



Cirkulær økonomi i byggeriet - analyse af potentialer LCA bilagsrapport/ Bilag A

Damgaard, Anders

Publication date:
2020

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Damgaard, A. (2020). *Cirkulær økonomi i byggeriet - analyse af potentialer: LCA bilagsrapport/ Bilag A*. Danmarks Tekniske Universitet (DTU).

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

CIRKULÆR ØKONOMI I BYGGERIET

Analyse af potentialer

LCA bilagsrapport / Bilag A

Seniorforsker Anders Damgaard

DTU Miljø



Marts 2020

Forord

Denne rapport indeholder en gennemgang af den udførte livscyklusvurdering (LCA) i form af en screening af scenarier for håndtering af fire typer af byggeaffald i Danmark.

Projektets udsteder er Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen. Der er udført en miljømæssig (denne LCA) og økonomisk vurdering af konsekvenserne af effekten af genbrug eller genanvendelse af fire byggeaffalds materialer i samarbejde med Rambøll A/S.

Livscyklusvurderingen er udført af DTU Miljø i perioden oktober 2019 - Marts 2020. Modellen EASETECH var anvendt til LCA-modelleringen, som er udviklet af DTU Miljø til miljøvurdering af affaldsbehandlingsteknologier.

Livscyklusvurderingen er udført i overensstemmelse med principperne i standarderne DS/EN ISO 14040/44. LCA-rapporten har dog ikke undergået eksternt review, da der er tale om en screening og ikke en fuld LCA.

Danmarks Tekniske Universitet, Institut for Vand og Miljøteknologi (DTU Miljø)

Marts 2020

Indholdsfortegnelse

Forord	1
1. Formål	4
2. Metodisk afgrænsning	5
2.1 Screenings modellering	5
2.2 Funktionel enhed	6
2.3 Tidsmæssig afgrænsning	6
2.4 Teknologisk og geografisk afgrænsning	6
2.5 Miljøpåvirkningskategorier	7
2.6 EASETECH model	7
2.7 Kriterier for udeladelse af inputs og outputs	7
2.8 Forhold i rapporten der afviger fra ISO 14040/44	7
3. Kritiske/væsentlige forudsætninger	9
3.1 Generelle datagrundlag i analysen	9
3.2 "Zero burden approach"	9
3.3 Kapacitetsbehov i behandlingsanlæg	9
3.4 Specifikke antagelser af vigtighed for de forskellige materialer	9
4. Dataindsamling	10
4.1 Dataindsamling	10
5. Kortlægning af anvendte livscyklusdata	11
5.1 Affaldssammensætning	11
5.2 Sorterings- og screeningsanlæg	11
5.3 Transport	11
5.4 Oversigt over anvendt baggrundsdata	12
5.5 Direkte emissioner ved forbrug af diesel	13
5.6 Affaldsforbrænding	13
6. LCA-resultater	18
6.1 Karakteriserede resultater	18
6.1.1 Tagsten	18
6.1.2 Stenuld	20
6.1.3 Beton	22
6.1.4 Træ	24
6.2 Normaliserede resultater	28
6.2.1 Tagsten	28
6.2.2 Stenuld	30
6.2.3 Beton	32
6.2.4 Træ	34

7.	LCA-resultater - følsomhedsanalyser	38
7.1	Tagsten.....	38
7.1.1	Laverere genbrugsprocent.....	38
7.2	Stenuld	41
7.3	Træ	44
8.	Referenceliste	45

1. Formål

Det overordnede formål med livscyklusvurderingen (LCA'en) er at afdække de miljømæssige forhold ved øget genbrug og genanvendelse af fire typer af byggeaffald, mere præcist: tagsten, stenuld, beton og interim træ. Projektet opgør de potentielle miljøkonsekvenser for en række forskellige scenarier for øget genbrug og genanvendelse af materialerne vha. en livscyklusbaseret screening af miljøeffekter. Formålet med LCA-delen af det samlede projekt er at opgøre de potentielle miljøpåvirkninger i en række scenarier, som inkluderer behandling af restaffald ved affaldsforbrænding eller deponi, men som ser på muligheder for genbrug eller genanvendelse af de genanvendelige affaldsfraktioner med dertilhørende fald i mængden af restaffald til forbrænding og deponi. De tilsigtede modtagere af LCA-resultaterne er Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen samt interessenter.

To scenarier er modelleret for hvert materiale. Et basis scenarie som indikerer minimum behandlingen i dag, og et scenarie med genbrug eller genanvendelse for at indikere et optimalt scenarie for genbrug eller genanvendelse.

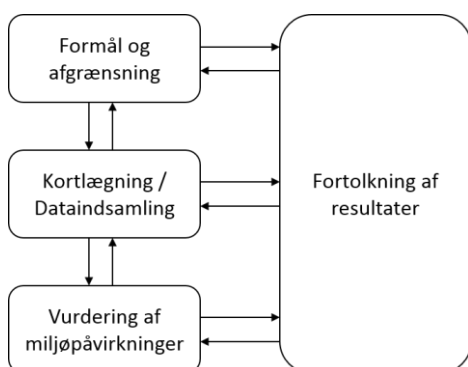
Resultaterne fremstilles for hvert scenarie med udgangspunkt i et ton af den specifikke materiale type: tagsten, stenuld, beton og interim træ.

Resultaterne afrapporteres som potentielle miljøpåvirkninger i en række påvirkningskategorier (klimaænding, næringssaltbelastning, osv.) og kan anvendes til at analysere de forskellige scenarier for de inkluderede materialer inden for disse påvirkningskategorier. Grundet vigtigheden af global opvarmning vil der lægges et særligt fokus på denne påvirkningskategori i hovedrapporten sammen med partikelforurening og brug af abiotisk ressourcer, hvorimod nærværende bilagsrapport omfatter alle påvirkningskategorier. Både karakteriserede og normaliserede potentielle påvirkninger beregnes, men der benyttes ikke vægtning.

LCA'en er udført på basis af oplysninger fra offentlige tilgængelige kilder og en række forudsætninger, der ligger til grund for LCA screeningen, som er beskrevet i denne bilagsrapport. Ved brug af resultaterne i nye sammenhænge bør der tages hensyn til eventuelle geografiske og teknologiske forskelle, og de samlede forudsætninger bør vurderes i forhold til et konkret projekt for et specifikt område.

2. Metodisk afgrænsning

Livscyklusvurderingen (LCA'en) er udført i overensstemmelse med principperne i ISO 14040/44 (ISO, 2006a, 2006b) ved gennemgang af de fire obligatoriske LCA-trin, se Figur 1. Hvor hovedrapporten er kortfattet, indeholder nærværende bilagsrapport en gennemgang af alle fire trin i LCA'en. Dette kapitel beskriver anvendte metoder og affaldssystemets teknologiske, tidsmæssige og geografiske afgrænsning.



Figur 1 Fire obligatoriske trin i en livscyklusvurdering (LCA) jf. ISO 14040/44.

2.1 Screenings modellering

LCA'en blev udført som en LCA screening med attributional-modellering (gennemsnitlig), hvormed miljøeffekterne af ændringer i håndteringen blev opgjort. Dette er i overensstemmelse med anbefalinger i ILCD-håndbogen (ILCD: International Reference Life Cycle Data System), der siger at hvis LCA-resultaterne ikke forventer at have store påvirkninger af processer i baggrundssystemet bør systemet modelleres med system udvidelse (situation A jf. ILCD-håndbogen) og data for berørte baggrundsprocesser modelleres med gennemsnitlige data (European Commission -- Joint Research Centre -- Institute for Environment and Sustainability et al., 2010).

For multifunktionelle processer betyder modelleringen, at affaldssystemets grænser udvides til at omfatte substitution (erstatning) af berørte processer. Det betyder, at affaldssystemet krediteres for undgåede emissioner og miljøpåvirkninger, som ellers ville forekomme ved produktion uden for affaldssystemet. Eksempelvis kan nævnes at ved genbrug af et materiale, vil systemet fratrækkes emissioner og ressourceforbrug ved den undgåede af samme materiale som der genbruges da det nu ikke skal produceres.

Der er anvendt gennemsnitlige data for produktion af materialer og energi, med data hentet fra ecoinvent databasen, version 3.6¹. Ecoinvent er en database der indeholder livscyklusdata (LCI) for forskellige industrielle processer.

2.1.1 Sammensætning af marginal el og varme

De benyttede energisammensætninger er baseret på det senest publicerede data fra Energinet.dk fra 2017

¹ <http://www.ecoinvent.org/>

Table 1 El- sammensætning for Danmark, (Energinet.dk 2017)

	%
Kul	20
Træ	17
naturgas	7
Vind - Offshore	19
Vind - Land	34
Sol	3

Varme der erstattes er regionalt bestemt. I modelleringen er benyttet naturgas da det ses som en gennemsnitlig varmekilde i Danmark i 2017.

2.1.2 Medregning af kvalitet af sekundære materialer

Konsekvensen af genanvendelse af affaldsfraktioner, dvs. oparbejdning til sekundære materialer, er at der fortrænges en mængde primære (jomfruelige) materialer. De sekundære materialer sælges og oparbejdes på markedsvilkår og en udfordring ligger her i at definere funktionen og kvaliteten af det sekundære materiale sammenlignet med det tilsvarende primære materiale. I modelleringen er antaget at kvaliteten af det genbrugte og det erstattede materiale er den samme.

2.2 Funktionel enhed

Den funktionelle enhed er en kvantitativ beskrivelse af systemets ydelse. Den funktionelle enhed i denne LCA er:

Håndtering inklusiv transport, behandling og slutdisponering af eventuelle restprodukter fra bortskaffelse af byggeaffald, med fokus på beton, stenuld, tagsten og træ.

Referenceenheden er opgivet som 1 ton af hvert materiale modelleret separat.

2.3 Tidsmæssig afgrænsning

Livscyklusvurderingen skal beskrive fremtidige tilstande med opførelse af nye anlæg og med anvendelse af energidata med en tidshorisont fra 2020 og frem. LCA'ens referenceår fastlægges derfor til 2020, da en del af data brugt til modelleringen dog er fra før denne periode må tidshorisonten nødvendigvis sættes til 2017-2030 der dækker tilbage til de ældste forgrundsdata. LCA-resultaterne antages at være gældende mindst ti år frem i tiden fra 2020, der skal dog påregnes at udvikling i forbindelse med nye behandlingsteknologier og ændringer af bagvedliggende systemer - fx transport, behandlingsanlæg og energisystemer - kan have indflydelse på livscyklusvurderingens holdbarhed.

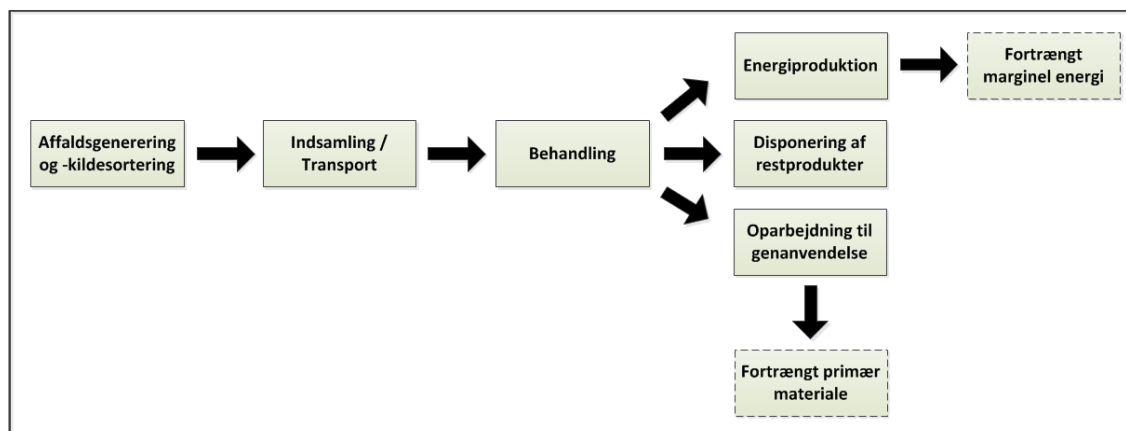
Den benyttede metode til kvantificering af potentielle miljøpåvirkninger integrerer samtlige miljøpåvirkninger over de første 100 år, hvilket er den tidsperiode miljøvurderinger af affaldssystemer normalt dækker (Gentil et al., 2010).

2.4 Teknologisk og geografisk afgrænsning

De modellerede systemer starter ved affaldsgenereringen på byggepladsen, hvor bygninger bliver til affald, dvs. at miljøpåvirkninger fra produktionssystemer ikke indgår i systemet. I scenariet for beton er der dog taget udgangspunkt i at man lader beton konstruktionen stå, hvorfor man undgår produktion og brug af nye beton produkter. Derefter sker indsamling, transport og bearbejdning af byggeaffald. Disse livscyklusstadier indgår i LCA'en. Slutdeponering af restprodukter fra behandlingen samt affaldssystemets udveksling af materialer og energi med det omliggende produktionssystem indgår ligeledes i systemet.

Figur 2 viser de inkluderede aktiviteter på tværs af alle scenarier. For alle inkluderede aktiviteter indsamles følgende data: materiale, energi- og ressourceforbrug, direkte emissioner, og transport imellem behandlingsanlæg og til endelig disponering af restprodukter.

Emissioner og potentielle miljøpåvirkninger inddrages for aktiviteter der foregår nationalt (i Danmark) og internationalt (udenfor Danmarks grænser; Europa eller resten af verden).



Figur 2 Systemafgrænsning for modelleringen. Inkluderede aktiviteter på tværs af scenarier samt fortrængt marginal energiproduktion og primær materialeproduktion i tilfælde af multifunktionalitet/biprodukter. De stiplede linjer repræsenterer fortrængt produktion af energi og materialer. Transport er inkluderet. Pilene adskiller processer/aktiviteter fra hinanden.

2.5 Miljøpåvirkningskategorier

En række påvirkningskategorier er inkluderet, se Tabel 2. Valget af påvirkningskategorier følger anbefalingerne i ILCD-håndbogen, som er formuleret af den Europæiske Kommission og beskrevet i Hauschild et al. (2012). Tabel 2 giver et overblik over de inkluderede miljøpåvirkningskategorier. De potentielle miljøpåvirkninger kan endvidere omregnes for hver af påvirkningskategorierne til en fælles enhed i form af en personækvivalent (PE), idet de faktiske belastninger divideres med den gennemsnitlige årlige belastning fra én person – dette kaldes normalisering. Tabel 2 viser de anvendte normaliseringsreferencer for omregning til personækvivalenter. Det gøres opmærksomt på at der for ressourcer er gået væk fra ILCD anbefalingen, og i stedet er fossile og element ressourcer vurderet separat, som følger anbefalingen fra CML der udviklede kategorien. Resultaterne er yderligere normaliseret med referencer fra (Laurent et al., 2013).

2.6 EASETECH model

Scenarierne er modelleret i EASETECH version 3.3.4 (Environmental Assessment System for Environmental TECHNOlogies), en LCA-model udviklet af DTU Miljø til kvantificering af potentielle miljøpåvirkninger fra affaldssystemer (Clavreul et al., 2014). Med udgangspunkt i en detaljeret kemisk-fysisk sammensætning af affaldsfraktionerne beregnes ved hjælp af EASETECH massestrømme, ressourceforbrug og emissioner. Modellen indeholder en database med data for en række behandlingsanlæg og processer, som kan modificeres ved ændring af nøgleparametre.

2.7 Kriterier for udeladelse af inputs og outputs

Alle relevante oplysninger fra databaser, artikler, rapporter m.v. er inkluderet i datagrundlaget som er beskrevet i denne bilagsrapport. Opførelse og nedrivning af anlæg er ikke inkluderet, da det vurderes at være mindre væsentligt for LCA'ens resultater (Brogaard and Christensen, 2016).

2.8 Forhold i rapporten der afviger fra ISO 14040/44

Ifølge ISO standarden skal en komparativ LCA rapport, der gøres offentlig tilgængelig, gennemgå et kritisk review af et review panel. I dette studie er der ikke brugt et review panel, men i stedet udvalgt en reviewer til vurdering af LCA'en.

Table 2 Anvendte karakteriserings- (midpoint) og normaliseringsreferencer jf. ILCD-håndbogens anbefalinger. Ækv. = ækvivalenter; PE = person-ækvivalenter; CFC-11 = chloro-fluoro-carbon-11; NMVOC = non-methane volatile organic compounds. (Benini et al., 2014), (Sala et al., 2015)

Påvirkningskategori	Anvendt metode til vurdering af miljøpåvirkning	Indikator i anvendte metode	Klassificering	Normaliseringsfaktor EU-27	Enhed, normaliseringsfaktor
Global opvarmning (GWP)	Baseline model, IPCC, 100 år (IPCC, 2006a)	Strålingsstyrke af drivhusgasser	I	9.22E+03	kg CO ₂ -ækv./PE/år
Ozonedbrydning (ODP)	Steady-state ODPs as in WMO assessment (1999)	Nedbrydning af ozonlaget	I	2.16E-02	kg CFC-11-ækv./PE/år
Humantoksicitet, carcinogen (HTC)	USEtox model (Rosenbaum et al., 2008)	Komparativ toksisk enhed, human (CTUh)	II/III	5.42E-05	CTUh/PE/år
Humantoksicitet, non-carcinogen (HTNC)	USEtox model (Rosenbaum et al., 2008)	Komparativ toksisk enhed, human (CTUh)	II/III	5.33E-04	CTUh/PE/år
Partikeludledning (PM)	Humbert (Humbert, 2009)	Indtaget fraktion	I/II	3.80E+00	kg PM _{2.5} -ækv./PE/år
Ioniserende stråling (IR)	(Frischknecht et al., 2001)	Human eksponerings-effektivitet relativt til U ²³⁵	II	1.13E+03	kBq U-235(luft)-ækv./PE/år
Fotokemisk smog (POF)	ReCiPe (Goedkoop et al., 2008)	Øget troposfærisk koncentration af ozon	II	3.17E+01	kg NMVOC-ækv./PE/år
Terrestrisk forurening (TA)	Accumulated Exceedance (Seppälä et al., 2006)	Akkumuleret overskridelse	II	4.73E+01	mol H ⁺ -ækv./PE/år
Næringssaltbelastning, terrestrisk (ET)	Accumulated Exceedance (Seppälä et al., 2006)	Akkumuleret overskridelse	II	1.76E+02	Mol N-ækv./PE/år
Næringssaltbelastning, ferskvand (EF)	EUTREND model as implemented in ReCiPe (Goedkoop et al., 2008)	Udledning til økosystem	II	1.48E+00	kg P-ækv./PE/år
Næringssaltbelastning, marin (ME)	EUTREND model as implemented in ReCiPe (Goedkoop et al., 2008)	Udledning til økosystem	II	1.69E+01	kg N-ækv./PE/år
Ferskvand økotoksicitet (FE)	USEtox model (Rosenbaum et al., 2008)	Komparativ toksisk enhed, økosystem (CTUe)	II/III	8.74E+03	CTUe/PE/år
Abiotiske ressourcer, fossile (ARDfos)	CML metoden v.4.2, 2013	Knaphed af ressource	II	8.14E+01	MJ/PE/år
Abiotiske ressourcer, mineraler	CML metoden v.4.2, 2013	Knaphed af ressource (reservebase)	II	1.01E-01	kg-Sb-ækv./PE/år

3. Kritiske/væsentlige forudsætninger

3.1 Generelle datagrundlag i analysen

I projektet har der været en kvalitativ og kvantitativ interview runde med en række relevante aktører, hvorfra det så vidt muligt er forsøgt indsamlet relevante data for danske forhold. Det var dog ikke for alle processer og databehov muligt at få relevante data. Hvor dette ikke var muligt er derfor brugte litteratur værdier og data fra databaser (Ecoinvent og ÖKOBAUDAT). Ydermere er projektet som nævnt udført som en screenings LCA, hvilket betyder at for processer der allerede var i EASETECH databasen, er der modelleret som de var, f.eks. forbrug af elektricitet og emissioner af NO_x, SO₂, CO₂ osv. Data fra ecoinvent er udtrukket fra ecoinvent version 3.6 og konsekvensdatabasen betegnet "Substitution, consequential, long-term". En oversigt over anvendte datasæt fra ecoinvent er vist i LCA'ens bilagsrapport.

3.2 "Zero burden approach"

De modellerede systemer starter ved affaldsgenereringen på byggepladsen hvor byggematerialerne bliver til affald. Denne systemafgrænsning betyder at miljøpåvirkningerne fra det opstrøms produktionssystemet ikke indgår i affaldssystemet. Dette kaldes også en "zero burden approach" (Ekvall et al., 2007), da man herved antager at affaldsfraktionerne ikke bærer nogen miljøbyrde med sig. Dette kan betyde at de beregnede potentielle miljøpåvirkninger i LCA'en kan udvise nettobesparelser, da genbrug, genanvendelse eller forbrænding har mindre miljøpåvirkning end primær produktion af materialer og energi. Med den anvendte modellering i LCA'en er det ikke relevant at inddrage opstrømsfremstilling af produkter, da denne ikke påvirkes af affaldssystemet.

3.3 Kapacitetsbehov i behandlingsanlæg

Behov for import af affald til forbrændingsanlæg i forbindelse med øget udsortering er uden for systemgrænserne. Dette er en fælles forudsætning for SØK og LCA. Afsætningsmuligheder for genanvendelige materialer antages at eksistere. For lavkvalitets materialer kan dette dog være en væsentlig usikkerhed.

3.4 Specifikke antagelser af vigtighed for de forskellige materialer

Beton: Det antages at funktionaliteten af beton konstruktionen vil kunne leve op til de samme minimumskrav som ved brug af nye beton, og derved kan erstatte nye betonkonstruktioner 1:1. Dette er en best case antagelse, og det må forventes at der kan være en række typer af beton konstruktioner hvor dette ikke vil være muligt.

Stenuld: Det antages at stenuld kan bruges som direkte erstatning for ny primær sten til produktion af stenuld. I realiteten er der et maksimum niveau på 25% tilsætning til produktionen. Derfor vil det kun være muligt at genanvende stenuld så længe mængderne er mindre end 25% af behovet til ny produktion.

Tagsten: Det antages at funktionaliteten af tagstenene ved genbrug er de samme, og at de kan erstatte nye tagsten 1:1. Dette er en best case antagelse, og det må forventes at der kan være en kortere levetid.

Træ: Det antages at træ kan genbruges uden ekstra omkostninger til rensning. Der vil i realiteten være en omkostning og et spild. I modelleringen er taget udgangspunkt i at det genbruges en gang og så vil brændes, hvor det i basis scenariet brændes direkte. Forskellen er derfor effekten ved at genbruge det.

4. Dataindsamling

4.1 Dataindsamling

Tabel 3 viser en liste over typer data indsamlet per proces/behandlingsanlæg.

Tabel 3 Overordnet liste over data der skal indsamles for de processer og behandlingsanlæg i scenarierne.

Proces/behandlingsanlæg	Databehov
Affaldsmængde og -sammensætning	<ul style="list-style-type: none"> > Modelleringen er lavet som fire separate systemer med ét ton af hver materiale type > Fysisk-kemisk sammensætning af fraktionen (% TS)
Transport til behandling	<ul style="list-style-type: none"> • Type lastbil (kapacitet, Eurostandard) • Afstande (kg-km kørt)
Sorteringsanlæg	<ul style="list-style-type: none"> • Effektiviteter (% udsorteret pr. indsamlet mængde) • Rejekt til restbehandling (forbrænding / deponi) • Energi- og vandforbrug (forbrug pr. kg affaldsinput)
Affaldsforbrænding	<ul style="list-style-type: none"> • Emissioner til luft, bundaske og flyveaske (input-specifikke, processpecifikke) • Forbrug af materialer til røggasrensning (kg pr. affald) • Genvinding af metalskrot fra bundaske (% metal i affald) • Energifremstilling: Elektricitet og varme (% nedre brændværdi)
Genanvendelse af affaldsfraktioner	<p>Oparbejdning til sekundære materialer:</p> <ul style="list-style-type: none"> • A-faktor (% materialetab) • Forbrug (kg pr. kg input) • Emissioner (kg pr. kg input) <p>Fortrængning af primære materialer:</p> <ul style="list-style-type: none"> • B-faktor (kg primærmateriale pr. kg sekundærmateriale) • Forbrug (kg pr. kg input) • Emissioner (kg pr. kg input)
Transport	<ul style="list-style-type: none"> • Type lastbil (kapacitet, Eurostandard) • Afstande (kg-km kørt)

5. Kortlægning af anvendte livscyklusdata

5.1 Affaldssammensætning

Tabel 4 viser affaldssammensætningen for de 4 materiale fraktioner LCA screeningen. Navngivning af de 4 affaldsfraktioner er jf. Riber et al. (2009).

Tabel 4 Anvendt affaldssammensætning LCA bestående af 4 materiale typer

	EASETECH fraktion (Riber et al. (2009))	Mængde
Beton	Stones, concrete	1 ton
Træ	Wood	1 ton
Tagsten	Stones, concrete	1 ton
Stenuld	Stones, concrete	1 ton

5.2 Sorterings- og screeningsanlæg

Materialer der sendes til genbrug og genanvendes har haft indhentet energiforbrug til sorteringen hvor relevant, i fleste tilfælde er det manuelt. I Tabel 5 ses en beskrivelse af effektiviteterne og forbruget for de inkluderede sorteringsanlæg. Inden det sendes til sorteringsanlæg, er der sket en grov sortering ved byggepladsen, så dette er en finsortering.

Tabel 5 Sorteringseffektiviteter for de inkluderede centralsorteringsanlæg. Glas er ikke inkluderet da det ikke sorteres på et centralsorteringsanlæg i scenarierne. Reference Antagelser foretaget af DTU og COWI.

Fraktion	Sorteringseffektivite (%)	Diesel forbrug (l per ton)
Stenuld	90	1.18E-3
Tagsten	100	
Træ	100	

5.3 Transport

Tabel 6 Dieselforbrug ved transport med lastbil. Referencer til dieselforbrug og emissioner fra transport: (Bergvall and Westerholm, 2009; Chiang et al., 2012; Dieselnets, 2002; Karavalakis et al., 2009; Lin et al., 2008; Olesen, 2013; Vouitsis et al., 2007; Winther and Slentø, 2010).

	Proces i EASETECH database	Forbrug af diesel	Enhed	Per
Transport	Truck, 28t-32t, Euro6, highway	1,46E-05	kg	kg våd vægt affald*km kørt
Transport	Truck, 28t-32t, Euro6, Urban	2.48E-04		kg våd vægt affald*km kørt

Tabel 7 Transportafstande i scenarierne. Estimer af DTU Miljø og Rambøll.

Materialer	Fra	Til	Afstand (km)	Transport type
Beton	Byggeplads	Knusning	30	Truck, Urban
	Undgået transport ved genbrug		30	Truck, Urban
Træ	Byggeplads	Forbrænding	30	Truck, Urban
	Forbrænding	Flyveaske deponi	300	Truck, Highway
	Forbrænding	Bundaske genbrug	50	Truck, Highway
	Undgået transport ved genbrug		400	Truck, Highway
Tagsten	Byggeplads	Knusning	30	Truck, Urban
	Byggeplads	Sortering	30	Truck, Urban

Stenuld	Byggeplads	Deponi	30	Truck, Urban
	Byggeplads	Sortering RGS Nordic	120	Truck, Highway
	Sortering RGS Nordic	Rockwool	172	Truck, Highway
	Sortering RGS Nordic	Deponi	30	Truck, Urban
	Undgået transport ved genanvendelse – Stenbrud Sverige	Rockwool	450	Truck, Highway

5.4 Oversigt over anvendt baggrundsdata

Tabel 8 viser en liste over anvendt baggrundsdata for opstrøms produktion af materialer, kemikalier og energi. Som udgangspunkt er data fra ecoinvent anvendt for at sikre konsistens i datavalg. I ecoinvent kan vælges mellem forskellige databaser, alt efter om LCA'en er en tilskrivnings- eller konsekvens-LCA. I dette projekt er brugt tilskrivnings-data som kan ses i Tabel 8, herfra er anvendt data fra ecoinvent databasen "Allocation, at the point of substitution".

Tabel 8 Liste over anvendt baggrundsdata. Alle processer er fra ecoinvent databasen, version 3.6. Processerne er fra ecoinvent databasen "Allocation at the point of substitution" (her: APOS) GLO = global geografisk dækning. RER = Europæisk geografisk dækning, CH= Schweiz.

Aktivitet	Navn på proces	Reference -enhed	Ecoinvent database
<i>Produktion af primære/jomfruelige materialer</i>			
Beton	concrete, high exacting requirements, concrete production, for building construction, with cement CEM II/B,CH	kg	APOS
Træ	sawnwood, beam, hardwood, raw, dried (u=20%), beam, hardwood, raw, kiln drying to u=20%,CH	kg	APOS
Tagsten	roof tile, roof tile production, RER	kg	APOS
<i>Produktion af kemikalier</i>			
Kalciumkarbonat, CaCO ₃	calcium carbonate production, precipitated - RER	kg	APOS
Kalciumhydroxid, Ca(OH) ₂	Market for lime; hydrated; packed - GLO	kg	APOS
Natriumhydroxid, NaOH	market for sodium hydroxide, without water, in 50% solution state - GLO	kg	APOS
Hydrogenchlorid, HCl	hydrochloric acid production, from the reaction of hydrogen with chlorine - RER	kg	APOS
Aktivt karbon	market for activated carbon, granular - GLO	kg	APOS
Flydende nitrogen	market for nitrogen, liquid - RER	kg	APOS
Proces-damp	steam production, in chemical industry - RER	kg	APOS
Oxygen	Market for oxygen, liquid; RER	kg	APOS
Vand	Tap water production, conventional treatment; Europe without Switzerland	kg	APOS
<i>Produktion af fossile brændsler</i>			
Diesel	market for diesel - Europe without Switzerland	kg	APOS
Olie	market for heavy fuel oil - Europe without Switzerland	kg	APOS
Naturgas	market for natural gas, from high pressure network (1-5 bar), at service station GLO	kg	APOS
<i>Produktion af elektricitet og varme</i>			
Elektricitet med biomasse	electricity production, wood, future - GLO	kWh	APOS

Elektricitet med vind - offshore	electricity production, wind, 1-3MW turbine, offshore; DK	kWh	APOS
Elektricitet med vind - onshore	electricity production, wind, 1-3MW turbine, onshore; DK	kWh	APOS
Elektricitet med sol	electricity production, photovoltaic, 3kWp slanted-roof installation, multi-Si, panel, mounted; DK	Wh	APOS
Elektricitet med naturgas	electricity production, natural gas, 10MW - CH	kWh	APOS
Marginal varme med naturgas	Heat production, natural gas, at boiler modulating > 100 kW – Europe without Switzerland	MJ	APOS

5.5 Direkte emissioner ved forbrug af diesel

Der forbruges og forbrændes diesel på sorterings- og oparbejdningsanlæg, hvilket fører til direkte emissioner til luft fra det samlede affaldssystem i scenarierne. De anvendte direkte emissioner er vist i Tabel 9.

Tabel 9 Direkte emissioner til luft fra forbrænding af diesel på sorterings- og oparbejdningsanlæg. LIPASTO (http://www.lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/muute/tyokoneete/diesel_a_te.htm) og ILCD (<http://lca.jrc.ec.europa.eu/lcainfohub/dataset2.vm?id=41>).

Referencer:

Stof	Værdi	Enhed
Carbonmonoxid, CO	0,007891	kg per l diesel
Hydrogenchlorid, HCl	0,00263	kg per l diesel
Nitrogenoxider, NOx	0,0217	kg per l diesel
Partickler > 2.5 um og < 10um	0,001118	kg per l diesel
Methan, CH4	0,000148	kg per l diesel
Dinitrogen-monoxid, N2O	6,905E-05	kg per l diesel
Svovldioxid, SO2	1,677E-05	kg per l diesel
Carbondioxid, CO2	2,607	kg per l diesel

5.6 Affaldsforbrænding

Nedenstående viser anvendte data til modellering af affaldsforbrændingsprocessen. Forbrændingsprocessen repræsenterer et generisk dansk anlæg fra år 2012. Røggasrensningen er baseret på Vestforbrænding i år 2011. Forbrændingen foregår med risteovn og våd røggasrensning. NOx er fjernet med selektiv non-katalytisk reduktion (SNCR), og dioxin og kviksølv er fjernet med aktivt kulstof. Emissioner fra behandling af spildevand foregår i kommunalt spildevandsanlæg. Udledning fra bundaske er inkluderet ved nyttiggørelse af bundasken som vejmateriale. Den producerede el og varme udnyttes som elektricitet på elnettet og lokal fjernvarme. Aluminium- og jern-scrap er fjernet fra bundasken til oparbejdning og genanvendelse.

Tabel 10 Forbrug og emissioner fra affaldsforbrænding i Danmark og i udlandet. Den genererede elektricitet og varme fortrænger marginal el og varme i Danmark og udlandet, afhængig af placering af forbrændingsanlægget. Samme værdier som i Miljøprojekt 1458 (Jensen et al., 2013).

Forbrug		
Hjælpestoffer (kg per kg input affald)		
	NaOH	0,24E-5
	Aktivt kul	1E-3
	CaCO3	5,7E-3
	NH3	1,5E-3

	Vand	0,397
	Ca(OH) ₂	3,4E-4
	HCl	5,6E-6
Energiudnyttelse		
Effektiviteter (% af nedre brændværdi af input træaffald, netto)		
	Substituerer marginal el	22
	Substituerer marginal varme	73
Emissioner		
Processpecifikke, til luft (kg per kg input træaffald)		
	HCl	5,3E-6
	CO	3,3E-5
	NO _x	8,5E-4
	HF	0,4E-6
	Dioxin _{1.8}	2E-14
	Partikler > 10 µm	3E-6
	SO ₂	2,9E-6
Affaldsspecifikke (% transferkoefficienter fra affald til luft)		
	Cl	0,107
	S	0,099
	As	0,0121
	Cd	0,0064
	Cr	0,0394
	Cu	0,00261
	Hg	0,748
	Ni	0,0329
	Pb	0,00081
	Sb	0,119
	Fossil CO ₂	99,9
	Biogen CO ₂	99,9
Affaldsspecifikke (% transferkoefficienter fra affald til bundaske)		
	Cl	5,30
	S	23,99
	As	40,61
	Cd	11,83
	Cr	83,15

	Cu	92,63
	Fe	16,922
	Hg	2,909
	Mo	96,61
	Ni	87,32
	Pb	48,47
	Sb	38,807
	Se	100
	Zn	51,76
	Biogen CO2	0,2
	Fossil CO2	0,1
Affaldsspecifikke (% transferkoefficienter fra affald til flyveaske)		
	Cl	32,13
	S	60,91
	As	58,92
	Cd	88,13
	Cr	16,77
	Cu	7,35
	Fe	3,06
	Hg	96,25
	Mo	2,54
	Ni	12,56
	Pb	51,29
	Sb	59,84
	Se	0
	Zn	48,18

Nyttiggørelse af flyveaske som fyldmateriale i tysk saltmine

Flyveaske fra danske affaldsforbrændingsanlæg transporteres sædvanligvis til nyttiggørelse i Norge eller Tyskland. Det er her antaget at flyveasken nyttiggøres som fyldmateriale i tyske saltminer, hvor det erstatter grusmateriale.

Flyveasken blandes med vand, additiver og andre affaldsfraktioner, hvorefter massen pumpes ind i saltmine. Massen danner et cementlignende materiale anvendt som fyldmateriale i saltminer til at undgå kollaps. Det er antaget at der ikke foregår udvaskning fra flyveasken de første 100 år grundet ingen hydraulisk kontakt med det omkringliggende grundvandsmagasin. Data er fra et studie udført af ISWA (International Solid Waste Association).

Table 11 Data for nyttiggørelse af flyveaske i tysk saltmine. Besparelsen af diesel skyldes undgået udgravning af grusmateriale (grus erstattes af flyveasken). Fra EASETECH proces: "Utilization as backfilling material in German salt mines, 2006". Referencer: (Astrup, 2008; Fruergaard et al., 2008).

Forbrug	Enhed	Værdi
Diesel	kg/kg våd vægt	0,0015
Elektricitet	kg/kg våd vægt	0,028
Diesel, undgået	kg/kg våd vægt	-0,00016
Grus, undgået	kWh/kg våd vægt	-1

Nyttiggørelse af bundaske som vejfyld

Det er antaget at bundasken (slaggen) for affaldsforbrænding nyttiggøres som vejfyld, hvilket er udbredt i Danmark. Det er antaget at bundasken erstatter grusmateriale.

Medtaget data er undgået forbrug af diesel og elektricitet ved undgået udgravning af grusmateriale samt udvaskning fra bundasken til ferskvand. Undgået udvaskning fra undgået grusmateriale er minimal og ikke inkluderet. Udvasning fra bundasken er estimeret ved en CEN L/S 2 udvasningstest. Udvasningsdata var herefter interpoleret til en L/S-ratio på 4.9 l/kg baseret på Allegrini et al. (2015).

Table 12 Forbrug og emissioner ved nyttiggørelse af resterende bundaske som vejfyld. Fra EASETECH proces: "MSWI BA aggregate in Road 100 % leaching emissions to soil". Referencer: (Allegrini et al., 2015; Astrup et al., 2010).

Parameter	Enhed	Værdi
<i>Forbrug</i>		
Diesel	l/kg våd vægt	-0,00027
Elektricitet	kWh/kg våd vægt	-0,00065
<i>Emissioner</i>		
Arsenik, As, jord	kg/kg tørstof	8,06E-9
Bly, Pb, jord	kg/kg tørstof	1,63E-8
Cadmium, Cd, jord	kg/kg tørstof	2,45E-10
Kobber, Cu, jord	kg/kg tørstof	1,03E-6
Krom, CrVI, jord	kg/kg tørstof	1,29E-7
Nikkel, Ni, jord	kg/kg tørstof	1,30E-9
Zink, Zn, jord	kg/kg tørstof	2,39E-7
Antimon, Sb, jord	kg/kg tørstof	1,01E-7
Molybdenum, Md, jord	kg/kg tørstof	6,33E-7
Selen, Se, jord	kg/kg tørstof	8,10E-8
Barium, Ba, jord	kg/kg tørstof	1,16E-7
Kobalt, Co, jord	kg/kg tørstof	4,90E-10
Tin, Sn, jord	kg/kg tørstof	8,89E-9
Vanadium, V, jord	kg/kg tørstof	3,87E-8
Fosfor, P, jord	kg/kg tørstof	2,38E-7

6. LCA-resultater

Dette afsnit præsenterer alle resultaterne fra LCA'ens scenarier. Først vises tabeller med karakteriserede (dvs. ikke-normaliserede) resultater og dernæst vises grafer med alle normaliserede resultater. Herefter vises resultaterne fra følsomhedsanalysen.

6.1 Karakteriserede resultater

6.1.1 Tagsten

Tagsten – Genanvendelse via knusning

Tabel 13 Karakteriserede resultater. KÆ = Klimaændringer; PU = partikeludledning; ODP = ozonnedbrydning; IR = ioniserende stråling; POF = fotokemisk smog; TA = terrestrisk forurening; ET = næringssaltbelastning, terrestrisk; Resultater er givet per referencemængde her 1 ton materiale. Enheder kan ses **Tabel 2**.

	KÆ	PU	ODP	IR	POF	TA	ET
Sum	2.2E+00	7.7E-04	8.7E-08	3.4E-02	4.1E-03	4.6E-03	1.3E-02
Transport af tagsten til knusning	2.7E+00	2.5E-04	9.7E-10	3.8E-03	3.0E-03	4.5E-03	1.4E-02
Brug af knuste tagsten som gruserstatning	-1.0E+00	-1.9E-04	-6.7E-09	-1.9E-03	-6.5E-03	-5.6E-03	-2.8E-02
Knusning	5.4E-01	7.0E-04	9.3E-08	3.2E-02	7.6E-03	5.7E-03	2.8E-02

Tabel 14 Karakteriserede resultater. EF = næringssaltbelastning, ferskvand; ME = næringssaltbelastning, marin; FE = ferskvand økotoxicitet; ARDele = abiotiske ressourcer, mineraler; HTNC = humantoksicitet, non-carcinogen; humantoksicitet, carcinogen. Resultater er givet per referencemængde her 1 ton materiale. Enheder kan ses **Tabel 2**.

	EF	ME	ARDele	FE	HTNC	HTC
Sum	-2.1E-06	1.1E-03	-4.1E-07	7.8E-01	6.4E-07	5.6E-09
Transport af tagsten til knusning	2.3E-06	1.1E-03	2.4E-06	7.7E-01	8.1E-07	3.8E-09
Brug af knuste tagsten som gruserstatning	-6.6E-06	-2.5E-03	-2.9E-06	-1.2E-01	-1.9E-07	-2.2E-09
Knusning	2.2E-06	2.5E-03	8.2E-08	1.3E-01	1.6E-08	3.9E-09

Tagsten – genbrug

Tabel 15 Karakteriserede resultater. KÆ = Klimaændringer; PU = partikeludledning; ODP = ozonnedbrydning; IR = ioniserende stråling; POF = fotokemisk smog; TA = terrestrisk forurening; ET = næringssaltbelastning, terrestrisk; Resultater er givet per referencemængde her 1 ton materiale. Enheder kan ses **Tabel 2**.

	KÆ	PU	ODP	IR	POF	TA	ET
Sum	-3.5E+02	-7.8E-02	-2.8E-05	-9.9E+00	-8.7E-01	-9.7E-01	-2.7E+00
Transport af tagsten til genbrug	2.7E+00	2.5E-04	9.7E-10	3.8E-03	3.0E-03	4.5E-03	1.4E-02
Undgået produktion af tagsten	-3.5E+02	-8.4E-02	-2.9E-05	-1.0E+01	-9.4E-01	-1.0E+00	-2.9E+00
Sortering	4.5E+00	5.6E-03	7.4E-07	2.5E-01	6.2E-02	4.7E-02	2.3E-01

Tabel 16 Karakteriserede resultater. EF = næringssaltbelastning, ferskvand; ME = næringssaltbelastning, marin; FE = ferskvand økotoksicitet; ARDele = abiotiske ressourcer, mineraler; HTNC = humantoksicitet, non-carcinogen; humantoksicitet, carcinogen. Resultater er givet per referencemængde her 1 ton materiale. Enheder kan ses **Tabel 2**.

	EF	ME	ARDele	FE	HTNC	HTC
Sum	-4.7E-03	-2.4E-01	-1.5E-04	-7.3E+01	-1.3E-05	-2.7E-06
Transport af tagsten til genbrug	2.3E-06	1.1E-03	2.4E-06	7.7E-01	8.1E-07	3.8E-09
Undgået produktion af tagsten	-4.7E-03	-2.6E-01	-1.5E-04	-7.5E+01	-1.4E-05	-2.7E-06
Sortering	1.8E-05	2.1E-02	8.8E-07	1.0E+00	1.8E-07	3.1E-08

6.1.2 Stenuld

Stenuld – Deponi

Tabel 17 Karakteriserede resultater. KÆ = Klimaændringer; PU = partikeludledning; ODP = ozonnedbrydning; IR = ioniserende stråling; POF = fotokemisk smog; TA = terrestrisk forurening; ET = næringssaltbelastning, terrestrisk; Resultater er givet per referencemængde her 1 ton materiale. Enheder kan ses **Tabel 2**.

	KÆ	PU	ODP	IR	POF	TA	ET
Sum	8.6E+00	1.2E-03	5.3E-08	1.6E-02	3.2E-02	3.0E-02	1.4E-01
Transport til deponi	2.7E+00	2.5E-04	9.7E-10	3.8E-03	3.0E-03	4.5E-03	1.4E-02
Stenuld deponering	5.9E+00	9.1E-04	5.3E-08	1.2E-02	2.9E-02	2.5E-02	1.2E-01

Tabel 18 Karakteriserede resultater. EF = næringssaltbelastning, ferskvand; ME = næringssaltbelastning, marin; FE = ferskvand økotoksicitet; ARDele = abiotiske ressourcer, mineraler; HTNC = humantoksicitet, non-carcinogen; humantoksicitet, carcinogen. Resultater er givet per referencemængde her 1 ton materiale. Enheder kan ses **Tabel 2**.

	EF	ME	ARDele	FE	HTNC	HTC
Sum	5.3E-05	1.2E-02	2.4E-05	1.5E+00	1.9E-06	1.9E-08
Transport til deponi	2.3E-06	1.1E-03	2.4E-06	7.7E-01	8.1E-07	3.8E-09
Stenuld deponering	5.1E-05	1.1E-02	2.1E-05	7.6E-01	1.1E-06	1.5E-08

Stenuld – genanvendelse

Tabel 19 Karakteriserede resultater. KÆ = Klimaændringer; PU = partikeludledning; ODP = ozonnedbrydning; IR = ioniserende stråling; POF = fotokemisk smog; TA = terrestrisk forsuring; ET = nærings saltbelastning, terrestrisk; Resultater er givet per referencemængde her 1 ton materiale. Enheder kan ses **Tabel 2**.

	KÆ	PU	ODP	IR	POF	TA	ET
Sum	-5.8E+00	-2.1E-04	-8.4E-09	-1.5E-02	-2.0E-03	-4.6E-03	-3.3E-03
Undgået Stenuld transport af sten - DK	-2.3E+00	-1.1E-04	-4.8E-09	-5.8E-03	-1.8E-03	-2.6E-03	-5.8E-03
Transport til deponi	2.7E-01	2.5E-05	9.7E-11	3.8E-04	3.0E-04	4.5E-04	1.4E-03
Sorting til genanvendelse	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
Undgået Stenuld transport af sten - SE	-1.8E+01	-9.1E-04	-3.8E-08	-4.6E-02	-1.4E-02	-2.1E-02	-4.7E-02
Stenuld deponering	5.9E-01	9.1E-05	5.3E-09	1.2E-03	2.9E-03	2.5E-03	1.2E-02
Transport til Rockwool	7.9E+00	3.9E-04	1.6E-08	2.0E-02	6.1E-03	9.0E-03	2.0E-02
Transport til sortering	6.1E+00	3.0E-04	1.3E-08	1.5E-02	4.8E-03	7.0E-03	1.6E-02

Tabel 20 Karakteriserede resultater. EF = nærings saltbelastning, ferskvand; ME = nærings saltbelastning, marin; FE = ferskvand økotoxicitet; ARDele = abiotiske ressourcer, mineraler; HTNC = humantoksicitet, non-carcinogen; humantoksicitet, carcinogen. Resultater er givet per referencemængde her 1 ton materiale. Enheder kan ses **Tabel 2**.

	EF	ME	ARDele	FE	HTNC	HTC
Sum	3.7E-06	-3.8E-04	-4.6E-06	-2.1E+00	-1.1E-06	-6.4E-10
Undgået Stenuld transport af sten - DK	-5.5E-07	-5.4E-04	-2.4E-06	-7.9E-01	-4.5E-07	-8.6E-10
Transport til deponi	2.3E-07	1.1E-04	2.4E-07	7.7E-02	8.1E-08	3.8E-10
Sorting til genanvendelse	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
Undgået Stenuld transport af sten - SE	-4.4E-06	-4.3E-03	-1.9E-05	-6.3E+00	-3.6E-06	-6.9E-09
Stenuld deponering	5.1E-06	1.1E-03	2.1E-06	7.6E-02	1.1E-07	1.5E-09
Transport til Rockwool	1.9E-06	1.8E-03	8.3E-06	2.7E+00	1.5E-06	3.0E-09
Transport til sortering	1.5E-06	1.4E-03	6.4E-06	2.1E+00	1.2E-06	2.3E-09

6.1.3 Beton

Beton – Genanvendelse

Tabel 21 Karakteriserede resultater. KÆ = Klimaændringer; PU = partikeludledning; ODP = ozonnedbrydning; IR = ioniserende stråling; POF = fotokemisk smog; TA = terrestrisk forurening; ET = næringssaltbelastning, terrestrisk; Resultater er givet per referencemængde her 1 ton materiale. Enheder kan ses **Tabel 2**.

	KÆ	PU	ODP	IR	POF	TA	ET
SUM	2.2E+00	7.7E-04	8.7E-08	3.4E-02	4.1E-03	4.6E-03	1.3E-02
Transport til knusning	2.7E+00	2.5E-04	9.7E-10	3.8E-03	3.0E-03	4.5E-03	1.4E-02
Knusning	5.4E-01	7.0E-04	9.3E-08	3.2E-02	7.6E-03	5.7E-03	2.8E-02
Brug af knust beton som gruserstatning	-1.0E+00	-1.9E-04	-6.7E-09	-1.9E-03	-6.5E-03	-5.6E-03	-2.8E-02

Tabel 22 Karakteriserede resultater. EF = næringssaltbelastning, ferskvand; ME = næringssaltbelastning, marin; FE = ferskvand økotoxicitet; ARDele = abiotiske ressourcer, mineraler; HTNC = humantoksicitet, non-carcinogen; humantoksicitet, carcinogen. Resultater er givet per referencemængde her 1 ton materiale. Enheder kan ses **Tabel 2**.

	EF	ME	ARDele	FE	HTNC	HTC
SUM	-2.1E-06	1.1E-03	-4.1E-07	7.8E-01	6.4E-07	5.6E-09
Transport til knusning	2.3E-06	1.1E-03	2.4E-06	7.7E-01	8.1E-07	3.8E-09
Knusning	2.2E-06	2.5E-03	8.2E-08	1.3E-01	1.6E-08	3.9E-09
Brug af knust beton som gruserstatning	-6.6E-06	-2.5E-03	-2.9E-06	-1.2E-01	-1.9E-07	-2.2E-09

Beton – Genbrug

Tabel 23 Karakteriserede resultater. KÆ = Klimaændringer; PU = partikeludledning; ODP = ozonnedbrydning; IR = ioniserende stråling; POF = fotokemisk smog; TA = terrestrisk forurening; ET = næringssaltbelastning, terrestrisk; Resultater er givet per referencemængde her 1 ton materiale. Enheder kan ses **Tabel 2**.

	KÆ	PU	ODP	IR	POF	TA	ET
SUM	-7.7E+01	-1.3E-02	-2.2E-06	-2.3E+00	-1.6E-01	-2.0E-01	-6.4E-01
Undgået beton produktion	-8.0E+01	-1.4E-02	-2.2E-06	-2.3E+00	-1.6E-01	-2.1E-01	-6.5E-01
Undgået transport	2.7E+00	2.5E-04	9.7E-10	3.8E-03	3.0E-03	4.5E-03	1.4E-02

Tabel 24 Karakteriserede resultater. EF = næringssaltbelastning, ferskvand; ME = næringssaltbelastning, marin; FE = ferskvand økotoxicitet; ARDele = abiotiske ressourcer, mineraler; HTNC = humantoksicitet, non-carcinogen; humantoksicitet, carcinogen. Resultater er givet per referencemængde her 1 ton materiale. Enheder kan ses **Tabel 2**.

	EF	ME	ARDele	FE	HTNC	HTC
SUM	-1.3E-03	-5.4E-02	-2.8E-05	-1.6E+01	-3.0E-06	-3.2E-07
Undgået beton produktion	-1.3E-03	-5.5E-02	-3.0E-05	-1.7E+01	-3.8E-06	-3.2E-07
Undgået transport	2.3E-06	1.1E-03	2.4E-06	7.7E-01	8.1E-07	3.8E-09

6.1.4 Træ

Træ – Forbrænding

Tabel 25 Karakteriserede resultater. KÆ = Klimaændringer; PU = partikeludledning; ODP = ozonnedbrydning; IR = ioniserende stråling; POF = fotokemisk smog; TA = terrestrisk forsuring; ET = næringssaltbelastning, terrestrisk; Resultater er givet per referencemængde her 1 ton materiale. Enheder kan ses **Tabel 2**.

	KÆ	PU	ODP	IR	POF	TA	ET
Sum	-4.5E+02	-5.5E-02	-9.6E-06	-7.1E-01	-6.0E-02	-8.6E-02	2.7E-01
Transport Byggeplads til forbrænding	2.7E+00	2.5E-04	9.7E-10	3.8E-03	3.0E-03	4.5E-03	1.4E-02
Forbrænding	3.9E+01	8.0E-03	3.2E-07	4.4E-01	8.7E-01	6.7E-01	3.7E+00
Transport bundaske til genanvendelse	1.9E-01	9.4E-06	3.9E-10	4.8E-04	1.5E-04	2.2E-04	4.8E-04
Transport flyveaske til deponi	1.6E-01	8.0E-06	3.4E-10	4.1E-04	1.3E-04	1.8E-04	4.1E-04
Bundaske brug	-7.4E-02	-1.4E-05	-5.0E-10	-1.4E-04	-4.9E-04	-4.1E-04	-2.1E-03
El substitution	-2.7E+02	-5.9E-02	-9.4E-06	-1.1E+00	-4.8E-01	-5.2E-01	-2.1E+00
Flyveaske deponi	4.3E-02	1.2E-05	-5.1E-11	5.6E-05	4.0E-04	3.0E-04	1.5E-03
Flyveaske deponi - Elforbrug	8.3E-02	1.8E-05	2.9E-09	3.3E-04	1.5E-04	1.6E-04	6.5E-04
Udgået el - grus erstatning	-1.3E-02	-3.0E-06	-4.7E-10	-5.4E-05	-2.4E-05	-2.6E-05	-1.1E-04
Varme substitution	-2.3E+02	-4.3E-03	-5.3E-07	-9.0E-02	-4.6E-01	-2.5E-01	-1.4E+00

Tabel 26 Karakteriserede resultater. EF = næringssaltbelastning, ferskvand; ME = næringssaltbelastning, marin; FE = ferskvand økotoxicitet; ARDele = abiotiske ressourcer, mineraler; HTNC = humantoksicitet, non-carcinogen; humantoksicitet, carcinogen. Resultater er givet per referencemængde her 1 ton materiale. Enheder kan ses **Tabel 2**.

	EF	ME	ARDele	FE	HTNC	HTC
Sum	-8.7E-03	5.5E-02	-3.2E-03	-5.0E+01	-3.9E-05	-1.7E-06
Transport Byggeplads til forbrænding	2.3E-06	1.1E-03	2.4E-06	7.7E-01	8.1E-07	3.8E-09
Forbrænding	2.1E-05	3.4E-01	1.8E-05	6.5E-01	1.5E-06	4.8E-08
Transport bundaske til genanvendelse	4.6E-08	4.4E-05	2.0E-07	6.5E-02	3.7E-08	7.1E-11
Transport flyveaske til deponi	3.9E-08	3.8E-05	1.7E-07	5.5E-02	3.2E-08	6.1E-11
Bundaske brug	1.7E-05	-1.8E-04	-2.1E-07	4.5E+00	1.2E-08	5.1E-08
El substitution	-8.7E-03	-1.6E-01	-3.2E-03	-5.4E+01	-4.0E-05	-1.7E-06
Flyveaske deponi	-2.4E-08	1.4E-04	1.7E-08	5.1E-03	8.6E-09	4.6E-11
Flyveaske deponi - Elforbrug	2.7E-06	4.9E-05	9.8E-07	1.7E-02	1.3E-08	5.2E-10
Undgået el - grus erstatning	-4.4E-07	-8.0E-06	-1.6E-07	-2.7E-03	-2.0E-09	-8.4E-11
Varme substitution	-9.8E-05	-1.3E-01	-7.5E-05	-1.7E+00	-1.4E-06	-1.2E-07

Træ – Genbrug af træ, derefter forbrænding

Tabel 27 Karakteriserede resultater. KÆ = Klimaændringer; PU = partikeludledning; ODP = ozonnedbrydning; IR = ioniserende stråling; POF = fotokemisk smog; TA = terrestrisk forsuring; ET = næringssaltbelastning, terrestrisk; Resultater er givet per referencemængde her 1 ton materiale. Enheder kan ses **Tabel 2.**

	KÆ	PU	ODP	IR	POF	TA	ET
Sum	-5.4E+02	-8.5E-01	-2.3E-05	-1.4E+01	-1.6E+00	-8.5E-01	-3.1E+00
Transport af træ til genbrug	2.7E+00	2.5E-04	9.7E-10	3.8E-03	3.0E-03	4.5E-03	1.4E-02
Undgået transport af træ - SE	-1.8E+01	-8.8E-04	-3.7E-08	-4.5E-02	-1.4E-02	-2.0E-02	-4.5E-02
Undgået træ produktion	-7.1E+01	-8.0E-01	-1.3E-05	-1.3E+01	-1.5E+00	-7.5E-01	-3.4E+00
Forbrænding	3.9E+01	8.0E-03	3.2E-07	4.4E-01	8.7E-01	6.7E-01	3.7E+00
Transport bundaske til genanvendelse	1.9E-01	9.4E-06	3.9E-10	4.8E-04	1.5E-04	2.2E-04	4.8E-04
Transport flyveaske til deponi	1.6E-01	8.0E-06	3.4E-10	4.1E-04	1.3E-04	1.8E-04	4.1E-04
Bundaske brug	-6.1E-02	-1.1E-05	-2.2E-11	-8.8E-05	-4.6E-04	-3.9E-04	-2.0E-03
El substitution	-2.7E+02	-5.9E-02	-9.4E-06	-1.1E+00	-4.8E-01	-5.2E-01	-2.1E+00
Flyveaske deponi	4.3E-02	1.2E-05	-5.1E-11	5.6E-05	4.0E-04	3.0E-04	1.5E-03
Flyveaske deponi - Elforbrug	8.3E-02	1.8E-05	2.9E-09	3.3E-04	1.5E-04	1.6E-04	6.5E-04
Undgået el - grus erstatning	-1.3E-02	-3.0E-06	-4.7E-10	-5.4E-05	-2.4E-05	-2.6E-05	-1.1E-04
Transport Byggeplads til forbrænding	2.7E+00	2.5E-04	9.7E-10	3.8E-03	3.0E-03	4.5E-03	1.4E-02
Undgået transport af træ - DK	-2.5E+00	-1.3E-04	-5.3E-09	-6.4E-03	-2.0E-03	-2.9E-03	-6.5E-03
Varme substitution	-2.3E+02	-4.3E-03	-5.3E-07	-9.0E-02	-4.6E-01	-2.5E-01	-1.4E+00

Tabel 28 Karakteriserede resultater. EF = næringssaltbelastning, ferskvand; ME = næringssaltbelastning, marin; FE = ferskvand økotoxicitet; ARDele = abiotiske ressourcer, mineraler; HTNC = humantoksicitet, non-carcinogen; humantoksicitet, carcinogen. Resultater er givet per referencemængde her 1 ton materiale. Enheder kan ses **Tabel 2**.

	EF	ME	ARDele	FE	HTNC	HTC
Sum	-3.2E-02	-2.6E-01	-3.4E-03	-1.9E+02	-1.1E-04	-3.6E-06
Transport af træ til genbrug	2.3E-06	1.1E-03	2.4E-06	7.7E-01	8.1E-07	3.8E-09
Undgået transport af træ - SE	-4.3E-06	-4.2E-03	-1.9E-05	-6.1E+00	-3.5E-06	-6.7E-09
Undgået træ produktion	-2.4E-02	-3.1E-01	-1.4E-04	-1.3E+02	-6.8E-05	-1.9E-06
Forbrænding	2.1E-05	3.4E-01	1.8E-05	6.5E-01	1.5E-06	4.8E-08
Transport bundaske til genanvendelse	4.6E-08	4.4E-05	2.0E-07	6.5E-02	3.7E-08	7.1E-11
Transport flyveaske til deponi	3.9E-08	3.8E-05	1.7E-07	5.5E-02	3.2E-08	6.1E-11
Bundaske brug	1.8E-05	-1.8E-04	-5.5E-08	4.5E+00	1.4E-08	5.1E-08
El substitution	-8.7E-03	-1.6E-01	-3.2E-03	-5.4E+01	-4.0E-05	-1.7E-06
Flyveaske deponi	-2.4E-08	1.4E-04	1.7E-08	5.1E-03	8.6E-09	4.6E-11
Flyveaske deponi - Elforbrug	2.7E-06	4.9E-05	9.8E-07	1.7E-02	1.3E-08	5.2E-10
Undgået el - grus erstatning	-4.4E-07	-8.0E-06	-1.6E-07	-2.7E-03	-2.0E-09	-8.4E-11
Transport Byggeplads til forbrænding	2.3E-06	1.1E-03	2.4E-06	7.7E-01	8.1E-07	3.8E-09
Undgået transport af træ - DK	-6.2E-07	-6.0E-04	-2.7E-06	-8.7E-01	-5.0E-07	-9.6E-10
Varme substitution	-9.8E-05	-1.3E-01	-7.5E-05	-1.7E+00	-1.4E-06	-1.2E-07

6.2 Normaliserede resultater

6.2.1 Tagsten

Tagsten – Genanvendelse via knusning

Tabel 29 Normaliserede resultater. KÆ = Klimaændringer; PU = partikeludledning; ODP = ozonnedbrydning; IR = ioniserende stråling; POF = fotokemisk smog; TA = terrestrisk forurening; ET = næringssaltbelastning, terrestrisk; Resultater er givet per referencemængde her 1 ton materiale. Resultater angivet i person ækvivalenter (PE), hvor 1 PE svarer til en gennemsnitlig europæers årlige udledning af emissioner eller forbrug af ressourcer.

	KÆ	PU	ODP	IR	POF	TA	ET
Sum	2.4E-04	2.0E-04	4.0E-06	3.0E-05	1.3E-04	9.8E-05	7.6E-05
Transport af tagsten til knusning	2.9E-04	6.7E-05	4.5E-08	3.4E-06	9.6E-05	9.6E-05	7.7E-05
Brug af knuste tagsten som gruserstatning	-1.1E-04	-4.9E-05	-3.1E-07	-1.7E-06	-2.1E-04	-1.2E-04	-1.6E-04
Knusning	5.8E-05	1.8E-04	4.3E-06	2.8E-05	2.4E-04	1.2E-04	1.6E-04

Tabel 30 Normaliserede resultater. EF = næringssaltbelastning, ferskvand; ME = næringssaltbelastning, marin; FE = ferskvand økotoxicitet; ARDele = abiotiske ressourcer, mineraler; HTNC = humantoksicitet, non-carcinogen; humantoksicitet, carcinogen. Resultater angivet i person ækvivalenter (PE), hvor 1 PE svarer til en gennemsnitlig europæers årlige udledning af emissioner eller forbrug af ressourcer.

	EF	ME	ARDele	FE	HTNC	HTC
Sum	-1.4E-06	6.7E-05	-4.1E-06	8.9E-05	1.2E-03	1.5E-04
Transport af tagsten til knusning	1.6E-06	6.5E-05	2.4E-05	8.8E-05	1.5E-03	1.0E-04
Brug af knuste tagsten som gruserstatning	-4.5E-06	-1.5E-04	-2.9E-05	-1.4E-05	-3.5E-04	-5.9E-05
Knusning	1.5E-06	1.5E-04	8.2E-07	1.5E-05	3.0E-05	1.1E-04

Tagsten – genbrug

Tabel 31 Normaliserede resultater. KÆ = Klimaændringer; PU = partikeludledning; ODP = ozonnedbrydning; IR = ioniserende stråling; POF = fotokemisk smog; TA = terrestrisk forurening; ET = næringssaltbelastning, terrestrisk; Resultater er givet per referencemængde her 1 ton materiale. Resultater angivet i person ækvivalenter (PE), hvor 1 PE svarer til en gennemsnitlig europæers årlige udledning af emissioner eller forbrug af ressourcer.

	KÆ	PU	ODP	IR	POF	TA	ET
Sum	-3.8E-02	-2.1E-02	-1.3E-03	-8.7E-03	-2.8E-02	-2.0E-02	-1.5E-02
Transport af tagsten til genbrug	2.9E-04	6.7E-05	4.5E-08	3.4E-06	9.6E-05	9.6E-05	7.7E-05
Undgået produktion af tagsten	-3.8E-02	-2.2E-02	-1.3E-03	-9.0E-03	-3.0E-02	-2.2E-02	-1.7E-02
Sortering	4.9E-04	1.5E-03	3.4E-05	2.2E-04	2.0E-03	9.9E-04	1.3E-03

Tabel 32 Normaliserede resultater. EF = næringssaltbelastning, ferskvand; ME = næringssaltbelastning, marin; FE = ferskvand økotoxicitet; ARDele = abiotiske ressourcer, mineraler; HTNC = humantoksicitet, non-carcinogen; humantoksicitet, carcinogen. Resultater angivet i person ækvivalenter (PE), hvor 1 PE svarer til en gennemsnitlig europæers årlige udledning af emissioner eller forbrug af ressourcer.

	EF	ME	ARDele	FE	HTNC	HTC
Sum	-3.2E-03	-1.4E-02	-1.5E-03	-8.4E-03	-2.4E-02	-7.4E-02
Transport af tagsten til genbrug	1.6E-06	6.5E-05	2.4E-05	8.8E-05	1.5E-03	1.0E-04
Undgået produktion af tagsten	-3.2E-03	-1.5E-02	-1.5E-03	-8.6E-03	-2.6E-02	-7.5E-02
Sortering	1.2E-05	1.2E-03	8.7E-06	1.2E-04	3.3E-04	8.5E-04

6.2.2 Stenuld

Stenuld – Deponi

Tabel 33 Normaliserede resultater. KÆ = Klimaændringer; PU = partikeludledning; ODP = ozonnedbrydning; IR = ioniserende stråling; POF = fotokemisk smog; TA = terrestrisk forurening; ET = næringssaltbelastning, terrestrisk; Resultater er givet per referencemængde her 1 ton materiale. Resultater angivet i person ækvivalenter (PE), hvor 1 PE svarer til en gennemsnitlig europæers årlige udledning af emissioner eller forbrug af ressourcer.

	KÆ	PU	ODP	IR	POF	TA	ET
Sum	9.3E-04	3.1E-04	2.5E-06	1.4E-05	1.0E-03	6.3E-04	7.7E-04
Transport til deponi	2.9E-04	6.7E-05	4.5E-08	3.4E-06	9.6E-05	9.6E-05	7.7E-05
Stenuld deponering	6.4E-04	2.4E-04	2.4E-06	1.1E-05	9.0E-04	5.4E-04	6.9E-04

Tabel 34 Normaliserede resultater. EF = næringssaltbelastning, ferskvand; ME = næringssaltbelastning, marin; FE = ferskvand økotoxicitet; ARDele = abiotiske ressourcer, mineraler; HTNC = humantoksicitet, non-carcinogen; humantoksicitet, carcinogen. Resultater angivet i person ækvivalenter (PE), hvor 1 PE svarer til en gennemsnitlig europæers årlige udledning af emissioner eller forbrug af ressourcer.

	EF	ME	ARDele	FE	HTNC	HTC
Sum	3.6E-05	7.0E-04	2.3E-04	1.8E-04	3.6E-03	5.0E-04
Transport til deponi	1.6E-06	6.5E-05	2.4E-05	8.8E-05	1.5E-03	1.0E-04
Stenuld deponering	3.4E-05	6.3E-04	2.1E-04	8.7E-05	2.0E-03	4.0E-04

Stenuld – genanvendelse

Tablet 35 Normaliserede resultater. KÆ = Klimaændringer; PU = partikeludledning; ODP = ozonnedbrydning; IR = ioniserende stråling; POF = fotokemisk smog; TA = terrestrisk forurening; ET = næringssaltbelastning, terrestrisk; Resultater er givet per referencemængde her 1 ton materiale. Resultater angivet i person ækvivalenter (PE), hvor 1 PE svarer til en gennemsnitlig europæers årlige udledning af emissioner eller forbrug af ressourcer..

	KÆ	PU	ODP	IR	POF	TA	ET
Sum	-6.3E-04	-5.6E-05	-3.9E-07	-1.3E-05	-6.3E-05	-9.6E-05	-1.9E-05
Undgået Stenuld transport af sten - DK	-2.5E-04	-3.0E-05	-2.2E-07	-5.1E-06	-5.6E-05	-5.5E-05	-3.3E-05
Transport til deponi	2.9E-05	6.7E-06	4.5E-09	3.4E-07	9.6E-06	9.6E-06	7.7E-06
Sortning til genanvendelse	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
Undgået Stenuld transport af sten - SE	-2.0E-03	-2.4E-04	-1.8E-06	-4.1E-05	-4.5E-04	-4.4E-04	-2.6E-04
Stenuld deponering	6.4E-05	2.4E-05	2.4E-07	1.1E-06	9.0E-05	5.4E-05	6.9E-05
Transport til Rockwool	8.5E-04	1.0E-04	7.6E-07	1.8E-05	1.9E-04	1.9E-04	1.1E-04
Transport til sortering	6.6E-04	8.0E-05	5.9E-07	1.4E-05	1.5E-04	1.5E-04	8.8E-05

Tablet 36 Normaliserede resultater. EF = næringssaltbelastning, ferskvand; ME = næringssaltbelastning, marin; FE = ferskvand økotoxicitet; ARDele = abiotiske ressourcer, mineraler; HTNC = humantoksicitet, non-carcinogen; humantoksicitet, carcinogen. Resultater angivet i person ækvivalenter (PE), hvor 1 PE svarer til en gennemsnitlig europæers årlige udledning af emissioner eller forbrug af ressourcer.

	EF	ME	ARDele	FE	HTNC	HTC
Sum	2.5E-06	-2.2E-05	-4.6E-05	-2.4E-04	-2.1E-03	-1.7E-05
Undgået Stenuld transport af sten - DK	-3.7E-07	-3.2E-05	-2.4E-05	-9.0E-05	-8.4E-04	-2.3E-05
Transport til deponi	1.6E-07	6.5E-06	2.4E-06	8.8E-06	1.5E-04	1.0E-05
Sortning til genanvendelse	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
Undgået Stenuld transport af sten - SE	-3.0E-06	-2.5E-04	-1.9E-04	-7.2E-04	-6.7E-03	-1.9E-04
Stenuld deponering	3.4E-06	6.3E-05	2.1E-05	8.7E-06	2.0E-04	4.0E-05
Transport til Rockwool	1.3E-06	1.1E-04	8.2E-05	3.1E-04	2.9E-03	8.0E-05
Transport til sortering	1.0E-06	8.5E-05	6.4E-05	2.4E-04	2.2E-03	6.2E-05

6.2.3 Beton

Beton – Genanvendelse

Tabel 37 Normaliserede resultater. KÆ = Klimaændringer; PU = partikeludledning; ODP = ozonnedbrydning; IR = ioniserende stråling; POF = fotokemisk smog; TA = terrestrisk forurening; ET = næringssaltbelastning, terrestrisk; Resultater er givet per referencemængde her 1 ton materiale. Resultater angivet i person ækvivalenter (PE), hvor 1 PE svarer til en gennemsnitlig europæers årlige udledning af emissioner eller forbrug af ressourcer..

	KÆ	PU	ODP	IR	POF	TA	ET
SUM	2.4E-04	2.0E-04	4.0E-06	3.0E-05	1.3E-04	9.8E-05	7.6E-05
Transport til knusning	2.9E-04	6.7E-05	4.5E-08	3.4E-06	9.6E-05	9.6E-05	7.7E-05
Knusning	5.8E-05	1.8E-04	4.3E-06	2.8E-05	2.4E-04	1.2E-04	1.6E-04
Brug af knust beton som gruserstatning	-1.1E-04	-4.9E-05	-3.1E-07	-1.7E-06	-2.1E-04	-1.2E-04	-1.6E-04

Tabel 38 Normaliserede resultater. EF = næringssaltbelastning, ferskvand; ME = næringssaltbelastning, marin; FE = ferskvand økotoxicitet; ARDele = abiotiske ressourcer, mineraler; HTNC = humantoksicitet, non-carcinogen; humantoksicitet, carcinogen. Resultater angivet i person ækvivalenter (PE), hvor 1 PE svarer til en gennemsnitlig europæers årlige udledning af emissioner eller forbrug af ressourcer.

	EF	ME	ARDele	FE	HTNC	HTC
SUM	-1.4E-06	6.7E-05	-4.1E-06	8.9E-05	1.2E-03	1.5E-04
Transport til knusning	1.6E-06	6.5E-05	2.4E-05	8.8E-05	1.5E-03	1.0E-04
Knusning	1.5E-06	1.5E-04	8.2E-07	1.5E-05	3.0E-05	1.1E-04
Brug af knust beton som gruserstatning	-4.5E-06	-1.5E-04	-2.9E-05	-1.4E-05	-3.5E-04	-5.9E-05

Beton – Genbrug

Tabel 39 Normaliserede resultater. KÆ = Klimaændringer; PU = partikeludledning; ODP = ozonnedbrydning; IR = ioniserende stråling; POF = fotokemisk smog; TA = terrestrisk forurening; ET = næringssaltbelastning, terrestrisk; Resultater er givet per referencemængde her 1 ton materiale. Resultater angivet i person ækvivalenter (PE), hvor 1 PE svarer til en gennemsnitlig europæers årlige udledning af emissioner eller forbrug af ressourcer.

	KÆ	PU	ODP	IR	POF	TA	ET
SUM	-8.4E-03	-3.5E-03	-1.0E-04	-2.0E-03	-5.1E-03	-4.3E-03	-3.6E-03
Undgået beton produktion	-8.7E-03	-3.6E-03	-1.0E-04	-2.0E-03	-5.2E-03	-4.3E-03	-3.7E-03
Undgået transport	2.9E-04	6.7E-05	4.5E-08	3.4E-06	9.6E-05	9.6E-05	7.7E-05

Tabel 40 Normaliserede resultater. EF = næringssaltbelastning, ferskvand; ME = næringssaltbelastning, marin; FE = ferskvand økotoxicitet; ARDele = abiotiske ressourcer, mineraler; HTNC = humantoksicitet, non-carcinogen; humantoksicitet, carcinogen. Resultater angivet i person ækvivalenter (PE), hvor 1 PE svarer til en gennemsnitlig europæers årlige udledning af emissioner eller forbrug af ressourcer.

	EF	ME	ARDele	FE	HTNC	HTC
SUM	-8.6E-04	-3.2E-03	-2.7E-04	-1.9E-03	-5.7E-03	-8.6E-03
Undgået beton produktion	-8.6E-04	-3.3E-03	-3.0E-04	-2.0E-03	-7.2E-03	-8.7E-03
Undgået transport	1.6E-06	6.5E-05	2.4E-05	8.8E-05	1.5E-03	1.0E-04

6.2.4 Træ

Træ – Forbrænding

Tabel 41 Normaliserede resultater. KÆ = Klimaændringer; PU = partikeludledning; ODP = ozonnedbrydning; IR = ioniserende stråling; POF = fotokemisk smog; TA = terrestrisk forurening; ET = næringssaltbelastning, terrestrisk; Resultater er givet per referencemængde her 1 ton materiale. Resultater angivet i person ækvivalenter (PE), hvor 1 PE svarer til en gennemsnitlig europæers årlige udledning af emissioner eller forbrug af ressourcer.

	KÆ	PU	ODP	IR	POF	TA	ET
-4.9E-02	-1.5E-02	-4.4E-04	-6.2E-04	-1.9E-03	-1.8E-03	1.5E-03	-4.9E-02
2.9E-04	6.7E-05	4.5E-08	3.4E-06	9.6E-05	9.6E-05	7.7E-05	2.9E-04
4.2E-03	2.1E-03	1.5E-05	3.9E-04	2.8E-02	1.4E-02	2.1E-02	4.2E-03
2.0E-05	2.5E-06	1.8E-08	4.2E-07	4.6E-06	4.6E-06	2.7E-06	2.0E-05
1.8E-05	2.1E-06	1.6E-08	3.6E-07	4.0E-06	3.9E-06	2.3E-06	1.8E-05
-8.0E-06	-3.7E-06	-2.3E-08	-1.2E-07	-1.5E-05	-8.7E-06	-1.2E-05	-8.0E-06
-2.9E-02	-1.6E-02	-4.3E-04	-9.3E-04	-1.5E-02	-1.1E-02	-1.2E-02	-2.9E-02
4.6E-06	3.2E-06	-2.4E-09	4.9E-08	1.3E-05	6.3E-06	8.6E-06	4.6E-06
9.0E-06	4.9E-06	1.4E-07	2.9E-07	4.7E-06	3.4E-06	3.7E-06	9.0E-06
-1.5E-06	-7.9E-07	-2.2E-08	-4.7E-08	-7.7E-07	-5.5E-07	-6.0E-07	-1.5E-06
-2.5E-02	-1.1E-03	-2.5E-05	-8.0E-05	-1.4E-02	-5.3E-03	-7.9E-03	-2.5E-02

Tabel 42 Normaliserede resultater. EF = næringssaltbelastning, ferskvand; ME = næringssaltbelastning, marin; FE = ferskvand økotoxicitet; ARDele = abiotiske ressourcer, mineraler; HTNC = humantoksicitet, non-carcinogen; humantoksicitet, carcinogen. Resultater angivet i person ækvivalenter (PE), hvor 1 PE svarer til en gennemsnitlig europæers årlige udledning af emissioner eller forbrug af ressourcer.

	EF	ME	ARDele	FE	HTNC	HTC
Sum	-5.9E-03	3.3E-03	-3.2E-02	-5.7E-03	-7.4E-02	-4.5E-02
Transport Byggeplads til forbrænding	1.6E-06	6.5E-05	2.4E-05	8.8E-05	1.5E-03	1.0E-04
Forbrænding	1.4E-05	2.0E-02	1.8E-04	7.5E-05	2.8E-03	1.3E-03
Transport bundaske til genanvendelse	3.1E-08	2.6E-06	2.0E-06	7.4E-06	6.9E-05	1.9E-06
Transport flyveaske til deponi	2.6E-08	2.2E-06	1.7E-06	6.3E-06	5.9E-05	1.6E-06
Bundaske brug	1.2E-05	-1.1E-05	-2.1E-06	5.1E-04	2.3E-05	1.4E-03
El substitution	-5.9E-03	-9.3E-03	-3.1E-02	-6.2E-03	-7.6E-02	-4.5E-02
Flyveaske deponi	-1.6E-08	8.0E-06	1.7E-07	5.8E-07	1.6E-05	1.3E-06
Flyveaske deponi - Elforbrug	1.8E-06	2.9E-06	9.7E-06	1.9E-06	2.4E-05	1.4E-05
Undgået el - grus erstatning	-3.0E-07	-4.7E-07	-1.6E-06	-3.1E-07	-3.8E-06	-2.3E-06
Varme substitution	-6.6E-05	-7.5E-03	-7.4E-04	-1.9E-04	-2.7E-03	-3.2E-03

Træ – Genbrug af træ, derefter forbrænding

Tablet 43 Normaliserede resultater. KÆ = Klimaændringer; PU = partikeludledning; ODP = ozonnedbrydning; IR = ioniserende stråling; POF = fotokemisk smog; TA = terrestrisk forsurening; ET = næringssaltbelastning, terrestrisk; Resultater er givet per referencemængde her 1 ton materiale. Resultater angivet i person ækvivalenter (PE), hvor 1 PE svarer til en gennemsnitlig europæers årlige udledning af emissioner eller forbrug af ressourcer.

	KÆ	PU	ODP	IR	POF	TA	ET
Sum	-5.9E-02	-2.2E-01	-1.1E-03	-1.2E-02	-4.9E-02	-1.8E-02	-1.8E-02
Transport af træ til genbrug	2.9E-04	6.7E-05	4.5E-08	3.4E-06	9.6E-05	9.6E-05	7.7E-05
Undgået transport af træ - SE	-1.9E-03	-2.3E-04	-1.7E-06	-4.0E-05	-4.4E-04	-4.3E-04	-2.6E-04
Undgået træ produktion	-7.7E-03	-2.1E-01	-6.1E-04	-1.1E-02	-4.7E-02	-1.6E-02	-1.9E-02
Forbrænding	4.2E-03	2.1E-03	1.5E-05	3.9E-04	2.8E-02	1.4E-02	2.1E-02
Transport bundaske til genanvendelse	2.0E-05	2.5E-06	1.8E-08	4.2E-07	4.6E-06	4.6E-06	2.7E-06
Transport flyveaske til deponi	1.8E-05	2.1E-06	1.6E-08	3.6E-07	4.0E-06	3.9E-06	2.3E-06
Bundaske brug	-6.6E-06	-2.9E-06	-1.0E-09	-7.7E-08	-1.5E-05	-8.2E-06	-1.1E-05
El substitution	-2.9E-02	-1.6E-02	-4.3E-04	-9.3E-04	-1.5E-02	-1.1E-02	-1.2E-02
Flyveaske deponi	4.6E-06	3.2E-06	-2.4E-09	4.9E-08	1.3E-05	6.3E-06	8.6E-06
Flyveaske deponi - Elforbrug	9.0E-06	4.9E-06	1.4E-07	2.9E-07	4.7E-06	3.4E-06	3.7E-06
Undgået el - grus erstatning	-1.5E-06	-7.9E-07	-2.2E-08	-4.7E-08	-7.7E-07	-5.5E-07	-6.0E-07
Transport Byggeplads til forbrænding	2.9E-04	6.7E-05	4.5E-08	3.4E-06	9.6E-05	9.6E-05	7.7E-05
Undgået transport af træ - DK	-2.8E-04	-3.3E-05	-2.4E-07	-5.7E-06	-6.3E-05	-6.1E-05	-3.7E-05
Varme substitution	-2.5E-02	-1.1E-03	-2.5E-05	-8.0E-05	-1.4E-02	-5.3E-03	-7.9E-03

Tabel 44 Normaliserede resultater. EF = næringssaltbelastning, ferskvand; ME = næringssaltbelastning, marin; FE = ferskvand økotoxicitet; ARDele = abiotiske ressourcer, mineraler; HTNC = humantoksicitet, non-carcinogen; humantoksicitet, carcinogen. Resultater angivet i person ækvivalenter (PE), hvor 1 PE svarer til en gennemsnitlig europæers årlige udledning af emissioner eller forbrug af ressourcer.

	EF	ME	ARDele	FE	HTNC	HTC
Sum	-2.2E-02	-1.5E-02	-3.3E-02	-2.1E-02	-2.1E-01	-9.7E-02
Transport af træ til genbrug	1.6E-06	6.5E-05	2.4E-05	8.8E-05	1.5E-03	1.0E-04
Undgået transport af træ - SE	-2.9E-06	-2.5E-04	-1.9E-04	-7.0E-04	-6.5E-03	-1.8E-04
Undgået træ produktion	-1.6E-02	-1.8E-02	-1.4E-03	-1.5E-02	-1.3E-01	-5.1E-02
Forbrænding	1.4E-05	2.0E-02	1.8E-04	7.5E-05	2.8E-03	1.3E-03
Transport bundaske til genanvendelse	3.1E-08	2.6E-06	2.0E-06	7.4E-06	6.9E-05	1.9E-06
Transport flyveaske til deponi	2.6E-08	2.2E-06	1.7E-06	6.3E-06	5.9E-05	1.6E-06
Bundaske brug	1.2E-05	-1.0E-05	-5.4E-07	5.1E-04	2.7E-05	1.4E-03
El substitution	-5.9E-03	-9.3E-03	-3.1E-02	-6.2E-03	-7.6E-02	-4.5E-02
Flyveaske deponi	-1.6E-08	8.0E-06	1.7E-07	5.8E-07	1.6E-05	1.3E-06
Flyveaske deponi - Elforbrug	1.8E-06	2.9E-06	9.7E-06	1.9E-06	2.4E-05	1.4E-05
Undgået el - grus erstatning	-3.0E-07	-4.7E-07	-1.6E-06	-3.1E-07	-3.8E-06	-2.3E-06
Transport Byggeplads til forbrænding	1.6E-06	6.5E-05	2.4E-05	8.8E-05	1.5E-03	1.0E-04
Undgået transport af træ - DK	-4.2E-07	-3.5E-05	-2.6E-05	-1.0E-04	-9.3E-04	-2.6E-05
Varme substitution	-6.6E-05	-7.5E-03	-7.4E-04	-1.9E-04	-2.7E-03	-3.2E-03

7. LCA-resultater - følsomhedsanalyser

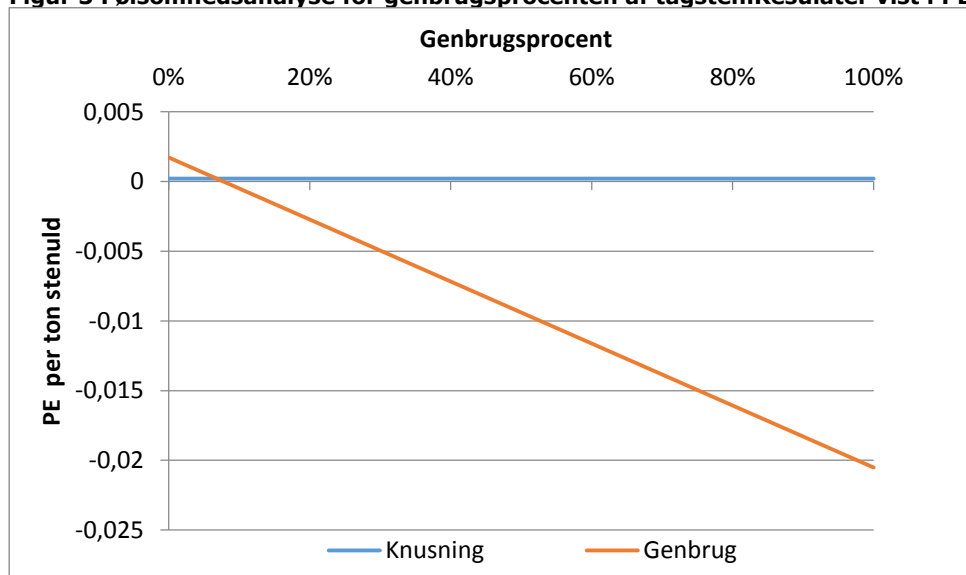
Der er foretaget følgende en række følsomhedsanalyser hvor klimaresultatet blev beskrevet i hovedrapporten. Nedenfor findes resultaterne for partikelforurening og ressourceforbrug. Hvis trend er den samme for de to andre påvirkninger som for klimaændringer er der ikke beskrevet yderligere.

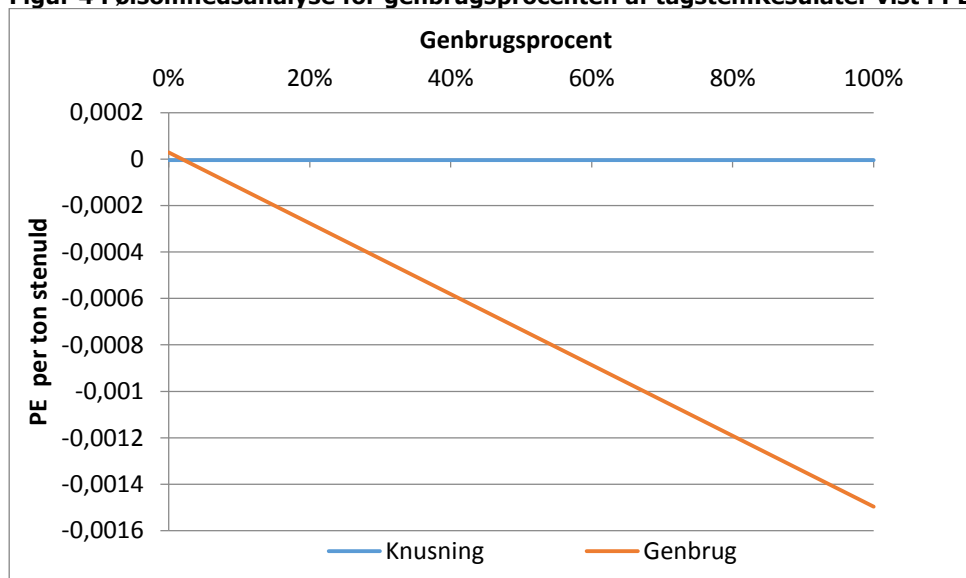
7.1 Tagsten

7.1.1 Laverere genbrugsprocent

I modelleringen er der regnet med at 100% af tagstenene kan genbruges for at have det optimale yderpunkt. Det må dog antages at nogle sten ikke har en funktionalitet hvor de kan genbruges mere, eller ikke kan nedtages hele. Derfor vises effekten af genbrugsprocenten nedenfor. Her er det antaget at der køres 30 km til sortering som i standard scenariet og yderligere 30 km til knusning. Den ekstra transport er kun relevant idet der ved 100% genbrug ikke var nogen videretransport til knusning, uden denne ekstra transport ville genbrug altid være bedre selv om ikke alt kan genbruges.

Figur 3 Følsomhedsanalyse for genbrugsprocenten af tagsten. Resultater vist i PE for Partikelforurening

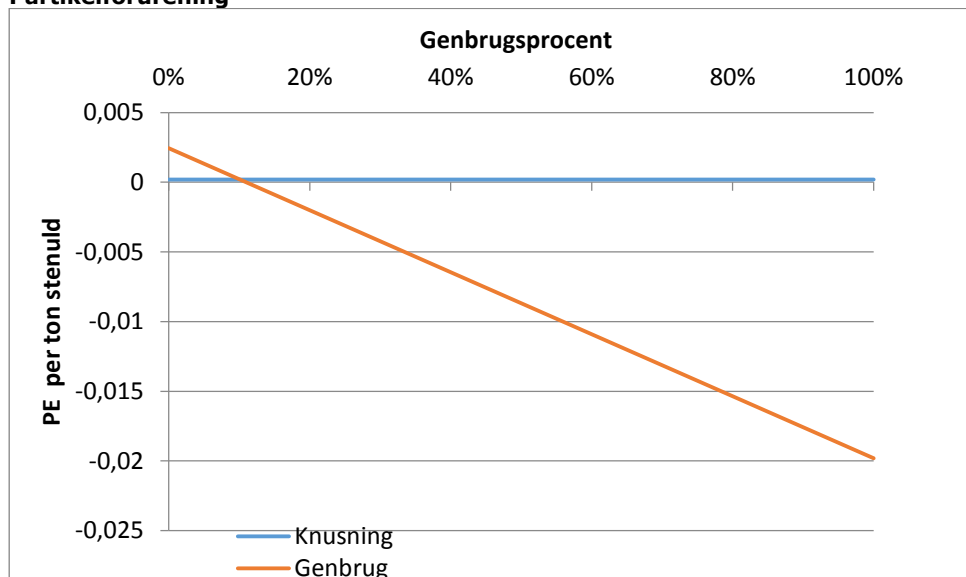


Figur 4 Følsomhedsanalyse for genbrugsprocenten af tagsten. Resultater vist i PE for abiotiske ressource

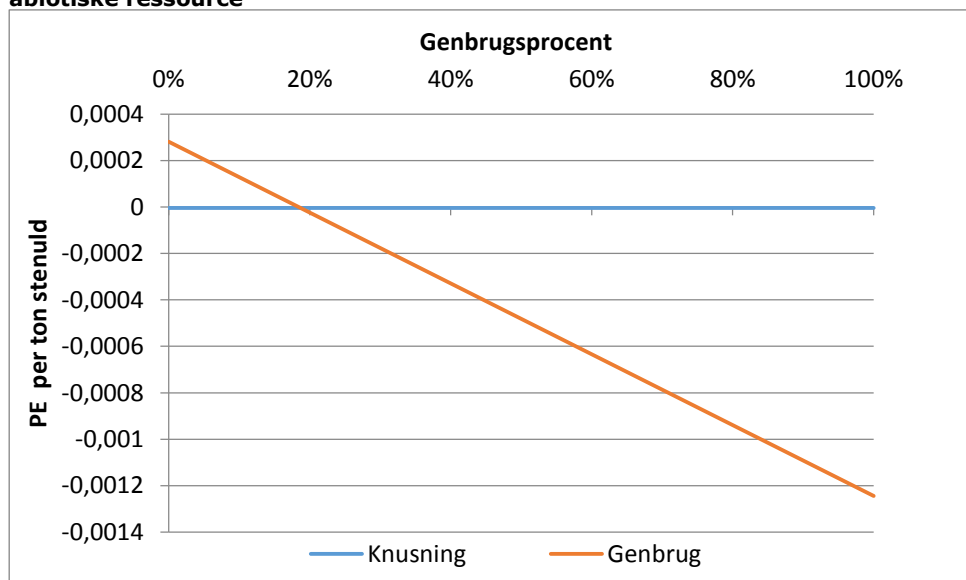
7.1.2 Afstand til sortering og indvirkning på genbrugsprocent

I modelleringen er det antaget at afstanden til sortering og til hvor stenene knuses er den samme. Det skyldes at det antages at der enten eksisterer eller vil blive etableret en række sorteringsfaciliteter i landet, der kan lave den videre sortering af de nedtagne tagsten. I "LCA af genbrug af mursten" (Miljøstyrelsen, 2013) blev det antaget at denne afstand var 50km, selv om der på tidspunktet kun var to sorteringsanlæg til mursten i Danmark. Primærresultaterne viste at transport kun havde en mindre betydning, så i stedet for at vise hvor stor påvirkningen fra transport er alene, er der vist hvordan det vil indvirke på hvor mange af tagstenen der skal kunne genbruges for at det er bedre end knusning. Der er derfor lavet en følsomhed, ved at sætte denne afstand til 350 km, der er den forventeligt længste afstand man vil kunne køre i Danmark, for at se hvordan dette påvirker genbrugsprocenten.

Figur 5 Følsomhedsanalyse for afstand til sortering og genbrugsprocenten af tagsten. Resulater vist i PE for Partikelforurening



Figur 6 Følsomhedsanalyse for afstand til sortering og genbrugsprocenten af tagsten. Resulater vist i PE for abiotiske ressource

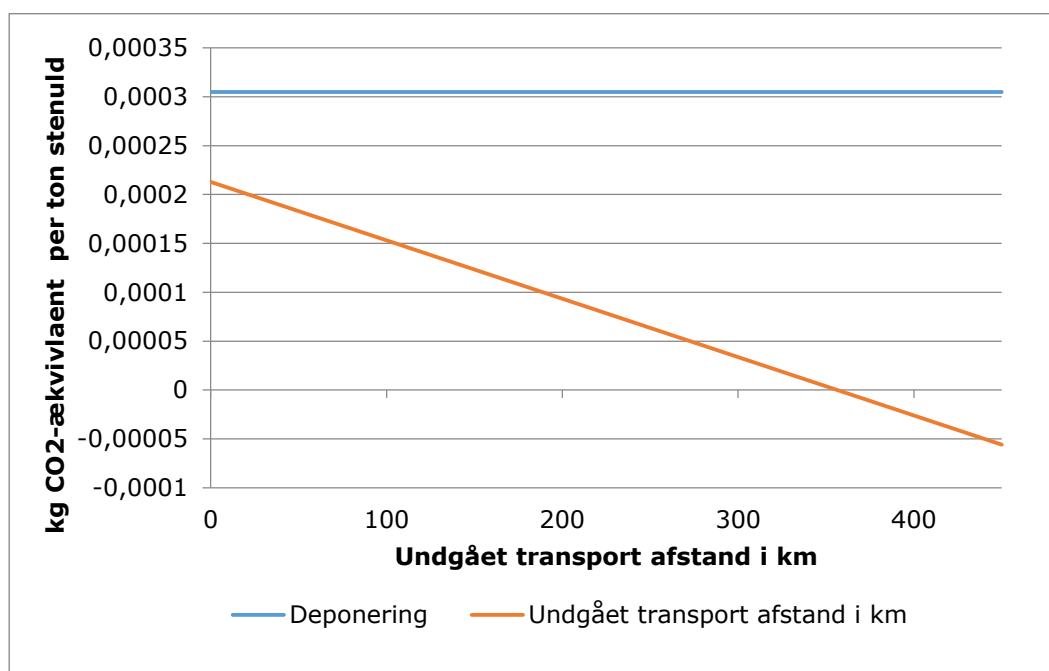
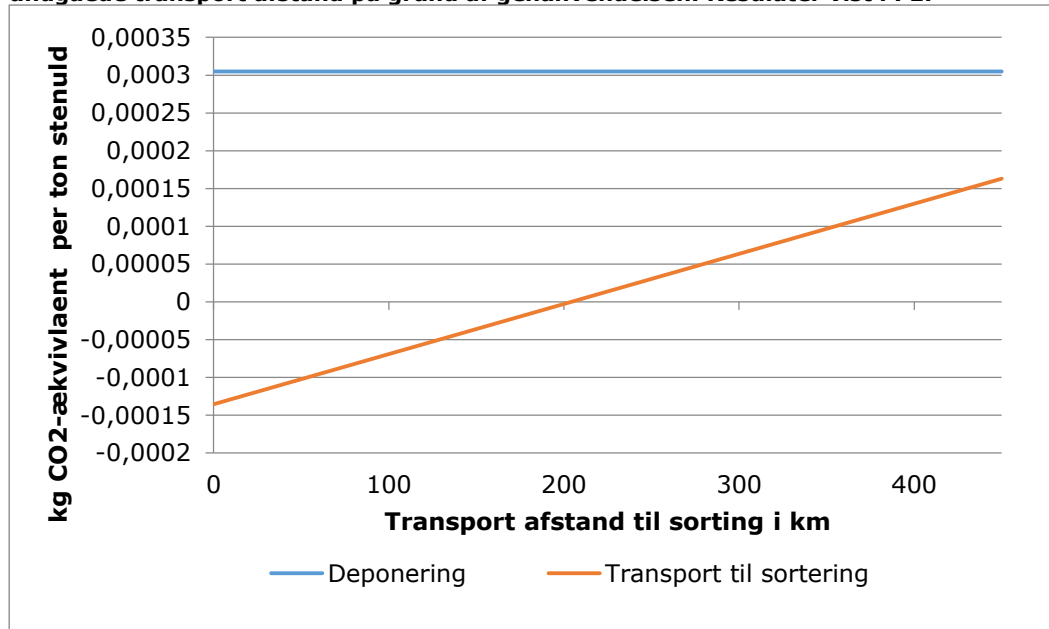


7.2 Stenuld

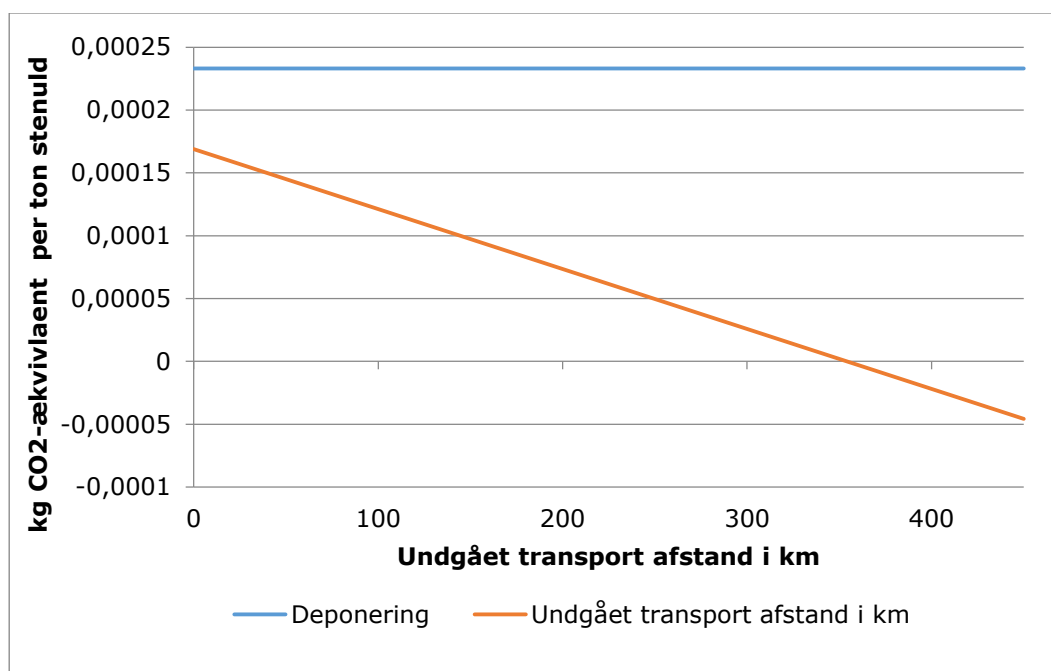
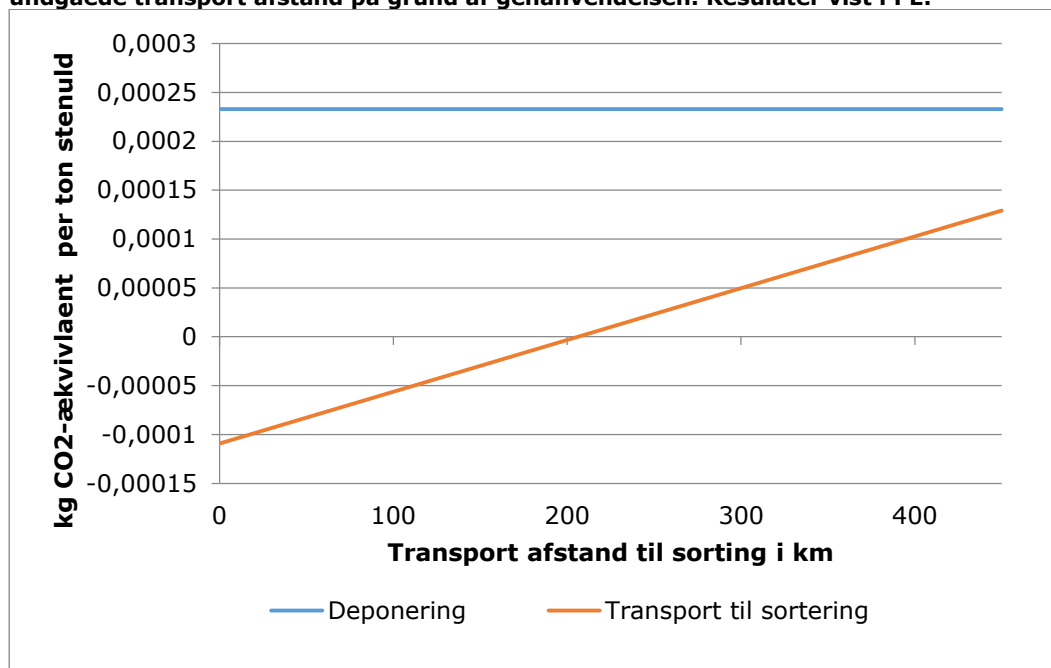
7.2.1 Transport til sortering

I modelleringen er antaget at der er en transportafstand til RGS sorteringsanlæg i Kolding på 120km, dette er en gennemsnitlig afstand for hele landet. Da transportomkostningerne er den primære faktor for miljøpåvirkningen undersøges denne yderligere.

Figur 7 Følsomhedsanalyse på transportafstande. Resultater illustreret for partikelforurening. Øverst graf viser resultat for klimaændringer som funktion af afstand til sortering, og nederst graf som funktion af den undgåede transport afstand på grund af genanvendelsen. Resultater vist i PE.



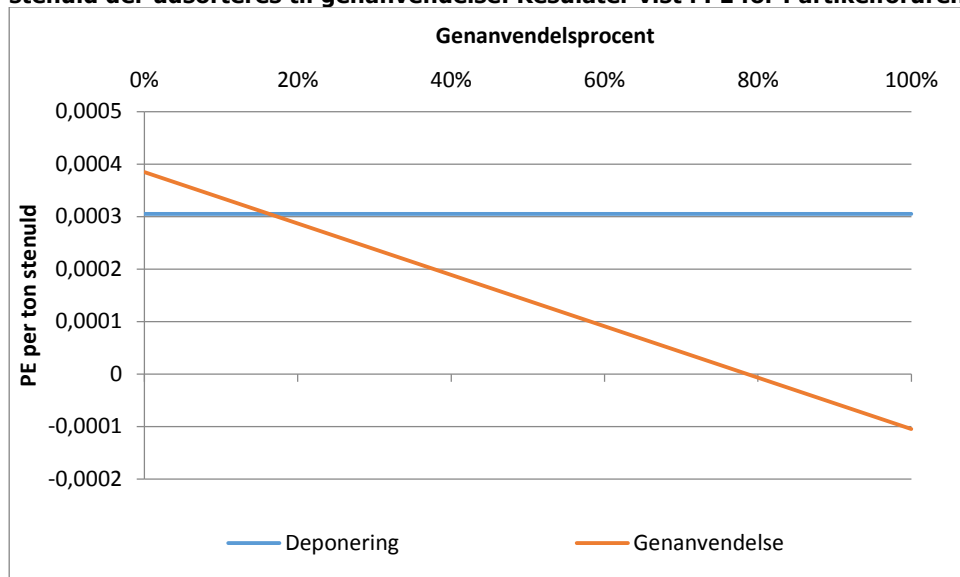
Figur 8 Følsomhedsanalyse på transportafstande. Resultater illustreret for abiotiske ressourcer. Øverst graf viser resultat for klimæændringer som funktion af afstand til sortering, og nederst graf som funktion af den undgåede transport afstand på grund af genanvendelsen. Resultater vist i PE.



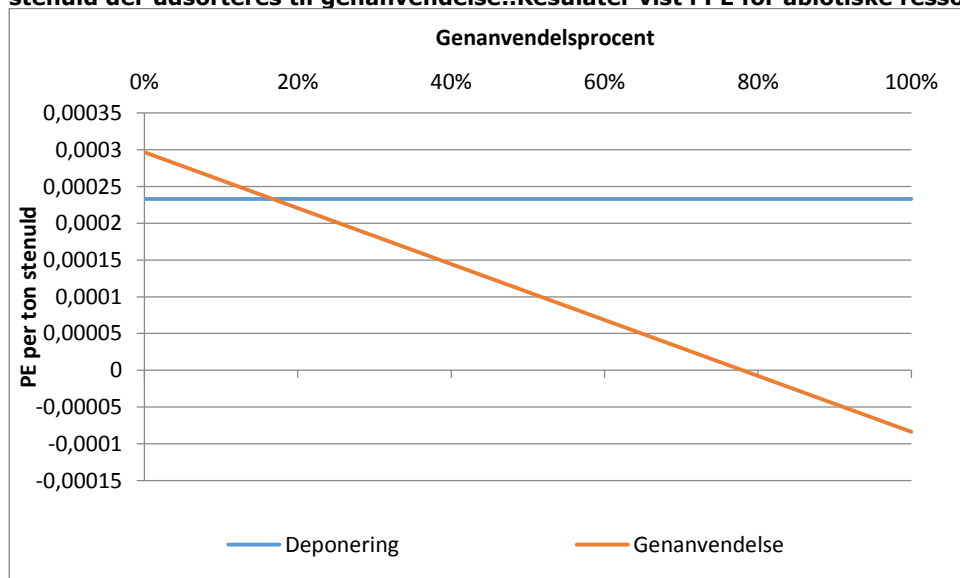
7.2.2 Lavere genanvendelsesprocent

I modelleringen er det antaget at 10% af materialet der sendes til sortering ved RGS Nordic bliver frasorteret og deponeret. Det er dog usikkert hvorvidt kvaliteten af materialet der sendes til sortering vil være den samme hvis større mængder udsorteres, og deraf vil en større procentdel skulle frasorteres til deponering. Der er derfor lavet en beregning på følsomheden af udsortering til genanvendelse. Det skal her bemærkes at der allerede sker en grovsortering på byggepladsen, så de 10% frasortering fra RGS Nordic er en finsortering, og det forventes derfor ikke at ændre sig væsentligt.

Figur 9 Følsomhedsanalyse af partikelforurening som funktion af sorteringsprocenten ved RGS Nordic af stenuld der udsorteres til genanvendelse. Resultater vist i PE for Partikelforurening



Figur 10 Følsomhedsanalyse af forbrug af abiotiske som funktion af sorteringsprocenten ved RGS Nordic af stenuld der udsorteres til genanvendelse..Resultater vist i PE for abiotiske ressource

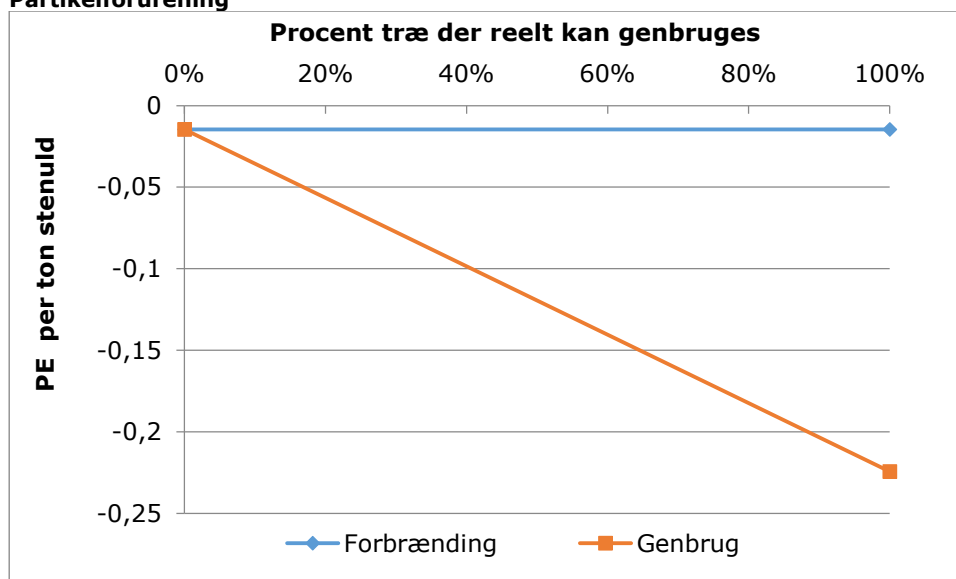


7.3 Træ

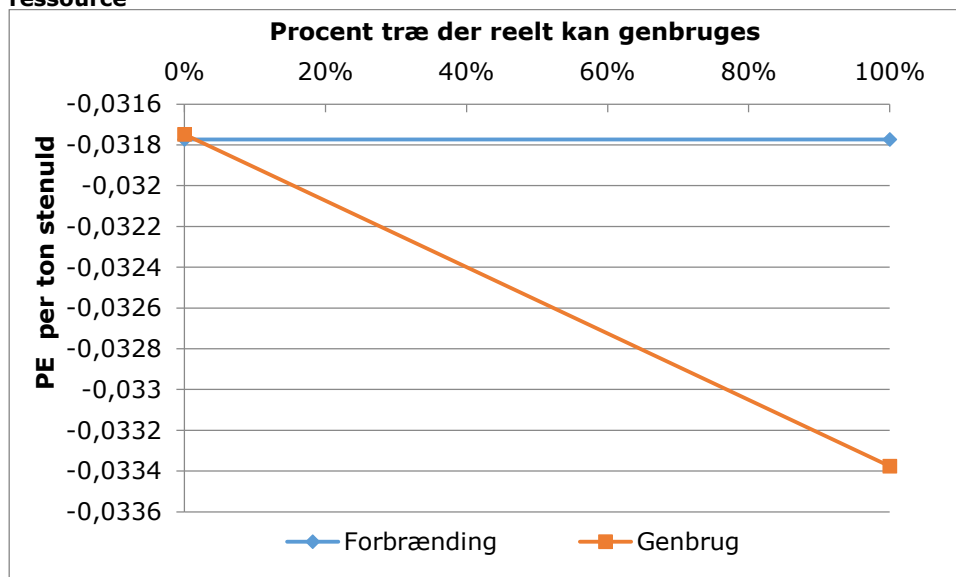
7.3.1 Genbrugsprocent

I modelleringen er det antaget at alt det træ der sendes retur til genbrug kan genbruges, da der er sket en grovsortering på byggepladsen i forhold til om træet er vurderet genbrugseget. Da der er antaget en 30km transport til genbrugsstedet er det vigtigt at vide om træet reelt kan genbruges, eller om der sker en finsortering ved salgsstedet for genbrugstræ og noget af det bliver sendt videre til forbrænding med yderligere 30km transport. Der er derfor lavet en beregning på følsomheden af denne eventuelle finsortering til genbrug.

Figur 11 Følsomhedsanalyse for procentdel af træ der reelt kan genbruges. Resultater vist i PE for Partikelforurening



Figur 12 Følsomhedsanalyse for procentdel af træ der reelt kan genbruges. Resultater vist i PE for abiotiske ressource



8. Referenceliste

- Allegrini, E., Butera, S., Kosson, D.S., Van Zomeren, A., Van der Sloot, H.A., Astrup, T.F., 2015. Life cycle assessment and residue leaching: The importance of parameter, scenario and leaching data selection. *Waste Manag.* 38, 474–485. doi:10.1016/j.wasman.2014.12.018
- Astrup, T.T., 2008. Management of APC residues from W-t-E Plants - An overview of management options and treatment methods. Copenhagen, Denmark.
- Astrup, T.T.F., Pedersen, A.J., Hyks, J., Frandsen, F.J., Juul Pedersen, A., Hyks, J., 2010. Residues from waste incineration. Final report.
- Bergvall, C., Westerholm, R., 2009. Determination of highly carcinogenic dibenzopyrene isomers in particulate emissions from two diesel- and two gasoline-fuelled light-duty vehicles. *Atmos. Environ.* 43, 3883–3890.
- Chiang, H.-L., Lai, Y.-M., Chang, S.-Y., 2012. Pollutant constituents of exhaust emitted from light-duty diesel vehicles. *Atmos. Environ.* 47, 399–406.
- Clavreul, J., Baumeister, H., Christensen, T.H., Damgaard, A., 2014. An environmental assessment system for environmental technologies. *Environ. Model. Softw.* 60, 18–30. doi:10.1016/j.envsoft.2014.06.007
- Dieselnet, 2002. Diesel Exhaust Particle Size [WWW Document]. URL http://www.dieselnet.com/tech/dpm_size.php
- Ekvall, T., Assefa, G., Björklund, A., Eriksson, O., Finnveden, G., 2007. What life-cycle assessment does and does not do in assessments of waste management. *Waste Manag.* 27, 989–996. doi:10.1016/j.wasman.2007.02.015
- European Commission -- Joint Research Centre -- Institute for Environment and Sustainability, European Commission, JRC, European Commission -- Joint Research Centre -- Institute for Environment and Sustainability, European Commission, European Commission, European Commission -- Joint Research Centre -- Institute for Environment and Sustainability, EC-JRC, 2010. International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook - General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance, Constraints. Luxembourg. doi:10.2788/38479
- Frischknecht, R., Hilty, L., Gilgen, P., 2001. Life cycle inventory modelling in the Swiss national database ECOINVENT 2000. *Informatics Environ. Prot. - Sustain. Infor* Frischknecht, in: *Proc. Int. Symp. Informatics Environ. Prot. - Sustain. Inf. Secur. SIS-IEP 2001 — Proc. Int. Symp.*
- Fruergaard, T., Hyks, J., Astrup, T., 2008. Life cycle assessment of waste incineration residues. Manuscript.
- Gentil, E.C., Damgaard, A., Hauschild, M., Finnveden, G., Eriksson, O., Thornehoe, S., Kaplan, P.O., Barlaz, M., Muller, O., Matsui, Y., Ii, R., Christensen, T.H., 2010. Models for waste life cycle assessment: Review of technical assumptions. *Waste Manag.* 30, 2636–2648. doi:10.1016/j.wasman.2010.06.004
- Goedkoop, M., Heijungs, R., Huijbregts, M., Al., E., 2008. ReCiPe 2008, A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level; First edition Report I: Characterisation.
- Hauschild, M.Z., Goedkoop, M., Guinée, J., Heijungs, R., Huijbregts, M., Jolliet, O., Margni, M., Schryver, A., Humbert, S., Laurent, A., Sala, S., Pant, R., 2012. Identifying best existing practice for characterization modeling in life cycle impact assessment. *Int. J. Life Cycle Assess.* 683–697.
- Humbert, S., 2009. Geographically Differentiated Life-cycle Impact Assessment of Human Health. University of California, Berkeley, California, USA.
- IPCC, 2010. Reference Document on Best Available Techniques in the Glass Manufacturing Industry.
- IPCC, 2006a. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Iges, Japan.

- IPCC, 2006b. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Chapter 4: Biological Treatment of Solid Waste. [WWW Document]. URL http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/5_Volume5/V5_4_Ch4_Bio_Treat.pdf
- ISO, 2006a. ISO 14040 - Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework.
- ISO, 2006b. ISO 14044 - Environmental Management - Life Cycle Assessment - Requirements and Guidance. Geneva, Switzerland.
- Karavalakis, G., Alvanou, F., Stournas, S., Bakeas, E., 2009. Regulated and unregulated emissions of a light duty vehicle operated on diesel/palm-based methyl ester blends over NEDC and a non-legislated driving cycle. *Fuel Process. Technol.* 1078–1085.
- Larsen, A., Vrgoc, M., Christensen, T., Lieberknecht, P., 2009. Diesel consumption in waste collection and transport and its environmental significance. *Waste Manag Resour.* 652–659. doi:10.1177/0734242X08097636
- Laurent, A., Hauschild, M.Z., Golsteijn, L., Simas, M.F.J., Wood, R., 2013. Deliverable 5.2: Normalisation Factors for Environmental, Economic and Socio-Economic Indicators. PROJECT: Development and Application of a Standardized Methodology for the PROspective SUstaInability assessment of TEchnologies. Copenhagen, Denmark.
- Lin, Y.-C., Lee, C.-F., Fang, T., 2008. Characterization of particle size distribution from diesel engines fueled with palm-biodiesel blends and paraffinic fuel blends. *Atmos. Environ.* 42, 1133–1143.
- Olesen, A., 2013. Extraction of data from TEMA for use in EASETECH. Kongens Lyngby, Danmark.
- Rosenbaum, R.K., Bachmann, T.M., Gold, L.S., Huijbregts, M.A.J., Jolliet, O., Juraske, R., Koehler, A., Larsen, H.F., MacLoad, M., Margni, M., McKone, T.E., Payet, J., Schuhmacher, M., van de Meent, D., Hauschild, M.Z., 2008. USEtox – the UNEP-SETEC toxicity model: recommended characterisation factors for human toxicity and freshwater ecotoxicity in life cycle impact assessment. *Int. J. Life Cycle Assess.* 532–546.
- SSeppälä, J., Posch, M., Johansson, M., Hettelingh, J.-P., 2006. Country-dependent Characterisation Factors for Acidification and Terrestrial Eutrophication Based on Accumulated Exceedance as an Impact Category Indicator. *Int. J. Life Cycle Assess.* 403–416.
- Vouitsis, E., Ntziachrisos, L., Samara, Z., Grigoratos, T., Samara, C., Miltsios, G., 2007. Effect of a DPF and Low Sulfur Lube Oil on PM Physicochemical Characteristics from a Euro 4 Light Duty Diesel Vehicle. SAE Technical Paper.
- Weidema, B.P., Bauer, C., Hirschler, R., Mutel, C., Nemecek, T., Reinhard, J., Vadenbo, C.O., Wenet, G., 2013. Overview and methodology. Data quality guideline for theecoinvent database version 3. St. Gallen, Switzerland.
- Weidema, B.P., Wesnæs, M.S., 1996. Data quality management for life cycle inventories—an example of using data quality indicators. *J. Clean. Prod.* 4, 167–174. doi:10.1016/S0959-6526(96)00043-1
- Wernet, G., Bauer, C., Steubing, B., Reinhard, J., Moreno-Ruiz, E., Weidema, B., 2016. Theecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. *Int. J. Life Cycle Assess.* 3, 1–13. doi:10.1007/s11367-016-1087-8
- Winther, M., Slentø, E., 2010. Heavy Metal Emissions for Danish Road Transport. NERI Technical Report no. 780. Aarhus, Denmark.