



TEKNOLOGISK  
INSTITUT



JYDSK TÆKKEMANDSLAUG

## Miljøvurdering af tag med tagrør og tækkemiscanthus





<b>1</b>	<b>RESUMÉ</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>BAGGRUND</b>	<b>5</b>
2.1	GENERELT	5
2.2	FORMÅL OG ANVENDELSE	5
<b>3</b>	<b>AFGRÆNSNING OG UDFORMNING AF MILJØVURDERINGEN</b>	<b>6</b>
3.1	PRODUKTSYSTEMER UNDER SAMMENLIGNING	6
3.1.1	<i>Beskrivelse af ligestyreligheden af de systemer, der sammenlignes</i>	6
3.2	FUNKTIONEL ENHED	6
3.2.1	<i>Tekniske specifikationer</i>	7
3.3	SYSTEMGRÆNSER	7
3.3.1	<i>Tagrør – Danmark</i>	7
3.3.2	<i>Tagrør – Kina</i>	8
3.3.3	<i>Miscanthus – Danmark</i>	9
3.3.4	<i>Teglsten</i>	12
3.3.5	<i>Livscyklusfaser</i>	13
3.4	CUT-OFF KRITERIER	14
<b>4</b>	<b>LIVSCYKLUSKORTLÆGNING (LCI)</b>	<b>15</b>
4.1	ENHEDSPROCESSER	15
4.2	DATA	17
4.3	LCI RESULTATER	17
4.3.1	<i>LCI Input</i>	17
4.3.2	<i>LCI Output</i>	19
<b>5</b>	<b>VURDERING AF POTENTIELLE MILJØPÅVIRKNINGER (LCIA)</b>	<b>21</b>
5.1	VALG AF PÅVIRKNINGSKATEGORIER OG KATEGORIINDIKATORER	21
<b>6</b>	<b>RESULTATER AF MILJØVURDERINGEN</b>	<b>22</b>
6.1	VURDERING AF MILJØPÅVIRKNINGER	22
6.2	LIVSCYKLUSFORTOLKNING	26
6.2.1	<i>Resultater</i>	26
6.2.2	<i>Energiforbrug</i>	27
6.2.3	<i>Antagelser og begrænsninger</i>	28
6.3	KRITISK REVIEW	28
<b>7</b>	<b>REFERENCER</b>	<b>29</b>
<b>8</b>	<b>BILAG</b>	<b>30</b>



# 1 Resumé

Denne rapport dokumenterer projektet "Miljøfordele ved stråtag belyst gennem livscyklusvurdering til fremme af brugen af dette økologiske tag i nybyggeri". Projektet er finansieret af videnkuponmidler bevilget af Styrelsen for Forskning og Innovation.

Projektet er gennemført af Teknologisk Institut og Jydsk Tækkemandslaug i perioden september 2013 til juli 2014 med den hensigt, at påvise miljøfordele ved danskproducerede tækkematerialer, som hidtil ikke har været undersøgt. Det forventes, at projektet vil være med til at øge kendskabet til og interessen for stråtag som en del af et moderne, dansk, klimavenligt og bæredygtigt byggeri.

I nærværende rapport anvendes livscyklusmetodikken til at lave en miljøvurdering af fire forskellige tagkonstruktioner: Stråtagskonstruktion med danske tagrør, stråtagskonstruktion med tagrør importeret fra Kina, stråtagskonstruktion med dansk tække-miscanthus og traditionel tegltagskonstruktion.

## Hovedkonklusioner

Projektet har påvist, at der er miljøfordele forbundet med at vælge stråtaget som tag. Brugen af tagrør og tække-miscanthus giver således anledning til en væsentligt lavere udledning af drivhusgasser i forhold til et traditionelt tegltag. Tagrør har ligeledes en positiv indflydelse på de vådområder, hvor de gror naturligt, og hvor et optag af nitrat og fosfat i vækstperioden er med til at afhjælpe problemer med eutrofiering, som kan forårsage forøget algevækst og iltsvind.

Tagrør der importeres fra Kina har, forventeligt, et stort energiforbrug forbundet med transporten til Danmark, men i beregningerne af bidragene til klimaforandring, som følge af udledning af drivhusgasser, opvejes disse transportbelastninger af optagelsen af kulstof fra atmosfæren under plantens vækst.

Resultaterne relaterer sig udelukkende til tilvejebringelsen af de materialer der indgår i de forskellige tagkonstruktioner, og disse bør holdes op i mod produkternes levetider og potentiale for genbrug og genanvendelse samt miljøpåvirkningerne i forbindelse med bortskaffelse efter endt levetid.

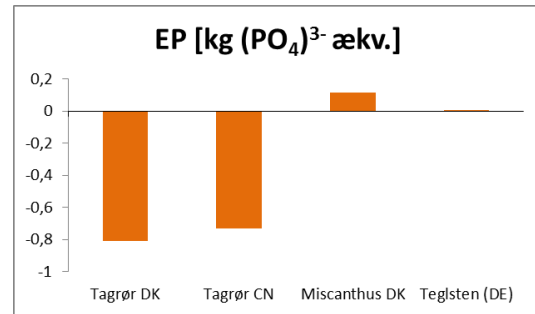
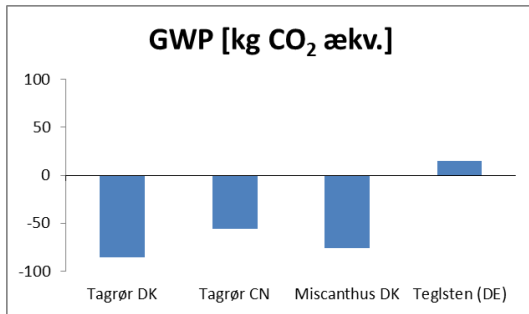
Inputdata til tækkematerialer er leveret af bl.a. Hans Brix, Aarhus Universitet, Uffe Jørgensen, Aarhus Universitet, Vitroform, Gefion samt litteratur fra Hamelin, et al. (2012) og [www.landbrugsinfo.dk](http://www.landbrugsinfo.dk). <http://www.dlbr.dk/>.

Til beregning af LCIA resultater er karakteriseringsmodellen CML Apr. 2013 anvendt sammen med GaBi 6.3 til klassificering og karakterisering af input- og output flows, jf. EN 15804 6.5 samt Annex C. Følgende miljøpåvirkningskategorier vurderes:

- Global opvarmning (GWP)
- Nedbrydning af ozonlaget (ODP)
- Forsuring (AP)
- Eutrofiering (EP)
- Fotokemisk ozondannelse (POCP)
- Udtynding af abiotiske ikke-fossile ressourcer (ADPe)
- Udtynding af abiotiske fossile ressourcer (ADPf)

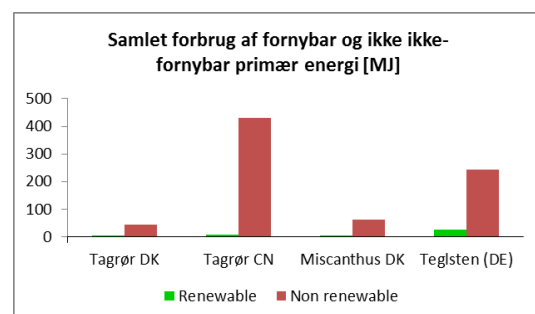
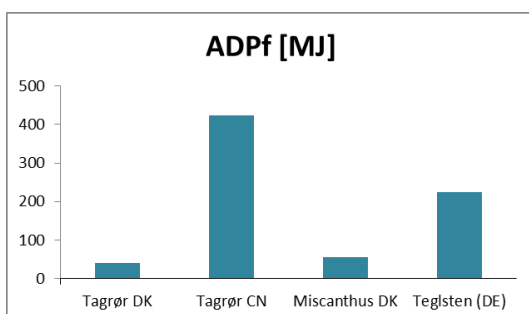
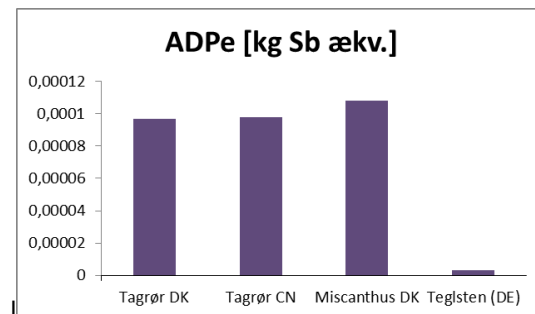
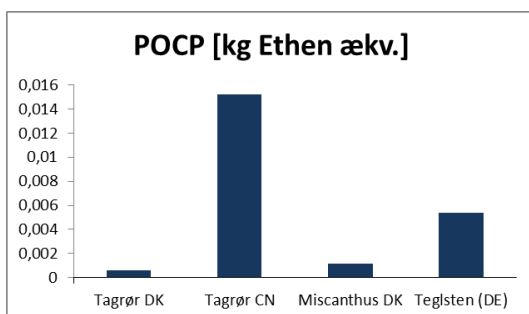
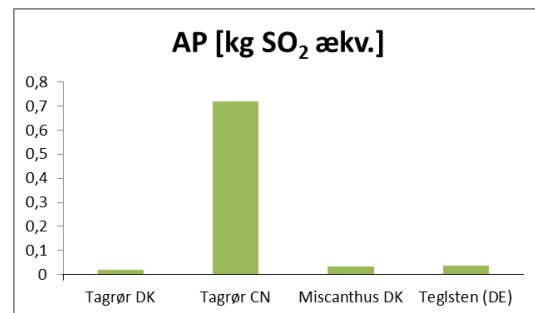
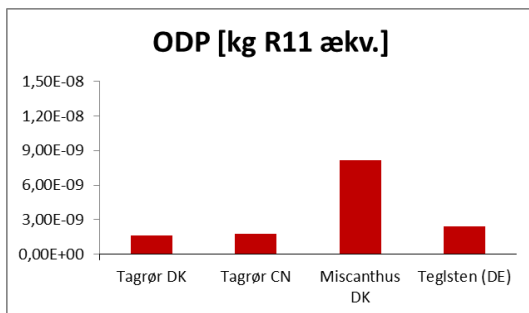
Desuden beregnes det samlede primære energiforbrug fordelt på fornybare og ikke-fornybare ressourcer samt nettoforbruget af ferskvand.

Det er i dette projekt påvist, at danske tagrørsmaterialer har en positiv miljøeffekt når der fokuseres på de kendte miljøproblemstillinger *Global opvarmning* (GWP) og *Eutrofiering* (EP). Som det ses af nedenstående figurer, har danske tagrør numerisk negative værdier, hvilket betyder en netto miljøbesparelse. Det samme gør sig gældende for tagrør importeret fra Kina. Dansk tækkemiscanthus giver ligeledes anledning til en miljøbesparelse i forhold til global opvarmning. Den negative GWP opstår i vækstperioden, hvor planterne optager CO<sub>2</sub> fra atmosfæren.



Tagrør fra både Danmark og Kina optager gennem deres vækst nitrogen og fosfat og har derfor et negativt bidrag til *Eutrofiering* (EP), altså en miljøbesparelse, hvor et overskud af tilsat nitrogen for dansk tækkemiscanthus giver et positivt bidrag i denne kategori.

*Forsuring af jord og vand* (AP), *Troposfærisk ozondannelse* (POCP), *Udtynding af abiotiske fossile ressourcer* (ADPf) og *Samlet forbrug af fornybare og ikke-fornybare ressourcer* er højest for Tagrør importeret fra Kina, hvilket skyldes, at rørene fragtes 17.800 km med skib og næsten 3000 km med lastbil (se figurer nedenfor). Dermed kommer bidragene fra transporten af tagrørene til at fylde meget i disse fire kategorier. Forsuringen skyldes især udledningen af SO<sub>2</sub> ved afbrænding af diesel og skibsbrændstof.





## 2 Baggrund

### 2.1 GENERELT

---

Nærværende rapport dokumenterer projektet "Miljøfordele ved stråtag belyst gennem livscyklusvurdering til fremme brugen af dette økologiske tag i nybyggeri", som er gennemført i samarbejde med Jysk Tækkemandslaug og finansieret af videnkuponmidler bevilget af Styrelsen for Forskning og Innovation.

Projektet er gennemført af Teknologisk Institut i perioden september 2013 til juli 2014.

Miljøvurderingen i nærværende rapport følger strukturen og metoderne for udarbejdelse af livscyklusvurderinger beskrevet i ISO 14040 og ISO 14044. Miljøvurderingen har ikke været underlagt kritisk review, men er blevet kvalitetssikret og kommenteret internt på Teknologisk Institut samt af Jysk Tækkemandslaug.

### 2.2 FORMÅL OG ANVENDELSE

---

Formålet med projektet har været at stimulere efterspørgslen og anvendelsen af danskproducerede tækkematerialer ved at fremskaffe miljøargumenter for stråtaget og bruge disse i markedsføringen. I kombination med ændrede og mere lempelige brandreguleringer (som er på vej) er det målet at fordoble antallet af tækkede kvadratmeter stråtag i Danmark i løbet af en årrække.

Hensigten med nærværende miljøvurdering af danskproducerede tækkematerialer har været, at påvise miljøfordele, som hidtil ikke har været undersøgt og dermed ikke har kunnet bruges i markedsføringen. Projektets formål er også innovativ udvikling af Jysk Tækkemandslaug's forretningsmodel ved at fjerne væsentlige barrierer for vækst. Dette vil på sigt øge antallet af danske arbejdspladser indenfor tækkefaget, og samtidig sikre stråtaget en plads i moderne, dansk byggeri.

Branchen forventer en øget efterspørgsel efter danske tagrør og elefantgræs til brug for stråtage i Danmark. Projektet vil også øge kendskabet til og interessen for stråtag som en del af et moderne, dansk, og bæredygtigt byggeri, hvori det kan bidrage positivt i miljøregnskabet i forhold til mere traditionelle tagløsninger. Projektet forventes at være medvirkende til en fordobling af antallet af årligt tækkede kvadratmeter i Danmark indenfor maksimalt ti år med en erhvervsfremmende effekt for hele tækkebranchen. En sådan udvikling er sket i Holland, og den danske branche bruger de hollandske erfaringer i udvikling af forretningsmodel og markedsføring.

## 3 Afgrænsning og udformning af miljøvurderingen

### 3.1 PRODUKTSYSTEMER UNDER SAMMENLIGNING

Miljøvurderingen i nærværende rapport sammenligner de potentielle miljøpåvirkninger for nedenstående fire forskellige tagkonstruktioner:

- Stråtagskonstruktion med danske tagrør
- Stråtagskonstruktion med tagrør importeret fra Kina
- Stråtagskonstruktion med dansk tække-miscanthus
- Traditionel tegltagskonstruktion

Da det er hensigten at vurdere forskellene i de miljømæssige aspekter for de fire tagkonstruktioner, er de materialer, der normalt medregnes tagkonstruktioner, men som er fælles for alle fire tagtyper udeladt af beregningerne. Dette gælder:

- Loftsbeklædning
- Forskalling
- Dampspærre
- Spærkonstruktion
- Isolering
- Lægter

I Tabel 1 ses en oversigt over de materialer der er medtaget for de forskellige tagtyper:

Tabel 1 Materialer medtaget i miljøvurderingen

Stråtagskonstruktioner	Tegltagskonstruktion
Strå	Vingetagsten
Skruer	Tagbindere
Trådbindere	Afstandsliste
Fiberdug (Sepatec)	Undertag
Bindejern	

#### 3.1.1 Beskrivelse af ligestyreligheden af de systemer, der sammenlignes

Som nævnt i afsnit 3.1, er de materialer der indgår i alle fire tagtyper ikke medregnet i miljøvurderingen. Derfor sammenlignes de fire tagtyper udelukkende på baggrund af de materialer, og tilhørende mængder, der er unikke for den enkelte tagtype. I forhold til tilgængeligheden af validt data, er teglproduktionen af gode grunde den mest veldokumenterede, hvorfor hovedvægten i dette projekt er lagt på en så præcis kortlægning af stråproduktionen, som det har været muligt, indenfor projektets økonomiske og tidsmæssige rammer.

Det vurderes på baggrund af ovenstående, at systemerne som indgår i nærværende analyse kan sammenlignes på et ligestyreligt grundlag.

### 3.2 FUNKTIONEL ENHED

Den funktionelle enhed beskriver produktsystemets kvantificerede ydeevne og anvendes som referenceenhed ved sammenligning af de forskellige produktsystemer. Den funktionelle enhed beskriver altså hvilken funktion de enkelte systemer skal opfylde.

I nærværende projekt defineres den funktionelle enhed som:

- 1 m<sup>2</sup> tagkonstruktion



Det der sammenlignes i beregningerne er altså de kvantificerede miljøpåvirkninger relateret til tilvejebringelsen af de materialer, der er nødvendige for opbygningen af 1 m<sup>2</sup> tagkonstruktion. Dette er gjort for hver af de fire tagtyper: Tagrør fra Danmark, Tagrør fra Kina, Miscanthus fra Danmark og Teglsten. Dog med undtagelse af de materialer der anvendes i alle tagtyperne, og derfor ikke er relevante i en sådan sammenligning.

### 3.2.1 Tekniske specifikationer

Det er normalt i LCA sammenhæng, at de systemer der sammenlignes, har ens funktionelle og tekniske egenskaber. Sådanne egenskaber er ofte indeholdt i den funktionelle enhed, således det sikres, at de sammenlignede systemer også rent faktisk kan sammenlignes. I forhold til tagkonstruktioner kunne egenskaber eksempelvis være isoleringsværdier, tæthed, holdbarhed, etc. Ved valg af konstruktioner i nærværende projekt, er der taget udgangspunkt i kendte standardopbygninger, som det vides, opfylder de normale tekniske krav der er til tagkonstruktioner på fritliggende huse.

Med hensyn til tekniske specifikationer under byggevarerforordningen, er tegltagsten omfattet af en europæisk harmoniseret produktstandard DS/EN 1304:2013 – Teglsten og tilbehør – Produktdefinitioner og specifikationer. Der er endnu ikke udviklet DoP for Rød Højslev Vingetegl under CE-mærkningen.

Det antages, at funktionen af 1 m<sup>2</sup> for alle tre produktsystemer er ens.

## 3.3 SYSTEMGRÆNSER

I nærværende miljøvurdering er det valgt at inkludere tilvejebringelsen af de materialer, der er nødvendige for at kunne lægge 1 m<sup>2</sup> færdigt stråtag og 1 m<sup>2</sup> færdigt tegltag til sammenligning. For tagrørene inkluderer dette stofudvekslingen i vækstperioden, markoperationer samt håndtering og transport. Da miljøvurderingens formål er en sammenligning af disse to tagtyper, er de materialer, som anvendes i begge tagtyper, udeladt.

Information vedr. input til tækkematerialer er leveret af bl.a. Hans Brix, Aarhus Universitet, Uffe Jørgensen, Aarhus Universitet, Vitroform, Gefion samt litteratur fra Hamelin, et al. (2012) og [www.landbrugsinfo.dk](http://www.landbrugsinfo.dk). <http://www.dlbr.dk/>

### 3.3.1 Tagrør – Danmark

Tagrør er et naturligt forekommende tækkemateriale, som vokser i vådområder i bl.a. Danmark, som modtager drænvand/afstrømning fra landbrugsjord.

Under vækstperioden har tagrør brug for næringsstoffer i form af bl.a. nitrogen (N), fosfor (P) og kalium (K), som planten primært optager fra dræn/afstrømningsvandet. Desuden optager planten kulstof fra atmosfæren i form af CO<sub>2</sub>. Optaget af disse stoffer per kg tørstof af plantemateriale ses i Tabel 2.

**Tabel 2 Optaget af næringsstoffer i tagrør (Hamelin, et al., 2012).**

Input	Mængde	Enhed
CO <sub>2</sub>	1,723	[kg/kg tørstof]
Nitrogen (N)	0,005	[kg/kg tørstof]
Nitrogen (denitrifikation)	0,025	[kg/kg tørstof]
Fosfor (P)	0,001	[kg/kg tørstof]
Kalium (K)	0,01	[kg/kg tørstof]

Til høst og rensning af tagrør anvendes en traktor eller lignende landbrugsmaskine. Forbruget af diesel er 0,005 L per kg, indregnet 25 % spild ved høst. Densiteten af diesel er 0,838 kg/L.

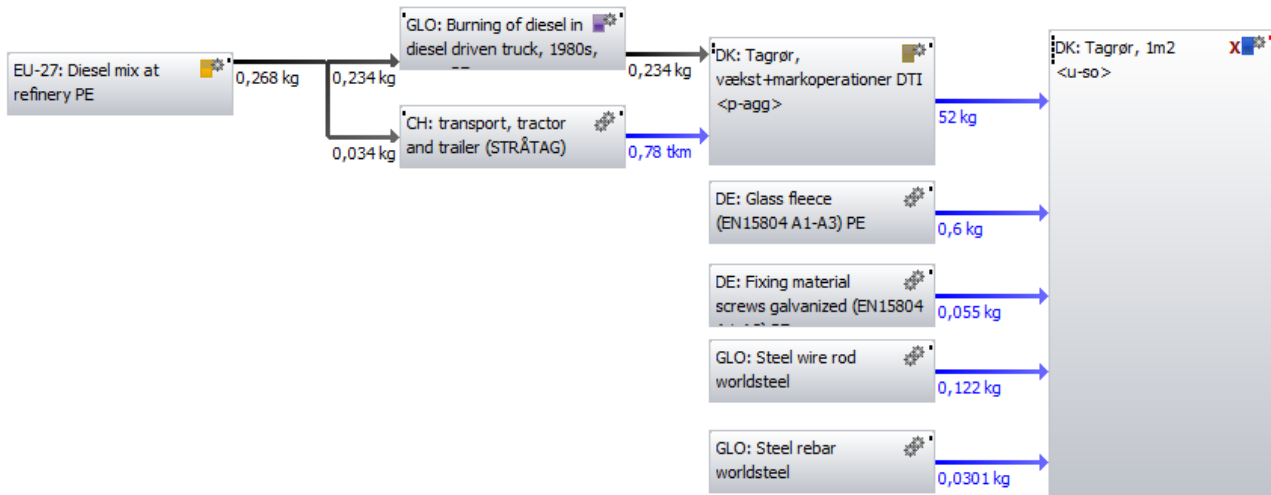
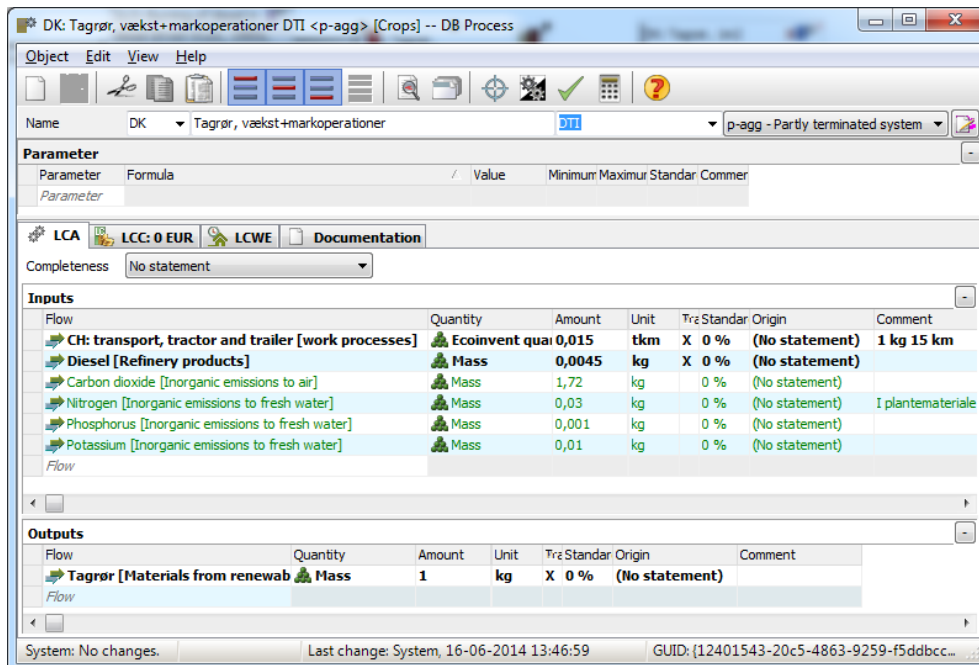
Til montering af tagrør anvendes materialerne i Tabel 3.



**Tabel 3 Materialeinput til montering af 1 m<sup>2</sup> tagrør.**

Input	Mængde	Enhed
Trådbindere (stål)	0,122	[kg/m <sup>2</sup> ]
Skruer	0,055	[kg/m <sup>2</sup> ]
Bindejern Ø4 (stål)	0,188	[kg/m <sup>2</sup> ]
Fiberdug (Sepatec)	0,600	[kg/m <sup>2</sup> ]
Tagrør	52	[kg/m <sup>2</sup> ]

På Figur 1 og Figur 2 ses produktsystemet som det er modelleret i GaBi, henholdsvis hele produktsystemet og detaljer om vækstperioden.

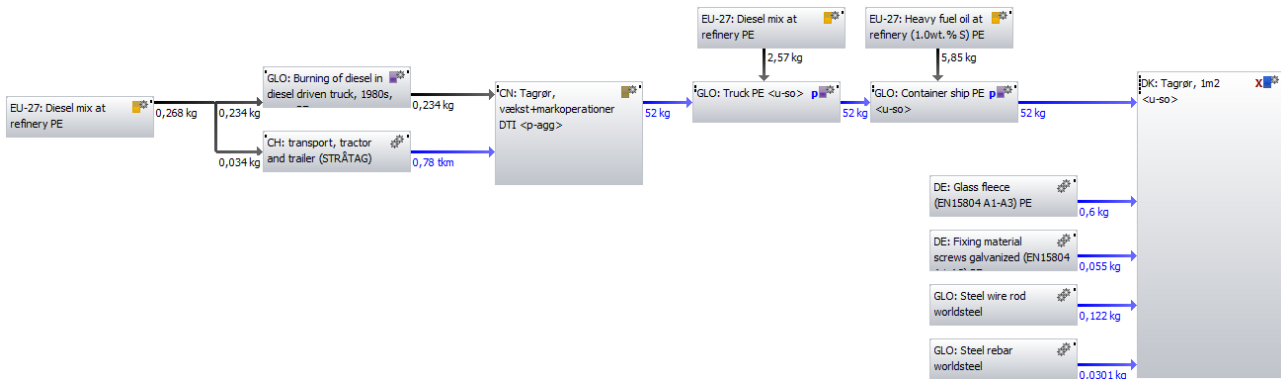

**Figur 1 GaBi model - danske tagrør**

**Figur 2 Modelling af vækstperiode og markoperationer**

### 3.3.2 Tagrør – Kina

Til høst og montering af tagrør fra Kina anvendes samme mængde brændsel og materialer som i Tabel 3. Det antages, at tagrør fra Kina har haft samme naturlige vækstforhold som i Danmark, og derfor optager de samme næringsstoffer – se Tabel 2.



Tagrør fra Kina transporteres med lastbil til en kinesisk havn, hvorefter de sejles til Rotterdam gennem Suez kanalen og køres videre med lastbil til Danmark. I alt køres 2.900 km med lastbil og der sejles 17.800 km. Produktsystemet, som det er modelleret i GaBi, kan ses på Figur 3.



**Figur 3 GaBi model, kinesiske tagrør**

### 3.3.3 Miscanthus – Danmark

Miscanthus, også kaldet elefantgræs anvendes i dag til en række formål, herunder tækning og kan dyrkes på almindelig landbrugsjord. I det følgende gennemgås materiale og energistrømme til opdyrkning i gartneri, udplantning og dyrkning af Miscanthus til tækkeformål.

Der anvendes en række mineralske, opløste gødskningsmidler i gartneriet. I nærværende miljøvurdering er kun inkluderet de input som udgør >1 wt % af det samlede gødskningsbehov. Desuden anvendes spagnum til plantning, plastbakker fremstillet af polyethylen (PE) samt diesel til at transportere planterne til marken. Alle input til drift af gartneriet ses i Tabel 4. Miscanthus til tækkebrug opdyrkes på gartneri uden brug af opvarmning, da dyrkningen fortrinsvist sker mellem marts og maj måned, hvor naturlig opvarmning er tilstrækkelig. Der antages en gennemsnitlig transportafstand til marken på 200 km, hvortil der er et dieselforbrug. De samlede input til gartneri er fordelt over 15 år, da de indgår i det samlede output fra en Miscanthus mark med en levetid på 15 år.

**Tabel 4 Materialeinput til gartneri, til produktionen af 1 kg færdig plante på marken.**

Input	Mængde	Enhed
Kaliumnitrat (KNO <sub>3</sub> )	1,67E-06	[kg/kg plante]
Ammoniumnitrat (NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> )	1,13E-06	[kg/kg plante]
Magnesiumsulfat (MgSO <sub>4</sub> )	9,61E-07	[kg/kg plante]
Kaliumphosphat (KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> )	1,63E-07	[kg/kg plante]
Jernsulfat (FeSO <sub>4</sub> )	2,34E-08	[kg/kg plante]
Diesel (til transport)	9,29E-05	[L/kg plante]
Spagnum	5,87E-03	[kg/kg plante]
Plastbakke (PE)	1,25E-04	[kg/kg plante]

Til udplantning, og etablering af Miscanthus forbrændes diesel i en traktor eller lignende. Desuden forbruges diesel til hjemkørsel og forarbejdning efter høst. Landboforeningen Gefion har estimeret dieselforbruget til ovenstående under etablering og dyrkning – se Tabel 5. Det samlede dieselforbrug per hektar er beregnet som et gennemsnit over 15 år, inklusive etableringsåret.

**Tabel 5 Dieselforbrug til drift af Miscanthusmark**

[L diesel/ha/år]	Etabl ering	År 1-15
Udplantning	24	
Pløjning	26	
Harvning	8	
Gødskning	3	3
Sprøjtning	3	3
Hjemkørsel		18
Transport til forarbejdning		29
<b>Total (gennemsnit over 15 år)</b>	<b>4,49E-03</b>	
<b>Total [kg diesel/kg plante/år]</b>	<b>3,76E-03</b>	

Per hektar [ha] er udbyttet af Miscanthus 5,5 ton, som ifølge Hamelin, et al. (2012) udgør 41,3 % af den totale dyrkede plante per ha. Herudfra beregnes den totale mængde plante, som dyrkes på marken, og som opdeles i:

- primært udbytte (41,3 %)
- overjords planterester (44,9 %)
- underjords planterester (13,8 %)

Samlet set udgør disse tre fraktioner 12,76 ton per ha.

Til gødskning af marken anvendes ifølge Hamelin, et al. (2012) en blanding af mineralsk og organisk gødskning i form af bl.a. svinegylle. De primære næringsstoffer i både den mineralske og organiske gødskning er N, K og P. Gødsningen er modelleret udelukkende som mineralsk, da databaserne ikke indeholder LCA-data for organisk gødskning. Den mineralske del består af to typer gødskning; diammoniumfosfat (DAP) og kalciumammoniumnitrat (CAN) – se Tabel 6.

**Tabel 6 Gødskningsforbrug til Miscanthusmark**

[kg/ha/år]	Etabl ering	År 1-15	Gennemsnit over 15 år	Gennemsnit [kg/kg plante/år]
Fosfor (P)	0	7	7	<b>5,49E-04</b>
Nitrogen (N)	0	30	30	<b>2,35E-03</b>
Kalium (K)	0	28	28	<b>2,19E-03</b>
<b>DAP ((NH<sub>4</sub>)H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)</b>	<i>Bidraget til P og N</i>			<b>2,74E-03</b>
<b>CAN (Calciumammoniumnitrat)</b>	<i>Bidraget til N</i>			<b>4,08E-03</b>
<b>KNO<sub>3</sub></b>	<i>Bidraget til K og N</i>			<b>5,67E-03</b>

Ukrudtsbekæmpelse kan ske ved enten kemisk eller mekanisk bekæmpelse. Som kemisk ukrudtsbekæmpelse anvendes pesticidet Glyphosat samt herbiciderne Kerb 400 SC (propryzamid) og Starane 180 S (fluroxypyr) (alternativt Tomahawk 180 EC) se Tabel 7. Der er antaget udelukkende kemisk ukrudtsbekæmpelse i modellen.

I modellen er herbiciderne modelleret samlet som ét herbicid, da GaBi ikke indeholder de enkelte stoffer, og forudsat brugt til og med tredje år.

**Tabel 7 Sprøjtforbrug til Miscanthusmark**

[kg/ha/år]	Etabl ering	År 1-3	Gennemsnit over 15 år	Gennemsnit [kg/kg plante/år]
Glyphosat	1,08	3,24	0,288	<b>2,26E-05</b>
Herbicider (Kerb 400 + Starane 180S)	0,67	2,01	0,179	<b>1,40E-05</b>

Udbytte, gødsknings- samt sprøjtemængder er fundet i en dyrkningsvejledning for Miscanthus til tækkeformål på [www.landbrugsinfo.dk](http://www.landbrugsinfo.dk) (Pallesen, 2013).

Miscanthus er en flerårig plante og kan derfor høstes årligt, hvor marken har en levetid på 15-20 år. I modelleringen antages en levetid, efter etablering, på 15 år. Fuldt udbytte af Miscanthus opnås i andet eller tredje dyrkningsår, i modelleringen er fuldt udbytte antaget i andet dyrkningsår.

En del af N-inputtet vil optages i planten og en del vil enten afdampe til atmosfæren eller udvaskes i jord og grundvand som bl.a. nitrat og ammoniak. Ligesom tagrør vil Miscanthus optage CO<sub>2</sub> fra jord og atmosfære under væksten. Næringsstofferne fordeler sig forskelligt i de tre fraktioner af Miscanthus, med højest indhold af N i de høstede dele. Kulstof fordeler sig ligeligt i de tre fraktioner. Det har ikke været muligt, at finde data på et evt. optag og fordeling af fosfor – se Tabel 8.

Emissionen af N som ammoniak (NH<sub>3</sub>) er modelleret ud fra, at gødsningen er en 50/50 blanding af mineralsk og organisk, hvor den organiske gødskning består af 50/50 svine- og kvæggylle. Emissionsfaktoren for svine- og kvæggylle er hhv. 0,04 og 0,03. Da emissionsfaktoren for de to mineralske gødskningstyper er ens (0,020), modelleres de som en samlet type (Hamelin, et al., 2012). Der er beregnet en samlet emissionsfaktor for ammoniak fra gødsningen ud fra fordelingen samt emissionsfaktorer – se Tabel 9.

**Tabel 8 Optag af næringsstoffer i Miscanthus**

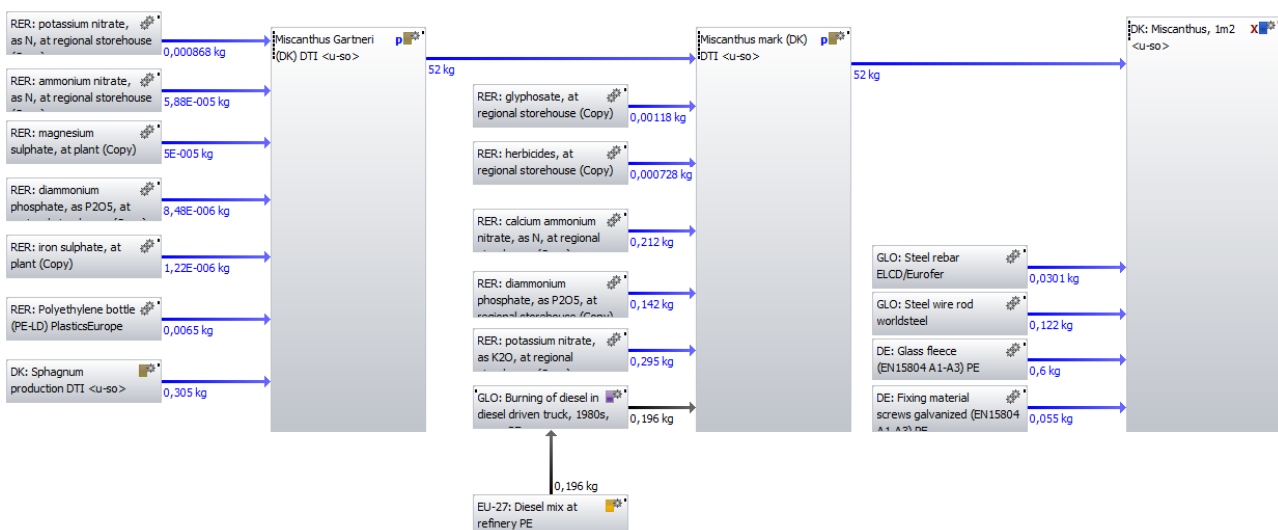
Input	Mængde	Enhed
CO <sub>2</sub> (primærproduktionen)	1,649	[kg/kg tørstof]
Nitrogen (N)	0,01	[kg/kg tørstof]

**Tabel 9 Fordelingen af N-tab i forbindelse med dyrkning af Miscanthus (Hamelin, et al., 2012).**

Nitrogen fordeling	Etablering	År 1	År 2-15	Gennemsnit over 15 år	Gennemsnit [kg/kg plante/år]
NO <sub>3</sub> - udvaskning	106,8	20,4	17	24,35	<b>4,54E-03</b>
Nitrogen fordeling	Faktor (N af total tilsat N)		Gødsnings N (total) [kg/ha/år]		Gennemsnit [kg/kg plante/år]
NO til atmosfæren	0,011		30		<b>2,59E-05</b>
NH <sub>3</sub> til atmosfæren	0,012		30		<b>2,76E-05</b>

Til at lægge tag med Miscanthus anvendes samme materialer som når der anvendes tagrør – se Tabel 3.

På Figur 4 og Figur 5 ses miscanthus produktsystemet, som det er modelleret i GaBi.



**Figur 4 GaBi model, dansk miscanthus**

**Figur 5 Model detaljer, miscanthus**

### 3.3.4 Teglsten

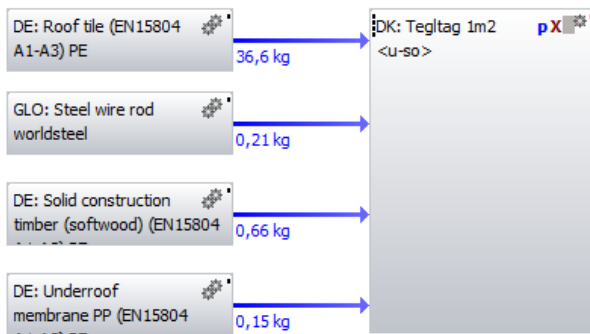
Teglstenene som anvendes i nærværende miljøvurdering er af typen RT 801, Rød Højslev Vingetegl Normalformat fra Randers Tegl A/S.

I modellen anvendes en generisk tagsten, da der ikke foreligger specifikt LCA-data for den ønskede teglsten. Til produktionen af teglsten anvendes ler, sand, kalk, gips, vand og energi i form af naturgas, diesel og *light* og – *heavy fuel oil*. Desuden bruges strøm til drift af produktionen samt diesel til intern transport. Alle opstrøms processer i forbindelse med input til produktionen af teglsten, er inkluderet i LCA data.

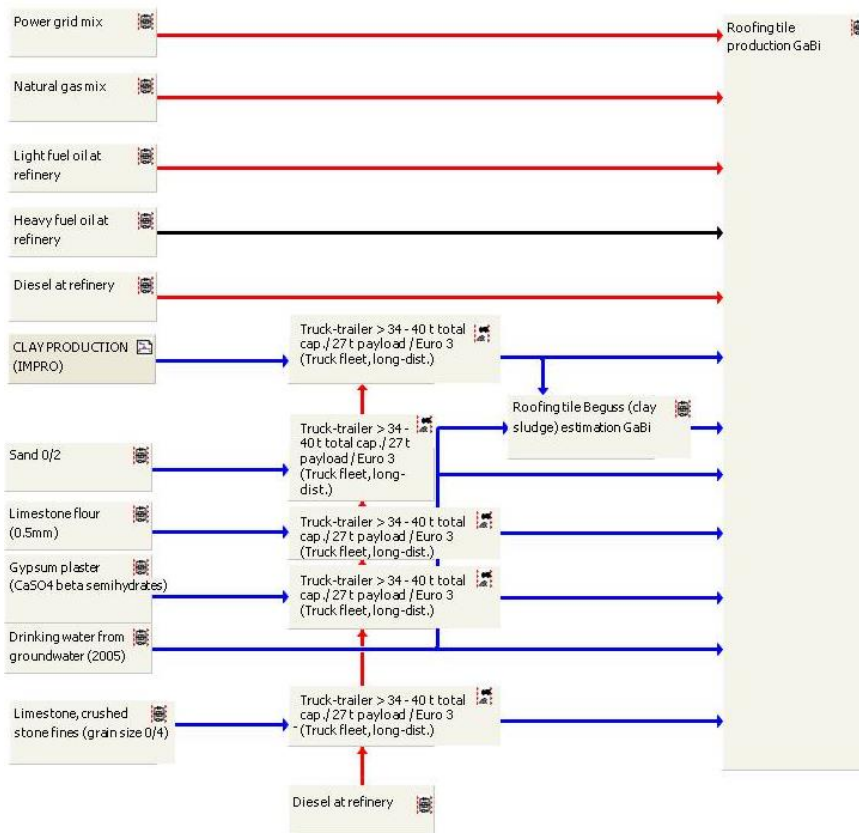
Til opbygning af 1 m<sup>2</sup> teglstenstag anvendes:

**Tabel 10 Materialeinput til montering af 1 m<sup>2</sup> teglsten**

Input	Mængde	Enhed
Bindere (rustfri stål)	0,21	[kg/m <sup>2</sup> ]
Afstandsliste (træ)	0,66	[kg/m <sup>2</sup> ]
Undertag (polypropylen)	0,15	[kg/m <sup>2</sup> ]
Teglsten	36,6	[kg/m <sup>2</sup> ]



Figur 6 GaBi model, tegltag



Figur 7 GaBi model, teglproduktion

### 3.3.5 Livscyklusfaser

Som beskrevet i afsnit 5, bygger nærværende miljøvurdering (udover ISO 14044 standarden for LCA) på kravene og strukturen i den europæiske standard EN 15804. Heri er livscyklusfaserne opdelt i en række undermoduler (EN15804, Figur 1), og typen af LCA angiver hvilke af disse der er medtaget i LCA. Nærværende miljøvurdering er udført som en "vugge-til-port" LCA, hvormed menes, at nedenstående tre undermoduler, A1, A2 og A3 er medtaget indenfor systemgrænserne.

- A1 – Udvinding og bearbejdning af råmaterialer
- A2 – Transport til produktionssted
- A3 – Fremstillingsprocessen



Denne produktfase i byggevarens livscyklus omfatter tilvejebringelsen af alle råmaterialer, produkter og energi, transport til produktionen, eventuel emballering samt affaldsbehandling frem til "end-of-waste" eller endelig bortskaffelse.

Nærværende miljøvurdering medtager altså ikke alle livscyklusfaserne, da dette ikke har været muligt indenfor projektets økonomiske og tidsmæssige rammer. Det er derfor vigtigt at pointere, at resultaterne angivet i denne rapport, udelukkende relaterer sig til tilvejebringelsen af de materialer der indgår i de forskellige tagkonstruktioner, og disse bør holdes op i mod produkternes levetider og potentiale for genbrug og genanvendelse samt miljøpåvirkningerne i forbindelse med bortskaffelse efter endt levetid.

### 3.4 CUT-OFF KRITERIER

---

De generelle regler for udeladelse af inputs og outputs i miljøvurderingen følger bestemmelserne i EN15804, 6.3.5, hvor den totale udeladelse af input flow pr. modul højst må være 5 % af energiforbrug og masse og højst 1 % for enhedsprocesser.

Derudover er, som beskrevet i afsnit 3.1, de materialer-input, som er fælles for alle tagtyperne, udeladt af miljøvurderingen.



## 4 Livscykluskortlægning (LCI)

### 4.1 ENHEDSPROCESSER

---

Enhedsprocesser er den mindste del af livscykluskortlægningen, for hvilken omfanget af input- og outputdata kvantificeres (ISO 14040 - 2006).

Der er anvendt LCA-data fra GaBi 6.3 samt data fra EcoInvent, hvilket fremgår af Tabel 11.

I det følgende er der gjort rede for enhedsprocesserne i de fire produktsystemer, "Tagrør – Danmark", "Tagrør – Kina", "Miscanthus – Danmark" samt "Teglsten".

Der er ikke indregnet miljøpåvirkninger fra transporten af inputmaterialerne til Miscanthus eller materialer til montering af nogle af tækkematerialerne eller teglstenen.

Det har ikke været muligt at finde eksakte LCA data for følgende input:

- Kaliumfosfat ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ), hvorfor der er benyttet LCA data for diammoniumfosfat.
- PE- plastbakke, hvorfor der er benyttet LCA-data for en PE flaske i stedet.
- Landbrugsmaskiner til dyrkning og høst af Miscanthus hhv. tagrør, er modelleret som forbrænding af diesel i en gammel lastbil.

Det skønnes at de anvendte LCA data repræsenterer enhedsprocesserne tilstrækkeligt, og at de enkelte processer ikke har stor indflydelse på resultaterne.



Tabel 11 Enhedsprocesser

System/fase	Enhedsproces	GaBi/EcoInvent datasæt	Link	Referenceår	Review	Kvalitet af datasæt
Tagrør – Danmark	Traktor	CH: transport, tractor and trailer (STRÅTAG)	EcoInvent	1991	Ja	-
Tagrør – Kina	Traktor	CH: transport, tractor and trailer (STRÅTAG)	EcoInvent	1991	Ja	-
	Lastbil	GLO: Truck PE (Euro 3)	<a href="#">GLO: Truck PE</a>	2012	Internt	God
	Skib	GLO: Container ship PE	<a href="#">GLO: Container ship PE</a>	2012	Internt	God
Miscanthus - gartneri	Kaliumnitrat (KNO <sub>3</sub> )	RER: potassium nitrate, as N, at regional storehouse	EcoInvent	1999	Ja	-
	Ammoniumnitrat (NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> )	RER: ammonium nitrate, as N, at regional storehouse	EcoInvent	1999	Ja	-
	Magnesiumsulfat (MgSO <sub>4</sub> )	RER: magnesium sulphate, at plant	EcoInvent	2000	Ja	-
	Kaliumphosphat (KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> )	RER: diammonium phosphate, as P2O5, at regional storehouse	EcoInvent	1999	Ja	-
	Jernsulfat (FeSO <sub>4</sub> )	RER: iron sulphate, at plant	EcoInvent	1993	Ja	-
	Plastbakke	RER: Polyethylene bottle (PE-LD) PlasticsEurope	<a href="#">RER: Polyethylene bottle (PE-LD)</a>	2005	Internt	-
	Spagnum	DK: Sphagnum production DTI	-	-	-	-
Miscanthus - markdrift	Fosfor + Nitrogen	RER: diammonium phosphate, as P2O5, at regional storehouse	EcoInvent	1999	Ja	-
	Nitrogen	RER: calcium ammonium nitrate, as N, at regional storehouse	EcoInvent	1999	Ja	-
	Kalium + Nitrogen	RER: potassium nitrate, as K2O, at regional storehouse	EcoInvent	1999	Ja	-
	Glyphosat	RER: glyphosate, at regional storehouse	EcoInvent	2000	Ja	-
	Kerb 400 SC Starane 180 S	RER: herbicides, at regional storehouse	EcoInvent	2000	Ja	-
	Traktor	GLO: Burning of diesel in diesel driven truck, 1980s, cargo PE	<a href="#">GLO: Burning of diesel in diesel driven truck</a>	2012	Internt	God
sMontering af tagrør og Miscanthus	Fiberdug	DE: Glass fleece (EN15804 A1-A3) PE	<a href="#">DE: Glass fleece</a>	2012	Internt	God
	Skruer	DE: Fixing material screws galvanized (EN15804 A1-A3) PE	<a href="#">DE: Fixing material screws galvanized</a>	2012	Internt	God
	Trådbindere	GLO: Steel wire rod worldsteel	<a href="#">GLO: Steel wire rod worldsteel</a>	2007	Internt	God
	Stangjern (Ø4mm)	GLO: Steel rebar worldsteel	<a href="#">GLO: Steel rebar worldsteel</a>	2007	Eksternt	God
Teglsten	Undertag	DE: Underroof membrane PP (EN15804 A1-A3) PE	<a href="#">DE: Underroof membrane PP</a>	2012	Internt	God
	Bindere	GLO: Steel wire rod worldsteel	<a href="#">GLO: Steel wire rod worldsteel</a>	2007	Internt	God
	Træliste	DE: Solid construction timber (softwood) (EN15804 A1-A3) PE	<a href="#">DE: Solid construction timber</a>	2012	Internt	God
	Teglsten	DE: Roof tile (EN15804 A1-A3) PE	<a href="#">DE: Roof tile</a>	2012	Internt	God
Diverse	Diesel	EU-27: Diesel mix at refinery PE	<a href="#">EU-27: Diesel mix at refinery PE</a>	2010	Internt	God
	Heavy fuel oil	EU-27: Heavy fuel oil at refinery (1,wt% S) PE	<a href="#">EU-27: Heavy fuel oil at refinery (1,wt% S)</a>			
	Transport	GLO: Burning of diesel in diesel driven truck, 1980s, cargo PE	<a href="#">GLO: Burning of diesel in diesel driven truck</a>	2012	Internt	God

## 4.2 DATA

I miljøvurderingen er der indsamlet specifikt data for alle de processer, der vedrører produktionen af tagrør og Miscanthus. Dette inkluderer blandt andet markoperationerne, som udføres af lokale producenter med begrænset registrering af detaljer omkring enkeltprocesser.

Inputdata til tækkematerialer er leveret af bl.a. Hans Brix, Aarhus Universitet, Uffe Jørgensen, Aarhus Universitet, Vitroform, Gefion samt litteratur fra Hamelin, et al. (2012) og [www.landbrugsinfo.dk](http://www.landbrugsinfo.dk). <http://www.dlbr.dk/>

I modellen er høstning af tagrør modelleret som afbrænding af diesel i en landbrugsmaskine.

## 4.3 LCI RESULTATER

### 4.3.1 LCI Input

	Miscanthus	Tagroer	Tagroer, Kina	Tegl
<b>Flows</b>	<b>1,96E+03</b>	<b>1,93E+03</b>	<b>3,06E+03</b>	<b>1,02E+04</b>
<b>Energy resources</b>	<b>1,39E+00</b>	<b>1,18E+00</b>	<b>1,03E+01</b>	<b>6,34E+00</b>
<b>Non renewable energy resources</b>	<b>1,39E+00</b>	<b>1,18E+00</b>	<b>1,03E+01</b>	<b>6,34E+00</b>
Crude oil (resource)	4,03E-01	3,38E-01	8,72E+00	7,50E-01
Hard coal (resource)	2,94E-01	2,27E-01	2,60E-01	6,35E-01
Lignite (resource)	2,93E-01	2,21E-01	2,68E-01	1,28E+00
Natural gas (resource)	3,96E-01	3,99E-01	1,04E+00	3,67E+00
Peat (resource)	2,72E-04	2,66E-04	1,30E-03	3,82E-04
Uranium (resource)	9,47E-06	6,39E-06	9,08E-06	3,62E-05
Renewable energy resources	2,52E-03	9,91E-06	9,91E-06	1,57E-05
<b>Land use</b>	<b>0,00E+00</b>	<b>0,00E+00</b>	<b>0,00E+00</b>	<b>0,00E+00</b>
Hemerobie ecoinvent	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Hemeroby	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Occupation	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Transformation	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
<b>Material resources</b>	<b>1,88E+03</b>	<b>1,84E+03</b>	<b>2,99E+03</b>	<b>1,02E+04</b>
<b>Non renewable elements</b>	<b>1,94E-01</b>	<b>7,93E-02</b>	<b>8,75E-02</b>	<b>1,41E-03</b>
Aluminium	1,49E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Antimony	1,78E-10	1,78E-10	2,09E-10	1,04E-09
Bromine	1,99E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Chromium	1,05E-03	5,89E-06	9,77E-06	3,26E-05
Cobalt	1,38E-07	1,54E-10	1,89E-10	8,89E-10
Copper	1,57E-03	1,24E-04	1,40E-04	1,97E-04
Fluorine	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Gallium	1,24E-12	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Gold	1,06E-07	4,62E-10	5,25E-10	2,70E-09
Indium	2,56E-09	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Iodine	1,04E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Iridium	2,84E-13	2,85E-13	3,49E-13	1,65E-12
Iron	9,26E-02	7,63E-02	8,18E-02	4,22E-04
Lead	1,56E-03	1,55E-03	1,66E-03	1,36E-04
Lithium	2,57E-12	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Magnesium	6,03E-09	-1,53E-08	-1,53E-08	2,68E-10
Manganese	9,06E-04	7,73E-04	8,45E-04	9,11E-05
Mercury	1,68E-10	1,60E-10	1,60E-10	2,71E-10
Molybdenum	3,22E-05	6,84E-06	7,01E-06	1,31E-05
Nickel	2,61E-03	-5,54E-07	-1,12E-06	-8,02E-06
Osmium	3,47E-13	3,48E-13	4,26E-13	2,01E-12
Palladium	4,60E-09	5,04E-12	6,18E-12	2,91E-11
Phosphorus	7,30E-02	6,70E-05	2,47E-03	4,63E-04
Platinum	5,56E-11	8,55E-12	1,05E-11	4,94E-11
Rare-earth metals	5,50E-06	5,50E-06	5,50E-06	9,47E-06
Rhenium	8,80E-12	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Rhodium	1,91E-11	8,55E-13	1,05E-12	4,94E-12
Ruthenium	1,68E-12	1,69E-12	2,07E-12	9,74E-12
Silicon	-9,99E-09	-9,20E-09	-9,17E-09	1,22E-08
Silver	7,87E-07	5,05E-07	5,40E-07	7,31E-08
Sulphur	5,07E-05	1,20E-07	1,20E-07	2,04E-07
Tantalum	1,11E-07	8,93E-09	1,08E-08	5,08E-08
Tellurium	1,39E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Tin	4,55E-06	9,92E-16	1,10E-15	5,80E-15
Titanium	1,07E-08	1,10E-08	4,33E-08	5,69E-08
Vanadium	4,25E-08	4,25E-08	4,72E-08	2,49E-07
Zinc	9,06E-04	5,22E-04	5,58E-04	5,62E-05



Zirconium	1,41E-07	8,33E-14	9,16E-14	4,88E-13
Non renewable resources	7,64E+00	6,32E+00	7,45E+00	8,45E+01
Antimonite	4,02E-12	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Barium sulphate	9,80E-04	2,64E-15	3,28E-14	7,21E-15
Basalt	8,87E-04	6,43E-04	6,43E-04	8,56E-04
Bauxite	1,17E-03	1,49E-03	1,54E-03	2,30E-03
Bentonite	1,03E-03	8,54E-04	1,00E-02	6,01E-03
Borax	1,48E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Cadmium ore	1,50E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Calcium chloride	2,40E-13	2,71E-13	3,35E-12	7,38E-13
Carbon, in organic matter, in soil	4,09E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Chalk (Calciumcarbonate)	2,95E-35	2,18E-37	2,18E-37	3,69E-37
Chrysotile	4,89E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Cinnabar	4,50E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Clay	5,86E-02	6,34E-03	7,18E-03	4,95E+01
Colemanite ore	1,25E-01	1,25E-01	1,25E-01	2,36E-05
(1,07% Cu; 0,54 g/t Au)	1,23E-06	1,42E-06	1,42E-06	2,12E-06
(0,51% Cu; 0,6 g/t Au; 1,5 g/t Ag)	3,55E-06	4,09E-06	4,09E-06	6,10E-06
(1,0% Cu; 0,4 g/t Au; 66 g/t Ag)	1,67E-06	2,25E-06	2,25E-06	2,87E-06
(1,1% Cu; 0,01 g/t Au; 2,86 g/t Ag)	1,92E-04	2,21E-04	2,21E-04	3,30E-04
(1,13% Cu; 1,05 g/t Au; 3,72 g/t Ag)	3,82E-05	4,40E-05	4,40E-05	6,58E-05
(1,16% Cu; 0,002 g/t Au; 1,06 g/t Ag)	1,08E-04	1,25E-04	1,25E-04	1,86E-04
(1,7% Cu; 0,7 g/t Au; 3,5 g/t Ag)	2,88E-06	3,32E-06	3,32E-06	4,96E-06
Copper - Molybdenum - Gold - Silver	1,50E-06	2,01E-06	2,01E-06	2,58E-06
(3,3% Cu; 5,5 g/t Ag)	1,99E-06	2,29E-06	2,29E-06	3,43E-06
Copper ore (1.2%)	1,73E-07	2,34E-07	2,34E-07	2,98E-07
Diatomite	3,87E-11	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Dolomite	1,13E-02	1,31E-02	1,31E-02	1,85E-02
Feldspar (aluminium silicates)	5,36E-10	9,25E-21	1,03E-20	5,41E-20
Ferro manganese	5,82E-09	1,80E-11	1,80E-11	3,06E-11
Fluorspar (calcium fluoride; fluorite)	5,88E-04	1,16E-05	3,27E-05	4,98E-05
Granite	3,60E-12	1,34E-18	1,35E-18	2,32E-18
Graphite	4,28E-10	4,29E-10	5,13E-10	2,48E-09
Gypsum (natural gypsum)	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,83E-02
Heavy spar (BaSO4)	6,07E-05	8,28E-05	8,28E-05	1,04E-04
Ilmenite (titanium ore)	2,81E-05	3,77E-05	3,84E-05	4,86E-05
Inert rock	4,80E+00	4,88E+00	5,86E+00	2,18E+01
Iron ore (56,86%)	1,73E-01	1,78E-01	1,78E-01	2,71E-01
Kaolin ore	2,25E-01	2,25E-01	2,25E-01	6,62E-04
Kaolinite (24% in ore as mined)	3,13E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Kieserite (25% in ore as mined)	5,55E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Limestone (calcium carbonate)	4,99E-01	2,46E-01	2,86E-01	1,12E+00
Magnesit (Magnesium carbonate)	2,68E-04	2,59E-05	3,42E-05	1,49E-04
Magnesium chloride leach (40%)	7,29E-04	7,33E-04	8,96E-04	2,50E-03
Manganese ore	5,78E-08	7,56E-08	7,55E-08	9,96E-08
Manganese ore (R.O.M.)	1,53E-03	1,99E-03	1,99E-03	2,63E-03
Metamorphic stone, containing graphite	2,08E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Molybdenite (Mo 0,24%)	9,15E-07	1,22E-06	1,22E-06	1,57E-06
Natural Aggregate	5,18E-01	0,00E+00	0,00E+00	5,61E-01
Nickel ore (1,5%)	6,55E-05	7,88E-05	7,88E-05	1,13E-04
Nickel ore (1.6%)	3,17E-05	3,78E-05	3,78E-05	5,45E-05
Olivine	6,97E-08	1,86E-10	1,86E-10	3,16E-10
Peat ecoinvent	1,45E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Phosphate ore	1,37E-10	1,78E-10	1,78E-10	2,36E-10
Phosphorus ore (29% P2O5)	1,63E-05	1,68E-05	1,68E-05	2,81E-05
Potashsalt, crude (hard salt, 10% K2O)	4,07E-03	6,56E-03	9,50E-02	1,35E-02
Potassium chloride	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Precious metal ore (R.O.M)	7,46E-07	9,03E-07	9,03E-07	1,28E-06
Pyrite	5,53E-09	5,53E-09	5,53E-09	9,79E-10
Quartz sand (silica sand; silicon dioxide)	2,21E-01	2,21E-01	2,22E-01	6,84E-03
Raw pumice	9,12E-07	9,16E-07	1,26E-06	4,34E-06
Rutile (titanium ore)	1,07E-12	3,13E-37	3,13E-37	5,30E-37
Sand	4,40E-06	6,79E-09	6,79E-09	1,15E-08
Slate	1,87E-07	6,86E-13	6,86E-13	1,16E-12
Sodium chloride (rock salt)	3,98E-02	2,16E-02	2,47E-02	3,97E-02
Sodium nitrate	6,47E-11	2,96E-21	7,00E-21	1,53E-20
Sodium sulphate	1,26E-04	2,81E-09	2,81E-09	4,22E-09
Soil	3,90E-01	3,90E-01	3,97E-01	1,12E+01
Stone from mountains	7,57E-04	7,60E-04	8,70E-04	1,40E-03
Sulphur (bonded)	3,16E-08	3,44E-12	3,44E-12	4,72E-12
Sylvite (25% in Sylvinit)	5,57E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Talc	4,28E-07	0,00E+00	2,29E-10	1,07E-08
Tin ore	2,97E-07	2,97E-07	3,50E-07	1,74E-06
Titanium dioxide	2,45E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00



Titanium ore	2,84E-05	3,99E-05	3,99E-05	4,89E-05
Ulexite	1,06E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Vanadium ore (ROM)	3,23E-03	3,60E-03	3,60E-03	5,56E-03
Vermiculite	1,51E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Zinc - lead - copper ore (12%-3%-2%) (8,54% Zn; 5,48% Pb; 94 g/t Ag)	2,08E-06	0,00E+00	0,00E+00	3,58E-06
	1,08E-06	1,25E-06	1,25E-06	1,86E-06
Renewable resources	1,88E+03	1,84E+03	2,98E+03	1,02E+04
Water	1,86E+03	1,82E+03	2,96E+03	1,01E+04
Air	1,76E+01	1,77E+01	2,02E+01	2,89E+01
Carbon dioxide	1,73E-01	1,66E-01	5,85E-01	1,88E+00
Nitrogen	4,47E-04	4,24E-08	4,24E-08	7,38E-08
Oxygen	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Emissions to air	7,81E+01	8,66E+01	5,74E+01	0,00E+00
Inorganic emissions to air	7,81E+01	8,66E+01	5,74E+01	0,00E+00
Carbon dioxide	7,81E+01	8,66E+01	5,74E+01	0,00E+00
Emissions to fresh water	0,00E+00	2,13E+00	2,13E+00	0,00E+00
Inorganic emissions to fresh water	0,00E+00	2,13E+00	2,13E+00	0,00E+00
Nitrogen	0,00E+00	1,56E+00	1,56E+00	0,00E+00
Phosphorus	0,00E+00	5,20E-02	5,20E-02	0,00E+00
Potassium	0,00E+00	5,20E-01	5,20E-01	0,00E+00

#### 4.3.2 LCI Output

	Miscanthus	Tagroer	Tagroer, Kina	Tegl
Flows	1,92E+03	1,92E+03	3,13E+03	1,07E+04
Resources	7,22E-01	8,82E-01	8,82E-01	1,24E+00
Energy resources	1,48E-03	1,54E-03	1,54E-03	2,54E-03
Land use	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Material resources	7,21E-01	8,80E-01	8,80E-01	1,24E+00
Deposited goods	5,48E+00	5,55E+00	6,56E+00	3,31E+01
Radioactive waste	1,14E-03	1,15E-03	1,63E-03	6,49E-03
High radioactive waste	1,43E-06	1,45E-06	2,15E-06	8,14E-06
Low radioactive wastes	2,27E-05	2,27E-05	3,18E-05	1,31E-04
Medium radioactive wastes	1,16E-05	1,17E-05	1,60E-05	6,70E-05
Radioactive tailings	1,10E-03	1,11E-03	1,58E-03	6,28E-03
Stockpile goods	5,48E+00	5,55E+00	6,56E+00	3,31E+01
Demolition waste (deposited)	4,97E-11	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Hazardous waste (deposited)	2,87E-03	2,88E-03	3,46E-03	1,67E-02
Overburden (deposited)	5,14E+00	5,21E+00	6,16E+00	3,29E+01
Spoil (deposited)	4,91E-03	5,09E-03	2,48E-02	1,59E-01
Tailings (deposited)	1,02E-01	1,02E-01	1,26E-01	2,05E-02
Waste (deposited)	2,28E-01	2,29E-01	2,45E-01	4,91E-02
Emissions to air	3,04E+01	3,27E+01	1,92E+02	1,05E+02
ecoinvent long-term to air	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Radon (Rn222)	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Heavy metals to air	4,55E-05	1,85E-05	2,68E-05	7,10E-06
Antimony	6,67E-08	1,13E-08	1,43E-08	2,45E-08
Arsenic (+V)	5,08E-07	5,46E-08	1,74E-07	1,15E-07
Arsenic trioxide	2,09E-11	2,09E-11	2,24E-11	1,79E-12
Cadmium (+II)	2,43E-07	1,32E-08	4,70E-08	2,59E-08
Chromium (+III)	1,48E-09	1,48E-09	1,82E-09	3,89E-09
Chromium (+VI)	9,29E-08	4,43E-14	4,76E-14	1,55E-14
Chromium (unspecified)	3,97E-06	2,72E-07	5,53E-07	1,52E-07
Cobalt	2,68E-07	9,09E-09	7,54E-08	2,34E-08
Copper (+II)	2,08E-06	3,18E-07	5,34E-07	1,36E-07
Heavy metals to air (unspecified)	2,05E-09	2,06E-09	2,95E-09	1,16E-08
Hydrogen arsenic (arsine)	1,73E-09	1,73E-09	1,86E-09	1,49E-10
Iron	9,49E-06	4,99E-06	6,17E-06	6,51E-07
Lanthanides	7,31E-14	9,10E-14	9,12E-14	1,26E-13
Lead (+II)	5,39E-06	3,90E-06	4,59E-06	1,21E-06
Manganese (+II)	7,18E-06	6,91E-06	7,47E-06	8,96E-07
Mercury (+II)	9,39E-08	5,24E-08	2,28E-07	1,16E-07
Molybdenum	6,31E-08	3,94E-09	6,45E-08	8,38E-09
Nickel (+II)	3,05E-06	1,38E-07	2,09E-06	2,17E-07
Palladium	6,64E-18	7,49E-18	9,28E-17	2,04E-17
Platinum	7,85E-14	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Rhodium	6,41E-18	7,23E-18	8,96E-17	1,97E-17
Selenium	1,96E-07	1,01E-07	1,98E-07	4,48E-07
Silver	4,62E-09	4,20E-09	4,61E-09	2,24E-08
Tellurium	-1,31E-11	-1,28E-11	1,54E-11	2,97E-11
Thallium	2,14E-09	1,61E-09	1,81E-09	2,12E-10
Tin (+IV)	1,13E-07	3,71E-08	7,56E-08	1,57E-07
Titanium	3,51E-07	9,62E-08	1,03E-07	7,21E-09



Tungsten	1,04E-09	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Vanadium (+III)	8,24E-06	2,40E-07	2,47E-06	4,25E-07
Zinc (+II)	4,10E-06	1,30E-06	1,91E-06	2,45E-06
Zirconium (Zr)	2,96E-10	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Inorganic emissions to air	2,18E+01	2,42E+01	1,82E+02	8,08E+01
Ammonia	3,59E-03	2,68E-04	1,41E-03	2,59E-04
Ammonium	1,02E-05	1,02E-05	1,02E-05	4,36E-09
Ammonium carbonate	5,80E-10	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Ammonium nitrate	1,28E-14	1,69E-14	1,70E-14	2,21E-14
Argon	6,87E-07	6,88E-07	7,74E-07	4,02E-06
Barium	3,04E-07	2,55E-07	4,18E-07	8,49E-07
Beryllium	1,88E-09	9,88E-10	1,90E-09	3,11E-09
Boron	1,99E-06	1,71E-11	1,83E-11	8,66E-13
Boron compounds (unspecified)	1,46E-06	1,48E-06	2,02E-06	8,10E-06
Boron trifluoride	2,64E-16	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Bromine	5,43E-07	3,42E-07	4,77E-07	1,65E-06
Carbon dioxide	4,03E+00	2,84E+00	3,20E+01	1,55E+01
Carbon dioxide (biotic)	1,88E-01	1,77E-01	6,09E-01	7,60E-01
Carbon dioxide, land transformation	4,10E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Carbon disulphide	9,53E-06	1,17E-11	1,17E-11	1,76E-11
Carbon monoxide	1,06E-02	9,74E-03	7,92E-02	2,90E-02
Carbon monoxide (biotic)	4,14E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Chloride (unspecified)	4,99E-07	6,46E-07	2,01E-05	1,01E-06
Chlorine	3,31E-05	1,44E-06	1,49E-06	8,66E-07
Cyanide (unspecified)	1,93E-07	1,52E-08	3,98E-07	2,32E-08
Fluoride	3,15E-07	3,47E-07	1,39E-06	1,37E-06
Fluorine	2,12E-07	3,16E-10	4,40E-10	1,82E-09
Helium	4,31E-07	4,51E-10	4,65E-10	1,02E-09
Hexafluorosilicates	3,91E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Hydrogen	3,71E-05	1,56E-05	3,51E-05	8,13E-06
Hydrogen bromine (hydrobromic acid)	7,70E-12	9,08E-12	1,09E-11	4,32E-11
Hydrogen chloride	8,72E-05	5,22E-05	7,07E-05	2,41E-03
Hydrogen cyanide (prussic acid)	3,27E-09	3,30E-09	3,41E-09	1,06E-09
Hydrogen fluoride	1,94E-05	3,35E-06	4,53E-06	1,94E-03
Hydrogen iodide	1,22E-18	1,47E-15	1,47E-15	6,72E-18
Hydrogen peroxide	4,44E-09	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Hydrogen phosphorous	7,47E-12	6,14E-12	7,02E-12	3,13E-11
Hydrogen sulphide	8,34E-05	7,82E-05	1,44E-04	3,91E-04
Iodine	1,13E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Isocyanide acid	7,82E-09	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Lead dioxide	9,58E-14	1,25E-13	1,28E-13	1,91E-13
Magnesium	1,20E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Nitrate	3,12E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Nitrogen (atmospheric nitrogen)	1,11E-03	1,11E-03	1,50E-03	4,46E-03
Nitrogen dioxide	5,87E-04	6,48E-04	5,32E-03	9,55E-06
Nitrogen monoxide	8,27E-03	8,27E-03	6,94E-02	9,72E-05
Nitrogen oxides	1,05E-02	7,24E-03	5,07E-01	2,42E-02
Nitrogen trifluoride	1,30E-11	1,31E-11	1,53E-11	7,59E-11
Nitrous oxide (laughing gas)	5,46E-03	1,40E-03	2,19E-03	2,09E-04
Oxygen	1,59E-02	1,60E-02	2,05E-02	9,39E-01
Ozone	1,94E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Phosphorus	2,06E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Scandium	9,52E-09	4,47E-14	4,48E-14	6,15E-14
Silicium tetrafluoride	4,62E-10	2,39E-12	2,79E-12	1,39E-11
Sodium chlorate	5,02E-09	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Sodium dichromate	7,08E-10	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Sodium formate	7,88E-11	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Sodium hydroxide	1,66E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Strontium	7,69E-08	1,75E-12	1,76E-12	2,43E-12
Sulphate	1,52E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Sulphur	1,66E-09	1,67E-09	2,33E-09	9,61E-09
Sulphur dioxide	1,41E-02	7,25E-03	3,41E-01	1,52E-02
Sulphur hexafluoride	2,57E-08	1,16E-11	1,18E-11	1,60E-11
Sulphur trioxide	2,45E-06	1,82E-09	2,10E-09	1,06E-08
Sulphuric acid	9,61E-08	9,27E-08	9,93E-08	8,71E-09
Tin oxide	7,76E-15	1,03E-14	1,03E-14	1,34E-14
Water (evapotranspiration)	1,29E+01	1,64E+01	1,41E+02	3,59E+01
Water vapour	4,61E+00	4,65E+00	7,01E+00	2,76E+01
Zinc chloride	2,56E-19	2,82E-19	1,29E-18	1,10E-18
Zinc oxide	1,55E-14	2,06E-14	2,06E-14	2,67E-14
Zinc sulphate	3,64E-08	3,65E-08	3,90E-08	3,13E-09
Organic emissions to air (group VOC)	2,41E-02	2,14E-02	7,93E-02	4,49E-02
Other emissions to air	8,48E+00	8,54E+00	1,03E+01	2,44E+01
Particles to air	8,96E-03	7,66E-03	2,14E-02	2,32E-03



Pesticides to air	6,40E-13	6,40E-13	6,40E-13	6,86E-11
Radioactive emissions to air	6,24E-08	8,44E-10	8,44E-10	1,15E-09
Emissions to fresh water	1,88E+03	1,88E+03	2,93E+03	1,05E+04
Analytical measures to fresh water	1,46E-02	8,90E-03	1,05E-02	5,26E-03
ecoinvent long-term to fresh water	9,58E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Heavy metals to fresh water	6,60E-04	4,68E-04	6,90E-04	2,57E-03
Inorganic emissions to fresh water	5,26E-01	5,73E-02	9,24E-01	1,50E-01
Organic emissions to fresh water	1,03E-03	3,61E-04	2,62E-03	8,58E-04
Other emissions to fresh water	1,79E+03	1,80E+03	2,81E+03	1,00E+04
Particles to fresh water	1,20E-02	1,23E-02	4,74E-02	2,03E-02
Radioactive emissions to fresh water	8,90E+01	8,06E+01	1,16E+02	4,54E+02
Emissions to sea water	2,75E+00	2,25E+00	5,05E+00	2,28E+01
Analytical measures to sea water	7,69E-04	1,53E-05	2,86E-04	6,72E-05
Heavy metals to sea water	4,90E-05	1,28E-06	3,14E-05	3,20E-06
Inorganic emissions to sea water	5,29E-01	1,01E-02	2,60E-01	2,31E-02
Organic emissions to sea water	1,15E-04	5,99E-06	1,54E-04	1,37E-05
Other emissions to sea water	2,22E+00	2,24E+00	4,79E+00	2,27E+01
Particles to sea water	6,16E-04	3,84E-04	2,51E-03	3,02E-03
Radioactive emissions to sea water	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Emissions to agricultural soil	2,37E-01	2,41E-05	9,22E-05	1,23E-05
Heavy metals to agricultural soil	7,01E-06	2,41E-05	9,22E-05	1,23E-05
Inorganic emissions to agricultural soil	2,36E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Organic emissions to agricultural soil	5,35E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Other emissions to agricultural soil	4,39E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Pesticides to agricultural soil	1,25E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Different pollutants	4,27E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Emissions to industrial soil	6,24E-04	3,86E-05	7,87E-05	8,06E-05
Heavy metals to industrial soil	1,08E-04	1,21E-07	1,27E-07	1,18E-07
Inorganic emissions to industrial soil	1,50E-04	3,82E-05	7,83E-05	8,01E-05
Organic emissions to industrial soil	3,28E-04	2,45E-07	2,46E-07	3,43E-07
Carbon (unspecified)	1,50E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Oil (unspecified)	3,13E-04	2,45E-07	2,46E-07	3,43E-07
Polycyclic aromatic hydrocarbons (unspecified)	5,97E-11	6,12E-11	6,97E-11	3,10E-10
Other emissions to industrial soil	3,76E-05	2,73E-18	3,00E-18	1,60E-17
Pesticides to industrial soil	5,14E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Different pollutants	3,75E-05	2,73E-18	3,00E-18	1,60E-17
Waste heat	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

## 5 Vurdering af potentielle miljøpåvirkninger (LCIA)

### 5.1 VALG AF PÅVIRKNINGSKATEGORIER OG KATEGORIINDIKATORER

Ved valg af påvirkningskategorier og kategoriindikatorer, er det valgt at tage udgangspunkt i bestemmelserne i den Europæiske standard for miljøvaredeklarationer for byggevarer EN 15804. Denne anvender nedenstående syv påvirkningskategorier beregnet på baggrund af CML's karakteriseringsfaktorer.

Til beregning af LCIA resultater er karakteriseringsmodellen CML 2001 – Apr. 2013 anvendt sammen med GaBi 6.3 til klassificering og karakterisering af input- og output flows, jf. EN 15804 6.5 samt Annex C. Følgende miljøpåvirkningskategorier beregnes:

- Global warming (GWP)
- Ozone depletion (ODP)
- Acidification for soil and water (AP)
- Eutrophication (EP)
- Photochemical ozone creation (POCP)
- Depletion of abiotic resources-elements (ADPe)
- Depletion of abiotic resources-fossil fuels (ADPf)

Desuden beregnes det samlede primære energiforbrug fordelt på fornybare og ikke-fornybare ressourcer [MJ].

Til beregning af *Nettoforbruget af ferskvand* anvendes GaBi kvantiteten *Blue Water Consumption* jf. anbefaling fra PE International.

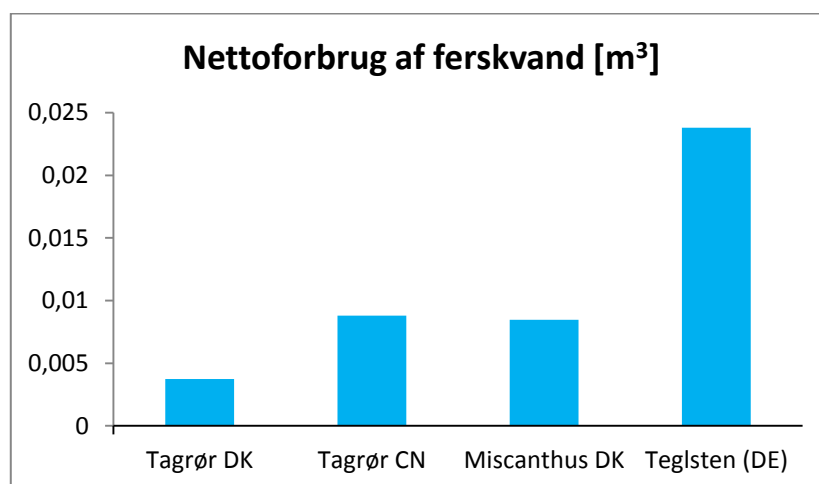
## 6 Resultater af miljøvurderingen

### 6.1 VURDERING AF MILJØPÅVIRKNINGER

I Tabel 12 angives LCIA og LCI resultaterne for en m<sup>2</sup> af de fire produktsystemer. På Figur 8 til Figur 16 ses de forskellige resultater, hvor det er muligt at se, hvilket produktsystem har den højeste påvirkning i de enkelte kategorier. Derudover viser Figur 17 miljøpåvirkningerne i de fire produktsystemer, fordelt på de processer der bidrager. Højeste bidrag i hver kategori for hvert af de fire produktsystemer er markeret med rødt, og de laveste bidrag er markeret med grønt.

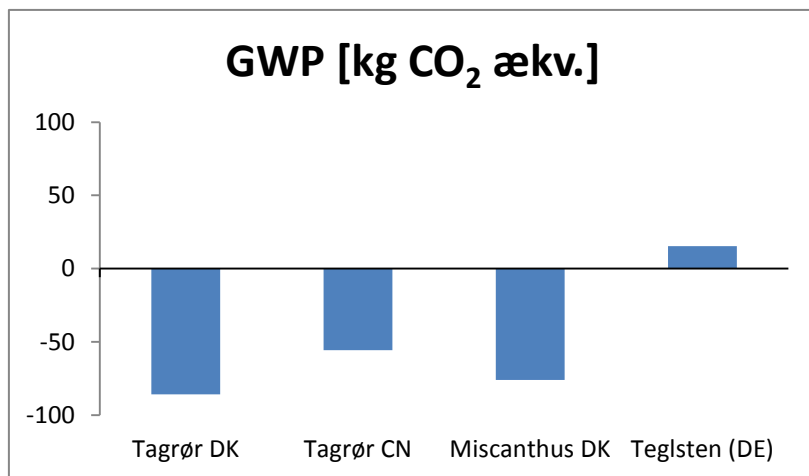
**Tabel 12 Potentielle miljøpåvirkninger og ressourceforbrug for de fire produktsystemer per m<sup>2</sup> tag**

Parameter	Enhed	Tagrør DK [m <sup>2</sup> ]	Tagrør CN [m <sup>2</sup> ]	Miscanthus DK [m <sup>2</sup> ]	Teglsten (DE) [m <sup>2</sup> ]
Global opvarmning (GWP)	[kg CO <sub>2</sub> ækv.]	-8,59E+01	-5,56E+01	-7,62E+01	1,53E+01
Nedbrydning af ozonlaget (ODP)	[kg R11 ækv.]	1,63E-09	1,75E-09	8,17E-09	2,45E-09
Forsuring af jord og vand (AP)	[kg SO <sub>2</sub> ækv.]	1,96E-02	7,20E-01	3,43E-02	3,60E-02
Eutrofiering (EP)	[kg (PO <sub>4</sub> ) <sup>3-</sup> ækv.]	-8,11E-01	-7,32E-01	1,14E-01	3,64E-03
Troposfærisk ozondannelse (POCP)	[kg Ethen ækv.]	5,71E-04	1,52E-02	1,10E-03	5,38E-03
Udtynding af abiotiske ikke-fossile ressourcer (ADPe)	[kg Sb ækv.]	9,70E-05	9,79E-05	1,08E-04	3,36E-06
Udtynding af abiotiske fossile ressourcer (ADPf)	[MJ]	4,04E+01	4,24E+02	5,50E+01	2,25E+02
Samlet forbrug af vedvarende primære energiresourcer	[MJ]	2,85E+00	8,23E+00	3,19E+00	2,44E+01
Samlet forbrug af ikke-vedvarende primære energiresourcer	[MJ]	4,33E+01	4,29E+02	5,95E+01	2,42E+02
Nettoforbrug af ferskvand	[m <sup>3</sup> ]	3,75E-03	8,80E-03	8,14E-03	2,38E-02

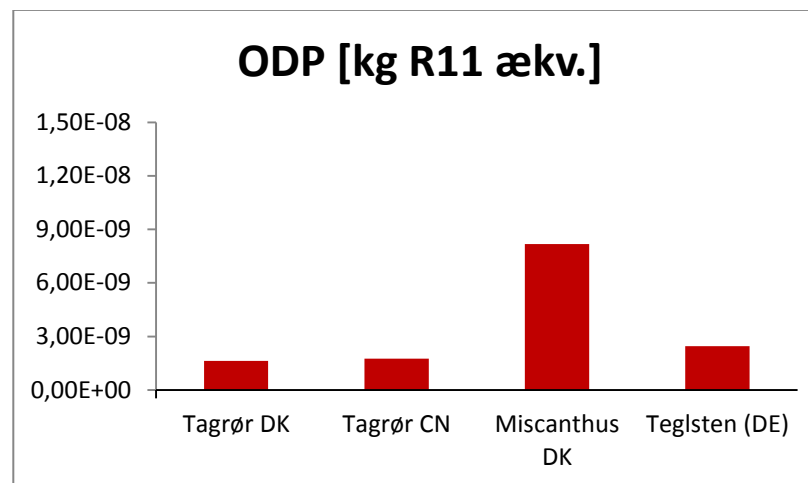


**Figur 8 Nettoforbrug af ferskvand**

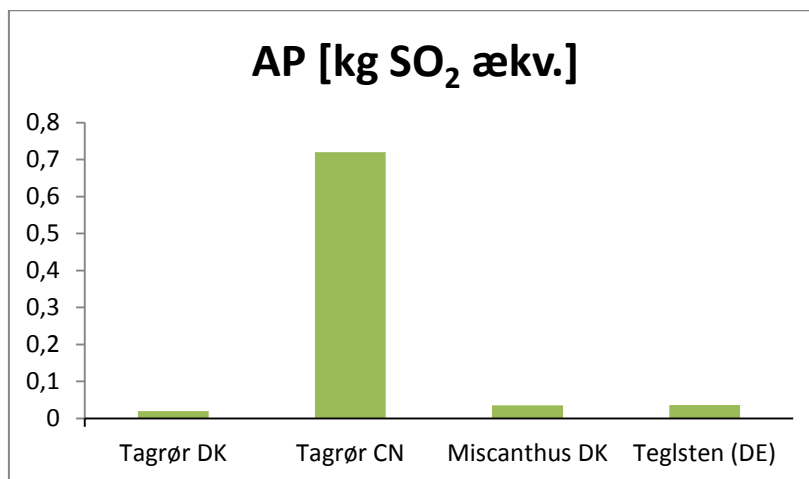




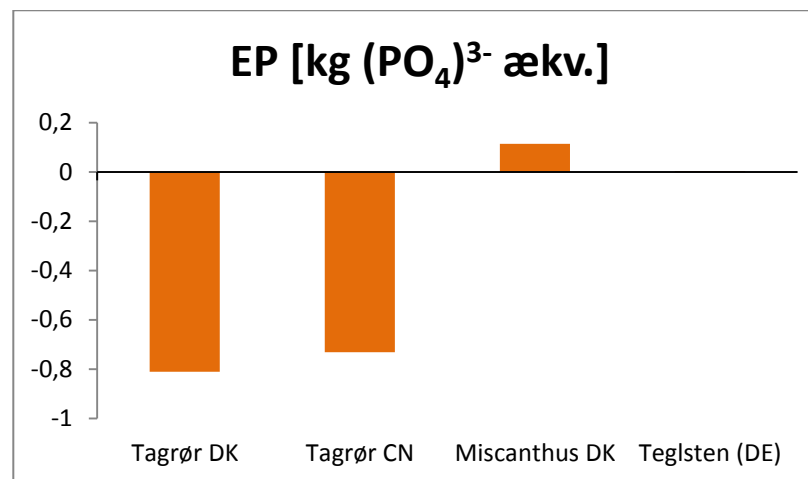
Figur 9 Global opvarmning



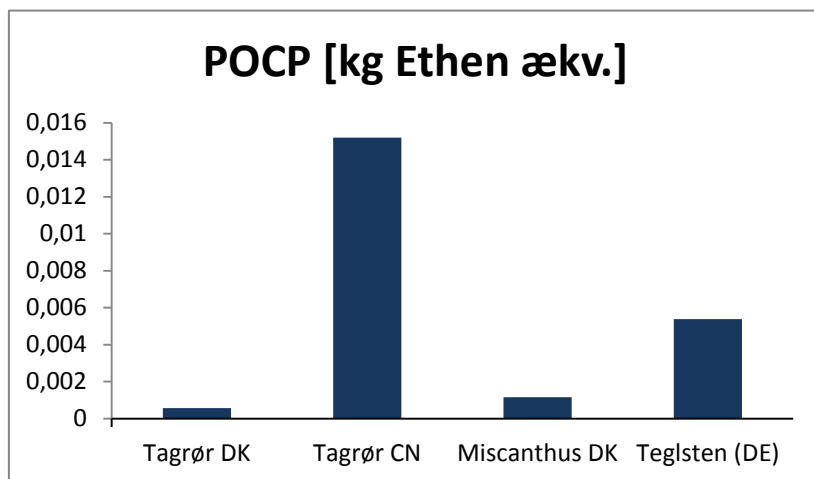
Figur 10 Nedbrydning af ozonlaget



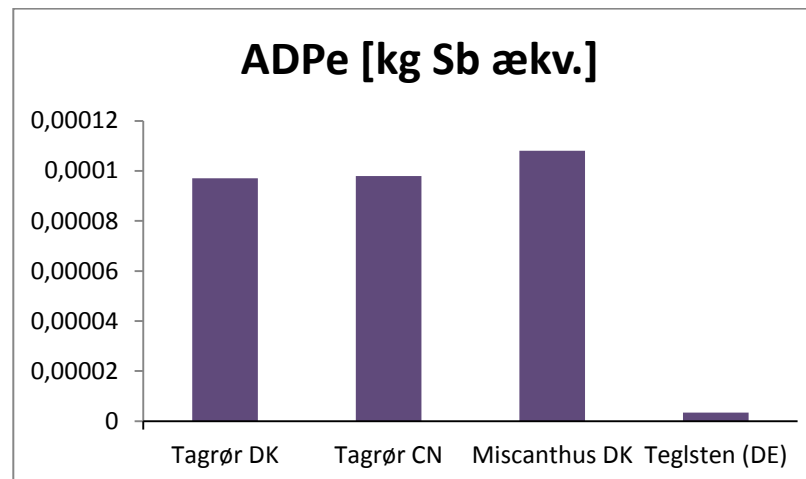
Figur 11 Forsuring af jord og vand



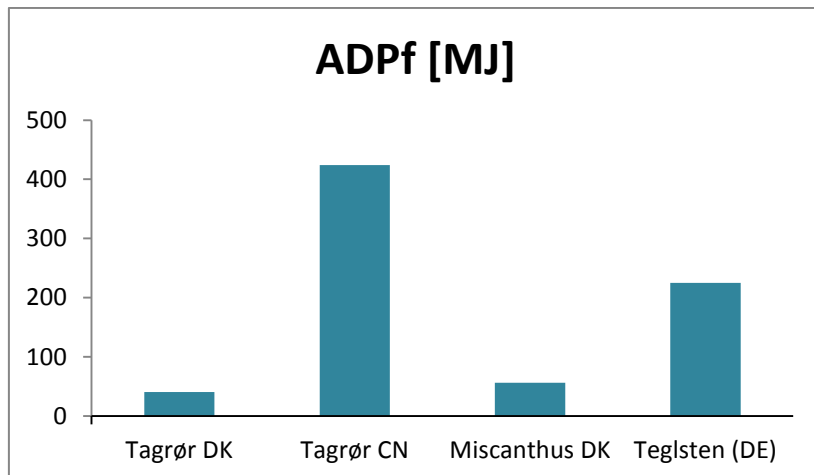
Figur 12 Eutrofiering



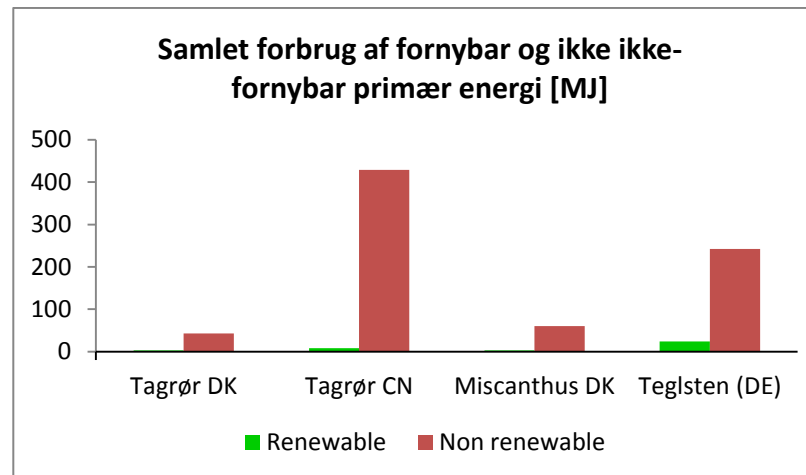
Figur 13 Troposfærisk ozondannelse



Figur 14 Udtydning af abiotiske ikke-fossile ressourcer



Figur 15 Udtydning af abiotiske fossile ressourcer



Figur 16 Samlet forbrug af fornybar og ikke-fornybar primær energi

	Miscanthus DK 1 m2	DE: Fixing material screws galvanized (EN15804 A1-A3) PE	DE: Glass fleece (EN15804 A1-A3) PE	DK: Sphagnum productio n DTI <-u- so>	EU-27: Diesel mix at refinery PE	GLO: Burning of diesel driven truck, 1980s, cargo PE <-u-so>	GLO: Steel rebar ELCD/Eur ofer	GLO: Steel wire rod worldsteel <-u-so>	Miscanthus (DK) DTI e (Copy)	RER: ammonium nitrate, as N, at regional storehouse (Copy)	RER: calcium ammonium phosphate, as P2O5, at regional storehouse (Copy)	RER: diammoniu m phosphate, as P2O5, at regional storehouse (Copy)	RER: diammoniu m phosphate, as P2O5, at regional storehouse (Copy)	RER: glyphosat e, at regional storehouse (Copy)	RER: herbicides, at regional storehouse (Copy)	RER: iron sulphate, at plant (Copy)	RER: magnesium sulphate, at plant (Copy)	RER: Polyethyle ne bottle (PE-LD) PlasticsEu rope	RER: potassium nitrate, as K2O, at regional storehouse (Copy)	RER: potassium nitrate, as N, at regional storehouse (Copy)
GWP [kg CO2-Equiv.]	-7,61E+01	1,75E-01	2,15E+00	3,05E-01	6,50E-02	6,27E-01	3,10E-02	2,64E-01	-8,22E+01	5,02E-04	1,84E+00	1,32E-05	2,23E-01	4,88E-02	2,95E-02	2,03E-07	1,48E-05	2,11E-02	2,56E-01	1,39E-02
ODP [kg R11-Equiv.]	1,01E-08	4,85E-12	4,95E-11		3,29E-12			1,24E-09		8,16E-13	3,15E-09	7,57E-14	1,27E-09	3,65E-10	2,27E-09	2,30E-15	1,57E-13		1,77E-09	1,92E-11
AP [kg SO2-Equiv.]	3,47E-02	5,58E-04	9,94E-03		7,30E-04	5,48E-03	9,73E-05	6,98E-04	3,32E-03	1,42E-06	6,14E-03	3,76E-07	6,32E-03	1,99E-04	3,70E-04	1,09E-09	7,37E-08	1,15E-04	7,22E-04	3,62E-05
EP [kg Phosphate-Equiv.]	1,14E-01	4,94E-05	1,21E-03		8,41E-05	1,44E-03	6,32E-06	4,68E-05	9,99E-02	7,27E-07	2,92E-03	4,70E-07	7,89E-03	2,97E-04	9,04E-05	8,15E-10	4,92E-08	6,13E-06	3,58E-04	1,90E-05
POCP [kg Ethene-Equiv.]	1,15E-03	7,25E-05	3,17E-03		9,06E-05	-2,49E-03	1,56E-05	9,65E-05	-5,75E-04	7,60E-08	2,89E-04	1,80E-08	3,02E-04	3,33E-05	2,76E-05	7,58E-11	4,85E-09	1,19E-05	1,00E-04	1,78E-06
ADPe [kg Sb-Equiv.]	1,11E-04	1,08E-05	8,63E-05		2,59E-08		-4,31E-08	7,97E-08		1,33E-09	5,52E-06	1,02E-10	1,71E-06	3,86E-07	3,69E-06	4,29E-12	4,98E-12	1,59E-09	2,73E-06	3,14E-08
ADPf [MJ]	5,59E+01	1,85E+00	2,25E+01		9,49E+00		3,20E-01	2,62E+00		2,99E-03	1,10E+01	1,49E-04	2,51E+00	7,25E-01	4,43E-01	2,30E-06	1,70E-04	5,50E-01	3,80E+00	6,75E-02

	Tagroer 1 m2	CH: transport, tractor and trailer (STRÁTA G) <-u-so>	DE: Fixing material screws galvanized (EN15804 A1-A3) PE	DE: Glass fleece (EN15804 A1-A3) PE	DK: Tagrør, vækst+mar koperation er DTI <-p-agg>	EU-27: Diesel mix at refinery PE	EU-27: Diesel mix cargo PE <-u-so>	GLO: Burning of diesel driven truck, 1980s, cargo PE rebar worldsteel	GLO: Steel wire rod worldsteel
GWP [kg CO2-Equiv.]	-8,59E+01	1,07E-01	1,75E-01	2,15E+00	-8,94E+01	8,91E-02	7,50E-01	3,74E-02	2,64E-01
ODP [kg R11-Equiv.]	1,63E-09		4,85E-12	4,95E-11		4,51E-12		3,34E-10	1,24E-09
AP [kg SO2-Equiv.]	1,96E-02	7,05E-04	5,58E-04	9,94E-03		1,00E-03	6,56E-03	1,07E-04	6,98E-04
EP [kg Phosphate-Equiv.]	-8,11E-01	1,74E-04	4,94E-05	1,21E-03	-8,14E-01	1,15E-04	1,73E-03	8,43E-06	4,68E-05
POCP [kg Ethene-Equiv.]	5,71E-04	7,08E-05	7,25E-05	3,17E-03		1,24E-04	-2,98E-03	1,65E-05	9,65E-05
ADPe [kg Sb-Equiv.]	9,70E-05		1,08E-05	8,63E-05		3,55E-08		-1,48E-07	7,97E-08
ADPf [MJ]	4,04E+01		1,85E+00	2,25E+01		1,30E+01		4,09E-01	2,62E+00

	Tagroer 1 m2 Kina	CH: transport, tractor and trailer (STRÁTA G) <-u-so>	CN: Tagrør, vækst+mar koperation er DTI <-p-agg>	DE: Fixing material screws galvanized (EN15804 A1-A3) PE	DE: Glass fleece (EN15804 A1-A3) PE	DK: Tagrør, vækst+mar koperation er DTI <-p-agg>	EU-27: Diesel mix at refinery PE	EU-27: Diesel mix at refinery (10wt.%S) PE	EU-27: Heavy fuel oil at refinery (10wt.%S) cargo PE <-u-so>	GLO: Burning of diesel driven truck, 1980s, cargo PE <-u-so>	GLO: Container ship PE <-u-so>	GLO: Steel rebar worldsteel	GLO: Steel wire rod worldsteel	GLO: Truck PE <-u-so>
GWP [kg CO2-Equiv.]	-5,56E+01	1,07E-01	-8,94E+01	1,75E-01	2,15E+00	-8,94E+01	8,91E-02	8,53E-01	2,51E+00	7,50E-01	1,87E+01	3,74E-02	2,64E-01	8,18E+00
ODP [kg R11-Equiv.]	1,75E-09			4,85E-12	4,95E-11		4,51E-12	4,32E-11	7,47E-11			3,34E-10	1,24E-09	
AP [kg SO2-Equiv.]	7,20E-01	7,05E-04		5,58E-04	9,94E-03		1,00E-03	9,58E-03	1,73E-02	6,56E-03	6,25E-01	1,07E-04	6,98E-04	4,89E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	-7,32E-01	1,74E-04	-8,14E-01	4,94E-05	1,21E-03		1,15E-04	1,10E-03	8,42E-04	1,73E-03	6,40E-02	8,43E-06	4,68E-05	1,29E-02
POCP [kg Ethene-Equiv.]	1,52E-02	7,08E-05		7,25E-05	3,17E-03		1,24E-04	1,19E-03	2,58E-03	-2,98E-03	3,55E-02	1,65E-05	9,65E-05	-2,47E-02
ADPe [kg Sb-Equiv.]	9,79E-05			1,08E-05	8,63E-05		3,55E-08	3,40E-07	5,42E-07			-1,48E-07	7,97E-08	
ADPf [MJ]	4,24E+02			1,85E+00	2,25E+01		1,30E+01	1,25E+02	2,59E+02			4,09E-01	2,62E+00	

	Tegl 1 m2	DE: Roof tile (EN15804 A1-A3) PE	DE: Solid constructi on timber (softwood ) (EN15804 A1-A3) PE	DE: Underroof membrane (EN15804 A1-A3) PE	DK: Tegltag 1m2 <-u-so>	GLO: Steel wire rod worldsteel
GWP [kg CO2-Equiv.]	1,53E+01	1,53E+01	-8,37E-01	3,83E-01		4,54E-01
ODP [kg R11-Equiv.]	2,45E-09	2,85E-10	1,24E-11	1,50E-11		2,14E-09
AP [kg SO2-Equiv.]	3,60E-02	3,29E-02	7,43E-04	1,08E-03		1,20E-03
EP [kg Phosphate-Equiv.]	3,64E-03	3,31E-03	1,19E-04	1,38E-04		8,05E-05
POCP [kg Ethene-Equiv.]	5,38E-03	4,94E-03	5,33E-05	2,13E-04		1,66E-04
ADPe [kg Sb-Equiv.]	3,36E-06	2,19E-06	4,09E-08	9,89E-07		1,37E-07
ADPf [MJ]	2,25E+02	2,06E+02	4,36E+00	1,04E+01		4,51E+00

Figur 17 Miljøpåvirkninger fordelt på processer

## 6.2 LIVSCYKLUSFORTOLKNING

### 6.2.1 Resultater

*Nettoforbrug af ferskvand* er højest for 1 m<sup>2</sup> teglsten, da der i produktionen af tegl forbruges vand til både opfugtning af leret, men også i forbindelse med fremstillingen af andre råmaterialer som anvendes.

I miljøpåvirkningskategorien *Global Opvarmning (GWP)* har 1 m<sup>2</sup> teglsten det største bidrag, hvor alle tre tækkematerialer har et negativt bidrag og dermed optager CO<sub>2</sub>. Den negative GWP opstår i vækstperioden, hvor planterne optager CO<sub>2</sub> fra atmosfæren. Bidraget til kategorien fra teglstenen kommer primært fra forbrændingen af fossile brændsler (bl.a. naturgas) under brændingen af stenene. Den optagede CO<sub>2</sub> under væksten, afgives igen langsomt over tid ved nedbrydning af taget og endelig bortskaffelse.

I kategorien *Nedbrydning af Ozonlaget (ODP)* bidrager 1 m<sup>2</sup> Miscanthus mest, og er en faktor 10 højere end i de andre systemer. Dette skyldes bl.a. brugen af pesticid og herbicider, hvor produktionen af disse bidrager til denne kategori.

*Forsuring af jord og vand (AP)*, *Troposfærisk ozondannelse (POCP)*, *Udtynding af abiotiske fossile ressourcer (ADPF)* og *Samlet forbrug af fornybare og ikke-fornybare ressourcer* er højest for Tagrør importeret fra Kina, hvilket skyldes, at rørene fragtes 17.800 km med skib og næsten 3000 km med lastbil. Dermed kommer bidragene fra transporten af tagrørene til at fylde meget i disse fire kategorier. Forsuringen skyldes især udledningen af SO<sub>2</sub> ved afbrænding af diesel og *heavy fuel oil*.

Tagrør fra både Danmark og Kina optager gennem deres vækst nitrogen og fosfat og har derfor et negativt bidrag i kategorien *Eutrofiering (EP)*, hvor et overskud af nitrogen for Miscanthus giver et positivt bidrag i denne kategori.

Brugen af skruer og fiberduk til montering af alle tre tækkematerialer bidrager til kategorien *Udtynding af abiotiske ikke-fossile ressourcer (ADPe)*.

De karakteriserede resultater angivet i afsnit 6.1 er beregnet på baggrund af ækvivalente bidrag i forhold til en referenceenhed, eksempelvis CO<sub>2</sub>-ækvivalenter for kategorien *global opvarmning (GWP)*. Disse ækvivalent-enheder er forskellige for de enkelte påvirkningskategorier, hvilket ikke umiddelbart giver nogen indikation af, hvor stort eller lille bidraget i én kategori er i forhold til en anden. I LCA-praksis anvendes der til tider en metode kaldet normalisering, som netop gør det muligt at vurdere de forskellige påvirkningskategorier i forhold til hinanden, for dermed at give en indikation af, hvor "slemme" bidragene er i de forskellige kategorier.

Normalisering af de karakteriserede resultater udføres på baggrund af de gennemsnitlige årlige belastninger relateret til en gennemsnitsperson for det aktuelle geografiske område. Disse personækvivalentfaktorer er udviklet som tillæg til de forskellige karakteriseringsmodeller der findes (eksempelvis CML, som anvendes i nærværende rapport). I Tabel 13 er de anvendte normaliseringsfaktorer angivet.

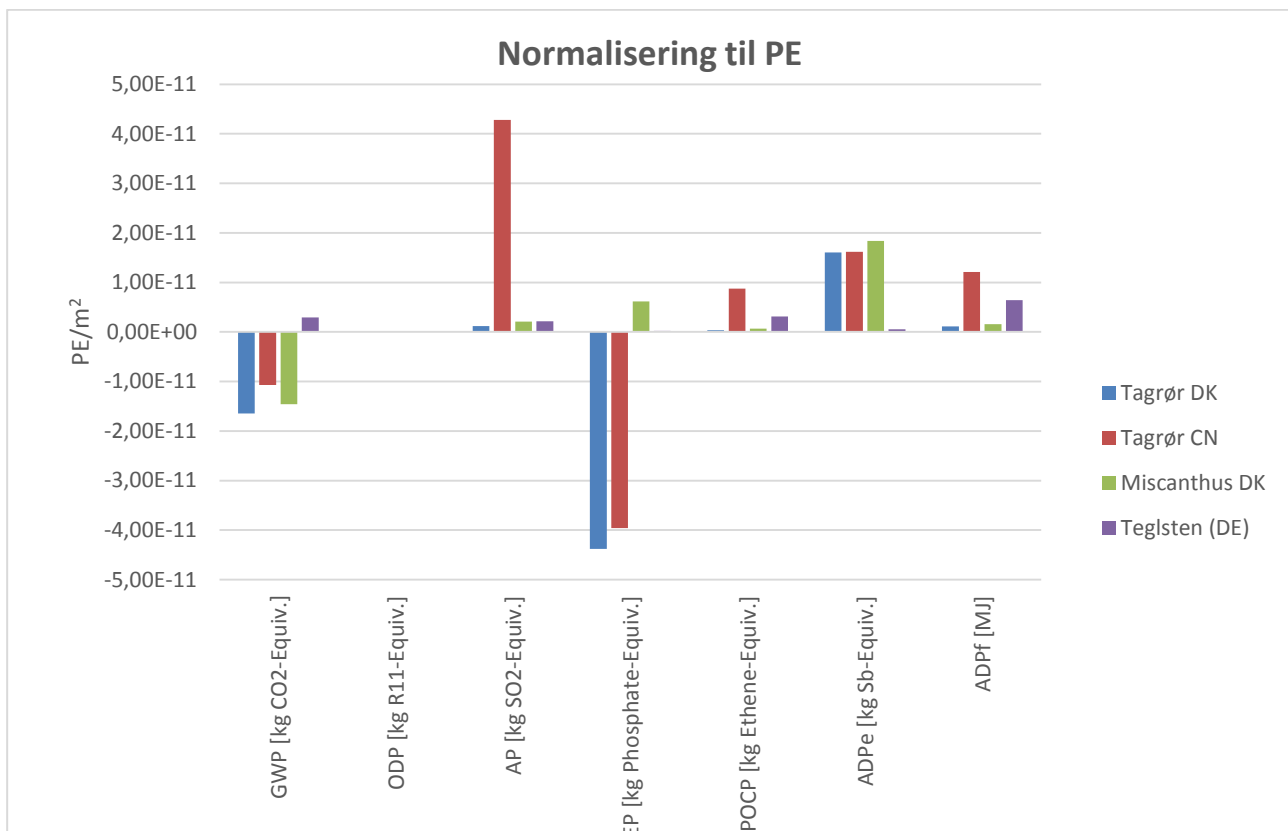
**Tabel 13 Normaliseringsfaktorer**

Parameter	Faktor	Enhed
Global opvarmning (GWP)	5,21E+12	kg CO2-Equiv.
Nedbrydning af ozonlaget (ODP)	1,02E+07	kg R11-Equiv.
Forsuring af jord og vand (AP)	1,68E+10	kg SO2-Equiv.
Eutrofiering (EP)	1,85E+10	kg Phosphate-Equiv.
Troposfærisk ozondannelse (POCP)	1,73E+09	kg Ethene-Equiv.
Udtynding af abiotiske ikke-fossile ressourcer (ADPe)	6,04E+06	kg Sb-Equiv.
Udtynding af abiotiske fossile ressourcer (ADPF)	3,51E+13	MJ

På Figur 18 er resultaterne normaliseret til personækvivalenter (PE). De anvendte normaliseringsfaktorer er taget fra CML-2001- Apr. 2013, EU25+3.

Af figuren ses, hvorledes der er store bidrag i kategorierne *Global opvarmning* (GWP), *Eutrofiering* (EP) og *udtynding af abiotiske elementer* (ADPe). I kategorierne *Global opvarmning* og *Eutrofiering* er det store negative bidrag, hvilket altså betyder, at *miljøbesparelsen* i disse kategorier er forholdsvis store i forhold til miljøbelastningerne i de andre kategorier.

Det ses endvidere af figuren, at de importerede tagrør giver et stort relativt bidrag i kategorien *Forsuring* (AP). Langt størstedelen af de emissioner, der giver anledning til dette store bidrag kommer fra skibstransporten, ca. 87 %.



Figur 18 Resultater normaliseret til personækvivalenter efter CML-2001- Apr. 2013, EU25+3

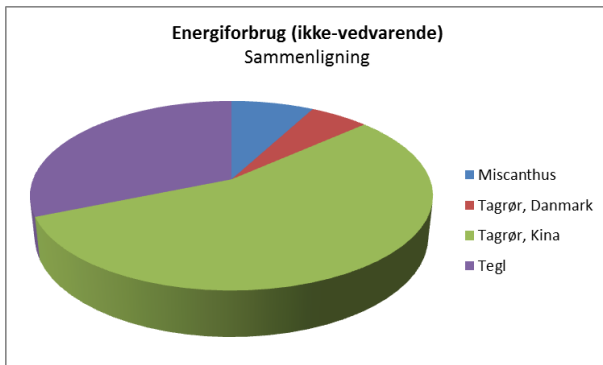
### 6.2.2 Energiforbrug

På Figur 19 og Figur 20 er energiforbruget fra ikke-vedvarende ressourcer angivet for henholdsvis de fire produktsystemer samlet og for Kinesiske tagrør fordelt på processer. Af Figur 19 ses det, hvorledes energiforbruget til de kinesiske tagrør er langt det største, sammenlignet med de andre tre produktsystemer. Til gengæld ses det også hvorledes de danske tækkematerialer, miscanthus og tagrør, har det klart laveste forbrug af ikke-vedvarende energiressourcer.

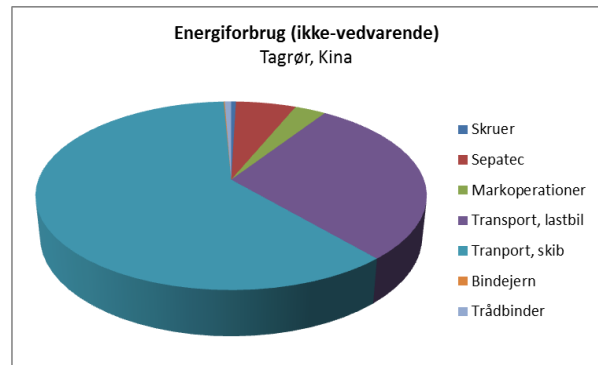
Årsagen til hvorfor energiforbruget til de Kinesiske tagrør er så højt kan ses på Figur 20, hvor det tydeligt er angivet, at energiforbruget i forbindelse med transporten fra Kina til Danmark, er langt den største bidragsyder. Transporten med lastbil og skib udgør således tilsammen ca. 90 % af det samlede energiforbrug.

For de danske tækkematerialer er energiforbruget, sammenlignet med tegltaget, meget lavt, jf. Figur 19. Energiforbruget for tegltaget er således over fem gange højere end for danske tagrør og ca. 4 gange højere end for

danske tække-miscanthus. Til gengæld er energiforbruget til Kinesiske tagrør næsten dobbelt så højt som tegltaget (1,8x).



Figur 19 Energiforbrug (sammenligning)



Figur 20 Energiforbrug (tagrør, Kina)

### 6.2.3 Antagelser og begrænsninger

Da GaBi databasen ikke indeholder datasæt for gødskningsmidler, har det været nødvendigt at kombinere med datasæt fra EcoInvent databasen. De fleste datasæt fra EcoInvent databasen er baseret på konsekvens-LCA og indeholder derfor bl.a. input til opførelse af fabrik, hvilket datasæt fra GaBi ikke gør, da disse er baseret på tilskrivnings-LCA.

Desuden har datasæt fra EcoInvent et højt indhold af haloner, som bl.a. stammer fra transport af naturgas i rørledninger og udvinding af råolie. Da brugen af haloner blev udfaset med indførelsen af Montreal Protokollen i 1995 anses disse indhold ikke længere at være tidssvarende, og de er derfor nedskrevet i alle EcoInvent datasættene med en faktor  $1,5E10$ . Haloner giver et højt bidrag i kategorien *Nedbrydning af ozonlaget* (ODP) hvilket, på trods af nedskrivningen, kan være forklaringen på, at Miscanthus har det højeste bidrag i kategorien.

Da hverken EcoInvent eller GaBi databasen indeholder LCA-datasæt for organisk gødskning i form af svine- og kvæggylle, er der udelukkende anvendt mineralske gødskningsmidler. Dette kan betyde, at bidragene til miljøpåvirkningskategorierne er anderledes end de ville have været, hvis gødsningen var fordelt på mineralsk og organisk gødskning, som anbefalet for Miscanthus af Hamelin, et al. (2012). Emissionen af ammoniak er dog modelleret ud fra antagelsen om, at gødsningen fordeles som anbefalet, hvorfor det udelukkende er opstrømsdata der har betydning for resultaterne.

## 6.3 KRITISK REVIEW

Nærværende miljøvurdering har ikke været underlagt kritisk review, men er blevet kvalitetssikret og kommenteret internt på Teknologisk Institut samt af Jydsk Tækkemandslag og Uffe Jørgensen, Århus Universitet.



## 7 Referencer

DS, 2008. *ISO 14044 - Miljøledelse - Livscyklusvurdering - Krav og vejledning*. s.l.:DS.

Hamelin, L. et al., 2012. Modelling the carbon and nitrogen balances of direct land use changes from energy crops in Denmark: a consequential life cycle inventory. *GCB Bioenergy*, Issue 4, pp. 889-907.

Pallesen, B. E., 2013. *LandbrugsInfo*. [Online]

Available at: <https://www.landbrugsinfo.dk/planteavl/afgroeder/nicheafgroeder/elefantgraes/Sider/Startside.aspx>





## 8 Bilag

PLANTEAVL



Sorø den 11. november 2013

### Straatagets kontor

I forbindelse med dyrkning af *Mischanthus* har jeg beregnet brændstofforbruget ved en række markopgaver og transport.

### Pløjning

150 hk traktor, 4 furet vendepløj, 0,7 ha/time. Brændstofforbruget vil variere med Jordypen og pløjedybden. Anslået 18 liter/time svarende til 26 liter diesel pr. ha.

### Harvning

150 hk traktor, 6 meter harve, 4 ha/time. Brændstofforbrug typisk 16 liter/time svarende til 4 liter/ha. Ved behov for to harvninger; 8 liter/ha.

### Plantning

100 hk traktor, 3 rækket plantemaskine, 4 km/time, 0,5 ha/time. Brændstofforbruget er lavt, da traktoren er svagt belastet og kører med lave omdrejninger. Anslået 12 liter/time svarende til 24 liter/ha.

### Gødskning

100 hk traktor, liftophængt gødningsspreder, 10 km/time, 8 ha/time. Brændstofforbrug anslået 12 liter/time svarende til 1,5 liter/ha. Ved to gødskninger; 3 liter/ha.

### Sprøjtning

100 hk traktor, 24 m, 3000 liter trailersprøjte, 7 km/time, 8 ha/time. Brændstofforbrug anslået 12 liter/time svarende til 1,5 liter/ha. Ved to sprøjtninger; 3 liter/ha.

### Hjemkørsel ved høst

Under høsten samles ca. 60 neg i en rulle, som kan håndteres med en frontlæsser med halmspyd. På en halmvogn køres med 15 ruller. Udbyttet er ca. 23 ruller/ha, svarende til 1,5 læs/ha. Ved 3 km transport regnes med 1 læs/time. 150 hk traktor med frontlæsser bruger ca. 12 liter/time ved blandet kørsel. Brændstofforbruget til hjemkørsel svarer således til 18 liter/ha.

### Transport til forarbejdningssted

Foregår typisk med lastbil. Der kan være ca. 2000 neg i en gardin trailer. Ved et udbytte på 1400 neg/ha transporterer en lastbil altså 1,4 ha/læs. En lastbil kører anslået 2,5 km/liter, afhængigt af årgang og motorteknologi. Ved 100 km transportafstand bruges således 40 liter brændstof/læs svarende til 29 liter/ha. Det svarer igen til 0,3 liter/ha pr. km.

PLANTEAVL



Det samlede brændstofforbrug [liter dieselolie/ha] er angivet i tabellen:

	Etablering	År 1	År 2	År 3	År 4
Pløjning	26				
2 x harvning	8				
Plantning	24				
Gødskning	3	3	3	3	3
Sprøjtning	3	3	3	3	3
Hjemkørsel		18	18	18	18
Transport ved 100 km		29	29	29	29
Samlet brændstof forbrug	64	53	53	53	53

Med venlig hilsen

Christian Rabølle  
Maskinkonsulent