

# BÆREDYGTIG RESSOURCE EFFEKTIVITET

---

4. NOVEMBER

ANDET MØDE I RÅDGIVNINGSPANELET FOR DCE  
NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

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

Ole-Kenneth Nielsen  
Steen Gyldenkærne  
Marlene Plejdrup  
Katja Hjelgaard  
Rikke Albrechtsen  
Mette Hjort Mikkelsen  
Michele Seghetta  
Jihyun Lee  
Annette Bruhn  
Michael Bo Rasmussen  
Flemming Møller

# FORSKNINGSPROGRAM BÆREDYGTIGE RESSOURCE STRØMME

## FAGGRUPPE: ECOINDUSTRIAL SYSTEM ANALYSIS (EISA)

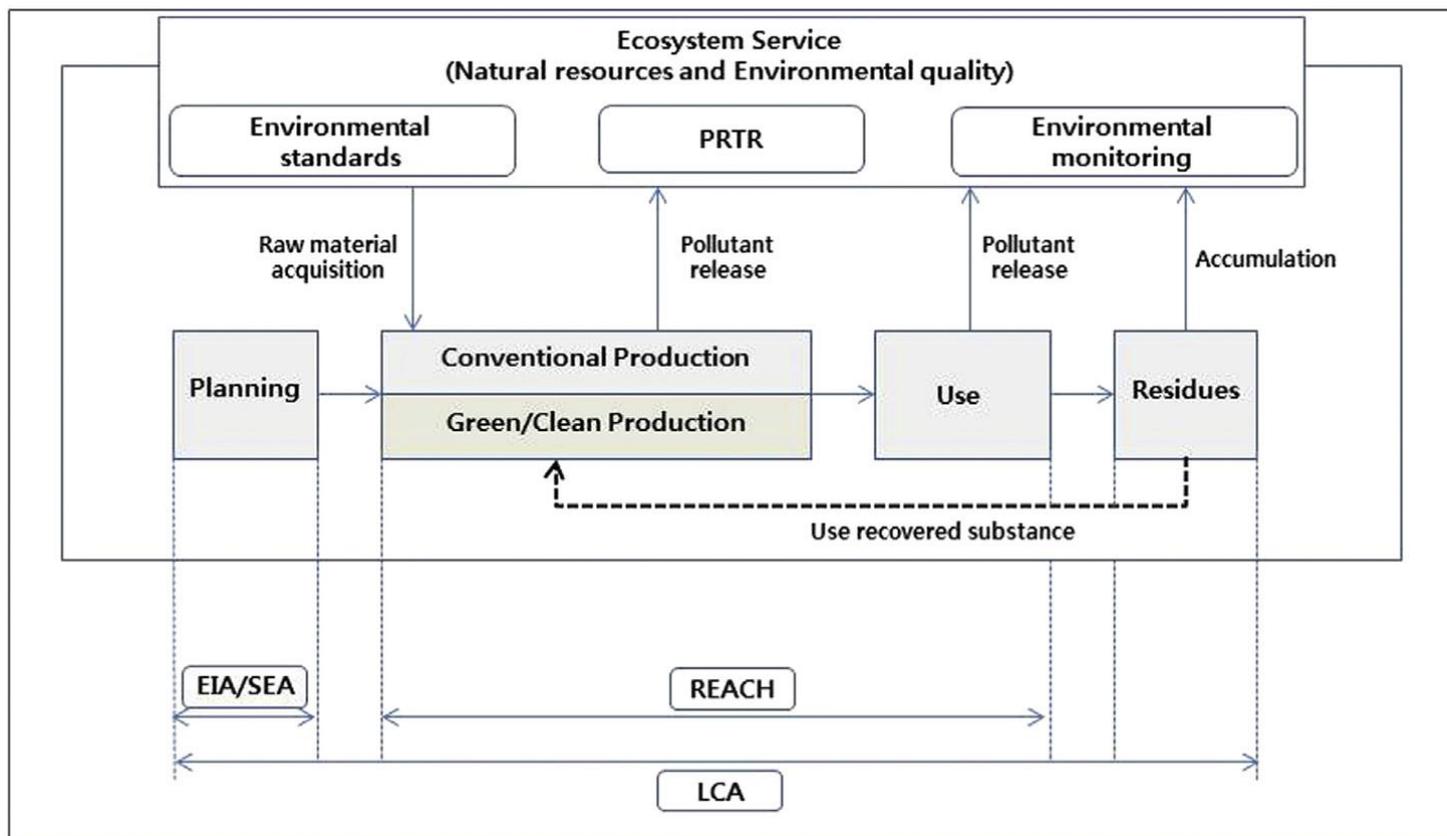
---

”Circular resource flows driven by green/clean-tech solutions and innovative resource flows to reduce fossil resource depletion, increase selfsupply, decrease impacts”

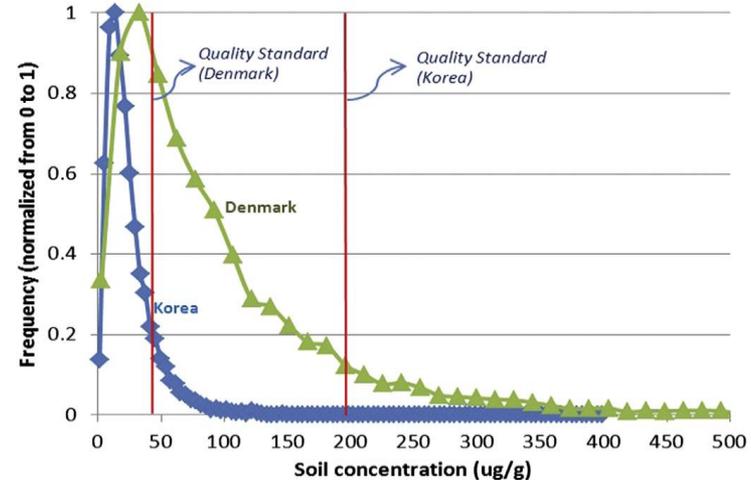
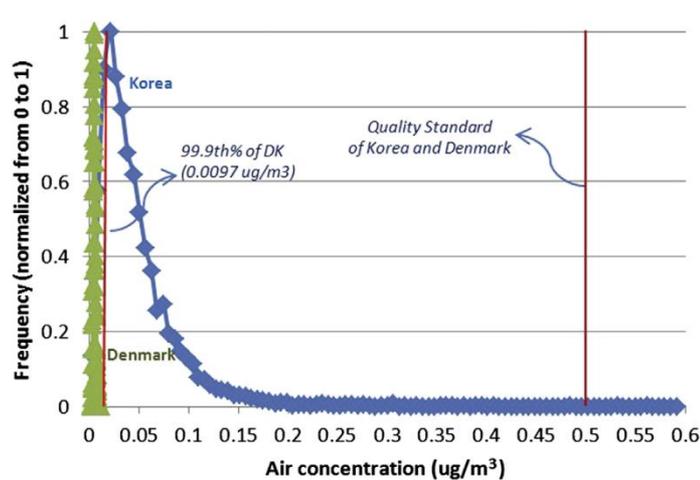
- › multidisciplinary study of industrial and economic systems and their linkages with fundamental natural systems.
- › It incorporates, among other things, research involving energy supply and use, new materials, new technologies and technological systems, basic sciences, economics, law, management and social sciences.
- › it can be thought of as ‘the science of sustainability.’

*White Paper on Sustainable Development and Industrial Ecology” issued by the Institute of Electrical and Electronic Engineers, Inc. (IEEE)*

# BÆREDYGTIG RESSOURCEEFFEKTIVITET



# IMPACTS ON PROVISIONAL ECOSYSTEM SERVICES



Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

Journal of Environmental Management

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



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

Jihyun Lee, Anders Brandt Pedersen, Marianne Thomsen\*

Department of Environmental Science, Faculty of Science and Technology, Aarhus University, Frederiksborgvej 399, 4000 Roskilde, Denmark

# RESSOURCE STRØMME - TEKNOLOGIER

- › LCA udvidet med samfundsøkonomiske analyser
- › systemgrænser bestemt af ressourcestrømmen/-ene
- › Netværksanalyse til analyse 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



ELSEVIER

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

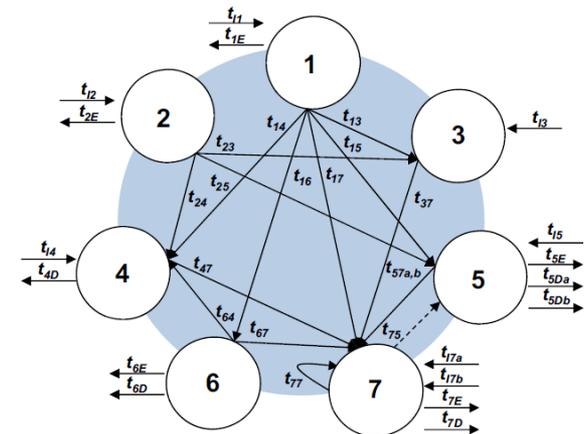


Fig. 1. Graphical representation of the WMS network. Intensities of water flows are summarized in Table 1. (1) PBWS, Water Supplier, Public; (2) PVWS, Water Supplier, Private; (3) PS, Public Service; (4) HH, Households; (5) ID, Industry; (6) EP, Energy Production; (7) WWT, Waste Water Treatment. I, Import;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

## EISA FORSKNINGSHYPOTESER / STATEMENTS

---

- › Environmental restoration may be obtained by ecoindustrial resource flows; i.e. exchange of naturally occurring compounds, materials and energy flows at counterflows mimicking the natural biogeochemical cycles, dimensions and scales.
- › Anthropogenic compounds should be recycled inside the technosphere and reabsorbed in equal rates to their dispersion; exchanged at levels below any observable adverse impact.
- › Only healthy ecosystems sustain services

# INDHOLD

---

1. Bæredygtig ressource effektivitet
  - Grøn produktion
2. Anvendelse af fosfor i spildevand
  - Teknologi optimering
    - øget P-recirkulering (ressourceeffektivitet)
    - øget service niveau (miljømæssig bæredygtighed)
3. Grøn produktion fra blå biomasse
  - næringsstof forvaltningsmodel
4. Ressourcestrømme på tværs af sektorer
  - Emissionsopgørelser – trends og udfordringer

# 1. BÆREDYGTIG EFFEKTIVITET

---

- › Ressource effektivitet
  - › Mere produkt for mindre forbrug af ressourcer
- › 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

# 1. GRØN PRODUKTION

- › DKs version 0 udkom i 2012
- › Udbud – ikke efterspørgsel
- › På tværs af sektorer og brancher
  
- › Omfatter teknologier, varer og serviceydelser, der helt eller delvist (primær eller tilpasset grøn produktion) har til formål at øge ressource- og energieffektivitet, beskytte miljø og klima, reducere anvendelsen af fossile brændsler, problematisk kemikalier mv

› *Eurostats manual handbook on data collection on environmental goods and services 2009*

## Boks 2. Eurostats definition af grøn produktion

Grøn produktion defineres af Eurostat ved at have miljø- eller klimabeskyttelse som formål. Grønne produkter omfatter således teknologier, varer og tjenesteydelser vedr. rensning af spildevand samt forebyggelse, reduktion eller eliminering af drivhusgasudledninger, affald, jord- og grundvandsforurening, luftforurening, støj, vibrationer og stråling.

Miljøbeskyttelse omfatter også forebyggelse og reduktion af jorderosion og andre former for ødelæggelse af landskab, bevarelse af biodiversitet og landskaber foruden overvågning af drivhusgasudledninger samt kontrol af affald og miljøkvalitet.

Produkter til effektiv ressourceanvendelse omfatter teknologier, varer og tjenesteydelser til styring og/eller beskyttelse af naturressourcer mod udnyttelse – både gennem forebyggende og regenererende aktiviteter samt gennem overvågning og styring af niveauet for og anvendelsen af naturressourcer.

Se Eurostats Handbook on data collection on Environmental Goods and Services (2009) for nærmere forklaring af grøn produktion.

*Grøn produktion i Danmark – og dens betydning for dansk økonomi, 2009*

# 1. GRØN PRODUKTION

## DESIGNET TIL BESKYTTELSE AF MILJØ OG KLIMA

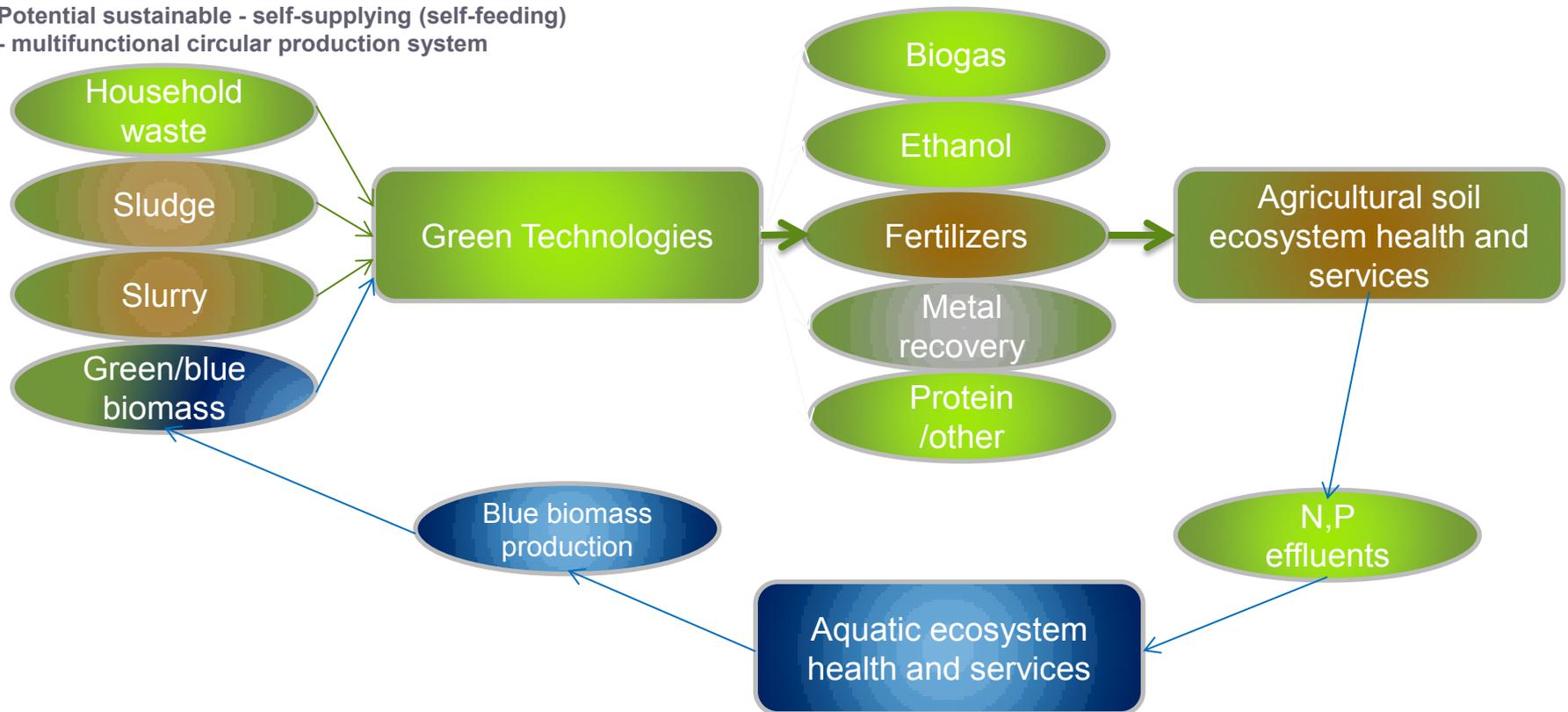
---

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

# 1. GRØN PRODUKTION

## LINEÆR – TILPASSET – PRIMÆR GRØN

Potential sustainable - self-supplying (self-feeding)  
- multifunctional circular production system



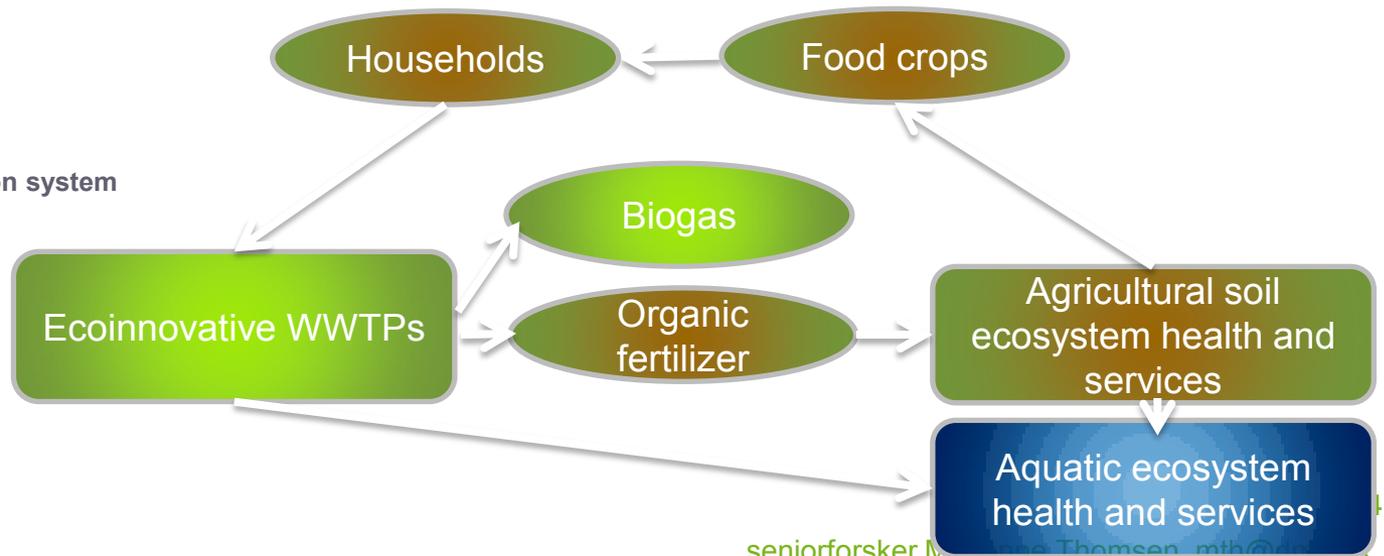
# 2. Anvendelse af fosfor i spildevand

Unsustainable - unrenewable  
– unifunctional linear production system



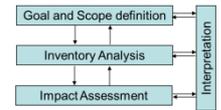
Er der bedre måder – miljømæssigt og økonomisk - at genanvende fosfor i spildevandet på ?

Sustainable - circular production system



# 2. Anvendelse af fosfor i spildevand

## LCA – Livscyklus Analyse



### › ”Goal and Scope”

- › Teknologioptimering - øget P-recirkulering – minimerede miljøeffekter
- › Sammenlignende analyse af syv forskellige fjernelses – og genanvendelsesteknologier

Med eller uden forklaringsstank	1-trin	1-trin	1-trin	1-trin	2-trin	2-trin	2-trin
<b>Anlægstype</b>	T1k	T1b	T2k	T2b	T3k	T3b	T3b+s
<b>PE belastning</b>	20.000	20.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
<b>P fjernelsesteknologi</b>	ingen Bio P	Bio P	ingen Bio P	Bio P	ingen Bio P	Bio P	Bio P og struvit
<b>Udrådning</b>	Nej	nej	ja	ja	ja	ja	ja

- › Konsekventiel LCA- systemudvidelse for at inkludere processer og undgåede påvirkninger ved produktion af gødning (anvendelsesfase)

## 2. ANVENDELSE AF FOSFOR I SPILDEVAND

### LIVSCYKLUS INVENTORY

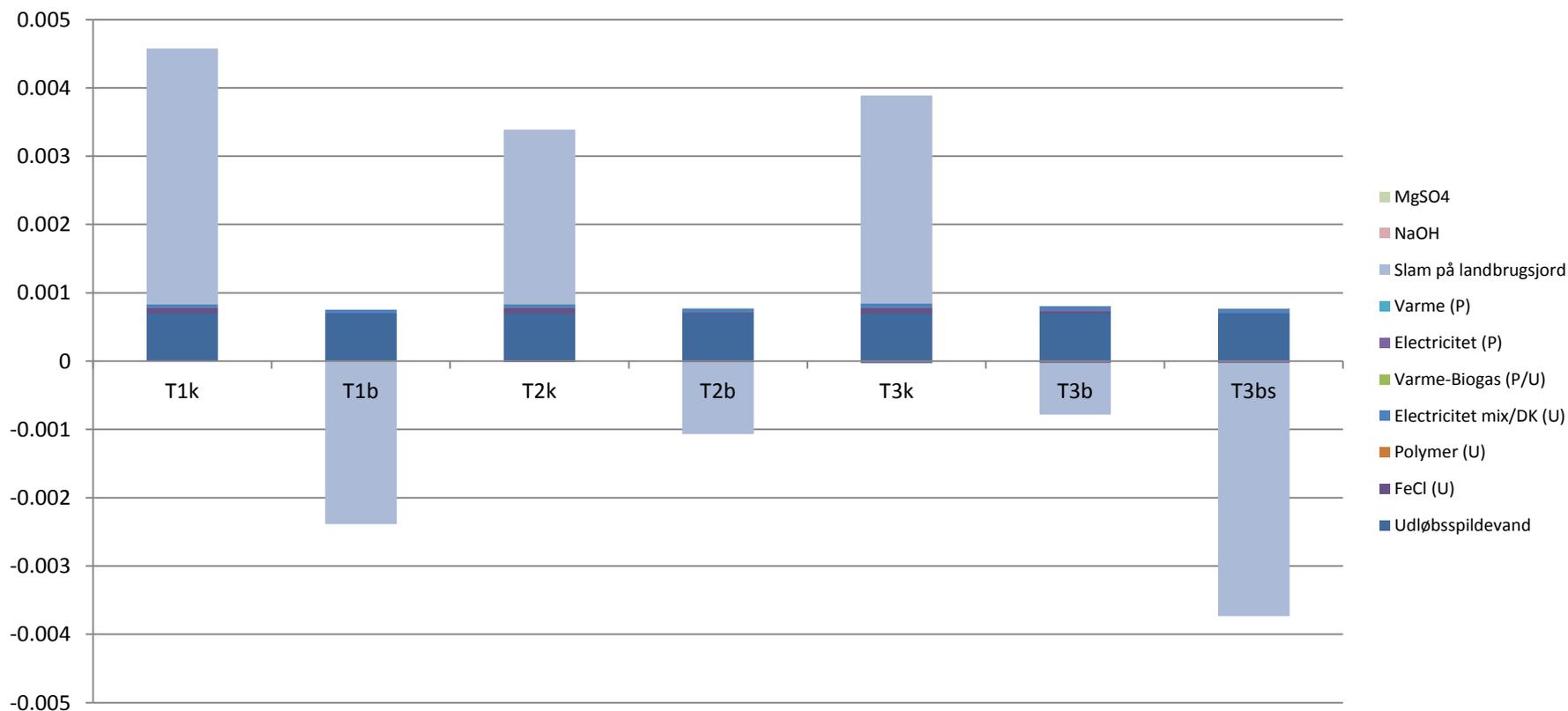
- › **Substitutionsrate (biotilgængelighed)**
- › Mængden af undgået handelsgødning er beregnet ud fra ligningen:

- › Substitutionsrate =  $f_{p,slam} \times C_{p,slam} / C_{p,ref}$

$f_{p,slam}$	fraktion af biotilgængeligt fosfor i slutslam
$C_{p,slam}$	koncentrationen af fosfor i slam
$C_{p,ref}$	P-indholdet i handelsgødning

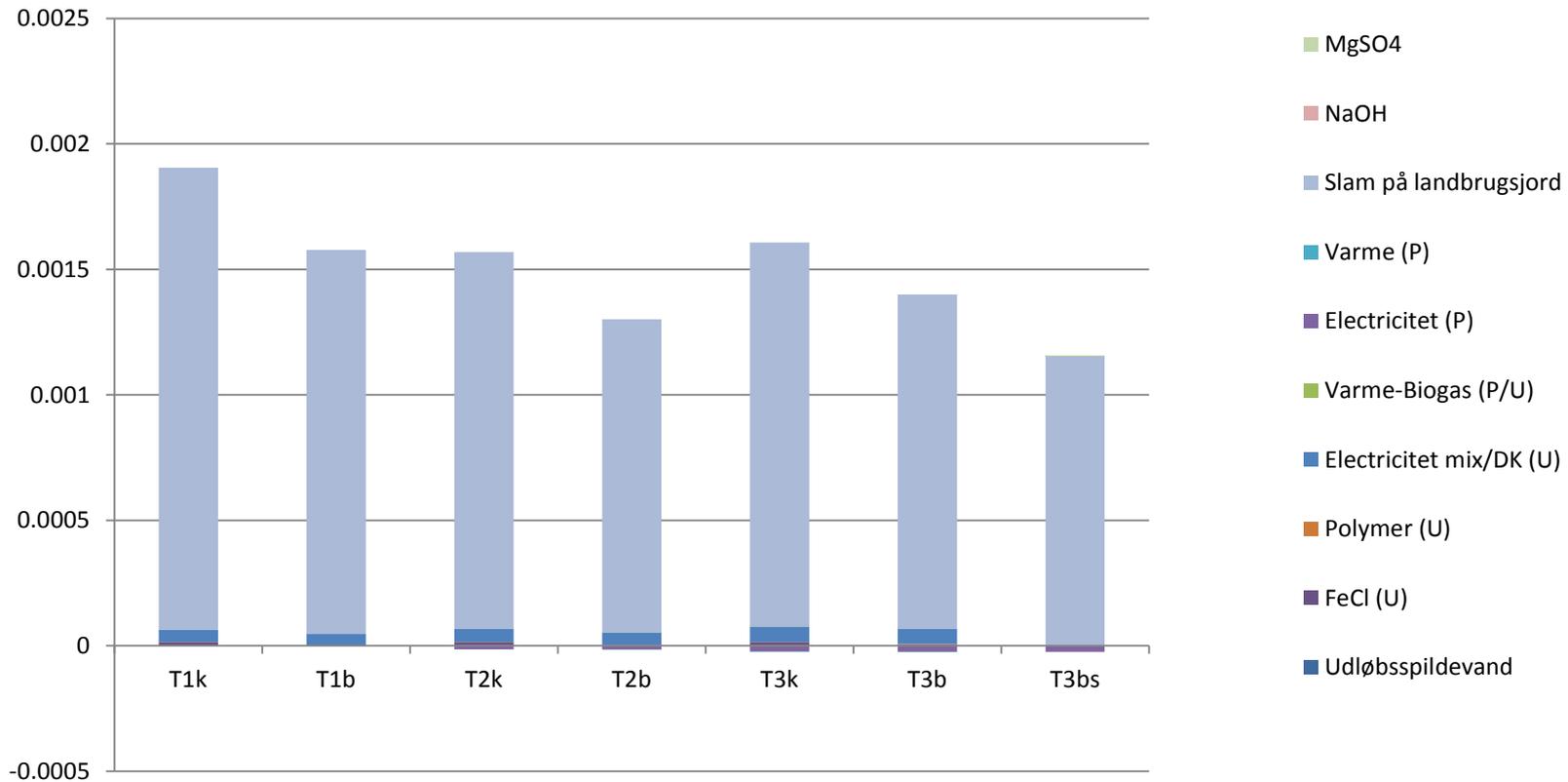
## 2. ANVENDELSE AF FOSFOR I SPILDEVAND

### LCIA – EUTROFIERING



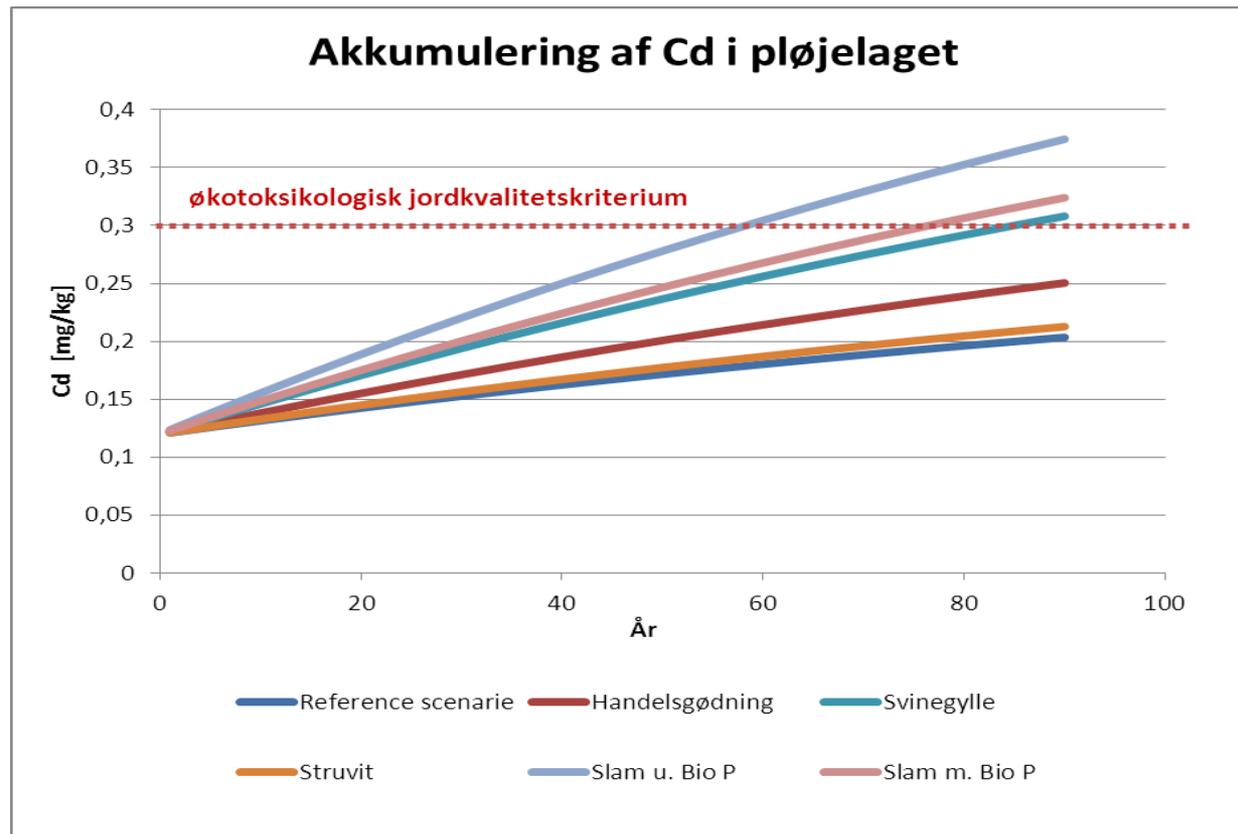
## 2. ANVENDELSE AF FOSFOR I SPILDEVAND

### LCIA – JORD ØKOTOKSICITET



## 2. ANVENDELSE AF FOSFOR I SPILDEVAND

### GØDNINGSPRODUKTKVALITET TIL SAMMENLIGNING



# 2. ANVENDELSE AF FOSFOR I SPILDEVAND (UNDGÅEDE) SUNDHEDSOMKOSTNINGER

**Table 3. Summary of external costs calculated in the study**

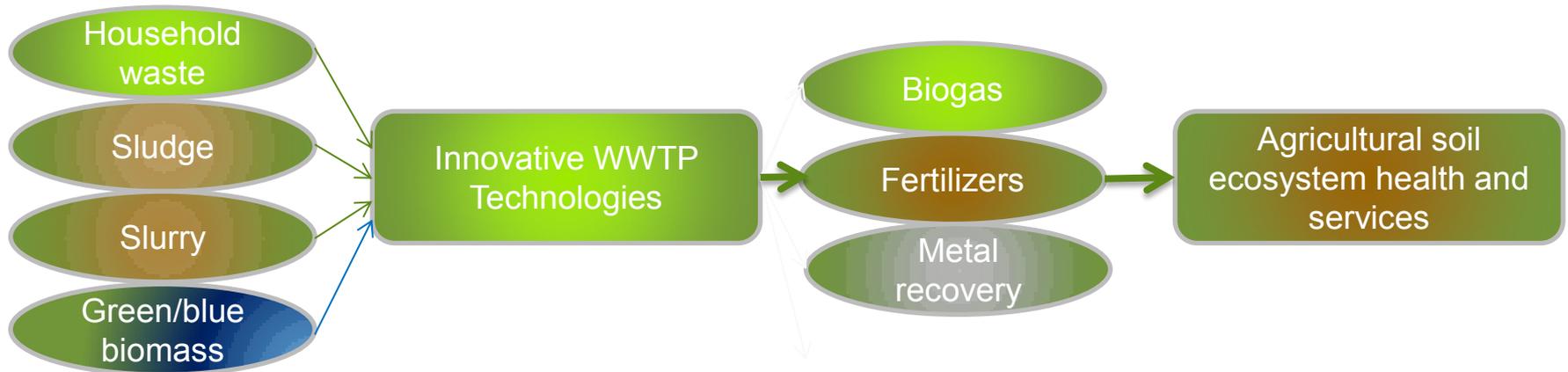
$r^4$	$h^5$	$PVext_A^1$ $PVext_{A,r}^2$ $PVext_{A,Cd}^3$	Sludge 1 <sup>4</sup>	Sludge 2	Sludge 3	Sludge 4	Sludge 5	Sludge 6	Mineral fertilizer	Pig Manure	Struvite
3%	3	[€ year <sup>-1</sup> km <sup>2</sup> ]	27.67	29.50	30.30	28.81	50.42	27.08	15.53	37.04	0.29
		[€cent kg <sub>P</sub> <sup>-1</sup> ]	1.258	1.341	1.377	1.310	2.292	1.231	0.706	1.684	0.013
		[€ kg <sub>Cd</sub> <sup>-1</sup> ]	334.99	336.87	337.69	336.17	357.70	334.38	322.28	344.51	305.61
	1	[€ year <sup>-1</sup> km <sup>2</sup> ]	364.10	388.79	399.58	379.52	672.34	356.21	202.30	490.53	3.71
		[€cent kg <sub>P</sub> <sup>-1</sup> ]	16.55	17.67	18.16	17.25	30.56	16.19	9.20	22.30	0.17
		[€ kg <sub>Cd</sub> <sup>-1</sup> ]	4,408.50	4,439.29	4,452.64	4,427.78	4,770.23	4,398.59	4,197.46	4,562.63	3,912.59
1.4%	3	[€ year <sup>-1</sup> km <sup>2</sup> ]	55.03	58.69	60.29	57.32	100.47	53.86	30.86	73.73	0.58
		[€cent kg <sub>P</sub> <sup>-1</sup> ]	2.50	2.67	2.74	2.61	4.57	2.45	1.40	3.35	0.03
		[€ kg <sub>Cd</sub> <sup>-1</sup> ]	666.27	670.13	671.81	668.69	712.82	665.03	640.26	685.77	606.19
	1	[€ year <sup>-1</sup> km <sup>2</sup> ]	724.66	773.94	795.49	755.44	1,340.83	708.92	402.10	977.17	7.37
		[€cent kg <sub>P</sub> <sup>-1</sup> ]	32.94	35.18	36.16	34.34	60.95	32.22	18.28	44.42	0.33
		[€ kg <sub>Cd</sub> <sup>-1</sup> ]	8,774.17	8,837.09	8,864.37	8,813.56	9,513.19	8,753.92	8,342.91	9,089.12	7,760.95
0%	3	[€ year <sup>-1</sup> km <sup>2</sup> ]	90.46	96.49	99.13	94.23	165.43	88.53	50.68	121.29	0.94
		[€cent kg <sub>P</sub> <sup>-1</sup> ]	4.11	4.39	4.51	4.28	7.52	4.02	2.30	5.51	0.04
		[€ kg <sub>Cd</sub> <sup>-1</sup> ]	1,095.31	1,101.81	1,104.64	1,099.38	1,173.70	1,093.23	1,051.55	1,128.14	994.29
	1	[€ year <sup>-1</sup> km <sup>2</sup> ]	1,191.97	1,273.22	1,308.76	1,242.72	2,209.13	1,166.01	660.66	1,608.50	12.08
		[€cent kg <sub>P</sub> <sup>-1</sup> ]	54.18	57.87	59.49	56.49	100.42	53.00	30.03	73.11	0.55
		[€ kg <sub>Cd</sub> <sup>-1</sup> ]	14,432.30	14,538.01	14,583.86	14,498.48	15,673.84	14,398.26	13,707.65	14,961.47	12,729.95

<sup>1</sup>Cumulative external costs ( $PVext_A$  in [€ year<sup>-1</sup>km<sup>2</sup>]); <sup>2</sup>annualized external costs ( $PVext_{A,r}$  [€ kg<sub>P</sub><sup>-1</sup>]; <sup>3</sup> $PVext_{A,Cd}$  [€ kg<sub>Cd</sub><sup>-1</sup>]); <sup>4</sup>sludge produced by different types of wastewater treatment plants (Sludge 1-6); <sup>5</sup>Three discount rates ( $r = 3\%$ ,  $1.4\%$ , and  $0\%$ ) and <sup>5</sup>two thresholds ( $h = 3$  [ $\mu\text{g}_{Cd}$  g<sub>creatinine</sub><sup>-1</sup>] and  $h = 1$  [ $\mu\text{g}_{Cd}$  g<sub>creatinine</sub><sup>-1</sup>]) are presented; Values are calculated for a  $R_P$  value of 2200 [kg<sub>P</sub>km<sup>-2</sup> year<sup>-1</sup>], and for the population POP of Table 2, i.e. 214 [person km<sup>-2</sup>].

- › Markedværdi 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

## 2. ANVENDELSE AF FOSFOR I SPILDEVAND

POTENTIALER FOR ØGET PRODUKTKVALITET VED OPTIMERING AF RESSOURCESTRØMME



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

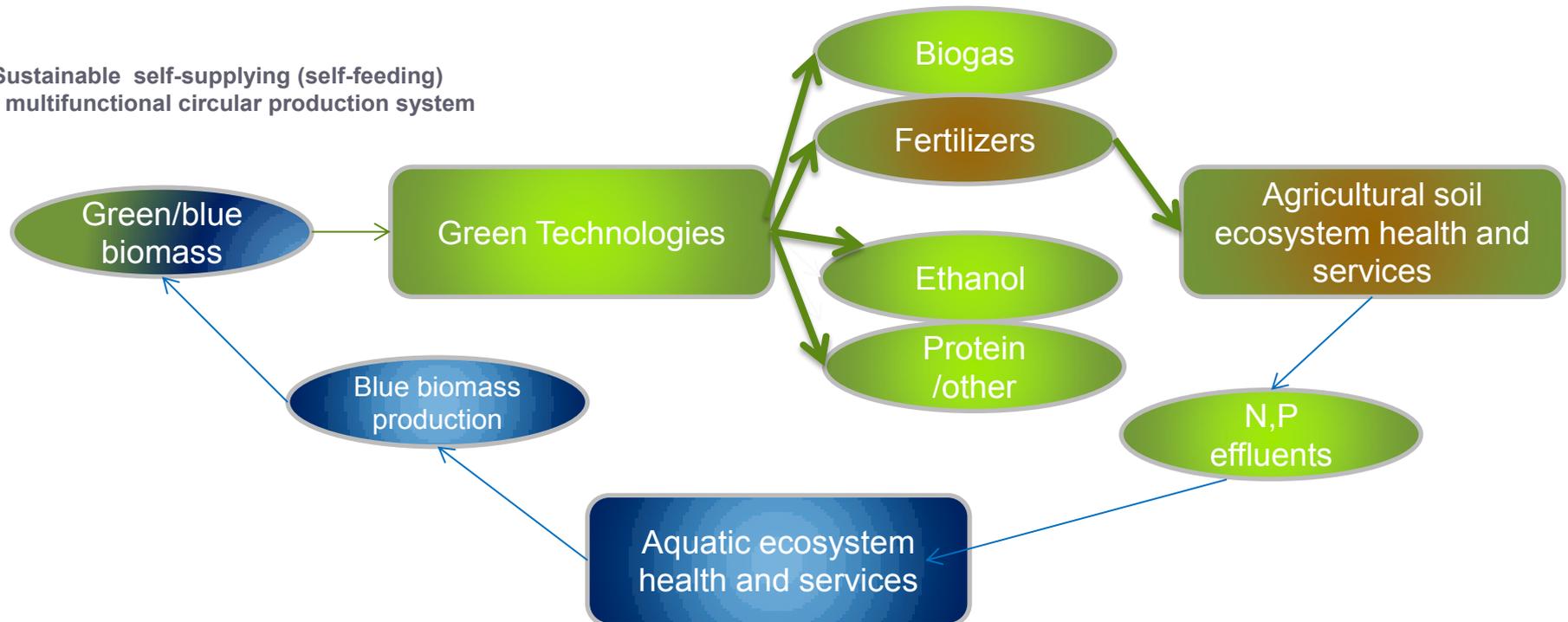


# 3. GRØN PRODUKTION FRA BLÅ BIOMASSE

MAB3 - PRIMÆR GRØN PRODUKTION

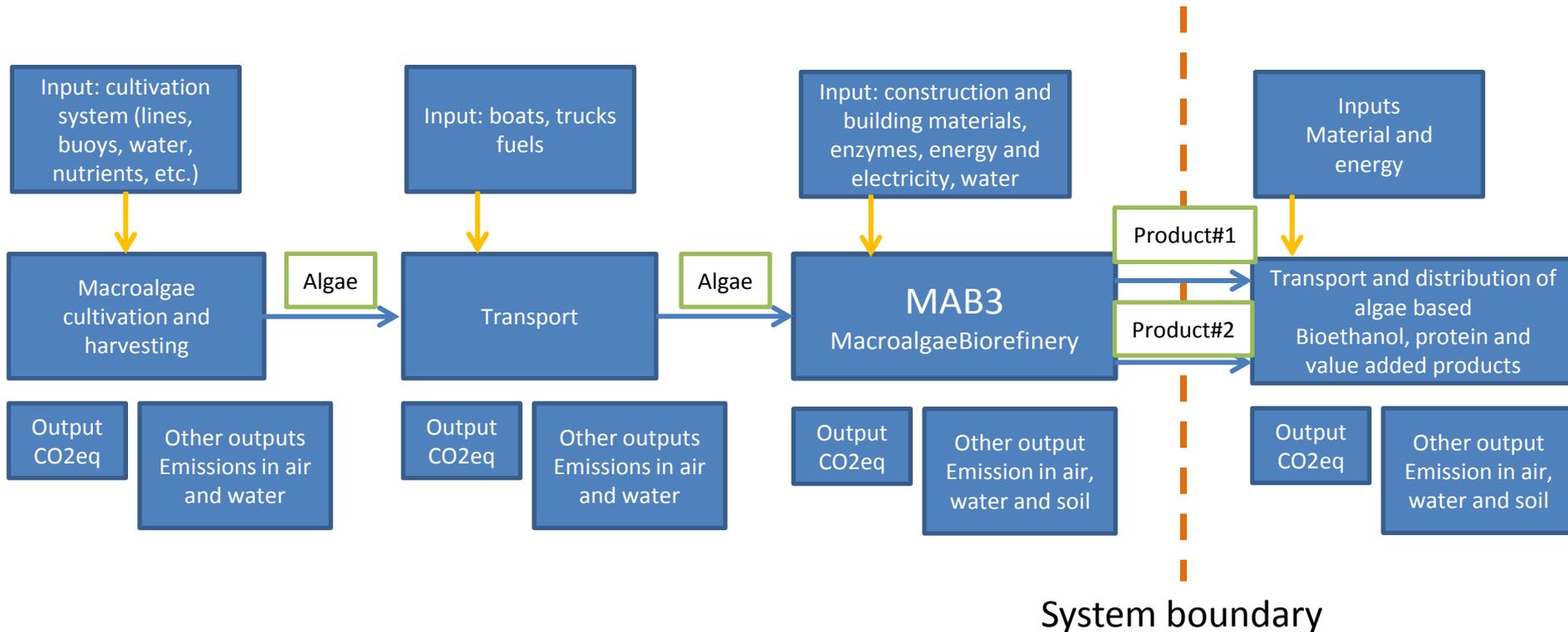
## › Blå biomasse – en uudnyttet ressource

Sustainable self-supplying (self-feeding)  
- multifunctional circular production system



# 3. GRØN PRODUKTION FRA BLÅ BIOMASSE

## THE MAB3 SYSTEM

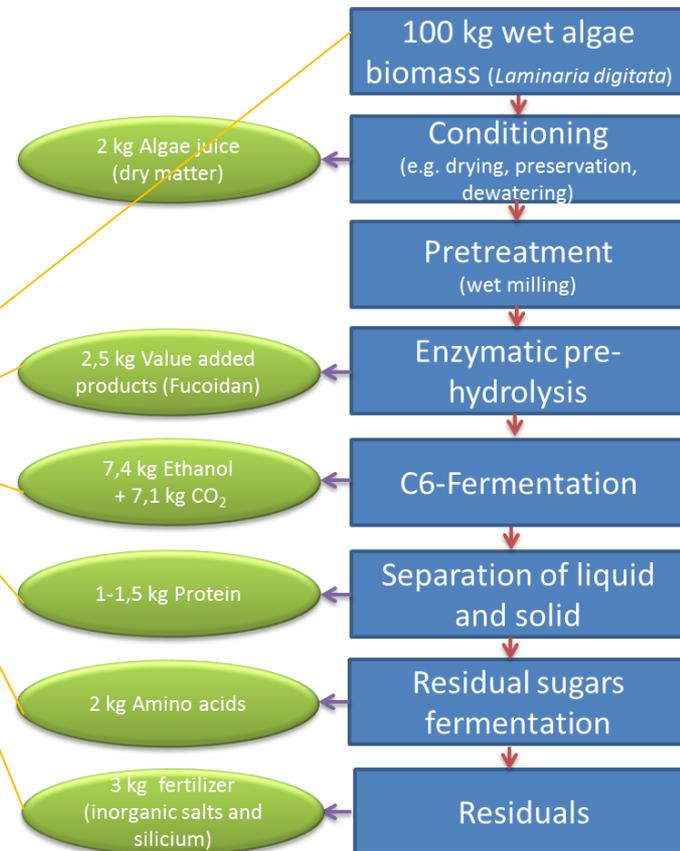


Seghetta et al., 2013. LCA study of the MAB3 biorefinery concept. *Journal of Cleaner Production*, (in prep.)

# 3. GRØN PRODUKTION FRA BLÅ BIOMASSE

## 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.

## 3. GRØN PRODUKTION FRA BLÅ BIOMASSE

### MAB3 (ECOSYSTEM) SERVICES

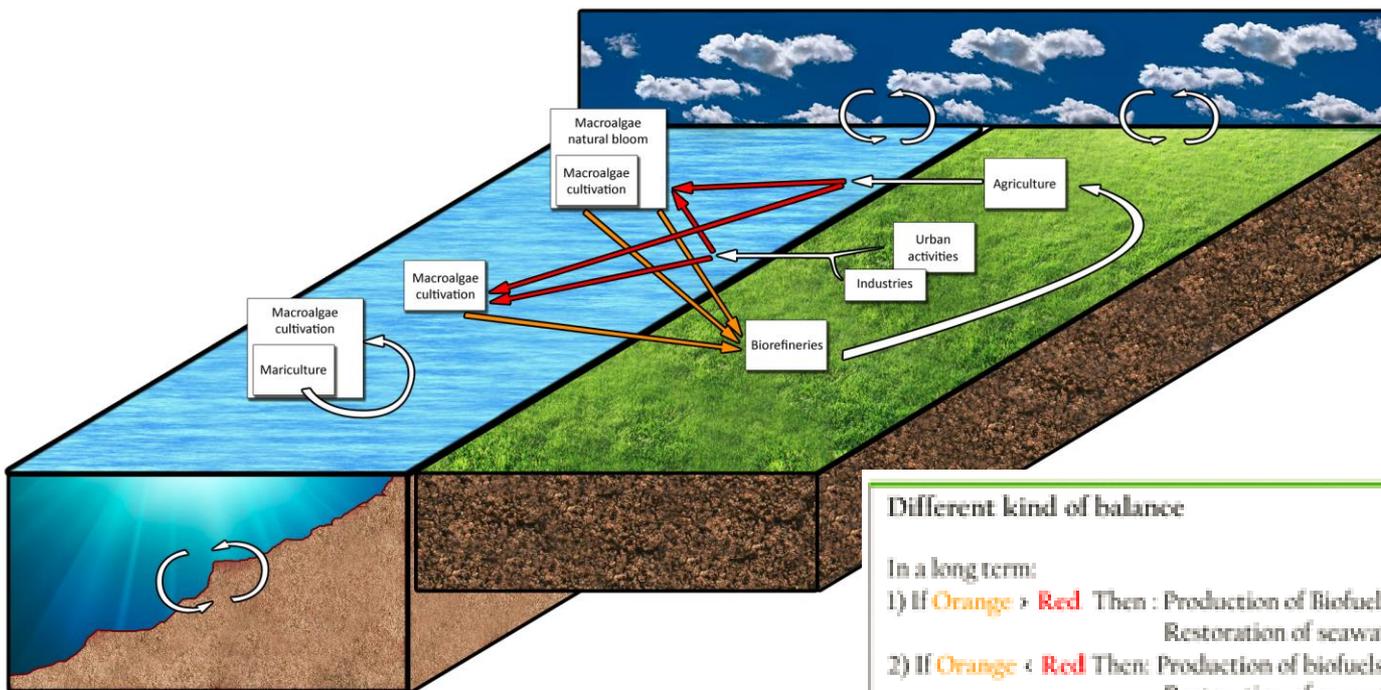
- › Include ecosystem services in LCA
- › Carbon storage
- › Climate mitigation
- › Reduction of eutrophication

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>

C and N content Gevaert et al. 2001

# 3. 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.

seniorforsker Marianne Thomsen, mth@dmu.dk

# 3. GRØN PRODUKTION FRA BLÅ BIOMASSE

## NUTRIENT MANAGEMENT MODEL

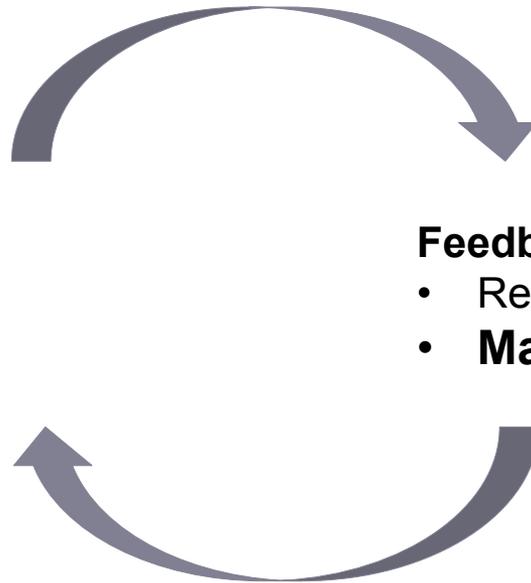
- › Balance and cycle of emissions of Nitrogen and Phosphorus in the Danish sea/freshwater.
- › 21 Water districts
- › Flow of N and P in 2012

### Sources:

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

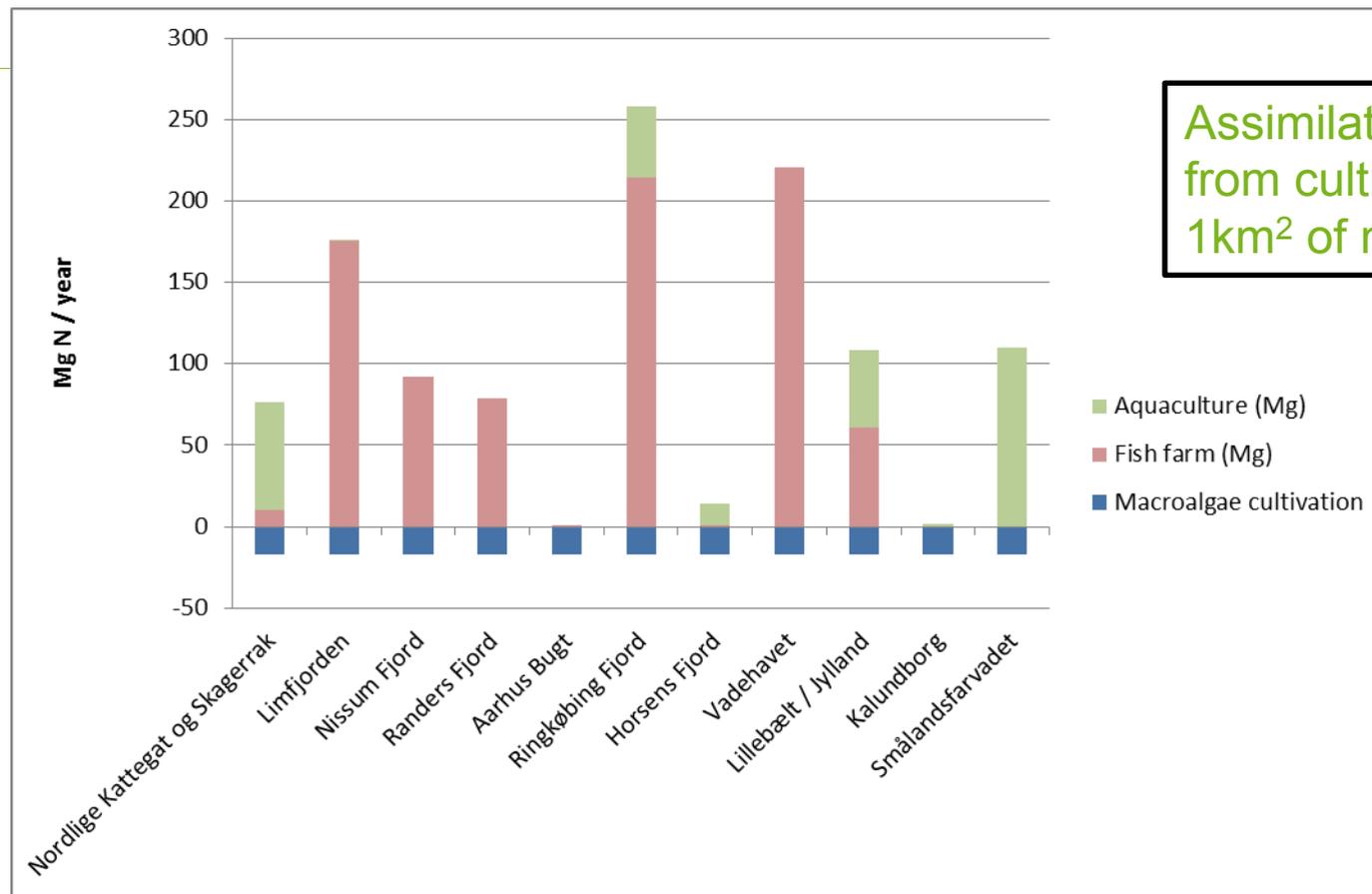
### Feedback:

- Retention
- **Macroalgae growth**



# 3. GRØN PRODUKTION FRA BLÅ BIOMASSE

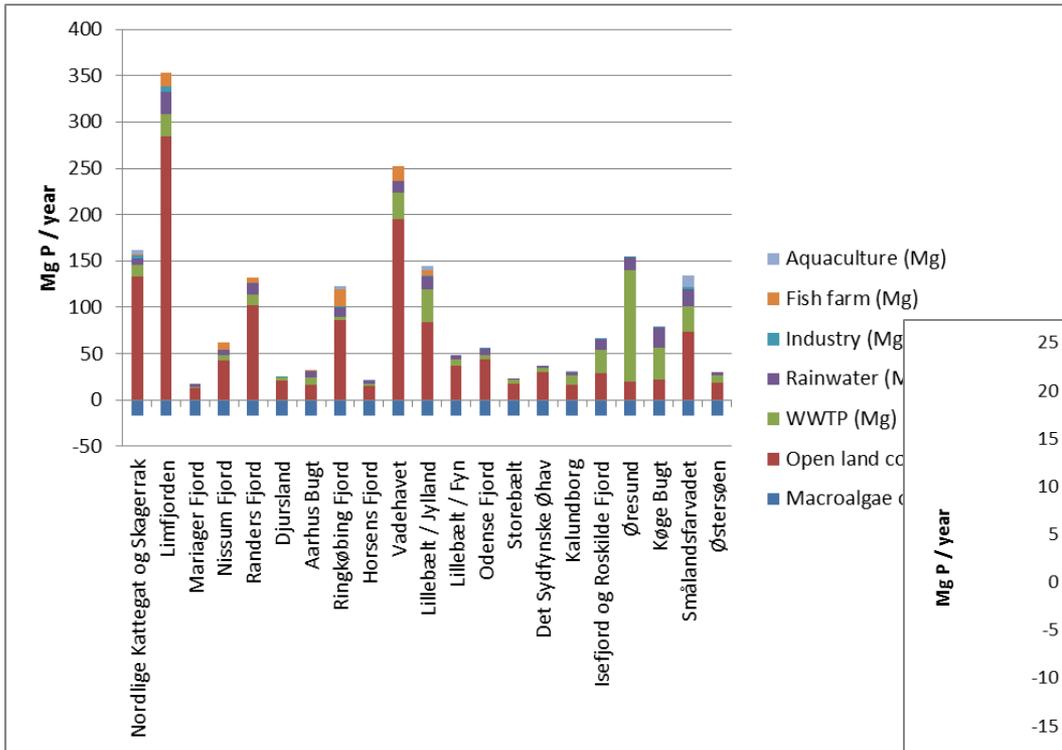
## MAB3 ECOSYSTEM SERVICES - MITIGATION POTENTIAL NITROGEN



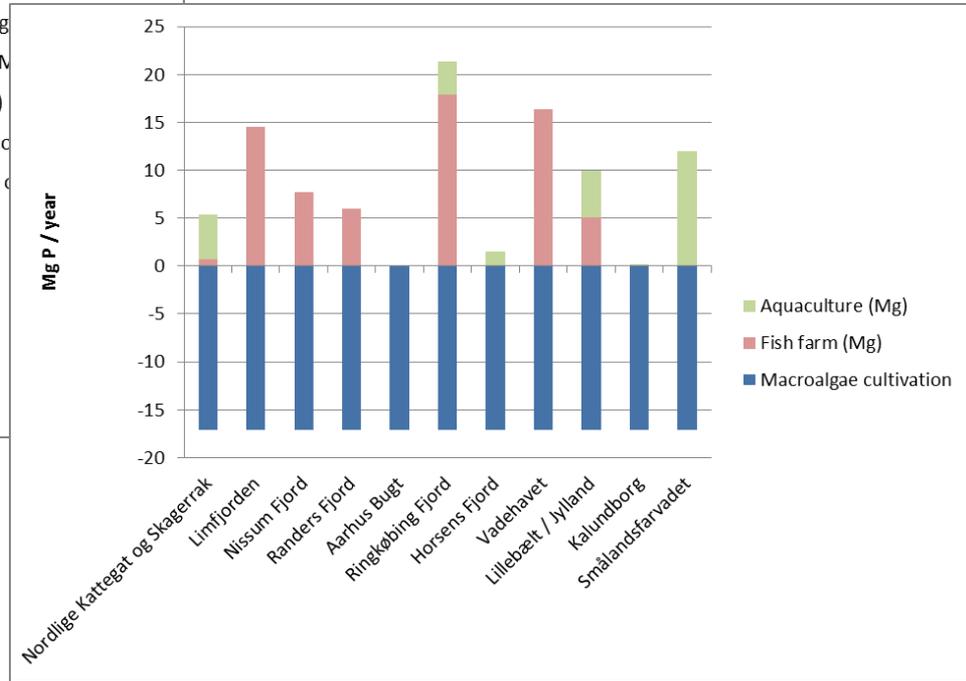
Productivity 5 Mg DM / ha

# 3. 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

# 3. GRØN PRODUKTION FRA BLÅ BIOMASSE

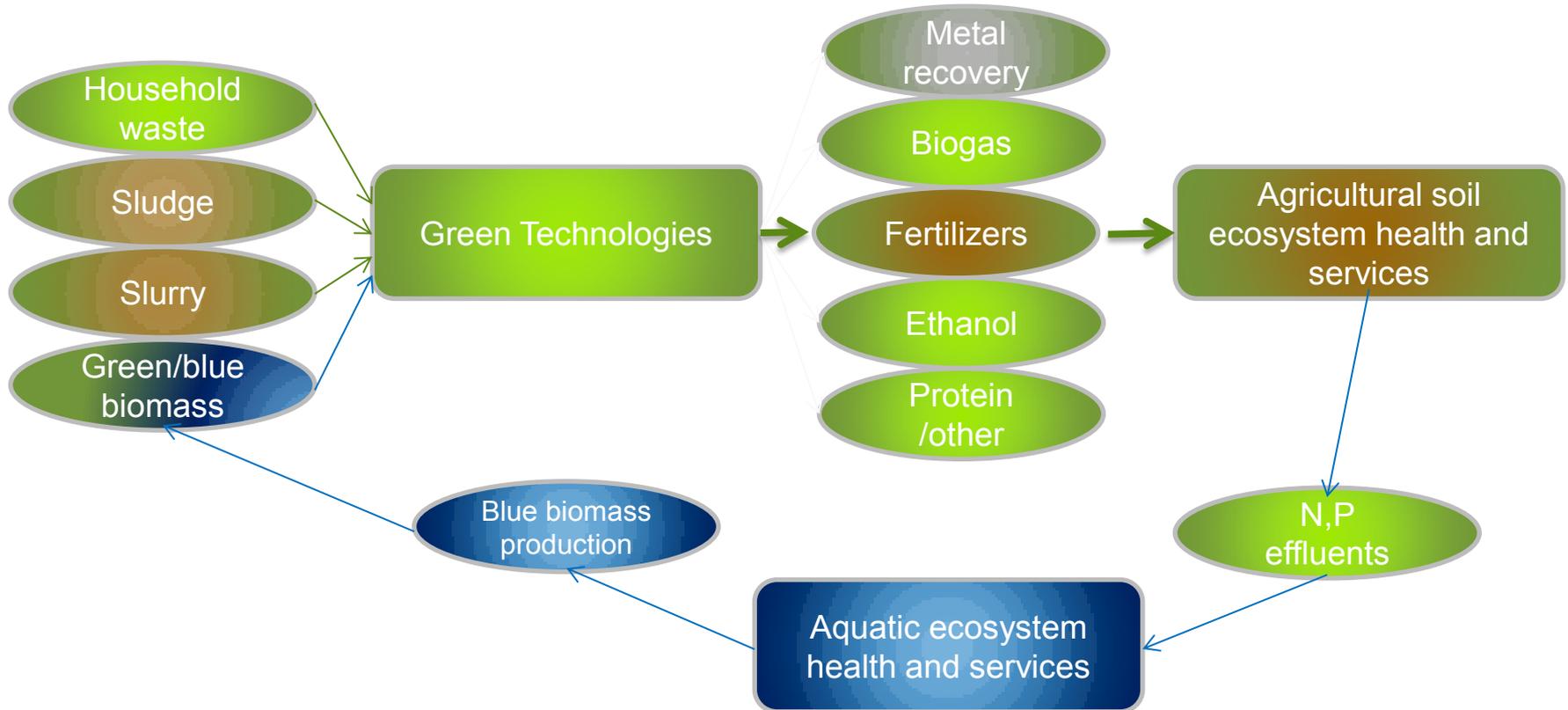
## PRELIMINARY FINDINGS

---

- › Wild species distributions
- › Optimum salinity for wild growth
- › No significant effect of N and P
  
- › Cultivation
- › In Danish waters nutrients are not a direct limiting factors for the algae growth
- › Indirect effect, e.g. nutrients presence as suspended particulate matter, affect the secchi depth and consequently productivity
  
- › Limiting factors for providing effective ecosystem services, i.e. recirculation of nutrients:
- › Area available for cultivation macroalgae
- › Productivity of cultivation site
  
- › **Stort potentiale for CO<sub>2</sub> opsparing under dyrkning og samtidig reduktion af eutrofieringsniveau samt vandkvalitetsforbedring**
  
- › **MAB3 er økonomisk bæredygtigt**

# FREMTIDENS BIOINDUSTRIER

## BIOTEKNOLOGIER-BIOPRODUKTER OG SERVICES



## 2. RESSOURCESTRØMME PÅ TVÆRS AF SEKTORER

### EMISSIONSOPGØRELSE – TRENDS OG UDFORDRINGER

---

#### › Biomasse ressourcerne →

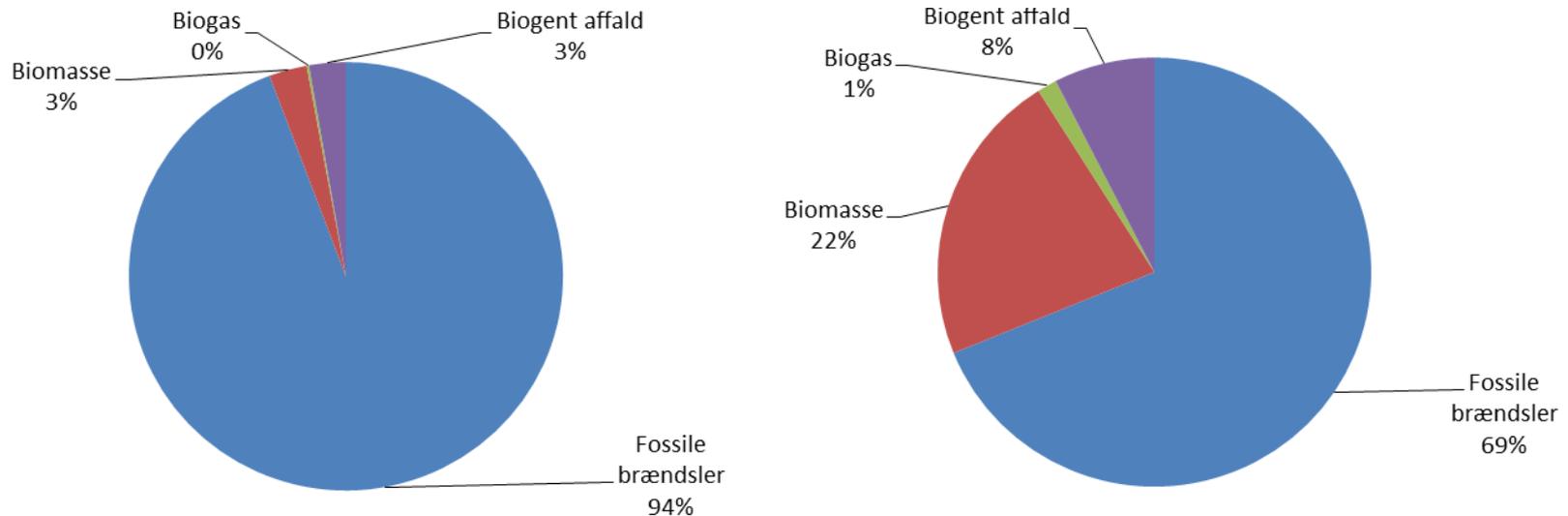
1. Udviklingen i El- og Fjernvarme produktion  
- fra affaldsforbrænding til biogas produktion?

#### 2. Carbon kredsløbet

- mere biomasse på landbrugsjord?
- Tilbageførsel af C til jord (direkte udbring eller bioforgasning)
- Landbrugspraksis (fx nedpløjning vs. forbrænding af halm)

## 2. RESSOURCESTRØMME PÅ TVÆRS AF SEKTORER

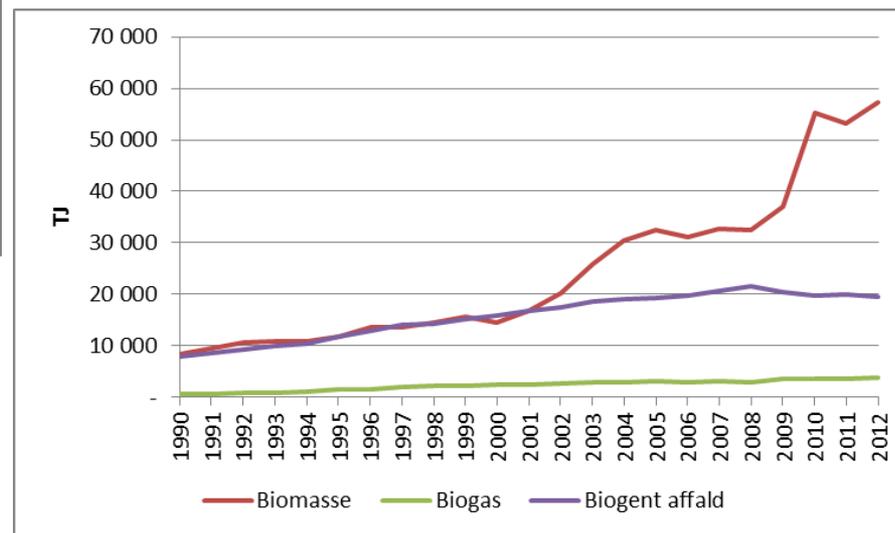
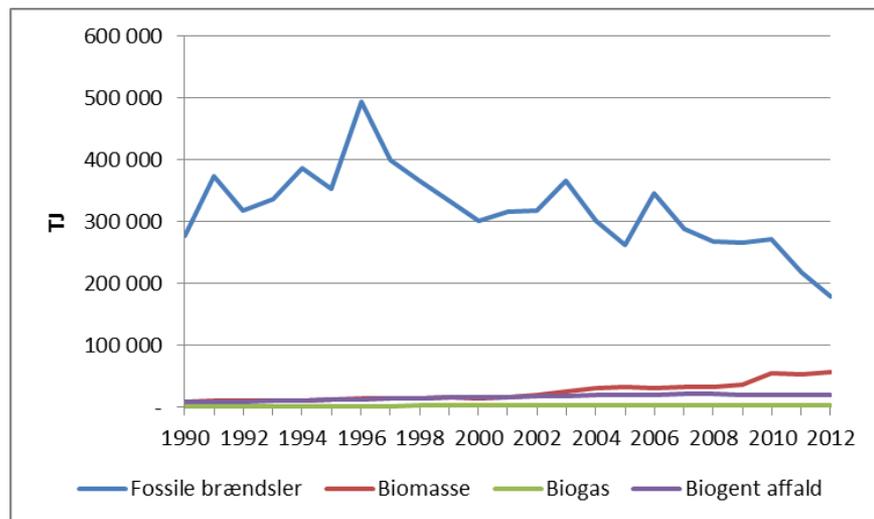
### EL- OG FJERNVARMEPRODUKTION – 1990/2012



- › Andelen af biogene brændsler steget voldsomt
- › Der er ikke medtaget vindenergi i figurerne

## 2. RESSOURCESTRØMME PÅ TVÆRS AF SEKTORER

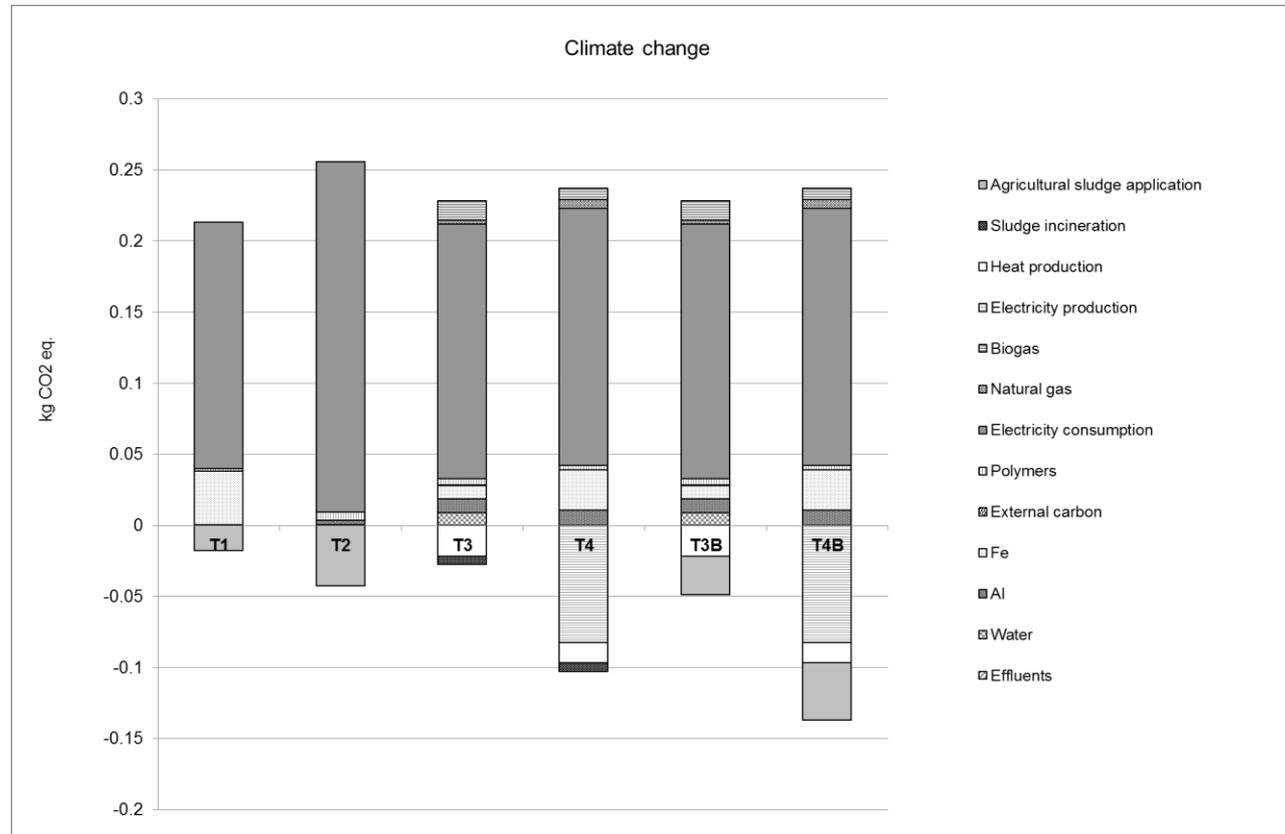
### EMISSIONSOPGØRELSE // EL- OG FJERNVARMEPRODUKTION



# BIOMASSE RESSOURCERNE

- › Delvis re-allokering fra forbrænding til biogas produktion med tilbageførsel af svært nedbrydeligt C til jord

# SLAM – FRA FORBRÆNDING TIL BIOFORGASNING



# Tilførsel af næringsstoffer til landbrugsjorden

Teknologier – Produkter - Serviceydelser

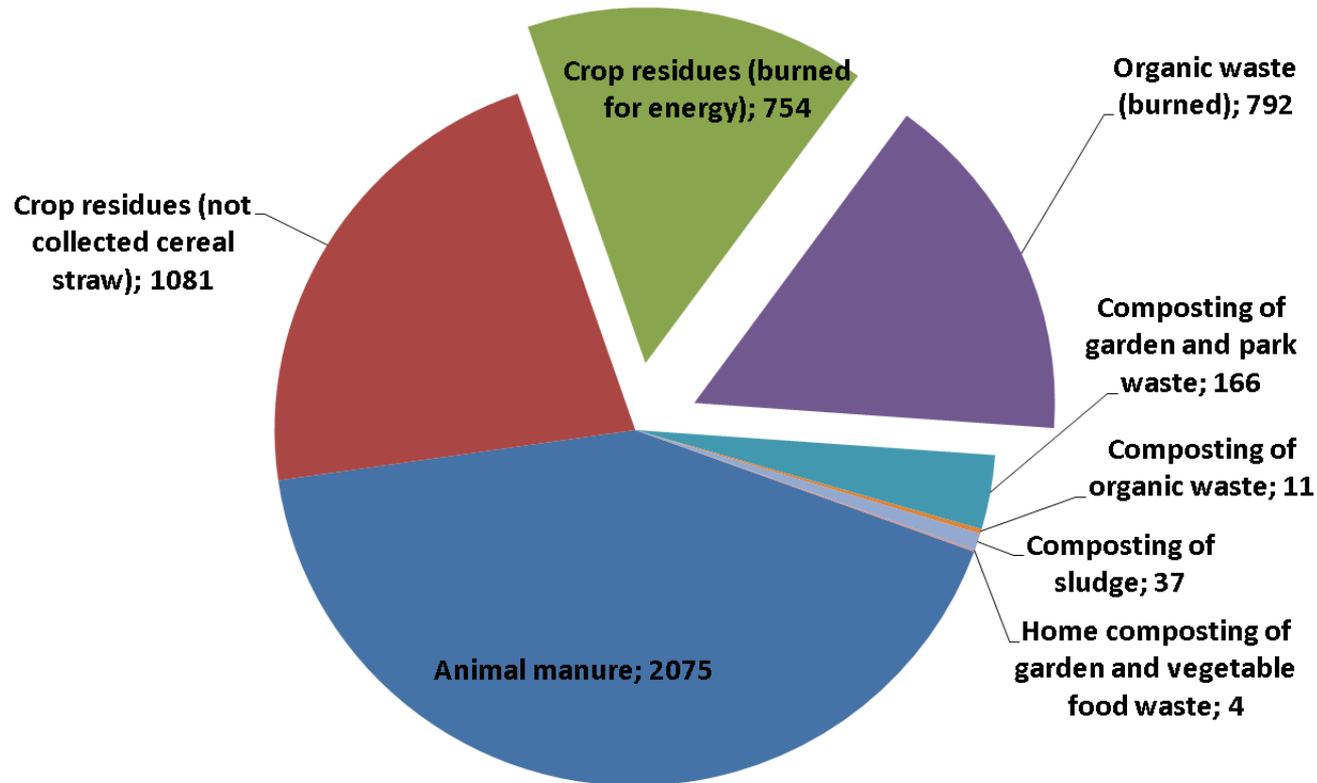
- › Udgangspunkt
- › Al organisk materiale indgår i et kredsløb
- › C-indholdet stiger/er konstant på de sandede jyske jorde pga stort husdyrhold
- › C-indholdet falder på lerjorde pga stor fraførsel og et lille husdyrhold
- › Det er uvist hvornår C-niveauet når et kritisk niveau
- › Kan og skal vi øge tilførslen af biomasse til landbrugsjorde?
- › Og I givet fald hvordan
- ›

# Tilførsel af næringsstoffer til landbrug

## Teknologi – Produkt - Serviceydelse

- › En øget nedmuldning af landbrugsafgrøder vil være i konkurrence med energisektoren
- › En øget husdyrgødningsmængde kan kun ske ved at øge husdyrholdet. Den letomsættelige fraktion i husdyrgødningen omsættes hurtigt
- › Bioforgasning af husdyrgødning vil fjerne den let omsættelige kulstofmængde i husdyrgødningen (ca. 65-75% af kulstoffet) og efterlade en langsomnedbrydelig fraktion som understøtter landbrugsjordens kulstofindhold
- › Termisk behandling (pyrolyse) af biomasse (halm og affald) omdanner ca. 50% af C til energi og de sidste 50% er svært nedbrydeligt C (Biochar) som kan bidrage til en bedre næringsstofhusholdning i jord pga en stor overflade med mange bindingssites
- › Tilbageførsel af biomasse fra affaldssektoren (primært husholdningsaffald) vil være i konkurrence med energisektoren men vil give bedre næringsstofudnyttelse

# BIOMASS IN DIFFERENT FRACTIONS - 2011



Gg C, Kilde: Beregnet ud fra de nationale emissionsopgørelser, Malene Nielsen, Kajta Hjelgaard, Rikke Albrektsen, Steen Gyldenkærne

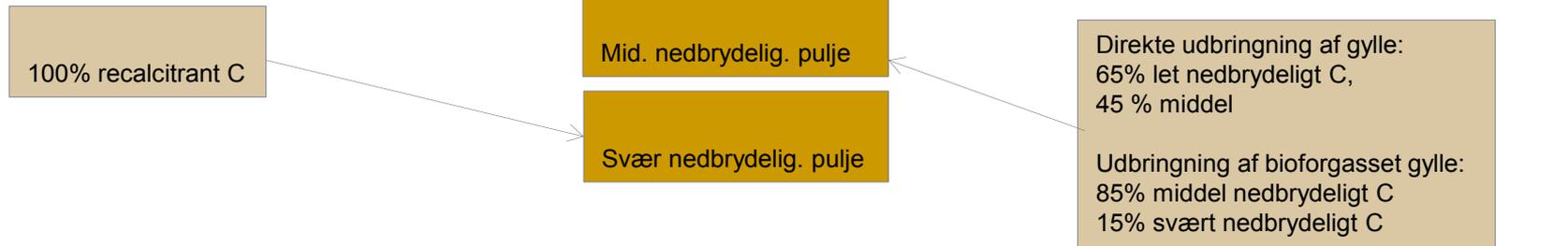
# Tilbageførsel af næringsstoffer og carbon til landbrugsjord

## Teknologi – Produkt - Serviceydelse

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

### › Betydningen af forbehandling

- › –Termisk behandling  
Biogas og Biochar



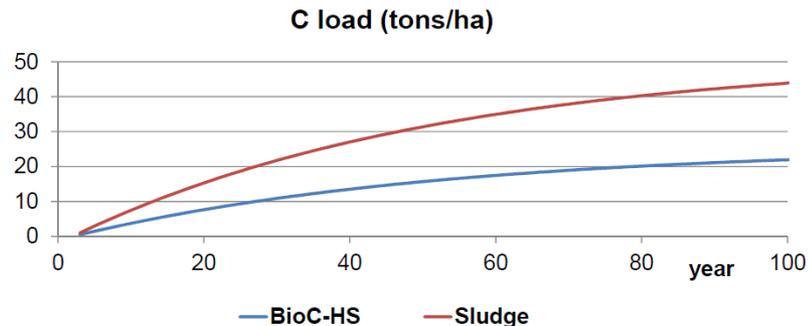
Biochar øger jordens evne til at opbevare næringsstoffer og herved mindske fx tab af N.  
Bioforgasset organisk materiale understøtter jordens biodiversitet idet det har et højere indhold af alfatiske funktionelle strukturer

# KLIMA MITIGERING

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



## Climate mitigation - 2. Carbon sequestration



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

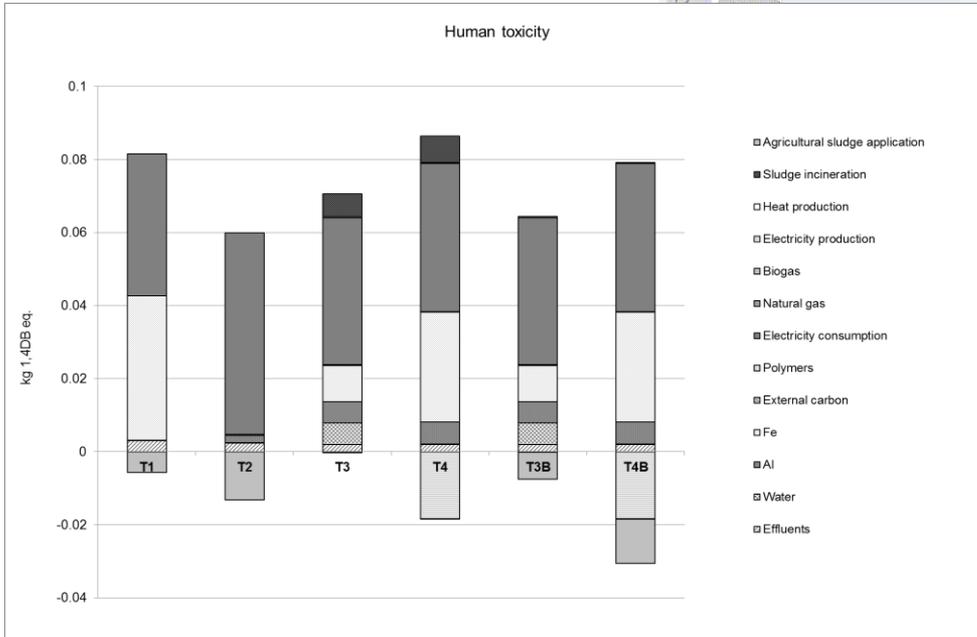
# 2. RESSOURCESTRØMME PÅ TVÆRS AF SEKTORER

## EXTERNALITETER



Journal of Environmental Management

Volume 121, 30 May 2013, Pages 170–178



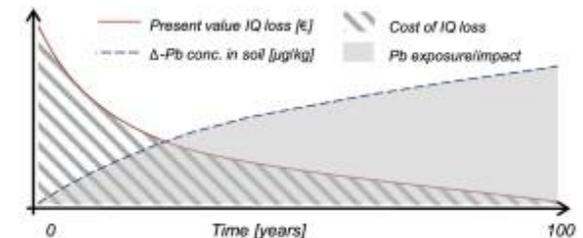
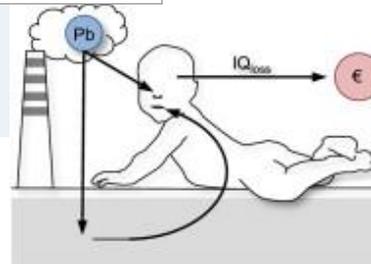
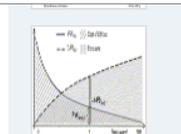
### External costs of atmospheric lead emissions from a waste-to-energy plant: A follow-up assessment of indirect exposure via topsoil ingestion

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.



# BIORESSOURCE LCA MODEL SYSTEM

## - INDDRAGELSE AF ØKOSYSTEMTJENESTER

---

- › Re-allokering af husholdningsaffald fra forbrænding til bioforgasning sammen med gylle hhv. slam
- › BaU – direkte udbringning af (bioforgasset) gylle
- › Bioforgasning af gylle øges fra 5 til 50% - betydning af ”sam”-udrådning
- › Forbrænding reduceres 20% - reduktion i el- og fjernvarmeproduktion - betydning for emissioner til luft
- › Husholdningsaffald til renseanlæg – betydning af ”sam”-udrådning for biogas hhv. fortyndingseffekt på mikroforureningskomponenter i sludslammet
- ›
- › Udbringning af gylle, slam (bioforgasset sammen med husholdningsaffald)
- › Hvilke krav skal der stilles til produkt og proces. En afvejning mellem mange formål.

# BÆREDYGTIG RESSOURCEEFFEKTIVITET

---

- › Energieffektivitet handler også om C kredsløb
- › Produktkvalitet er central
- › 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