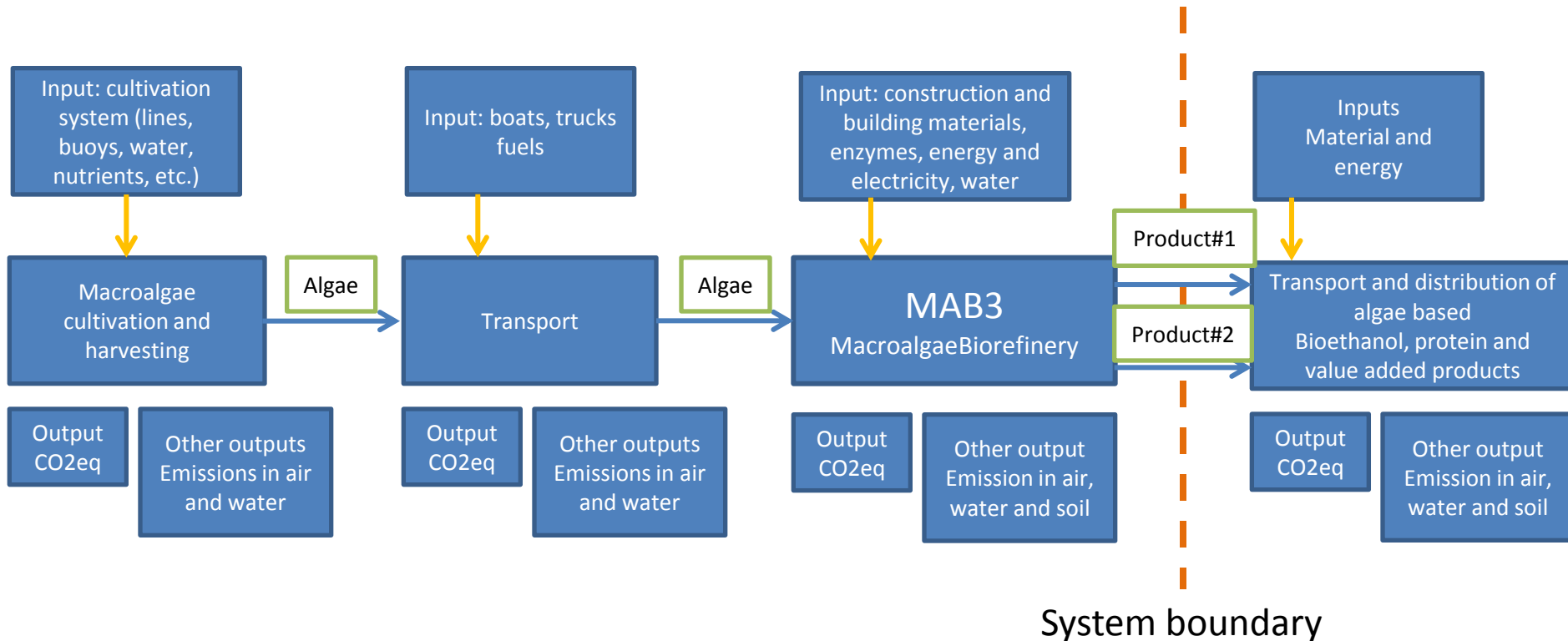


---

# TEMA 3. UDNYTTTELSE AF ØKOSYSTEM TJENESTER I HAVET - MAKROALGER, MUSLINGER OG FISKERI



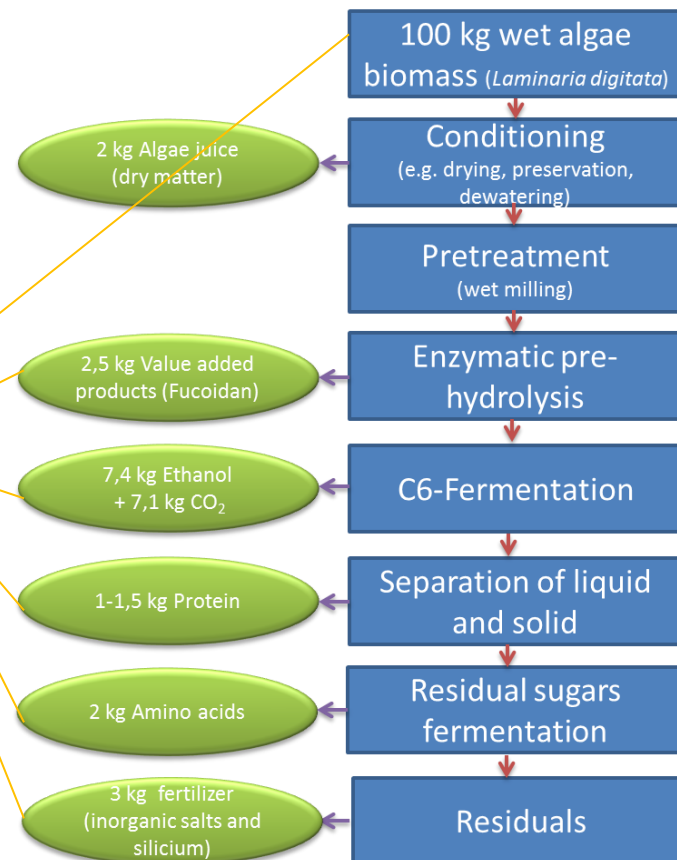
# MAKROALGE BIORAFFINERING – MAB3, [WWW.MAB3.DK](http://WWW.MAB3.DK) GRØN PRODUKTION FRA BLÅ BIOMASSE



# GRØN PRODUKTION FRA MAB3

## PRELIMINARY MARGIN CALCULATION – TEKNOLOGI - BIOINDUSTRI

	Weight (kg)	Price (€/kg)		€		
		Scenario 1 <sup>a</sup>	Scenario 2 <sup>b</sup>	Scenario 1	Scenario 2	
<b>Wet algae</b>	100.0	1.12	0.08	112	8	<b>Cost</b>
<b>Value added products (Fucoïdan)</b>	2.5	2.9	2.9	7.25	7.25	<b>Income</b>
<b>Ethanol</b>	7.4	1	1	7.4	7.4	
<b>Protein</b>	1.0	1.5	1.5	1.5	1.5	
<b>Amino acids</b>	2.0	1	1	2	2	
<b>Fertilizers</b>	3.0	0.35	0.35	1.05	1.05	
				<b>-92.8</b>	<b>11.2</b>	<b>Margin</b>



<sup>a</sup> **Scenario 1: Price of macroalgae** from Watson, L. and Dring, M., 2011. Business plan for the establishment of a seaweed hatchery & grow-out farm. Irish sea Fisheries Board, pp 41.

<sup>b</sup> **Scenario 2: Price of macroalgae** from Michael Bo Rasmussen personal communication.

# MAB3 ØKOSYSTEMTJENESTER GRØN PRODUKTION FRA BLÅ BIOMASSE

## Include ecosystem services in LCA

Carbon storage

Climate mitigation

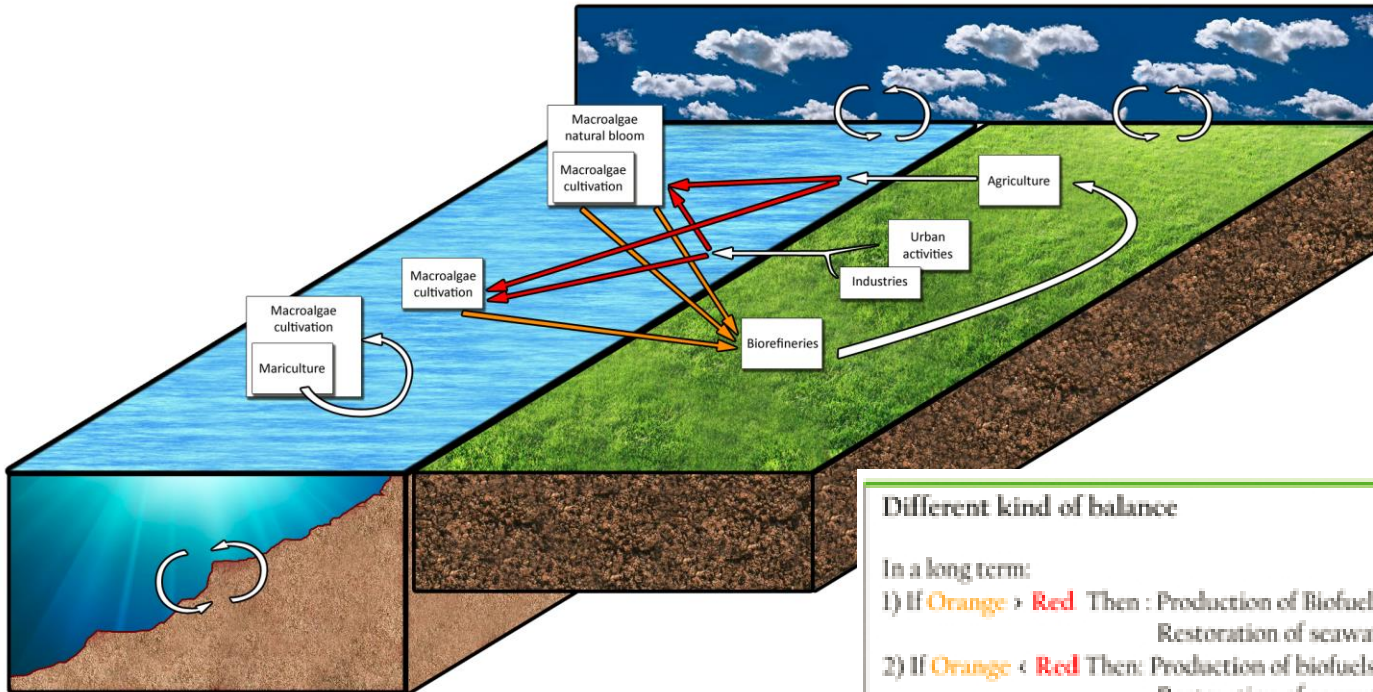
Reduction of eutrophication

Saccharina latissima	min	max	GWP	CO2 eq Min	CO2eq Max
Carbon content (g /kg dry weight)	239	314			
Nitrogen content (g / kg dry weight)	22	34			
CO2 assimilated (g / kg dry weight)	876	1151	1	876	1151
N2O assimilated (g / kg dry weight)	2	3	310	543	833
<b>Total (g CO2 eq /kg algae dry weight)</b>				<b>1419</b>	<b>1983</b>

Et forsigtigt bud på den velfærdsøkonomiske gevinst: Økosystem services i form af N-fiksering og CO<sub>2</sub> optag i dyrkningsfasen svarer til 10-37% af prisen på råvaren

# GRØN PRODUKTION FRA BLÅ BIOMASSE

## CIRKULÆRE RESSOURCESTRØMME OG ØKOSYSTEM SERVICES



**Different kind of balance**

In a long term:

- 1) If **Orange** > **Red** Then: Production of Biofuels - Unsustainable  
Restoration of seawater - Successful
- 2) If **Orange** < **Red** Then: Production of biofuels - Sustainable  
Restoration of seawater - Unsuccessful
- 3) If **Orange** = **Red** Then: Production of biofuels - Sustainable  
Restoration of seawater - Successful  
BUT only after a first period with type 1 balance

*Factors to be considered to establish a cultivation of Laminaria digitata and Saccharina latissima in Denmark  
Seghetta, M., Bruhn, A., Carstensen, J., Hasler, B., Bastianoni, S. & Thomsen, M.*

# GRØN PRODUKTION FRA BLÅ BIOMASSE

## NÆRRINGSSTOF FORVALTNINGSMODEL

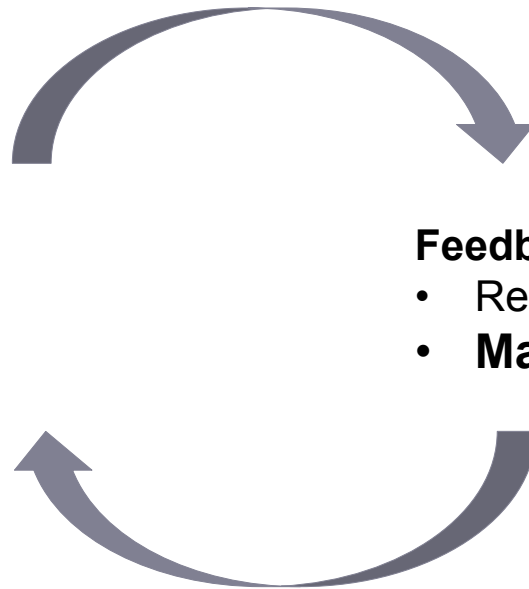
- › Balance and cycle of emissions of Nitrogen and Phosphorus in the Danish sea/freshwater.
- › 21 Water districts
- › Flow of N and P in 2012

### Sources:

- Natural background
- Agriculture
- WWTP
- Rainwater
- Industry
- Scattered houses
- Fish farms
- Aquaculture

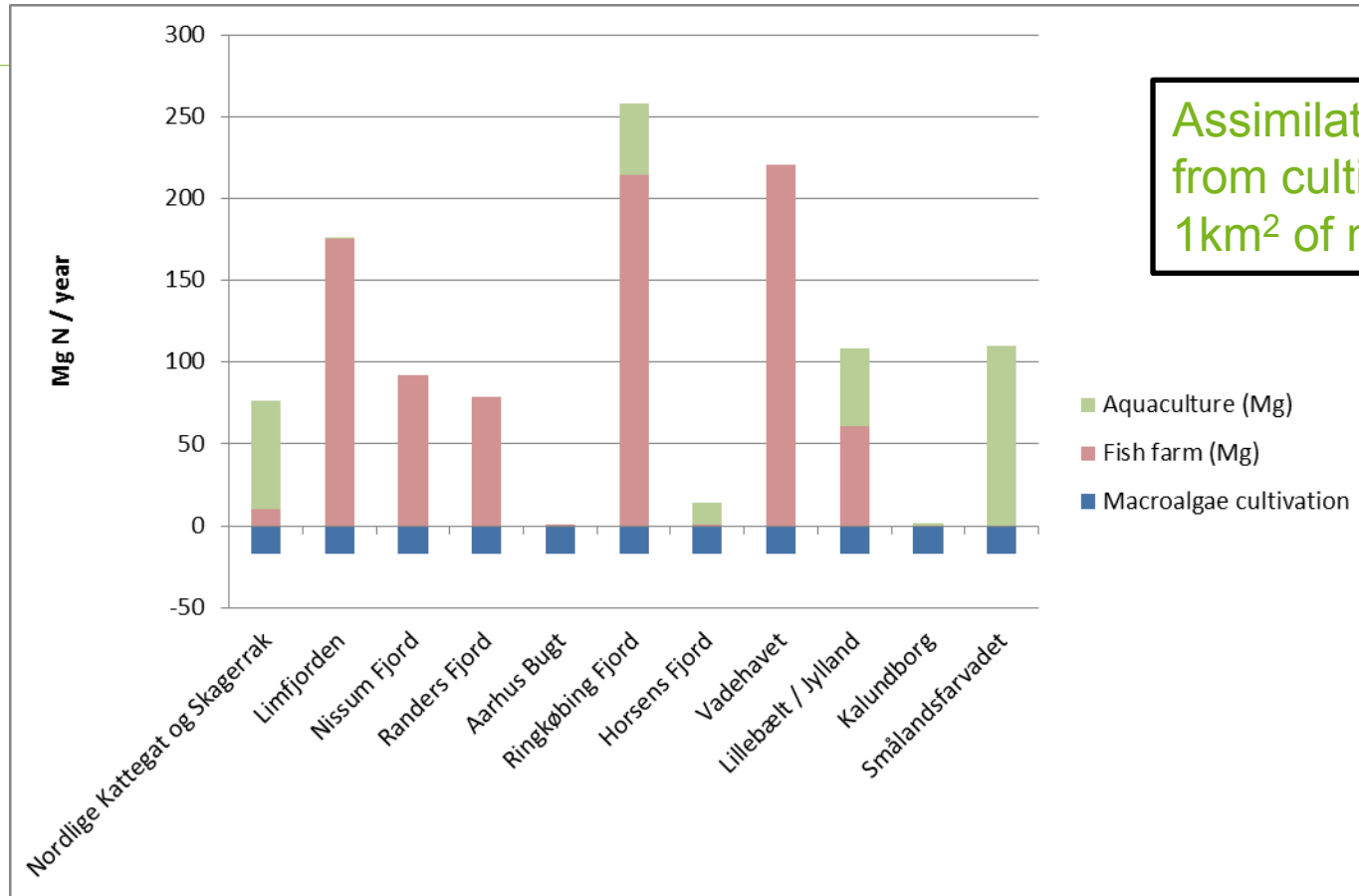
### Feedback:

- Retention
- **Macroalgae growth**



# GRØN PRODUKTION FRA BLÅ BIOMASSE

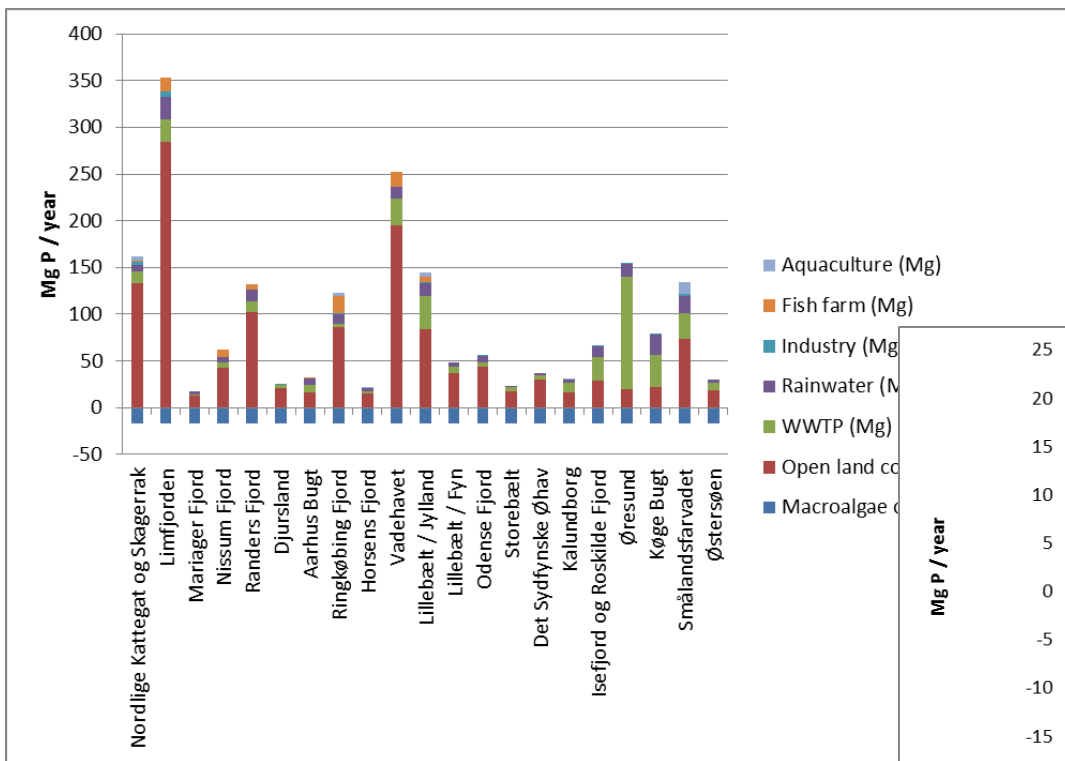
## MAB3 ECOSYSTEM SERVICES - MITIGATION POTENTIAL NITROGEN



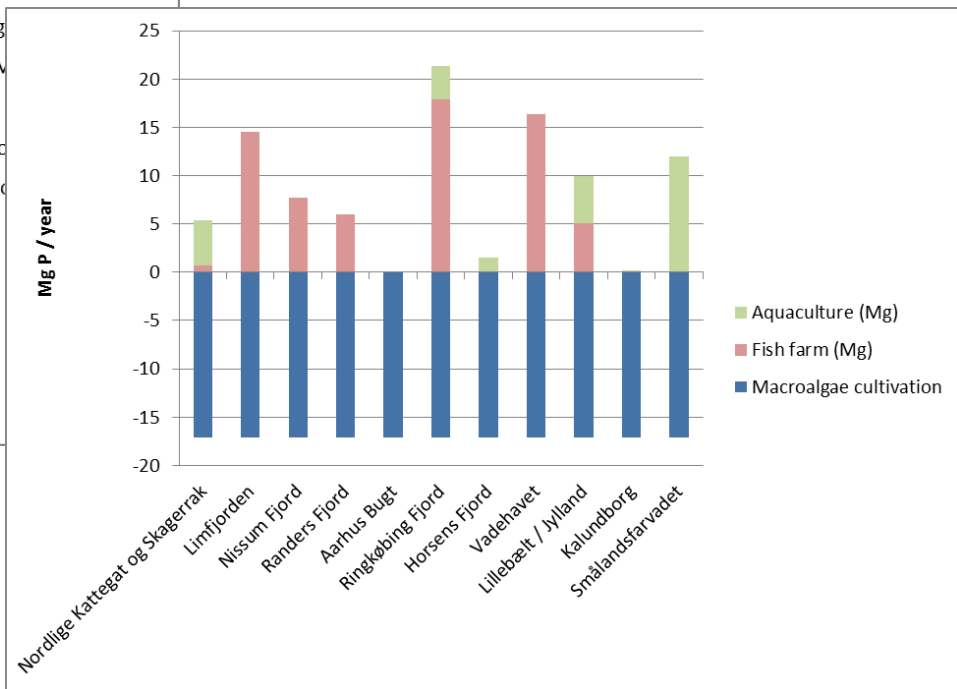
Productivity 5 Mg DM / ha

# GRØN PRODUKTION FRA BLÅ BIOMASSE

## MAB3 ECOSYSTEM SERVICES - MITIGATION POTENTIAL PHOSPHORUS



Assimilated Phosphorus from cultivation of 1km<sup>2</sup> of macroalgae



Productivity 5 Mg DM / ha

# GRØN PRODUKTION FRA BLÅ BIOMASSE

## PRELIMINARY FINDINGS

---

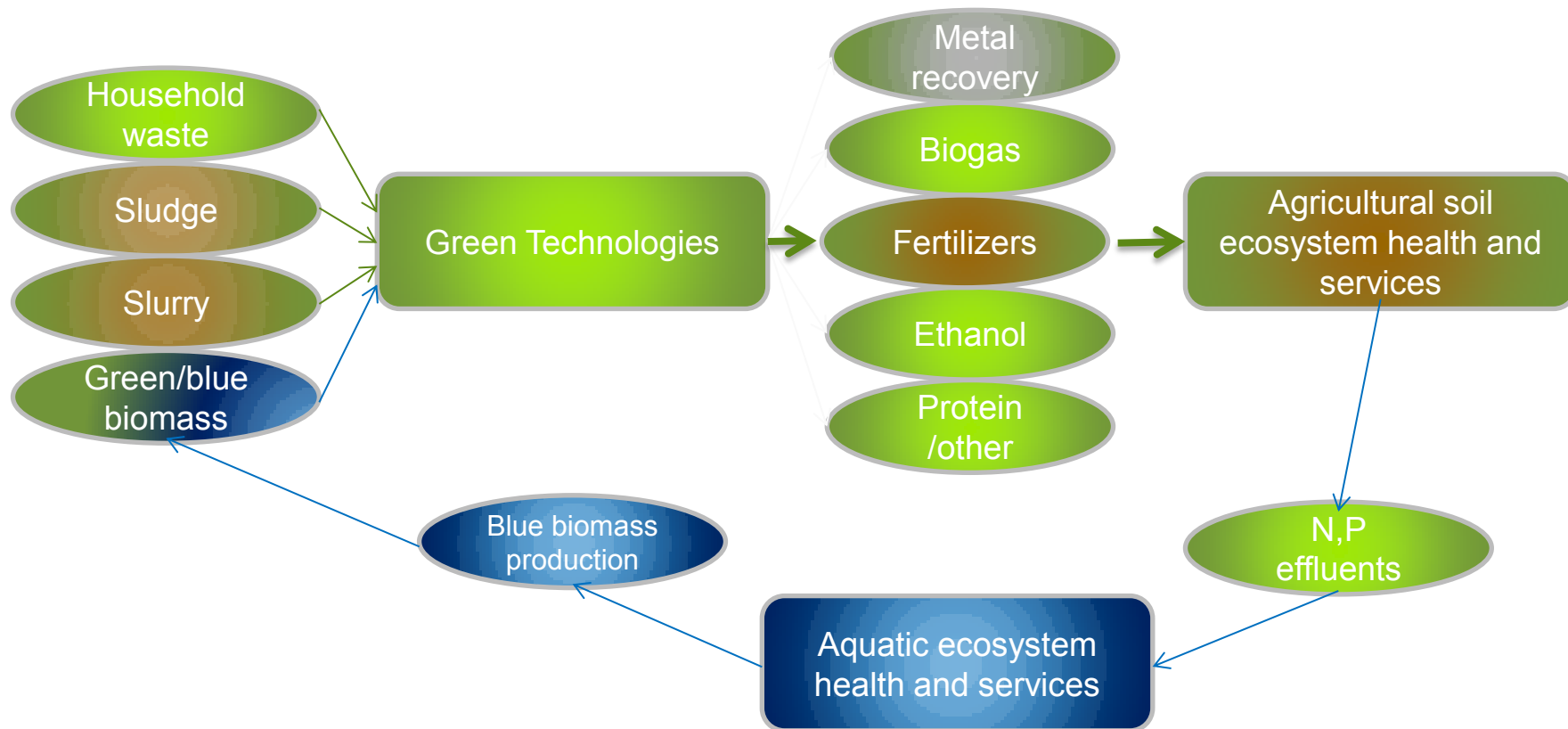
### › Cultivation

- › In Danish waters nutrients are not a direct limiting factors for the algae growth
- › Limiting factors for providing effective ecosystem services, i.e. recirculation of nutrients:
  - › Area available for cultivation macroalgae
  - › Productivity of cultivation site
- › Potentiale for CO<sub>2</sub> opsparring under dyrkning med samtidig reduktion af eutrofieringsniveau samt vandkvalitetsforbedring



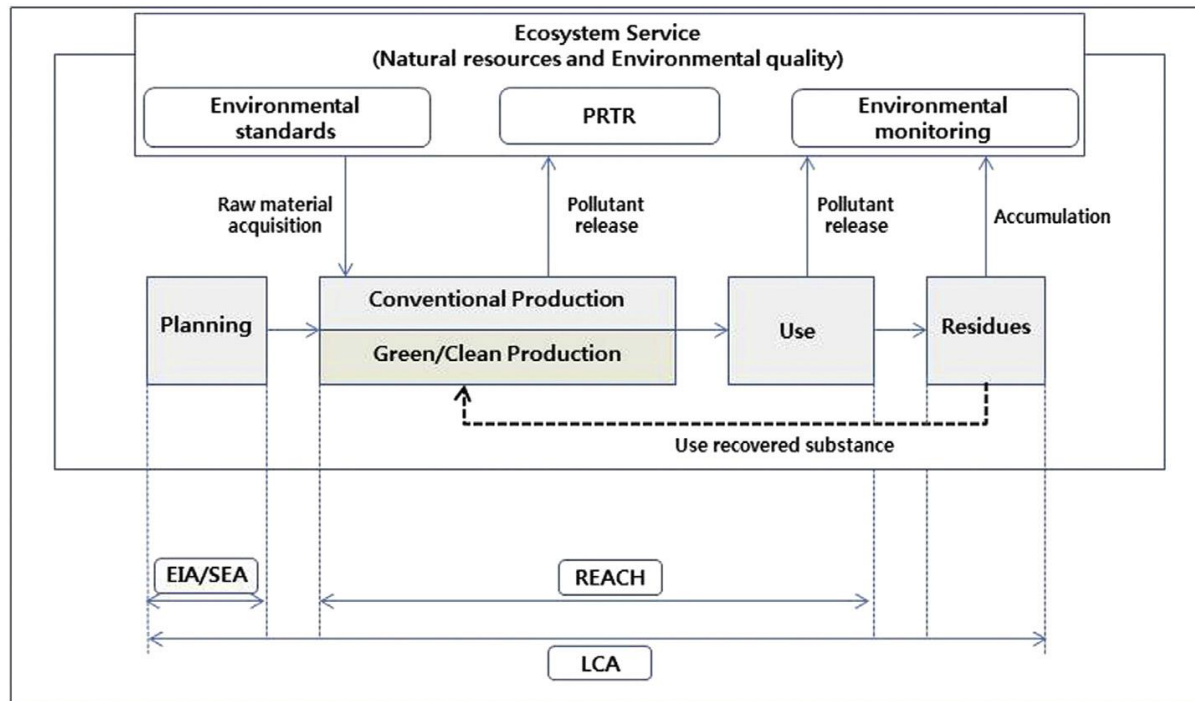
# FREMTIDENS BIOINDUSTRIER

## BIOTEKNOLOGIER-BIOPRODUKTER OG SERVICES



# BÆREDYGTIG RESSOURCEEFFEKTIVITET

RENE PRODUKTER, MILJØ OG KLIMA FORBEDRINGER OG NATURBEVARELSE FRA CIRKULÆRE RESSOURCESTRØMME



Lee, J, Pedersen, AB & Thomsen, M 2013, 'Framework for combining REACH and national regulations to obtain equal protection levels of human health and the environment in different countries - Comparative study of Denmark and Korea' *Journal of Environmental Management*, vol 125, s. 105-116.

---

TAK FOR OPMÆRKSOMHEDEN 😊

MARIANNE THOMSEN (MTH@DMU.DK)