



## Cirkulær økonomi i byggeriet - analyse af potentialer ved øget genbrug og genanvendelse af byggeaffald

Rambøll

*Publication date:*  
2020

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

[Link back to DTU Orbit](#)

*Citation (APA):*  
Rambøll (2020). *Cirkulær økonomi i byggeriet - analyse af potentialer ved øget genbrug og genanvendelse af byggeaffald*. Rambøll.

---

### 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.

Til  
**Trafik-, Bygge-  
og Boligstyrelsen**

Dokumenttype  
**Rapport**

Dato  
**Maj 2020**

# CIRKULÆR ØKONOMI I BYGGERIET

## ANALYSE AF POTENTIALER VED ØGET GENBRUG OG GENANVENDELSE AF BYGGEAFFALD

**RAMBOLL**

Bright ideas. Sustainable change.

# **CIRKULÆR ØKONOMI I BYGGERIET**

## **ANALYSE AF POTENTIALER VED ØGET GENBRUG OG GENANVENDELSE AF BYGGEAFFALD**

Projekt navn **Cirkulær økonomi i byggeriet – Analyse af potentialer ved øget genbrug og genanvendelse af byggeaffald**  
Modtager **Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen**  
Dokumenttype **Endelig rapport**  
Version **2.0**  
Dato **01-05-2020**

Rambøll  
Olof Palmes Allé 20  
DK-8200 Aarhus N

T +45 5161 1000  
F +45 5161 1001  
<https://dk.ramboll.com>

## INDHOLD

<b>1.</b>	<b>Sammenfatning</b>	<b>2</b>
<b>2.</b>	<b>Baggrund, formål og rapportstruktur</b>	<b>12</b>
<b>3.</b>	<b>Udvælgelse af materialer</b>	<b>15</b>
<b>4.</b>	<b>Analysescenarier og estimering af affaldsmængder</b>	<b>25</b>
<b>5.</b>	<b>Analyse af miljø- og klimamæssige konsekvenser</b>	<b>33</b>
<b>6.</b>	<b>Analyse af samfundsøkonomiske konsekvenser</b>	<b>52</b>
<b>7.</b>	<b>Analyse af totaløkonomiske konsekvenser</b>	<b>78</b>
<b>8.</b>	<b>Afdækning af anvendelsesmuligheder, barrierer og mulige løsninger for øget cirkularitet i byggeriet</b>	<b>89</b>
<b>9.</b>	<b>Konklusioner og anbefalinger</b>	<b>132</b>
<b>10.</b>	<b>Referencer</b>	<b>135</b>
<b>11.</b>	<b>Liste over informanter</b>	<b>138</b>

## 1. SAMMENFATNING

Rambøll har med denne analyse undersøgt potentialet for øget cirkularitet i byggebranchen på tre måder. **1)** Vi undersøger de miljømæssige- og samfundsøkonomiske konsekvenser ved øget genbrug/genanvendelse af fire materialefraktioner, hvor de specifikke scenarier, vi undersøger, ikke tidligere har været analyseret. **2)** Vi undersøger de totaløkonomiske omkostninger ved tre konkrete arketyper af byggerier ved øget genbrug og **3)** vi sætter fokus på barrierer og mulige løsninger i branchen til at opnå en øget cirkularitet.

På baggrund af data fra Affaldsstatistikken, data fra Ökobau-databasen, samt over 30 relevante litteraturkilder og fem eksplorative interview har vi i samarbejde med Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen samt følgegruppen udvalgt følgende fire materialer til den videre analyse:

- *Tagsten (indgår i fraktionen tegl og keramik i affaldsstatistikken)*
- *Stenuld (indgår i fraktionen isoleringsmateriale i affaldsstatistikken)*
- *Beton*
- *Interimstræ (indgår i fraktionen træ i affaldsstatistikken)*

Rambøll har i udvælgelsen fokuseret på, at der ikke allerede har foreligget analyser for fraktionen, at der er tale om byggematerialer med relativ stor volumen, at der eksisterer teknologiske løsninger, der muliggør genbrug eller genanvendelse af de pågældende materialer, samt at der ud fra et miljø- og klimamæssigt perspektiv er et potentiale i at genbruge eller genanvende mere frem for at producere nyt.

For hver af fraktionerne har vi udarbejdet to analysescenarier:

- 1) *Et basisscenarie, som analyserer den mest udbredte anvendelsesmetode af fraktionen i dag*
- 2) *Et alternativscenarie, som analyserer potentialet for øget genbrug eller genanvendelse af den specifikke materialefraktion*

For hver af de fire materialefraktioner ser basisscenariet og alternativscenariet ud som følger:

Fraktion	Basisscenarie	Alternativscenarie
<b>Tagsten</b>	100 pct. nedknusning af tagstensaffaldet	80 pct. genbrug af tagstenene og 20 pct. knusning
<b>Stenuld</b>	34 pct. af stenuldsaffaldet genanvendes i ny stenuld, mens resten deponeres	90 pct. af stenuldsaffaldet genanvendes i ny stenuld, mens resten deponeres
<b>Beton</b>	100 pct. af betonaffaldet knuses og materialenytiggøres som erstatning for grus	100 pct. genbrug af den bærende betonkonstruktion (råhus), mens ikke-bærende betonelementer nedknuses
<b>Interimstræ</b>	100 pct. af interimstræet sendes til forbrænding	Genbrug af dele af interimstræet. Interimstræet kan cirkulere to gange om året. Efter brug på byggepladsen i et halvt år sendes ca. 50 pct. til genbrug til grossist (resten frasorteres). Hos grossisten frasorteres ca. 30 pct. i 2. sorteringsrunde, og 70 pct. genbruges.

I det følgende konkluderes på de tre typer af analyser: miljø- og klimamæssige, samt samfundsøkonomiske konsekvenser ved øget genbrug/genanvendelse og de totaløkonomiske omkostninger. Endvidere sammenfattes [afdækning af anvendelsesmuligheder](#), barrierer for øget cirkularitet samt mulige løsninger.

## Analyse af miljø- og klimamæssige konsekvenser

Livscyklusvurderingen (LCA) undersøger de miljø- og klimamæssige konsekvenser ved de opstillede scenarier. Der er i denne del af analysen således alene fokus på de miljø- og klimamæssige konsekvenser, og ikke de økonomiske konsekvenser. Sidstnævnte præsenteres i den samfundsøkonomiske analyse og i den totaløkonomiske analyse.

Analysen af de miljø- og klimamæssige konsekvenser er foretaget pr. ton af den givne materialefraktion. Analyseresultaterne er medtaget som input i den samfundsøkonomiske analyse til værdisætning af miljø- og klimaeffekter. Nedenfor opsummeres resultaterne for hver af de fire fraktioner.

Nedenstående tabel illustrerer de miljø- og klimamæssige konsekvenser ved alternativscenariet for de fire fraktioner tagsten, stenuld, beton og træ.

Fraktion	Årlig potentiel klimabesparelse
Genbrug af <b>tagsten</b> frem for nedknusning	<b>52.950 tons CO<sub>2</sub><sup>e</sup></b>
Øget genanvendelse af <b>stenuld</b> frem for deponi	<b>230 tons CO<sub>2</sub><sup>e</sup></b>
Bevaring og genbrug af bærende <b>betonkonstruktion</b> frem for nedknusning	<b>22.950-34.850 tons CO<sub>2</sub><sup>e</sup></b>
Genbrug af <b>interimstræ</b> efterfulgt af forbrænding fremfor direkte forbrænding	<b>2.992 tons CO<sub>2</sub><sup>e</sup></b> ved recirkulering af 17.000 tons interimstræ. Over interimstræets levetid svarer det til en samlet klimabesparelse på <b>5.984-8.976 tons CO<sub>2</sub><sup>e</sup></b>

## Genbrug af tagsten frem for nedknusning

Genbrug af tagsten (alternativscenariet) er bedst sammenlignet med nedknusning af tagsten for alle tre kategorier af miljøpåvirkninger, som er klimaændringer, miljøpåvirkninger og forbrug af abiotiske ressourcer. Nettoeffekten ved at genbruge tagsten i stedet for at nedknuse er en CO<sub>2</sub>-besparelse på 0,038 personækvivalenter per ton tagstensaffald (**353 kg CO<sub>2</sub><sup>e</sup>**). Resultaterne følger samme mønster for hhv. partikelforurening og forbrug af abiotiske ressourcer, om end besparelsen ved genbrug i stedet for nedknusning er mindre for disse miljøpåvirkningskategorier sammenlignet med CO<sub>2</sub>-besparelsen.

Opskaleret resulterer det i en potentiel årlig klimabesparelse på **52.950 tons CO<sub>2</sub><sup>e</sup>** ved genbrug af den samlede årlige mængde tagstensaffald i Danmark fremfor nedknusning.

Følsomhedsanalyser viser, at der som minimum skal kunne genbruges **2 pct.** af nedtagne tagsten, for at det er bedre at genbruge frem for at nedknuse. Desuden ses det, at hvis bare **11 pct.** af tagstenene kan sorteres ud til genbrug, så kan det CO<sub>2</sub>-mæssigt svare sig at køre dem over meget lange afstande. Selvom tagstenene skal køres langt ifm. genbrug, så vil det stadig være fordelagtigt sammenlignet med nedknusning.

Resultatet er robust overfor ændringer i de anvendte produktionsdata for produktionen af nye tagsten. Hvis data fra ÖKOBAUDAT anvendes i stedet for Ecoinvent, så er CO<sub>2</sub>-besparelsen 47 pct. større. Det betyder blot, at det alternative scenarie for tagsten fremstår endnu bedre.

Sammenlignet med to andre studier fra hhv. Statens Byggeforskningsinstitut (2019) og Circularity City (2020) er de beregnede klimapåvirkninger i samme størrelsesorden. Klimabesparelsen ved genbrug af tagsten er knap dobbelt så stor som klimabesparelsen ved genbrug af mursten, når man sammenligner denne undersøgelses resultater med Miljøstyrelsen (2013).

### Øget genanvendelse af stenuld fremfor deponi

Genanvendelse af stenuld er bedre end deponering målt på alle tre miljøpåvirkningskategorier. Nettoeffekten ved at genanvende stenuld i stedet for at deponere er en CO<sub>2</sub>-besparelse på 0,00155 personækvivalenter (**14 kg CO<sub>2</sub><sup>e</sup>**) per ton stenuldsaffald. Resultaterne følger samme mønster for hhv. partikelforurening og forbrug af abiotiske ressourcer, om end besparelsen ved genanvendelse i stedet for deponi er mindre for disse miljøpåvirkningskategorier sammenlignet med CO<sub>2</sub>-besparelsen. Det skal bemærkes, at besparelserne generelt er ret små, hvilket til dels skyldes, at omkostninger og gevinster udligner hinanden.

Opskaleret resulterer det i en potentiel årlig klimabesparelse på **230 tons CO<sub>2</sub><sup>e</sup>**, hvis resten af den totale årlige mængde stenuldsaffald genanvendes frem for at blive deponeret.

Følsomhedsanalyser viser, at resultaterne er robuste over for ændringer i de antagelserne om transportafstande. Hvis den gennemsnitlige afstand til RGS Nordics granuleringsanlæg er under 400 km, så kan det bedre betale sig ud fra et miljø- og klimamæssigt perspektiv at genanvende fremfor at deponere. Resultaterne viser desuden, at jo større den undgåede transportafstand for råmaterialer er, jo større miljøbesparelse opnås ved genanvendelse af brugt stenuld frem for deponi.

Resultaterne er endvidere robuste over for ændringer i frasorteringsprocenten. Selv hvis en væsentligt større procentdel frasorteres, kan det stadig bedre betale sig at genanvende frem for at deponere ud fra et miljø- og klimamæssigt perspektiv. Skæringen i forhold til deponering ligger ved en genanvendelse på 27 pct. (sammenligneret med en antaget genanvendelsesprocent på 90).

Vi har sammenlignet resultaterne med en LCA, som Rockwool (2019) selv har offentliggjort i en Environment Product Declaration (EPD) for stenuld. Klima-nettoeffekten ved genanvendelse af stenuld er større i EPDen end i denne undersøgelse. Forskellen skyldes dels, at Rockwool anvender væsentligt lavere værdier for transportafstanden af brugt stenuld fra byggeplads/genbrugsplads. Den primære forskel skal dog findes i besparelsen ved undgået transport af sten i produktionen.

### Bevaring og genbrug af bærende betonkonstruktion frem for nedknusning

Bevaring af den bærende betonkonstruktion er bedre sammenlignet med nedknusning målt på alle tre miljøpåvirkningskategorier. Nettoeffekten ved at bevare betonkonstruktionen i stedet for at nedknuse er altså en CO<sub>2</sub>-besparelse på 0,0377 personækvivalenter (**85 kg CO<sub>2</sub><sup>e</sup>**) per ton betonaffald. Resultaterne følger samme mønster for hhv. partikelforurening og forbrug af abiotiske ressourcer, om end besparelsen ved genbrug i stedet for nedknusning er mindre for disse miljøpåvirkningskategorier sammenlignet med CO<sub>2</sub>-besparelsen.

Opskaleret resulterer det i en potentiel årlig klimabesparelse på **22.950-34.850 tons CO<sub>2</sub><sup>e</sup>** ved genbrug af bærende betonkonstruktioner frem for nedknusning.

Følsomhedsanalyser viser, at nettoeffekten ved genbrug af den bærende betonkonstruktion er 66 pct. højere, hvis man anvender produktionsdata fra ÖKOBAUDAT fremfor Ecoinvent. Det betyder blot, at det alternative scenarie for beton fremstår endnu bedre.

Ved sammenligning af undersøgelsens resultater med tre andre studier (SBI (2019), Miljøstyrelsen (2015) og Circularity City (2020)) fremgår det, at netto-klimaeffekten i de andre studier generelt er højere. Dette skyldes formentlig forskellige antagelser om hvilken type ny beton, som undgås produceret ved genbrug af beton. Alle sammenlignelige studier kommer frem til samme konklusion; genbrug af beton medfører klimabesparelser, når det er funktionelt muligt at genbruge betonen. Det er vores vurdering, at resultatet i denne undersøgelse må ses som et konservativt estimat sammenlignet med lignende studier.

### Genbrug af interimstræ efterfulgt af forbrænding fremfor direkte forbrænding

Forlængelse af interimstræets levetid ved genbrug efterfulgt af forbrænding er bedst, sammenlignet med at sende træet direkte til forbrænding, målt på alle tre miljøpåvirkningskategorier.

Nettoeffekten ved at genbruge træet en gang er en CO<sub>2</sub>-besparelse på 0,0096 personækvivalenter (**88 kg CO<sub>2</sub><sup>e</sup>**) per ton interimstræ. Interimstræet kan recirkulere 4-6 gange over dets levetid, dog ikke mere end 2 gange om året.

Opskaleret resulterer det i en potentiel årlig klimabesparelse på **2.992 tons CO<sub>2</sub><sup>e</sup>** ved recirkulering af 17.000 tons interimstræ. Over interimstræets levetid svarer det til en samlet klimabesparelse på **5.984-8.976 tons CO<sub>2</sub><sup>e</sup>**.

Følsomhedsanalyser viser, at der vil være en klimamæssig fordel i at udsortere interimstræet til genbrug hos grossisten, så længe grossisten som minimum kan genbruge 3 pct. af det modtagne interimstræ. Resultaterne viser sig således ganske robuste, eftersom STARK i dag frasorterer omkring 32 pct. af det interimstræ, de modtager fra byggepladserne.

Desuden har antagelserne omkring el- og varmemarginalerne stor betydning for LCA-resultaterne i absolutte termer. Klimabesparelsen ved genbrug efterfulgt af forbrænding mindskes ved skift til mere fornybare energikilder. Samtidig stiger partikelforureningen og forbruget af abiotiske ressourcer, da der i fremtiden vil indgå teknologier, som bruger flere abiotiske ressourcer (til magneter, batterier etc.), som kan være krævende at opkoncentrere. Nettoeffekten er dog den samme for alle tre miljøpåvirkninger uafhængig af antagelser om el- og varmemarginaler.

Sammenligning med to andre studier viser, at klimabesparelserne i disse studier generelt er lavere end resultaterne i denne undersøgelse. Dette skyldes forskellige systemafgrænsninger og forskellige antagelser om hvilke energityper, der erstattes ved forbrænding. Alle tre studier finder dog, at der er en positiv effekt for klimaet ved at genbruge træ.

### Analyse af samfundsøkonomiske konsekvenser

De samfundsøkonomiske resultater er opgjort foretaget pr. ton, men det samlede samfundsøkonomiske potentiale er også vurderet gennem en opregning til totale årlige værdier ved brug af de estimerede mængder. Nedenfor opsummeres resultaterne for hver af de fire fraktioner.

Nedenstående tabel illustrerer de samfundsøkonomiske konsekvenser ved alternativscenariet for de fire fraktioner tagsten, stenuld, beton og træ.

Fraktion	Årlig potentiel samfundsøkonomisk konsekvens
Genbrug af <b>tagsten</b> frem for nedknusning	Potentielt årligt samfundsøkonomisk <b>tab på lidt over 325 mio. kr.</b>
Øget genanvendelse af <b>stenuld</b> frem for deponi	Potentielt årligt samfundsøkonomisk <b>gevinst på ca. 4,5 mio. kr.</b>
Bevaring og genbrug af bærende <b>betonkonstruktion</b> frem for nedknusning	Potentielt årligt samfundsøkonomisk <b>gevinst på ca. 345-525 mio. kr.</b>
Genbrug af <b>interimstræ</b> efterfulgt af forbrænding fremfor direkte forbrænding	Potentielt årligt samfundsøkonomisk gevinst på ca. 36 mio. kr. ved genbrug af 17.000 tons interimstræ. Over interimstræets levetid kan det recirkuleres 4-6 gange, hvilket svarer til en samlet samfundsøkonomisk <b>gevinst på ca. 72-143 mio. kr. over træets levetid.</b>

### Genbrug af tagsten frem for nedknusning

Der vil være et **netto samfundsøkonomisk tab på 2.167 kr. pr. ton tagsten** ved at ændre praksis fra at nedknuse tagstensaffaldet til at genbruge op til 80 pct. af det. Det betyder, at det ud fra et samfundsøkonomisk perspektiv ikke kan betale sig at genbruge tagsten direkte på markedsvilkår frem for at nedknuse dem som erstatning for grus. Denne situation vil være gældende, når en hel bygning skal nedrives, og hvor der er en aftager til de brugte tagsten som erstatning for nye tagsten ifm. et andet byggeri/renovering. Hvis tagstenene derimod genbruges direkte på stedet, så vil der være en **netto samfundsøkonomisk gevinst på 210 kr. pr. ton**



**tagsten.** Denne situation vil være gældende, når der blot er tale om et renoveringsprojekt, f.eks. hvis undertaget på et parcelhus skal skiftes. I sådanne tilfælde kan det bedre betale sig at nedtage tagstenene mhp. direkte genbrug og dermed spare omkostningerne til indkøb af nye tagsten.

Opskalering af det samfundsøkonomiske resultat pr. ton tagstensaffald estimeres til et **årligt samfundsøkonomisk tab på lidt over 325 mio. kr., hvis genbruget sker på markedsvilkår** og behandles, oparbejdes og videresælges af en specialiseret forarbejdningsvirksomhed. **Hvis tagstenene derimod genbruges direkte på stedet, så svarer det til en samlet årlig gevinst for samfundet på 31,5 mio. kr.**

Følsomhedsanalyser viser, at resultatet er særdeles robust over for ændringer i de primære usikkerhedsparametre. En følsomhedsberegning viser, at selv hvis det koster 0 kr./ton at nedrive i alternativscenariet, er der stadig et samfundsøkonomisk tab ved at genbruge tagstenene fremfor at knuse dem. En anden følsomhedsberegning viser, at nettoeffekten forbedres i takt med, at CO<sub>2</sub>-priser øges. CO<sub>2</sub>-prisen skal dog stige til **ca. 6.225 kr./ton CO<sub>2</sub>** (mod en pris på 216 kr./ton CO<sub>2</sub> ved anvendelse af CO<sub>2</sub>-kvoteprisen), før det er samfundsøkonomisk rentabelt at genbruge tagsten frem for at nedknuse dem.

Der eksisterer ingen andre samfundsøkonomiske analyser af genbrug af tagsten. Resultaterne er dog sammenlignelige med Miljøstyrelsen (2016c)<sup>1</sup> *Samfundsøkonomiske analyse af genbrug af mursten*. Miljøstyrelsen finder en negativ nettoeffekt på hhv. -41 kr./ton og -197 kr./ton murstensaffald ved genbrug målt i 2020-priser afhængig af, om de brugte mursten erstatter nye facadesten eller nye bagsten. De finder ligesom vi, at knusning er mere rentabelt end genbrug ud fra et samfundsøkonomisk perspektiv.

### Øget genanvendelse af stenuld fremfor deponi

Der vil være en **netto samfundsøkonomisk gevinst på 266 kr. pr. ton**, hvis genanvendelsesprocenten øges til 90 pct. modsat de 34 pct. i dag. Opskaleret resulterer det i en **potentielt årlig samfundsøkonomisk gevinst på ca. 4,5 mio. kr.**

Følsomhedsanalyser viser, at resultatet er særdeles robust over for ændringer i de primære usikkerhedsparametre. En følsomhedsberegning viser, at produktionsomkostningen for stenuld skal stige til over **714 kr. pr. ton** (>200 pct. stigning), før det ikke er samfundsøkonomisk profitabelt at genanvende mere brugt stenuld i produktionen. En anden følsomhedsberegning viser, at deponeringsprisen skal falde med ca. **50 pct.** af den nuværende pris, før nettoeffekten mellem de to scenarier er 0. Følsomhedsanalysen viser også, at der stadig vil være en samfundsøkonomisk gevinst ved at genanvende mere stenuld, uanset hvor lav eller høj genanvendelsesprocenten er i dag.

Miljøstyrelsen (2006a og 2006b)<sup>2</sup> har tidligere undersøgt potentialet for at genanvende brugt stenuld i produktionen af ny stenuld. De konkluderede, at der samlet set vil være et potentiale for at genanvende op til 90 pct. af stenuldsaffaldet. Resultaterne fra nærværende analyser viser, at dette er en god ide ud fra et samfundsøkonomisk perspektiv.

### Bevaring og genbrug af bærende betonkonstruktion frem for nedknusning

Der vil være en **netto samfundsøkonomisk gevinst på 1.276 kr. pr. ton betonaffald** ved at bevare og genbruge den bærende betonkonstruktion i stedet for at nedrive og nedknuse den. Det skal dog siges, at genbrug af den bærende konstruktion sætter nogle begrænsninger til, hvordan den nye bygning kan udformes. Den nye bygning skal tage udgangspunkt i udformningen af den

<sup>1</sup> Miljøstyrelsen (2016c): "Samfundsøkonomisk Analyse Af Genbrug Af Mursten", Miljøprojekt nr. 1904.

<sup>2</sup> Miljøstyrelsen (2006a): "Genanvendelse Af Brugt Stenuld, Forprojekt", Miljøprojekt Nr. 1107. Miljøstyrelsen (2006b): "Genanvendelse Af Brugt Stenuld, Hovedprojekt", Miljøprojekt Nr. 1106.

eksisterende betonkonstruktion, hvilket sætter krav til arkitekturen af den nye bygning. Opskaleret resulterer det i en **potentielt årlig samfundsøkonomisk gevinst på ca. 345-525 mio. kr.** ved genbrug af bærende betonkonstruktioner frem for nedknusning.

Følsomhedsanalyser viser, at resultatet er særdeles robust over for ændringer i de primære usikkerhedsparametre. En følsomhedsberegning viser, at den relative nedrivningsomkostning ved bevaring og genbrug af den bærende betonkonstruktion skal være hele **147 pct.** højere end nedrivningsomkostningen ved nedknusning (2.907 kr./ton vs. 1.176 kr./ton), førend det ikke længere er samfundsøkonomisk rentabelt at bevare den bærende betonkonstruktionen fremfor at nedknuse den. En anden følsomhedsberegning viser, at omkostningen ved produktion af ny beton skal falde til **274 kr. pr. ton (fald på 465 pct.** ift. den anvendte værdi i analysen), førend det ikke længere kan betale sig at genbruge frem for at nedknuse. Følsomhedsanalysen viser desuden, at en højere samfundsøkonomisk CO<sub>2</sub>-pris kun har meget beskedne betydning for resultatet.

Nærværende analyse kan perspektiveres til Miljøstyrelsen (2015c)<sup>3</sup>, som analyserer potentialet for at genbruge ikke-bærende betonelementer. Miljøstyrelsen finder, at det økonomisk set vil være dyrere at genbruge elementerne som følge af en mere besværlig adskillelses- og tilpasningsproces på trods af betydelige besparelser ved undgået energiforbrug, CO<sub>2</sub>-emissioner og materialeforbrug. Denne konklusion er i tråd med resultaterne i nærværende analyse. Miljøstyrelsen konkluderer imidlertid også, at hvis det skal være realistisk at genbruge ikke-bærende betonelementer, stiller det krav til udvikling af nye designkoncepter med fleksible samlinger, som kan skilles fra hinanden.

### Genbrug af interimstræ efterfulgt af forbrænding fremfor direkte forbrænding

Der vil være **en samfundsøkonomisk gevinst på 2.101 kr. pr. ton** ved at genbruge interimstræet i stedet for at sende det direkte til forbrænding. Opskaleret resulterer det i en **potentielt årlig samfundsøkonomisk gevinst på ca. 36 mio. kr.** ved genbrug af 17.000 tons interimstræ. Over interimstræets levetid kan det recirkuleres 4-6 gange, hvilket svarer til **en samlet samfundsøkonomisk gevinst på ca. 72-143 mio. kr. over træets levetid.**

Følsomhedsanalyser viser, at resultatet er særdeles robust over for ændringer i de primære usikkerhedsparametre. En følsomhedsberegning viser, at uanset hvor lav produktionsomkostningen for nyt træ er, vil det stadig være samfundsøkonomisk rentabelt at genbruge interimstræet i stedet for at forbrænde det efter første brug. En anden følsomhedsberegning viser, at frasorteringsprocenten på byggepladsen skal stige fra **50 pct. til 80 pct.**, før det ikke længere er samfundsøkonomisk rentabelt at sende træet videre til genbrug. Ligeledes skal frasorteringsprocenten hos grossisten stige til over **83 pct.** (mod 32 pct. i dag), før det ikke længere kan betale sig samfundsøkonomisk at genbruge interimstræet i stedet for at forbrænde det direkte. Følsomhedsanalysen viser desuden, at en højere samfundsøkonomisk CO<sub>2</sub>-pris kun har meget beskedne betydning for resultatet.

Resultaterne kan sammenlignes med Miljøstyrelsen (2018f)<sup>4</sup> *Samfundsøkonomisk vurdering af behandling af genanvendeligt træaffald*. Her analyseres det samfundsøkonomiske potentiale ved øget udsortering af træ til spånpladsproduktion. Der skal dog tages forbehold for, at der er tale om forskellige typer af træaffaldsfraktioner. Miljøstyrelsen finder, at det er samfundsøkonomisk fordelagtigt at genanvende træaffaldet til spånpladeproduktion frem for at energiudnytte det (forbrænding). Nettoeffekten estimeres til ca. 14 kr./ton træaffald. Sammenligningen viser altså, at det er mere samfundsøkonomisk fordelagtigt at genbruge træ efterfulgt af forbrænding fremfor at genanvende det i spånpladeproduktion.

<sup>3</sup> Miljøstyrelsen (2015c): "Udredning Af Teknologiske Muligheder For At Genbruge Og Genanvende Beton", Miljøprojekt nr. 1667.

<sup>4</sup> Miljøstyrelsen (2018f): Samfundsøkonomisk vurdering af behandling af genanvendeligt træaffald.

## Analyse af totaløkonomiske konsekvenser

Den totaløkonomiske analyse er foretaget med udgangspunkt i tre typer af byggerier; typehus, etageboligbyggeri og kontorbyggeri. De tre typer af byggeri er udvalgt på baggrund af tre principper:

- Princip 1: De udvalgte byggerityper skal udgøre store dele af det samlede byggeri.
- Princip 2: De udvalgte byggerityper skal kunne skelnes fra hinanden baseret på deres anvendelse.
- Princip 3: De udvalgte byggerityper skal ikke dække over for mange forskelligartede typer af bygninger (de skal være standardiserede), da det dels vil komplicere beregningerne og dels betyder, at resultaterne ikke vil være repræsentative for et gennemsnitligt byggeri.

Formålet med de totaløkonomiske (LCC)-beregninger er at kunne sammenligne byggeritypernes omkostningsprofil over deres levetid afhængigt af, om der indgår genbrugte/genanvendte materialer eller ej. Nedenfor præsenteres resultaterne for de tre typer af byggerier.

For et **typehus** viser analysen viser, at det er ca. 0,6 % dyrere at bygge huset med brug af genbrugstegltagsten, hvilket hovedsageligt skyldes den lidt højere enhedspris for genbrugstegltagsten. Markedsprisen på genbrugstegltagsten er dog stærkt varierende, hvilket undersøges i følsomhedsanalysen for teglstens pris. Endvidere viser analysen, at det er ca. 8 % billigere at genbruge råhuset uden reetableringen i det tilfælde, at der kan søges dispensation for efterisolering af terrændækket. Med reetableringen kan det stadig svare sig økonomisk, da det er ca. 6 % billigere end nybyg-scenariet. Grunden til dette kan spores tilbage til de lavere omkostninger til fjernvarme.

Samtidig indikerer analysen, at det er rentabelt at genbruge råhuset, da de nuværende priser for nedrivning og efterbehandling er lavere end enhedspriserne for ny beton.

Det er ca. 9 % billigere at bygge et **etageboligbyggeri** med alle genbrugsmaterialer end nybyg (u. genbrugsmaterialer). Det skyldes bl.a. den store mængde beton, der genbruges. Forskellen mellem prisen for anvendelse af alle genbrugsmaterialer og genbrug af kun råhus uden reetablering af terrændæksopbygning er udelukkende den lidt lavere pris på genbrugstræ til interim. Da det er en engangspris har den dog ikke større indflydelse på nutidsværdien for byggeriet i denne beregningsperiode.

Analysen viser desuden, at **kontorbyggeri** uden genbrugsmaterialer er marginalt billigere end brug af genbrugstegl til tag. Samtidig viser analyser, at det er ca. 4 % billigere at bygge kontorbyggeriet med genbrug af beton end ved hjælp af nybyg uden genbrugsmaterialer. Det skal dog påpeges, at der i dette scenarie regnes med højere energiforbrug, da alle andre bygningsdele lever op til energikravene for BR 18's renoveringsklasse 2.

## Afdækning af anvendelsesmuligheder, barrierer og mulige løsninger for øget cirkularitet i byggeriet

Denne del af analysen bygger på et omfattende litteraturstudie samt over 25 eksplorative og semistrukturerede interview med aktører i byggebranchen generelt og specifikt inden for de fire fraktioner, der er fokus i denne analyse, både i Danmark og i udlandet. Barriererne og de mulige løsninger er analyseret ud fra de enkelte led i værdikæden.

På tværs af de fire fraktioner peger litteratur og interview på en række muligheder, men også barrierer for et velfungerende marked for øget cirkularitet. Fælles for beton, tagsten og interimstræ er, at der mangler et økonomisk bæredygtigt marked for andre løsninger end nedknusning eller forbrænding med henblik på anden materialenyttiggørelse. For stenuld og træ til spånpladeproduktion er der et eksisterende marked for genanvendelse, men der er stadig udfordringer med at sikre de økonomiske incitamenter for at øge genanvendelsesgraden.

I **producentleddet** er der barrierer i forhold til *genbrug*, som Rambøll ikke vurderer kan løses, idet øget genbrug medfører mindre produktion for producenterne af byggematerialer. I forhold til *genanvendelse* er der en økonomisk bæredygtig markedsmodel for både stenuld og træ til spånpladeproduktion. En central barriere for at opskalere denne markedsmodel er en manglende volumen i indsamlede materialer. Rambøll vurderer, at denne barriere kan løses ved at støtte op om et tættere samarbejde i værdikæden, typisk initieret af producenterne selv.

I leddet omhandlende **opførelse af nye bygninger samt renovering** er en central barriere manglen på økonomiske incitamentter til at øge genbrug og genanvendelsesgraden. Som udgangspunkt er bygherrer interesseret i at afvikle byggeprocessen hurtigt, så der er mulighed for hurtigt at kunne få lejeindtægter. Der er således et trade-off mellem bygherrens behov for en hurtig byggeproces og ønsket om øget genbrug og genanvendelse (hvor genbrug og genanvendelse forlænger byggeprocessen). Tre mulige løsninger på denne barriere er en skatterabat ved påvisning af brug af genbrugte og/eller genanvendte materialer samt krav om brug af genbrugte og/eller genanvendte materialer, krav om bæredygtighed i indkøb i form af genbrug og genanvendelse, samt krav om en ressourcekortlægning.

En anden væsentlig barriere omhandler manglende viden om alternativerne til nye materialer, herunder omkostningerne forbundet med brug af genbrugsmaterialer. Dette giver en lav efterspørgsel og en uklar betalingsvillighed. Rambøll peger især på to mulige løsninger, der dels er en redefinering af rollerne i værdikæden, så der opnås en klar forståelse af, hvad de enkelte led i værdikæden kan bidrage med, og endelig oplysningskampagner og øget formidling af muligheder for genbrug og genanvendelse.

Desuden er en central barriere manglende garantier og manglende dokumentation, hvilket i særdeleshed er en barriere for fraktionerne beton og tagsten. Rambøll vurderer, at to mulige løsninger vil kunne bidrage til at afhjælpe denne barriere. Dels statslige initiativer i stil med den hollandske Green Deal, der har til formål at hjælpe virksomheder, der ønsker at arbejde mere cirkulært med at fjerne eventuelle barrierer. I Danmark arbejder Miljø- og Fødevarerministeriet med at undersøge, hvorledes en Green Deal kan udrulles her også. Og dels indførelsen af brugen af materialepas og bygningspas.

**Nedrivningsleddet** er især udfordret af, at det er mere omkostningsfuldt at nedrive med henblik på genbrug og genanvendelse. Især for fraktionerne beton og tagsten tager arbejdsgangene ved nedrivning til især genbrug længere tid, end hvis genbrug/genanvendelsen ikke skulle indtænkes, men barrieren er også relevant for stenuldsfraktionen. En mulig løsning er at undersøge mulighederne for øget automatisering af de manuelle processer nærmere. Desuden er det i øjeblikket sådan, at det er den enkelte nedrivers ansvar at finde en afsætningsmulighed. Hvis ikke der er en aftager til materialerne, bliver de således ikke nedrevet med henblik på genbrug/genanvendelse. Det gør også, at der mangler incitament til at udsortere tilstrækkeligt, hvilket potentielt kan løses ved at øge forbrændingsafgiften eller understøtte markedet for genbrugsfraktioner økonomisk i en periode.

I forhold til **affaldsbehandlingsleddet** er det en udfordring, at bygningsaffald traditionelt er blevet betragtet som et lavværdimateriale. Nogle af de større affaldsbehandlere har et stort fokus på cirkulær økonomi og en stor viden om mulighederne for genbrug og genanvendelse, men især de mindre affaldsbehandlere besidder ikke altid den nødvendige viden og tid til at opgradere affaldet. Det er relevant for alle de fire fraktioner i analysen. En mulig løsning til at øge afsætningsmulighederne og dermed efterspørgslen kan være at ændre klassificeringen fra affald til ressource, en tilgang, som Sverige blandt andet har arbejdet med. Når et materiale ankommer til en

affaldsplads, så er det automatisk klassificeret som affald og kan ikke umiddelbart genbruges eller genanvendes, uanset materialets stand. At omklassificere affald til en ressource kan dermed afhjælpe denne problemstilling.

I leddet for **genbrug, genanvendelse og nyttiggørelse** er den helt centrale barriere, at især genbrugte materialer ikke står til rådighed i høj nok grad. Det er især relevant for beton, tagsten og interimstræ. For at sikre tilgængeligheden af genbrugte og genanvendte materialer, peger både litteraturen og interview på muligheden for at etablere en online platform for genbrugsmaterialer. I Danmark findes der allerede platforme med brugte byggematerialer f.eks. Genbyg eller ikke-specialiserede platforme såsom fx DBA, og i Storbritannien har der været gode erfaringer med at etablere en online markedsplads.

### Konklusioner på de fire fraktioner

Alt i alt ses det, at der for **tagsten** er miljø- og klimamæssige positive effekter i form af CO<sub>2</sub>-besparelse svarende til en potentiel årlig klimabesparelse på 52.950 tons CO<sub>2</sub><sup>e</sup> ved at genbruge tagsten frem for at nedknuse dem, men også, at proceduren giver et årligt samfundsøkonomisk tab på lidt over 325 mio. kr. Dog, hvis tagstenene derimod genbruges direkte på stedet i et renovationsprojekt, vil der være en netto samfundsøkonomisk gevinst på 31,5 mio. kr.

De væsentligste barrierer for at genbruge tagsten yderligere ligger i nedrivningsleddet, hvor nedrivning med genbrug for øje er væsentlig dyrere end nedrivning til nedknusning. En mulig løsning herpå er at undersøge mulighederne for øget automatisering. Desuden er der en barriere i leddet for genbrug, genanvendelse og nyttiggørelse, hvor volumen af genbrugte tagsten er for lav. Her anbefaler Rambøll at se nærmere på etableringen af en online markedsplatform. Sluttelig er der i bygherreleddet en utilstrækkelig efterspørgsel og mangel på dokumentation/garantier for kvaliteten af genbrugstagsten. Dokumentation af tagstens holdbarhed fra myndighedsside kan med fordel indtænkes. For samtlige barrierer gælder det, at løsningerne enten ikke anvendes i dag eller ikke er skalerede (sidstnævnte er tilfældet for markedsplatformen).

I dag findes der en specialistdrevet markedsmodel for genbrug af tagsten; en model, som også ses i genbrug af mursten. Drivkraften i markedet for øget genbrug kommer fra virksomheder, der har specialiseret sig i genbrug af tagsten. Denne markedsmodel sikrer en høj specialistviden om genbrugsmuligheder for tagsten, men kan være en potentielt dyr løsning, hvis en specialistvirksomhed får etableret sig i en monopollignende situation. Desuden kan det være en skrøbelig situation i og med, at markedet afhænger af en enkelt eller få ildsjæle, som det f.eks. ses for genbrug af mursten.

For **stenuld** er der både en potentiel årlig klimabesparelse på 230 tons CO<sub>2</sub><sup>e</sup>, hvis resten af den totale årlige mængde stenuldsaffald genanvendes frem for at blive deponeret, samt en potentiel årlig samfundsøkonomisk gevinst på ca. 4,5 mio. kr., hvis genanvendelsesprocenten øges.

Som nævnt er der et fungerende marked for genanvendelse af stenuld. Således vil det være et spørgsmål om at opskalere det eksisterende samarbejde i værdikæden samt at sikre, at incitamentene for genanvendelse er til stede, fx gennem øgede afgifter. De væsentligste barrierer for at øge genanvendelsen af stenuld er at øge volumen for genanvendt stenuld, som vi forslår gøres gennem et øget samarbejde i værdikæden, hvor producenterne etablerer samarbejder med flere affaldsoperatører. Desuden kan en justering af forbrændings- og deponiafgifterne være en mulig løsning herpå for at sikre, at det ikke kan betale sig at deponere, men at det i stedet kan betale sig i at udsortere og sende det videre til genanvendelse. Desuden er der en barriere forbundet med hvor omhyggelige nedriverne skal være ved fraskæring af materiale til sortering. Stenuld er

et af de materialer, der skal udsorteres, jf. affaldsbekendtgørelsens §50, men der kan stilles krav om bedre udsortering samt følges op på, om disse krav overholdes.

For **beton** ses en potentiel årlig klimabesparelse på 22.950-34.850 tons CO<sub>2</sub><sup>e</sup> ved genbrug af bærende betonkonstruktioner frem for nedknusning, samt en potentiel årlig samfundsøkonomisk gevinst på ca. 345-525 mio. kr.

Den væsentligste barriere i forbindelse med genbrug af råmurene af beton handler om et manglende økonomisk incitament blandt bygherrer, som yderligere kan forstærkes af, at problematiske stoffer såsom PCB fra fugemateriale kan trænge ind i betonen og dermed skal saneres ved genbrug. Rambøll foreslår en mulig løsning, hvor der dels indarbejdes krav i offentlige indkøb om, at råmure skal bestå ved renoveringer i det omfang, det er muligt. I tillæg er det også en mulighed at åbne op for at belønne de virksomheder, der renoverer ved at lade råmurene stå med en skatterabat, hvis de genbruger ud over det, som lovgivningen tilsiger. En anden central barriere ved at lade råhuset stå er, at der i dag er større krav til energieffektivitet sammenlignet med tidligere. Det vil derfor potentielt kræve en energirenovering, hvis råhuset skal genbruges, hvilket kan udgøre en potentielt stor udgift for bygherren. Rambøll foreslår at øge tilskuddet til energirenoveringer som en mulig løsning på denne barriere.

Forlængelse af **interimstræets** levetid ved genbrug efterfulgt af forbrænding giver positive miljø- og klimamæssige effekter. Interimstræet kan recirkulere 4-6 gange over dets levetid, dog ikke mere end 2 gange om året. Dette svarer til en samlet klimabesparelse på 5.984-8.976 tons CO<sub>2</sub><sup>e</sup> over interimstræets levetid. Der er desuden en potentiel samfundsøkonomisk gevinst på ca. 72-143 mio. kr. over træets levetid.

Genbrug af interimstræ er stadig i sin vorden, og det er derfor primært pilotprojekter, der endnu findes. Der kan dog identificeres flere centrale barrierer, hvoraf den væsentligste går på at sikre en økonomisk bæredygtig forretningsmodel samt tilstrækkelig volumen. I branchen er der en reel udfordring med at få genbrugstræ nok, fordi nogle kommuner hellere vil brænde deres træaffald. Mulige løsninger herpå er forbedring af logistik via genbrugsbure på byggepladserne, pantordninger for interimstræ samt krav i udbud om genbrug af interimstræ på byggepladser.

I dag findes der en grossistdrevet markedsmodel for genbrug af træ, hvor grossisten tager de brugte træmaterialer tilbage og sælger disse på ny. Denne model kræver derfor, at grossisten har en veletableret afsætningskanal. Modellen er også relativt omkostningstung for grossisten, som selv står for afhentningen af returtræet.

## 2. BAGGRUND, FORMÅL OG RAPPORTSTRUKTUR

### 2.1 Baggrund og formål

Klima og bæredygtighed har igennem det sidste årti fyldt i den offentlige og politiske debat i stigende grad. Vi taler i dag om klima og bæredygtighed på alle niveauer af vores samfund – lige fra den enkelte borger, hvor fokus er på at handle mere klimabevist ved f.eks. at flyve mindre, over virksomheder, som arbejder med bæredygtighed i deres CSR-arbejde, til kommuner og på nationalt niveau, hvor tiltag og politikker iværksættes for at sikre en bæredygtig udvikling af samfundet.

FN opstillede i 2015 17 overordnede verdensmål for en bæredygtig samfundsudvikling. I Danmark kulminerede den politiske klimadebat, da et bredt flertal i Folketinget den 6. december 2019 vedtog en aftale om fastsættelse af bindende klimamål. Konkret indeholder aftalen et mål om en 70 pct. reduktion af drivhusgasudledningen i 2030 og et langsigtet mål om klimaneutralitet i 2050<sup>5</sup>. Der er tale om ambitiøse klimamål, som kræver fundamentale ændringer i den måde, hvorpå vores samfund er indrettet på i dag.

Fra et klima- og bæredygtighedsperspektiv har byggebranchen i dag tre overordnede udfordringer. **For det første** står bygge- og anlægsbranchen i dag for knap 40 pct. af den samlede CO<sub>2</sub>-udledning på verdensplan<sup>6</sup>. CO<sub>2</sub>-udledningen stammer fra flere forskellige led i værdikæden – f.eks. produktion af byggematerialer, transport til byggepladserne, opførelsen af bygninger, og igen når bygningerne skal rives ned og transporteres væk eller genanvendes. Alene produktionen af byggematerialer står for ca. 11 pct. af den samlede CO<sub>2</sub>-udledning på verdensplan, hvorfor et øget genbrug af byggematerialer kan medvirke til en væsentlig reduktion af CO<sub>2</sub>-udledningen. Klimapartnerskabet for byggeri og anlæg, som er nedsat af Regeringen har ligeledes fokus på at mindske CO<sub>2</sub>-belastningen fra byggeri. Dette sker både i forhold til at fokusere på materialer med mindre CO<sub>2</sub>-udledning, samt at designe og renovere med en så lav CO<sub>2</sub>-belastning som muligt. Desuden forudsiger klimapartnerskabet, at det fremover bliver centralt at forholde sig til, om det er en bedre (CO<sub>2</sub>) case at renovere end at rive ned og bygge nyt, samt om bygninger i stigende grad kan omdannes fra et formål til et andet<sup>7</sup>. For at øge genbrug og genanvendelse anbefaler klimapartnerskabet konkret at udbrede brugen af LCA og etablere mål for CO<sub>2</sub>, indarbejde projektspecifikke klimaregnskaber i udbud, reducere materialeforbrug og CO<sub>2</sub>-udledning i projektering, samt stille krav om øget genbrug og genanvendelse i Bygningsreglementet og Bæredygtighedsklassen<sup>8</sup>.

**For det andet** er 'ikke-fornybare naturressourcer' som grus, sand, ler og kalk bærende i produktionen af mange byggematerialer. Disse naturressourcer dannes meget langsomt ved geologiske processer, hvorfor jordens ressourcer er begrænsede. Danmark er i dag selvforsynende med sand, grus og sten, men en rapport fra Regionernes Videnscenter for Miljø og Ressourcer konkluderer, at efterspørgslen efter grus forventes at stige med mere end 50 pct. frem mod 2040<sup>9</sup>. Det betyder, at hvis der ikke findes nye steder af udvinde råstoffer eller den forventede efterspørgsel ændres vil Danmark løbe tør for råstoffer om ca. 50 år<sup>10</sup>. Det har den konsekvens, at vi i fremtiden i højere grad skal importere disse naturressourcer end i dag, hvilket er fordyrende

<sup>5</sup> Aftalen blev indgået mellem Regeringen (Socialdemokratiet), Venstre, Dansk Folkeparti, Radikale Venstre, Socialistisk Folkeparti, Enhedslisten, Det Konservative Folkeparti og Alternativet

<sup>6</sup> UN Environment Program (2019): 2019 Global Status Report for Buildings and Construction Sector

<sup>7</sup> Regeringens klimapartnerskab for bygge- og anlægssektoren (2020): Anbefalinger til regeringen fra Klimapartnerskabet for bygge- og anlægssektoren

<sup>8</sup> Regeringens klimapartnerskab for bygge- og anlægssektoren (2020): Anbefalinger til regeringen fra Klimapartnerskabet for bygge- og anlægssektoren

<sup>9</sup> Regionernes Videnscenter for Miljø og Ressourcer (2018): Fremskrivning af råstofforbruget 2016-2040 – Landsdækkende resultater

<sup>10</sup> Aktuelt Videnskab; Hvornår er det slut med grus i Danmark

for bygge- og anlægsbranchen men også medføre en øget miljøbelastning på grund af transporten og samtidig sættes verdens naturressourcer under pres.

**Og for det tredje** står byggebranchen samlet set for over 1/3 af det producerede affald i Danmark med en affaldsmængde i 2017 på ca. 4,5 millioner tons. Der er dog i dag allerede en høj genanvendelse af affaldet i branchen med en genanvendelsesprocent på ca. 85 i 2017<sup>11</sup>. Størstedelen anvendes dog som f.eks. nedknust materiale til erstatning for primære materialer til vejfyld og lignende (anden endelig materialenyttiggørelse), hvorfor de miljømæssige og økonomiske potentialer i cirkuleringen ikke udnyttes maksimalt.

En måde at håndtere disse tre hovedudfordringer er igennem en øget cirkularitet, hvor byggematerialerne i højere grad end i dag genbruges og genanvendes. Cirkularitet er endvidere interessant for byggebranchen fra et økonomisk perspektiv. Ifølge rapporten *Potential for Denmark as a circular economy*, udgivet af Ellen McArthur Foundation, er der et økonomisk potentiale på op til 1,2 milliarder euro (knap 9 milliarder DKK) ved at øge cirkulariteten i byggebranchen, herunder et potentiale på op til 150 millioner euro (ca. 1,1 milliarder DKK) ved at øge genbrug og genanvendelsen af byggematerialer<sup>12</sup>. Byggeri er også fremhævet af det danske Advisory Board for Cirkulær Økonomi som en af de brancher, der har størst potentiale for øget cirkulær økonomi<sup>13</sup>, ligesom det blev fremhævet i Regeringens efterfølgende strategi for cirkulær økonomi<sup>14</sup>. Det er på baggrund af denne strategi, at nærværende opgave med at analysere mulighederne for at øge cirkulariteten i byggeriet er udbudt.

Overordnet set bidrager nærværende analyse til diskussionen om øget cirkularitet i byggebranchen på tre måder. **1)** Vi undersøger de miljømæssige- og samfundsøkonomiske konsekvenser ved øget genbrug/genanvendelse af fire materialefraktioner, hvor de specifikke scenarier, vi undersøger, ikke tidligere har været analyseret. **2)** Vi undersøger de totaløkonomiske omkostninger ved tre konkrete arketyper af byggerier ved øget genbrug og **3)** vi sætter fokus på de barrierer og mulige løsninger i branchen til at opnå en øget cirkularitet.

## 2.2 Rapportstruktur

Rapporten er udover de tre indledende kapitler (forord, sammenfatning og dette kapitel) struktureret som følger:

**Kapitel 4** indeholder en beskrivelse af de materialefraktioner, som indgår i analysen.

**Kapitel 5** præsenterer de specifikke scenarier, som danner grundlag for analysen.

**Kapitel 6** indeholder en analyse af de miljø- og klimamæssige konsekvenser og potentialer ved de opstillede scenarier, som er analyseret ved hjælp af en LCA-tilgang.

**Kapitel 7** analyserer de samlede samfundsøkonomiske konsekvenser og potentialer ved øget genbrug/genanvendelse af de valgte materialefraktioner.

**Kapitel 8** har fokus på, hvad øget genbrug af materialer i byggeriet har af totaløkonomiske konsekvenser og potentialer for tre specifikke byggerityper.

**Kapitel 9** indeholder en kvalitativ afdækning af anvendelsesmuligheder, barrierer, forretningsmodeller og mulige løsninger for øget cirkularitet i byggeriet, som dels baseres på en

<sup>11</sup> MST (2017) Affaldsstatistik 2017

<sup>12</sup> Ellen McArthur Foundation (2015): Potential for Denmark as a circular economy

<sup>13</sup> Advisory Board for Cirkulær Økonomi (2017): Anbefalinger til Regeringen

<sup>14</sup> Regeringen (2018): Strategi for Cirkulær Økonomi



række interviews med interessenter i branchen i Danmark og dels på en indsamling af udenlandske erfaringer.

**Kapitel 10** indeholder konklusioner på analysens resultater samt anbefalinger.

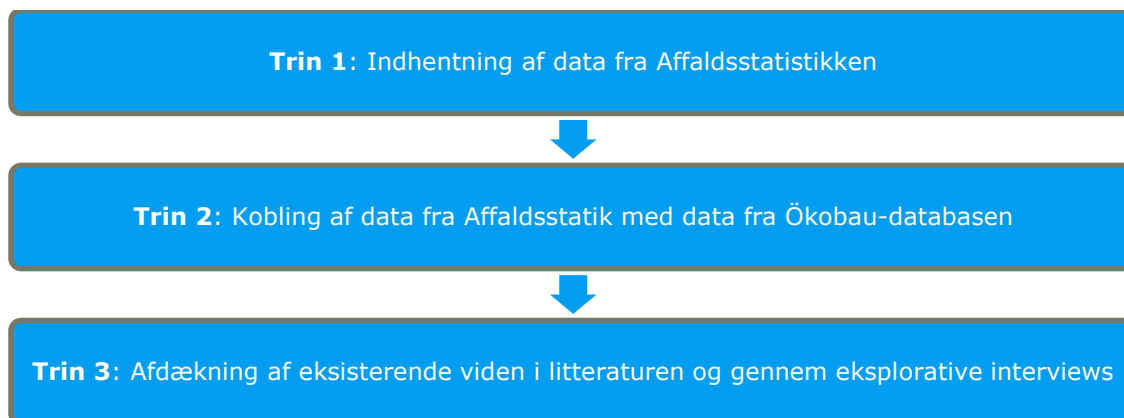
**Kapitel 11** indeholder en oversigt over de anvendte kilder.

Endelig er der en række tekniske **bilag (A, B, C, D)** med forudsætninger og metodebeskrivelser for de gennemførte analyser, samt resultater fra yderligere samfundsøkonomiske følsomhedsanalyser.

### 3. UDVÆLGELSE AF MATERIALER

Vi har udvalgt fire forskellige materialefraktioner til at indgå i analysen. Dette kapitel beskriver metoden for udvælgelse af de fire materialefraktioner, herunder begrundelserne for valg og fravalg. Processen for materialeudvælgelsen er foregået i tre trin og er illustreret i Figur 3-1.

Figur 3-1 Elementer i udvælgelsen af materialefraktioner til nærmere undersøgelse



#### 3.1 Trin 1: Indhentning af data fra Affaldsstatistikken

Som figuren ovenfor viser, har vi først og fremmest taget udgangspunkt i Affaldsstatistikken til at identificere mængder og genanvendelsesprocenter for affald fra byggeriet.<sup>15</sup> I **1. trin** anvendte vi følgende to kriterier til at udvælge materialer, som umiddelbart vurderes at have det største potentiale for øget genbrug eller genanvendelse:

- 1) **Volumen**, målt ved den samlede affaldsmængde
- 2) **Nuværende grad af cirkularitet**, målt ved genanvendelsesprocenten i dag

Potentialet for øget genbrug og genanvendelse fordrer, at der er tale om byggematerialer med relativ stor volumen. Herudover fordrer det, at der rent faktisk eksisterer teknologiske løsninger, der muliggør genbrug eller genanvendelse af de pågældende materialer. Tabellen nedenfor viser overblik over de 25 største affaldsfraktioner inden for bygge- og anlægssektoren i 2017 (målt i vægt). Vi har fremhævet de fraktioner, som vi har vurderet relevante at medtage i materialeudvælgelsen på baggrund af hhv. volumen og genanvendelsesprocent.<sup>16</sup>

<sup>15</sup> Affaldsdata fra Miljøstyrelsen 2017

<sup>16</sup> Det er kun udsorterede materialefraktioner, som medtages i udvælgelsen. Blandede fraktioner indgår således ikke. Det er imidlertid værd at bemærke, at blandet bygnings- og nedrivningsaffald udgør knap 900.000 tons i 2017, hvilket svarer til 20 pct. af den samlede affaldsmængde inden for bygge- og anlægsbranchen. Der er derfor et stort potentiale for øget genanvendelse og genbrug, hvis de blandede fraktioner nedbringes gennem øget fokus på selektiv nedrivning og udsortering af byggematerialer.

Tabel 3-1: Overblik over de 25 største fraktioner inden for bygge- og anlægsaffald i 2017

Affaldsfraktion	Volumen (1.000 tons)	Genanvendelses- procent
<b>Total</b>	<b>4.479</b>	<b>85%</b>
Beton	1.182	96%
Bitumenholdige blandinger, bortset fra affald henhørende under 17 03 01 <sup>17</sup>	891	100%
Blandinger af beton, mursten, tegl og keramik, bortset fra affald henhørende under 17 01 06	465	95%
Blandet bygnings- og nedrivningsaffald, bortset fra affald henhørende under 17 09 01, 17 09 02 og 17 09 03	432	31%
Jern og stål	287	97%
Mursten	211	100%
Træ	158	82%
Tegl og keramik	114	98%
Asbestholdige byggematerialer	85	1%
Ballast fra banespor, bortset fra affald henhørende under 17 05 07	73	100%
Bitumenholdige blandinger indeholdende kultjære <sup>18</sup>	61	92%
Gipsbaserede byggematerialer, bortset fra affald henhørende under 17 08 01	55	98%
Blandet husholdningsaffald og lignende affald (dagrenovation og dagrenovationslignende affald)	44	2%
Blandet metal	40	100%
Bionedbrydeligt affald	38	84%
Storskrald	31	34%
Glas, plast og træ, som indeholder eller er forurenet med farlige stoffer	26	22%
Glas	21	99%
Metaller	19	100%
Isolationsmateriale, bortset fra affald henhørende under 17 06 01 - 17 06 03	19	61%
Andre fraktioner, ikke andetsteds specificeret	18	54%
Aluminium	15	100%
Klapmateriale, bortset fra affald henhørende under 17 05 05	15	100%
Kultjære og tjærede produkter	10	95%

Kilde: Affaldsstatistik 2017, Miljøstyrelsen.

<sup>17</sup> Fokus for denne undersøgelse er på materialer fra byggeriet. Selvom bitumenholdige blandinger (primært asfalt) udgør den næststørste fraktion i affaldsstatistikken under bygge- og anlægsaffald, så stammer størstedelen heraf fra anlægssektoren, og ikke byggeriet. Bitumenholdige blandinger er derfor efter aftale med Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen ikke medtaget i den videre materialeudvælgelse.

<sup>18</sup> Tagpap var indledningsvist en af de fraktioner, som vi undersøgte forud for den endelige udvælgelse. Det er dog ikke på baggrund af Affaldsstatistikken muligt at isolere tagpapsaffald til en enkelt affaldsfraktion, da tagpap kan indgå i flere kategorier i affaldsstatistikken, herunder bitumenholdige blandinger (primært asfalt), bitumenholdige blandinger indeholdende kultjære, asbestholdige byggematerialer m.fl. Der eksisterer allerede virksomheder, som genanvender bitumen fra tagpap til ny tagpap (f.eks. Superasfalt A/S). Da der er for stor usikkerhed vedrørende affaldsmængder, har vi imidlertid fravalgt denne fraktion.

### 3.2 Trin 2: Kobling af data fra Affaldsstatik med data fra Ökobau-databasen

I **trin 2** koblede vi data fra Affaldsstatistikken med data fra Ökobau om miljø- og klimapåvirkninger i primærproduktionen for udvalgte byggematerialer. Formålet med dette er at give en indikation af, om der ud fra et miljø- og klimamæssigt perspektiv er et potentiale i at genbruge eller genanvende mere frem for at producere nyt. Det tredje kriterie, som udvælgelsen beroede på, var altså:

- 3) **Miljø- og klimapåvirkningen i primærproduktionen af byggematerialerne, målt i hhv. CO<sub>2</sub>-ækvivalenter/m<sup>3</sup> og kWh/m<sup>3</sup>**

Ud fra de tre kriterier (volumen, genanvendelsesprocent og miljø- og klimapåvirkning) har vi valgt at se nærmere på 7 materialefraktioner, da disse vurderes at have størst potentiale for øget genbrug eller genanvendelse (se Tabel 3-2 nedenfor).

**Tabel 3-2: Materialefraktioner udvalgt til nærmere undersøgelse**

Affaldsfraktion	Volumen (1.000 tons)	Genanvendelses- procent	GWP (kg Co2 eq. /m <sup>3</sup> )	PEtot (kWh / m <sup>3</sup> )
Beton	1.182	96%	8.048	31.701
Jern og stål	287	97%	1.400	5.923
Mursten	211	100%	414	1.919
Træ	158	82%	543	3.994
Tegl og keramik	114	98%	483	747
Gipsbaserede byggematerialer	55	98%	46	223
Isoleringsmateriale	19	61%	42	153

Note: Global Warming Potential (GWP) angiver klimabelastningen i primærproduktionen. Primærenergiforbruget (Petot) angiver forbruget af fossile og fornybare energikilder.

Kilde: Rambøll baseret på data fra Affaldsstatistik 2017 og Ökobau-databasen.

### 3.3 Trin 3: Afdækning af eksisterende viden i litteraturen og gennem eksplorative interviews

For at indsnævre antallet af materialer har vi i **trin 3** afdækket den eksisterende viden om genbrugs- og genanvendelsesmulighederne og dermed potentialerne herfor for ovenstående fraktioner.

**For det første** har vi foretaget en dybdegående gennemgang af eksisterende litteratur. Der findes et stort antal undersøgelser og analyser med fokus på de cirkulære potentialer inden for byggeriet. En central forudsætning for nærværende projekt er ikke at gentage arbejdet i eksisterende analyser og undersøgelser, men i stedet bidrage med ny viden, som bygger ovenpå de allerede eksisterende erfaringer. Analysen bygger på eksisterende viden fra mere end 30 rapporter, som på forskellig vis har analyseret mulighederne for, potentialerne ved og/eller barriererne for øget cirkularitet i byggeriet, jf. listen med **Referencer**. Fælles for mange af den eksisterende litteratur er, at fokus ofte har været på de cirkulære potentialer for et enkelt byggemateriale, f.eks. *Samfundsøkonomisk Analyse Af Genbrug Af Mursten* (Miljøstyrelsen, 2016c). Herudover findes dog også eksisterende litteratur med mere tværgående fokus, f.eks. *Genbrug Af Byggevarer - Forprojekt om Identifikation Af Barrierer* (Statens Byggeforskningsinstitut, 2015).

**For det andet** har vi gennemført fem eksplorative interviews med centrale aktører i byggebranchen for at få deres perspektiver på potentialer for øget genbrug eller genanvendelse af ovenstående materialer. Formålet med dette har været at supplere den eksisterende viden i litteraturen.

De fem aktører blev udvalgt i samarbejde med Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen samt projektets følgegruppe. Aktørerne er:

- Danmarks Grønne Investeringsfond
- Dansk Beton
- Dansk Byggeri
- Miljøstyrelsen
- RGS Nordic

Vi har i afdækningen af eksisterende viden (både i litteraturen og i interviews) taget udgangspunkt i nedenstående fokusområder og undersøgelsesspørgsmål.

#### Afdækningens fokusområder

- **Tilgængelighed:** *Hvor tilgængelige er de udvalgte materialefraktioner ift. at kunne øge genbrug og genanvendelsen af dem?*
  - *Sorteringspraksis*
  - *Andel af fraktion, der kan genanvendes/genbruges*
- **Nuværende genbrugs-/genanvendelsespraksis:** *Hvilke teknologiske løsninger og praksis findes der i dag for genbrug og genanvendelse af de udvalgte fraktioner?*
- **Barrierer for genbrug/genanvendelse: Hvilke barrierer i dag for genbrug og genanvendelse af de udvalgte fraktioner?**
  - *Kvalitet af byggeaffaldet*
  - *Manglende efterspørgsel*
  - *Ustabil udbud*
  - *Indhold af problematiske stoffer*
  - *Viden om genbrugs-/genanvendelsesmuligheder*
  - *Lovgivningsmæssige barrierer*
  - *Økonomiske og logistiske barrierer*
- **Markedspotentialet for øget cirkularitet:** *Hvilke muligheder er der på kort sigt for at etablere et nyt marked for en alternativ og mere cirkulær anvendelse af den enkelte materialefraktion eller for at styrke et eksisterende cirkulært marked, hvor det fulde potentiale ikke er opnået?*
- **Eksisterende viden:** *Hvilke undersøgelser og analyser er allerede blevet gennemført, som undersøger potentialet for øget cirkularitet for det pågældende materiale?*

I de følgende afsnit argumenteres kort for valg og fravalg af materialer til den videre analyse.

### 3.4 Argumentation for valg af materialer til den videre analyse

Tabellen nedenfor giver et overblik over, hvordan de enkelte materialefraktioner vurderes på en række objektive kriterier med betydning for potentialet for øget genbrug og genanvendelse. Vurderingen er baseret på trin 1-3, som er beskrevet ovenfor. Kolonnen "Eksisterende vidensgrundlag" indeholder vores vurdering af, om der er behov for videre analyse af den pågældende materialefraktion, eller om potentialerne allerede er afdækket i tilstrækkelig grad. Kolonnen "Potentialescore for øget cirkularitet" indeholder hvert materiales samlede score på de

objektive kriterier. Kolonnen "Relevans for videre analyse" indeholder vores vurdering af relevansen for at inddrage materialet i analysen.

**Tabel 3-3: Vurdering af udvalgte materialefraktioners potentiale for øget genbrug og genanvendelse**

Materiale-fraktion	Tilgængelighed 1 = lav, 5 = høj	Barrierer 1 = høje, 5 = lave	Markeds-potentiale frem mod 2030 1 = lavt, 5 = højt	Miljø- og klimapå-virkning 1 = lav påvirkning, 5 = høj påvirkning	Eksisterende vidensgrundlag 1 = stort, som ikke nødvendiggør videre analyse, 5 = lille, som giver anledning til videre analyse	Potentiale-score for øget cirkularitet	Relevans for videre analyse
Beton	4	2	3	5	3	17/25	Høj
Jern og stål	3	4	1	4	1	12/25	Lav
Mursten	3	4	3	3	1	14/25	Lav
Træ	2	2	3	3	5	15/25	Mellem
Tegl og keramik (tagsten)	3	3	3	3	5	17/25	Høj
Gips	1	4	1	1	2	9/25	Lav
Isoleringsmateriale (stenuld)	3	4	5	1	3	16/25	Høj

Kilde: Rambøll

Baseret på ovenstående afdækning har vi i samarbejde med Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen samt følgegruppen udvalgt følgende fire materialer til den videre analyse:

- *Tagsten (indgår i fraktionen tegl og keramik i affaldsstatistikken)*
- *Stenuld (indgår i fraktionen isoleringsmateriale i affaldsstatistikken)*
- *Beton*
- *Interimstræ (indgår i fraktionen træ i affaldsstatistikken)*

### 3.4.1 Tagsten

Vi har valgt at undersøge potentialerne for øget genbrug af tagsten. Tagsten indgår i affaldsstatistikken i fraktionen tegl og keramik. Vi har fravalgt at undersøge potentialet for

materialenytiggørelse, da flere rapporter allerede har undersøgt dette.<sup>19</sup> Tagsten sorteres primært sammen med andet keramik. I dag er den mest udbredte håndtering af tagstensaffald knusning. Tagstenene downcycles altså som udgangspunkt. Det nedknuste tagstensmateriale anvendes primært sammen med knust beton i en blanding, som kaldes genbrugsballast. Denne blanding anvendes som erstatning for naturligt grus (KBT 0-32 mm) til bundsikring og bærelag ved f.eks. cykelstier, stier og veje.

Genbrug af tagsten er mindre udbredt og er for nuværende et nichemarked. Når tagsten skal genbruges, kræver det, at de er hele og derfor nedtaget på en mere nænsom måde. I dag foregår nedrivningen primært maskinelt, og tagstenene er derfor sjældent hele efter nedtagning. De gennemførte interview viser, at nedrivning mhp. genbrug kun foregår, hvis nedrivningsvirksomheden/entreprenøren forud for nedrivningsprocessen har indgået en aftale med en aftager til tagstenene, f.eks. specialiserede oparbejdningsvirksomheder. Der eksisterer i dag få virksomheder, som er specialiseret i oparbejdning og videresalg af brugte tagsten (f.eks. Tegllageret, 2nd Hand Tegl og Skave Nedbrydning). Oparbejdningsprocessen foregår i dag manuelt ved håndkraft.

Den eksisterende litteratur vedrørende genbrug af tagsten er begrænset. En rapport fra Miljøstyrelsen (2019d)<sup>20</sup> har bl.a. fokus på genbrug af tagsten. De konkluderer, at der er klare fordele ved at genbruge tagsten, fordi de ofte ikke har udtjent deres levetid, når de rives ned til knusning. Samtidig konkluderes det, at der er et stort ekstra tidsforbrug forbundet med genbrug af tagsten.

Ifølge Vadstrup (2012)<sup>21</sup> kan omkring 50-80 pct. af tagstenene genbruges under en tagomlægning. Erfaringer viser desuden, at man ved oplægning af et helt nyt tag skal forvente, at en del af tagstenene skal udskiftes i løbet af de første 10-15 år, f.eks. fordi de er blevet brændt utilstrækkeligt i produktionsprocessen. Dette undgås, hvis taget lægges med brugte tagsten. Det skyldes, at tagsten af lav kvalitet i tidens løb er blevet udskiftet, hvorfor kun tagsten af høj kvalitet fortsat udgør taget. Det vil sige, at der potentielt findes både økonomiske<sup>22</sup> og miljømæssige fordele ved at genbruge tagsten.

Baseret på de opstillede udvælgelseskriterier vurderer vi, at tagsten er meget relevante at medtage videre i analysen (se Tabel 3-3). Der er dog en del barrierer i form af tidstunge processer under nedrivning og oparbejdning samt hård konkurrence fra nye tagsten, som ofte er billigere. På den positive side vil der potentielt være store miljø- og klimamæssige gevinster ved at genbruge tagsten.

### 3.4.2 Stenuld

Vi har valgt at undersøge potentialerne for *øget genanvendelse af stenuld*.<sup>23</sup> Stenulden indgår under isoleringsmateriale i affaldsstatistikken sammen med glasuld, polystyren (flamingo) og andre former for isolering. Vi indsnævrer dog isoleringsmaterialer til kun at se på stenuld, da der er begrænset potentiale for at genanvende glasuld og polystyren (Teknologisk Institut, 2019b).<sup>24</sup>

<sup>19</sup> Miljøstyrelsen (2015a): "Forurenende stoffer i beton og tegl", Miljøprojekt 1806. Miljøstyrelsen (2018a): "Modellering af udvaskning af problematiske stoffer fra beton og tegl", Miljøprojekt nr. 2550. Miljøstyrelsen (2018c): "Forekomsts Og Udvasning Af Problematiske Stoffer I Knust Beton Og Tegl", Miljøprojekt nr. 1991

<sup>20</sup> Miljøstyrelsen (2019d): "Establishing Effective Markets for Secondary Building Materials", Miljøprojekt nr. 2076.

<sup>21</sup> Vadstrup (2012): "Genbrug Og Genoplægning Af Gamle Teglsten", Center for Bygningsbevaring

<sup>22</sup> De økonomiske gevinster finder primært sted under tagomlægning, hvor man derfor sparer udgiften til nye tagsten

<sup>23</sup> Direkte genbrug af stenuld vurderes ikke at være relevant. Dette skyldes 1) at kvaliteten af den brugte stenuld typisk ikke muliggør direkte genbrug, og 2) at der allerede eksisterer et velfungerende marked for genanvendelse af stenuld i produktionen af ny stenuld.

<sup>24</sup> Teknologisk Institut, 2019b. Materialer I Den Cirkulære Økonomi: Mineraluld. Cirkulær Ressourceøkonomi. Styrelsen for Institutioner og Uddannelsesstøtte.

Der er i dag udsorteringskrav for stenuld, jf. Affaldsbekendtgørelsens §50, stk. 2. Der er dog flere årsager til, at udsorteringen ikke altid prioriteres på byggepladsen eller genbrugsstationen. Dels fylder stenuld meget, men vejer lidt. Derudover er der ofte pladsmangel på byggepladserne i byerne, hvorfor antallet af containere kan være begrænset. Da genbrugsstationer måles på genanvendelsesprocent i vægt, prioriteres udsorteringen af andre fraktioner over udsorteringen af stenuld. Det er en kompliceret opgave at afdække tilgængeligheden af brugt stenuld (se mere i afsnit 8.3), men overordnet set vurderer vi, at tilgængeligheden er relativt høj. Brugt stenuld anvendes i dag til produktion af ny stenuld hos Rockwool, til produktion af andre isoleringsmaterialer (f.eks. Leca-kugler), som input til produktion af beton og asfalt mens en betydelig mængde også deponeres.

I dag er der en velfungerende returordning mellem RGS Nordic og Rockwool, som siden 2012 har samarbejdet om at indsamle brugt stenuld, rense og granulere det, hvorefter det genanvendes i produktionen af ny stenuld. På baggrund af interviews ved vi, at RGS Nordic har aftaler med ca. halvdelen af landets kommuner vedrørende en returordning af brugt stenuld. Derudover indsamler de også brugt stenuld direkte fra byggepladserne. Rockwool modtager tilmed også fraskær direkte fra byggepladserne.<sup>25</sup> På samme måde viser vores afdækning, at Leca modtager blandet sten- og glasuld fra Norrecco, som anvendes i produktionen af f.eks. Leca-kugler. Det vil sige, at teknologien og markedsforholdene for genanvendelse af stenuld allerede er veludviklede.

Litteratur fra Miljøstyrelsen (2006a og 2006b) og Teknologisk Institut (2019b) viser, at der er miljømæssige fordele ved at genanvende brugt stenuld i produktionen af ny stenuld, bl.a. i form af besparelser i brugen af råstoffer.<sup>26</sup> Disse rapporter er fra før samarbejdet mellem RGS Nordic og Rockwool blev påbegyndt. Det er derfor interessant at undersøge, om der er et potentiale for øget genanvendelse af stenuld givet samarbejdet i dag. Miljøstyrelsen vurderede i de tidligere undersøgelser, at der er et potentiale for at genanvende op mod 90 pct. af alt stenuldsaffald. Derudover vurderes det, at størstedelen af brugt stenuld kan genanvendes – uanset alder, hvis det ikke er forurenat. Stenuld produceret før 1997 klassificeres dog i dag som farligt affald, hvilket betyder, at genbrugsstationerne skal have særlige godkendelser til at håndtere det. Det betyder dog nødvendigvis ikke, at det ikke kan genanvendes og kan dermed godt indgå i produktionen af ny stenuld.

Der er relativt få barrierer ved at genanvende stenuld, da der allerede eksisterer et velfungerende marked, jf. Tabel 3-3. Vi vurderer derfor, at det er meget relevant at undersøge potentialet i at øge genanvendelsen af brugt stenuld.

### 3.4.3 Beton

Vi har valgt at undersøge potentialerne for øget *genbrug af beton*. Betonfraktionen udgør ca. 25 pct. af den samlede mængde affald fra byggeriet og er dermed langt den største affaldsfraktion, som udkommer fra byggeriet. Både interviews og litteraturen peger desuden på, at affaldsstatistikken kun omfatter ca. halvdelen af betonaffaldet, hvorfor den reelle mængde af betonaffald reelt er dobbelt så stor som de knap 1,2 mio. tons, der i 2017 blev registreret (se Tabel 3-1). En af årsagerne til diskrepansen mellem den reelle mængde og den registrerede mængde er, at en del bortskaffes eller sælges direkte videre på grund af omkostninger ved at indlevere det på genbrugspladserne.<sup>27</sup>

Den primære anvendelse af betonaffald er i dag nedknusning. Det knuste betonmateriale anvendes som erstatning for naturligt grus til bundsikring og bærelag. Knust beton kan også anvendes som tilslag til ny beton i passiv miljøklasse. Denne anvendelsesform er dog mindre udbredt i dag, dels

<sup>25</sup> Fraskær tæller imidlertid ikke med i affaldsmængden, da det ikke har været taget i brug i byggeriet og dermed ikke klassificeres som affald.

<sup>26</sup> Teknologisk Institut (2019b): "Materialer I Den Cirkulære Økonomi: Mineraluld".

<sup>27</sup> Miljøstyrelsen (2015c): "Udredning Af Teknologiske Muligheder for at genbruge og genanvende Beton", Miljøprojekt nr. 1667.



fordi der er lovgivningsmæssige barrierer herfor. Desuden viser tidligere undersøgelser, at denne produktionsform kræver et højere forbrug af vand og dermed også cement.<sup>28</sup> Miljøstyrelsen argumenterer derfor for, at det er vigtigt at vurdere fordelene ved at kunne erstatte naturlige råstoffer som sand og sten med nedknust betontilslag, hvis det samtidig medfører en øget miljøbelastning, fordi der skal tilsættes mere cement i produktionsblandingen. Dette indikerer, at der ikke nødvendigvis er miljø- og klimamæssige fordele ved at genanvende beton som tilslag til ny beton, i hvert fald ikke med de eksisterende produktionsteknologier. Potentialerne herfor undersøges nærmere i et MUDP-projekt, *Genanvendt betontilslag til betonproduktion i industriel skala*. Her har RGS Nordic og DK Beton indgået samarbejde om industrialisering af en metode til mere effektiv og bæredygtig produktion af beton med knust beton som tilslag.<sup>29</sup> Vi har i samarbejde med følgegruppen og Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen vurderet, at det ikke er muligt indenfor rammen af nærværende undersøgelse at analysere potentialet for genanvendelse af beton som tilslag til ny beton lige så grundigt, som det er muligt i det igangværende MUDP-projekt. Derfor undersøger vi ikke potentialet for genanvendelse af knust beton som tilslag til ny beton.

Genbrug af betonelementer eller den bærende betonkonstruktion finder også sted i dag (f.eks. The Silo i København), men det er en langt mindre anvendt metode. Der er større usikkerheder ved at genbruge betonelementer i stedet for at få produceret ny beton. Usikkerhederne er bl.a. kvaliteten af betonens materialemæssige egenskaber, ansvar og risiko for holdbarheden samt behovet for tilpasning til den nye bygning. Miljøstyrelsen (2015c) har undersøgt potentialet for at genbruge ikke-bærende betonelementer i enfamiliehuse. Konklusionen er, at det kræver udvikling af nye designkoncepter, før det kan betale sig adskille og rense dem. Der eksisterer imidlertid ingen systematisk afdækning af potentialerne ved at genbruge den bærende betonkonstruktion i eksisterende byggerier.

#### 3.4.4 Træ

Vi har valgt at undersøge potentialerne for *øget genbrug af interimstræ*. Træ er en meget broget fraktion i Affaldsstatistikken, da den består af alt fra små træpinde af lav genanvendelig kvalitet til store bjælker af høj genanvendelig kvalitet. Miljøstyrelsen (2016a) vurderer, at sorteringsgraden af træaffald generelt er lav.<sup>30</sup> De primære håndteringsmetoder for træ i dag er energinyttiggørelse ved forbrænding og genanvendelse til spånplader eller træpiller. En stor del af træaffaldet er trykimprægneret, hvilket sjældent kan genanvendes til andre formål end energinyttiggørelse.<sup>31</sup> I Danmark er der kun en enkelt aftager af træ til spånpladeproduktion, nemlig Kronospan. Hvis træet ikke kan afsættes på det danske marked, eksporteres det til Sverige og Tyskland. Tidligere undersøgelser af Miljøstyrelsen (2016a, 2016b, 2018e, 2018f)<sup>32</sup> har analyseret potentialet for at øge genanvendelsen og for bedre ressourceudnyttelse af træaffald. Disse undersøgelser viser, at det danske marked for genanvendelse af træ til spånpladeproduktion er udtømt, hvorfor der ikke vurderes at være yderligere markedspotentiale for denne anvendelsesform.

Da træfraktionen består af meget forskelligt træ i forskellige kvaliteter, er det svært at udvikle en mere cirkulær forretningsmodel, som kan opskaleres. Forbrænding af træ er i dag en udbredt anvendelse, da energiudnyttelse af træ spiller en central rolle i det danske energisystem. Forretningsmodellen for forbrænding er veletableret. Spørgsmålet er derfor, om dette system kan kombineres med genbrug af træet, før det forbrændes.

<sup>28</sup> Miljøstyrelsen (2015c): "Udredning Af Teknologiske Muligheder for at genbruge og genanvende Beton", Miljøprojekt nr. 1667.

<sup>29</sup> <https://groenprojektbank.dk/projekter/projekt/genanvendt-betogtilslag-til-betonproduktion-i-industriel-skala-rca-projektet-recycled-concrete-aggre/>

<sup>30</sup> Miljøstyrelsen (2016a): "Afsætningsmuligheder For Træ". Miljøstyrelsen (2016b): "Metode Til Sortering Af Rent/Indendørs Træ".

<sup>31</sup> <https://dakofa.dk/element/forbraending-af-impraegneret-trae-bliver-nu-mulig-paa-danske-anlaeg/>

<sup>32</sup> Miljøstyrelsen (2016a): "Afsætningsmuligheder For Træ". Miljøstyrelsen (2016b): "Metode Til Sortering Af Rent/Indendørs Træ". Miljøstyrelsen (2018e): "Projekter For Bedre Ressourceudnyttelse Livscyklusvurdering Af Genanvendelse Af Træaffald", Miljøprojekt nr. 1995. Miljøstyrelsen (2018f): "Samfundskonomisk Vurdering Af Behandling Af Genanvendeligt Træaffald", Miljøprojekt nr. 1994.

Genbrug af træ fra nedrevne bygninger finder også sted, men er i dag et nichemarked med genbrug af f.eks. træbjælker, gulve og gamle vinduer. På byggepladserne anvendes imidlertid store mængder træ i forbindelse med opførelse af byggerier, såkaldt interimstræ. Vi kan på baggrund af interviews konstatere, at der er et årligt potentiale på ca. 50.000 tons interimstræ, som potentielt kan genbruges frem for at blive sendt til forbrænding efter første brug. Markedspotentialet vurderes at være højt, da der allerede findes sådan et koncept, nemlig GENTRÆ. GENTRÆ er et samarbejde mellem STARK, Golder, Solum og Realdania, hvor STARK står for logistikken, rensningen og gensalg af træet. En anden aktør, der genbruger træ, er Næste. De designer og producerer skure ved brug af genbrugstræ (ikke begrænset til interimstræ).

Vi har valgt at undersøge potentialet for at genbruge interimstræ på byggepladsen gennem ovennævnte samarbejde. Det skyldes dels, at der er et stort markedspotentiale med mulighed for opskalering. GENTRÆ er et eksempel på et markedssamarbejde og et logistisk system, hvor markedet for cirkulær anvendelse af en affaldsfraktion fungerer. Derudover skyldes det, at der ikke findes en systematisk afdækning af potentialet for genbrug af træaffald fra byggeriet.

### 3.5 Argumentation for fravalg af materialer til den videre analyse

Baseret på afdækningen er følgende materialer fravalgt forud for den videre analyse:

- *Jern og stål*
- *Mursten*
- *Gipsbaserede byggematerialer*

#### 3.5.1 Jern og stål

Jern og stål er fravalgt i denne undersøgelse, selvom affaldsmængden er relativt stor (se Tabel 3-1). Jern og stål er eksempler på højværdimaterialer, hvorfor udsorteringen og genanvendelsen traditionelt er meget høj. Metaller har generelt en høj værdi, og det afspejler sig i en høj cirkulær anvendelse. Genbrug af stålkonstruktioner og stålprofiler finder sted, men generelt set finder genbrug af denne fraktion sted i mindre grad pga. manglende økonomiske incitamenter for genbrug. Den primære anvendelsesmetode for denne fraktion er i dag omsmelting, hvilket der allerede eksisterer teknologier og metoder til. På baggrund af litteraturen ved vi, at nedrivningsentreprenører sælger alt metal og maskiner til skrothandlere. Markedet er i dag velfungerende og konkurrencedygtigt, og prisen fastsættes på verdensmarkedet.

Miljøstyrelsen (2017)<sup>33</sup> viser, at markedet for genanvendelse (ved omsmelting) fungerer godt, men at markedet for genbrug er småt og usystematisk. Tilgængeligheden for jern og stål vurderes at være høj, barriererne for cirkulær anvendelse vurderes lave og miljø- og klimapotentialerne vurderes høje, jf. Tabel 4.2. Det vurderes dog samtidigt, at der er et begrænset markedspotentiale for yderligere genbrug og genanvendelse, da markedet allerede er velfungerende. Denne fraktion er derfor fravalgt for videre analyse.

#### 3.5.2 Mursten

Mursten er også en relativ stor affaldsfraktion, men er også fravalgt i denne undersøgelse. Den primære anvendelsesmetode for murstensaffald er nedknusning. Herefter anvendes det på samme måde som tagsten og beton som erstatning for grus til bundsikring og bærelag. Nedrivningsprocessen foregår primært i dag vha. maskiner, hvilket naturligt ødelægger murstenene. Genbrug af mursten finder dog også sted, og markedet udgøres i dag af virksomheder som Gamle Mursten og Tegllageret, som bl.a. har specialiseret sig i at oparbejde brugte mursten og sælge dem videre. På samme måde som ved tagsten forudsætter dette, at murstenene nedrives

<sup>33</sup> Miljøstyrelsen (2017): "Affaldsforebyggelse I Byggeriet Forprojekt", Miljøprojekt nr. 1919.

på en mere nænsom måde, så de ikke går i stykker. Genbrug af mursten er et nichemarked, og genbrugte mursten er i hård konkurrence med nye mursten, som ofte er billigere.

Tidligere undersøgelse af Miljøstyrelsen (2013, 2016)<sup>34</sup> konkluderer, at det ikke er samfundsøkonomiske rentabelt at genbruge mursten frem for at knuse dem på trods af betydelige miljøgevinster ved undgået produktion. Dette skyldes primært en tidsmæssig fordyrelse i nedrivnings- og oparbejdningsprocesserne af de brugte mursten. Potentialerne for at genbruge mursten er således allerede analyseret i tidligere undersøgelser, og da der er ikke sket væsentlige markedsændringer siden disse undersøgelser, har vi valgt at se bort fra mursten i nærværende undersøgelse.

### 3.5.3 Gipsbaserede byggematerialer

Affaldsfraktionen for gipsbaserede byggematerialer er relativt lille (se Tabel 3-1). Ifølge Miljøstyrelsen (2012)<sup>35</sup> anvendes gipsaffald til flere forskellige formål; genanvendelse til nye gipsplader, anvendelse til cementproduktion, kompost som næringsstof og strukturmateriale på landbrugsjord og som afdæknings- og konturgivende materiale i Tyskland. Det vil sige, at der eksisterer teknologier og metoder til både at genanvende det samt anvende det til anden materialenyttiggørelse. Det vurderes, at der er relativt få barrierer ved at genanvende gipsaffaldet – udover transportomkostninger.

Ovennævnte rapport konkluderer, at nettoeffekten ved genanvendelse af gips til produktion af nye gipsplader er positiv sammenlignet med de resterende metoder. Derudover konkluderes det, at markedsforholdene for genanvendelse af gipsaffald til ny gips er problematiske, da det er præget af geografiske monopoler og derfor høje priser. Potentialerne for at genanvende gips er således allerede analyseret i tidligere undersøgelser, hvorfor vi ser bort fra gipsbaserede materialer i nærværende undersøgelse.

<sup>34</sup> Miljøstyrelsen (2013): "LCA Af Genbrug Af Mursten", Miljøprojekt nr. 1512. Miljøstyrelsen (2016c): "Samfundsøkonomisk Analyse Af Genbrug Af Mursten", Miljøprojekt nr. 1904.

<sup>35</sup> Miljøstyrelsen (2012): "Livscyklusvurdering Og Samfundsøkonomisk Vurdering Af Forskellige Alternativer For Håndtering Og Behandling Af Gipsaffald", Miljøprojekt nr. 1410.

## 4. ANALYSESCENARIER OG ESTIMERING AF AFFALDSMÆNGDER

Følgende kapitel beskriver analysescenarierne for hver af de fire udvalgte materialefraktioner. Fælles for hver materialefraktion er, at der er to analysescenarier:

- 3) *Et basisscenarie, som analyserer den mest udbredte anvendelsesmetode af fraktionen i dag*
- 4) *Et alternativscenarie, som analyserer potentialet for øget genbrug eller genanvendelse af den specifikke materialefraktion*

Herudover estimerer vi i kapitlet den samlede årlige mængde byggeaffald i tons af de pågældende materialefraktioner, som potentielt vil kunne genanvendes/genbruges. Formålet med at estimere mængderne er senere i rapporten at kunne opskalere hhv. de miljø- og klimamæssige konsekvenser (**Kapitel 5**) og de samfundsøkonomiske konsekvenser (**Kapitel 6**) til totale årlige værdier.

### 4.1 Tagsten

#### 4.1.1 Scenariebeskrivelse

Dette afsnit beskriver, hvordan vi analyserer potentialet for øget genbrug af tagsten. Den primære anvendelsesmetode for tagstensaffald er i dag anden materialenyttiggørelse (knusning). Først og fremmest bliver tagstenene nedrevet fra en bygning. Herefter transporteres tagstenene til knusning. Som beskrevet tidligere anvendes det knuste tagsten primært sammen med knust beton som erstatning for naturligt grus. Transporten til aftageren er ikke en del af analysen, da denne formodes at være den samme uanset, om tagstenene skal genbruges eller anvendes som erstatning for grus. Analysens basisscenarie defineres som:

- Basisscenarie: 100 pct. nedknusning af tagstensaffaldet

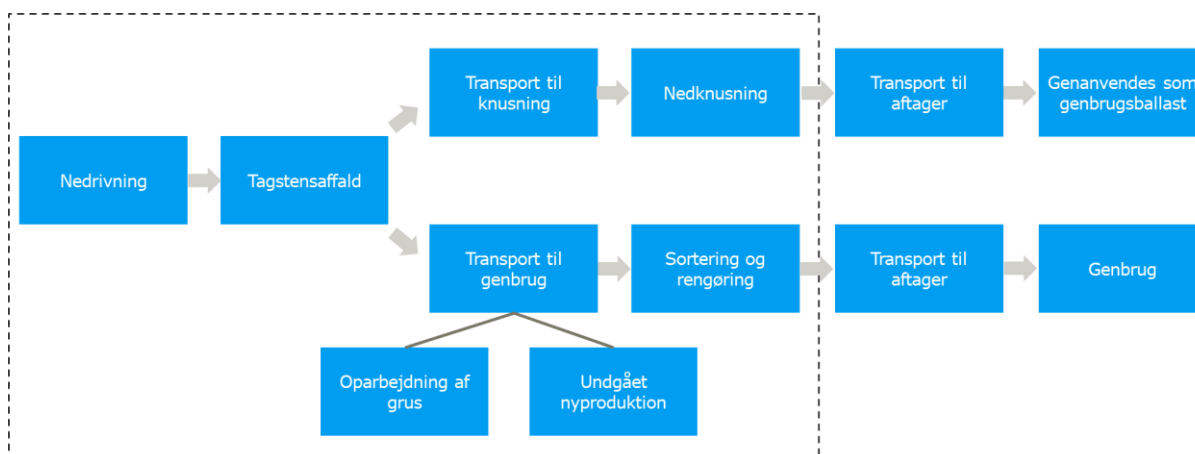
Det alternative scenarie analyserer potentialet for at genbruge tagsten. Denne proces starter også med nedrivning af tagstenene, men da de skal genbruges efterfølgende, foregår dette med håndkraft. Herefter transporteres de til en oparbejdningsevne, som renser, sorterer og opbevarer tagstenene. I dette scenarie genbruges de tagsten, som ellers ville blive anvendt som erstatning for grus, hvorfor der i stedet skal udvindes grus til dette formål. Dernæst undgås produktionen af nye tagsten, som indgår som en gevinst i alternativscenariet.

På baggrund af litteraturen og interviews vurderer vi, at det er realistisk at genbruge op til 80 pct. af de tagsten, som nedrives fra en bygning. Alternativscenariet defineres derfor som:

- Alternativscenarie: 80 pct. genbrug af tagstenene og 20 pct. knusning

Figur 4-1 nedenfor opsummerer de processer, som er forbundet med hhv. nedknusning og genbrug af tagsten. Den stiplede boks viser analysens afgrænsning.

Figur 4-1 Processer forbundet med nedknusning og genbrug af tagsten



#### 4.1.2 Den totale mængde tagstensaffald, som potentielt kan genbruges

Der findes ingen opgørelser af de samlede mængder tagstensaffald, som potentielt vil kunne genbruges. Estimeringen af den potentielle tagstensaffaldsmængde beror derfor udelukkende på data fra Affaldsstatistikken.<sup>36</sup> Tagsten indgår i Affaldsstatistikken under flere fraktioner, jf. tabellen nedenfor.<sup>37</sup>

Tabel 4-1: Udvikling i mængder tagstensaffald i perioden 2013-2017, 1.000 tons

EAK-kode: Affaldsfraktion	2013	2014	2015	2016	2017
17 01 03: Tegl og keramik	47	61	77	86	114
17 01 07: Blandinger af beton, mursten, tegl og keramik	335	401	434	432	465

Kilde: Affaldsstatistik 2017, Miljøstyrelsen.

”Tegl” omfatter inden for byggebranchen både tag- og mursten. Da mursten imidlertid har sin egen affaldskategori i Affaldsstatistikken, antages det, at ”tegl” i fraktionen ”tegl og keramik” henfører til tagsten, en antagelse, der kan bekræftes af MST. Fraktionen udgør i 2017 114.000 tons og har været støt stigende siden 2013.

Herudover registreres der tegl- og keramikaffald i en blandet fraktion, som i 2017 udgør 465.000 tons. Det vides ikke, hvordan forholdet mellem hhv. beton, mursten samt tegl og keramik fordeler sig i denne fraktion, og MST har heller ikke denne viden. Som tilnærmelse antager vi derfor, at forholdet imellem de tre materialetyper i den blandede fraktion svarer til forholdet mellem de tre materialetyper som udsorterede fraktioner, hvilket også anses som plausibelt af MST. I 2017 udgjorde den rene betonfraktion 1.182.000 tons, mens den rene murstensfraktion udgjorde 211.000 tons, jf. Tabel 3-1. Den rene tagstensfraktion antages som nævnt ovenfor at udgøre 114.000 tons. Antaget at dette forhold også gælder for den blandede fraktion, så udgør tagsten udgør 8 pct. svarende til 35.000 tons tagstensaffald.

<sup>36</sup> Da Affaldsstatistikken ikke er fuldstændig, er de registrerede mængder forbundet med en vis usikkerhed.

<sup>37</sup> Udover de fraktioner vist i tabellen her indgår tegl og keramik også i fraktionen 17 01 06 (Blandinger eller separerede fraktioner af beton, mursten, tegl og keramik indeholdende farlige stoffer). Da både volumen og genanvendelsesprocent generelt er lavere for denne fraktion, ser vi bort fra den i estimering af potentialet.

Dette giver en samlet mængde tagstensaffald på 150.000 tons i 2017, som ved den rette udsortering potentielt kan genbruges.<sup>38</sup> Vi gør opmærksom på, at der er en betydelig usikkerhed forbundet med dette estimat.

## 4.2 Stenuld

### 4.2.1 Scenariebeskrivelse

Følgende afsnit beskriver på samme måde som ovenstående analysescenariet for stenuld. For at analysere situationen i dag må vi vide, hvordan stenuldsaffaldet fordeler sig mellem de forskellige anvendelsesmetoder. Som beskrevet tidligere er disse bl.a. genanvendelse i produktion af ny stenuld hos Rockwool, deponi, genanvendelse i Leca-kugler, asfalt og beton. For at simplificere analysen har vi valgt at fokusere på genanvendelse i ny stenuld samt deponi.

Vores afdækning viser, at Leca modtager ca. 4.000 tons blandet sten- og glasuld fra Norrecco om året. Derudover ender en mængde stenuld hos andre affaldsoperatører end RGS Nordic, hvor det f.eks. anvendes som input i beton eller asfalt. Denne mængde er dog ukendt. Herudover deponeres en del – enten fordi det er forurenset, fordi det ender i blandede fraktioner, eller fordi kommunen ikke leverer det til genanvendelse. Endelig viser vores afdækning, at Rockwool i 2019 modtog 8.600 tons brugt stenuld til genanvendelse.

Når det brugte stenuld deponeres, sendes det direkte fra en genbrugsplads eller affaldsoperatør til deponi. Som beskrevet tidligere har RGS Nordic og Rockwool et samarbejde om at indsamle, rense, granulere og genanvende brugt stenuld. Den rene stenuld granuleres og sendes til Rockwool, hvor det anvendes som input i produktionen af ny stenuld.

Ud fra interviews og litteraturen estimerer vi, at der i dag genanvendes 34 pct. af alt stenuldsaffald. Det har ikke været muligt at afdække, hvordan den resterende mængde fordeler sig mellem anvendelsesmetoder, og vi antager derfor, at resten deponeres. Det betyder også, at potentialet for øget genanvendelse overvurderes lidt, eftersom en lille del også går til andre producenter, som fx Leca. Basisscenariet defineres som:

- Basisscenarie: 34 pct. af stenuldsaffaldet genanvendes i ny stenuld, mens resten deponeres

Det alternative scenarie analyserer potentialet for at øge denne genanvendelsesprocent. Ifølge Rockwools årsrapport kan deres produktionsmix bestå af op til 75 pct. brugte materialer. Baseret på interviews er der endnu et stort uudnyttet potentiale for at lade endnu mere stenuldsaffald indgå i produktionen, da genanvendt materiale langt fra udgør 75 pct. i dag.<sup>39</sup> På baggrund af litteraturen og interviews estimerer vi, at det vil være realistisk at genanvende 90 pct. af det samlede stenuldsaffald, jf. afsnit 3.4.2. Den genanvendte stenuld indgår i produktionen som direkte erstatning for jomfruelig sten. Derfor indgår besparelsen af jomfruelig sten i det alternative scenarie. Alternativscenariet er derfor:

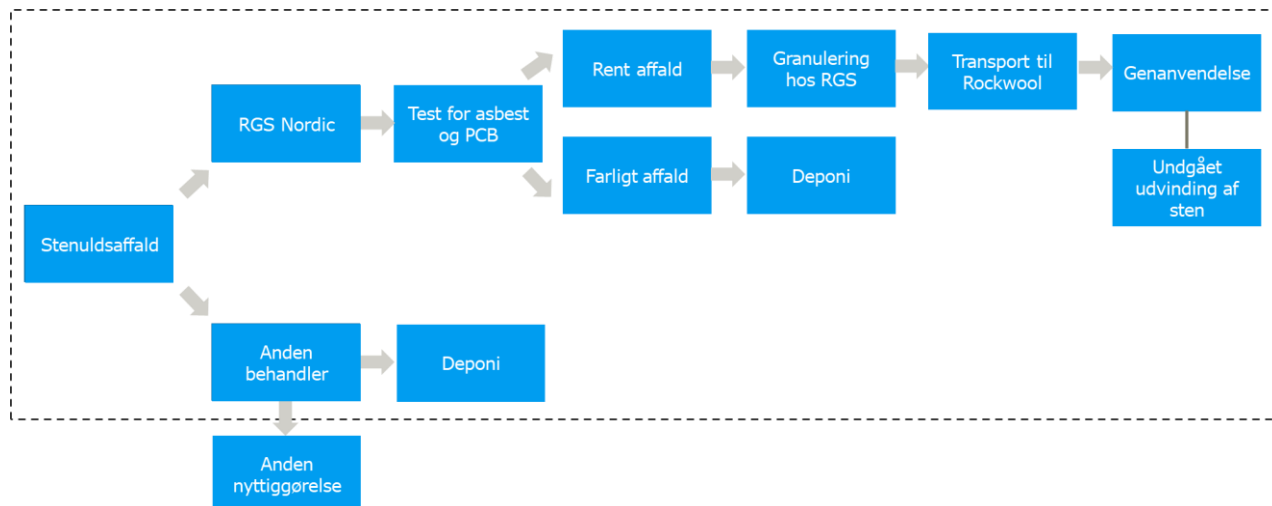
- Alternativscenarie: 90 pct. af stenuldsaffaldet genanvendes i ny stenuld, mens resten deponeres

<sup>38</sup> For at sætte mængden i perspektiv svarer det til den mængde tagsten, der bruges til taglægning på knap 17.500 typehuse årligt. Regneeksemplet taget udgangspunkt i et almindeligt typehus på 210 m<sup>2</sup>. Det antages, at der i gennemsnit bruges 14,6 tagsten pr. m<sup>2</sup> (se bilagsrapport). Yderligere antages det, at en tagsten vejer 2,8 kg. Til sammenligning blev der i 2019 opført 10.429 familiehuse, fordelt på 5.030 parcelhuse med gennemsnitligt etageareal på ca. 250 m<sup>2</sup> og 5.399 række-, kæde- og dobbelthuse med gennemsnitligt etageareal på ca. 110 m<sup>2</sup>, jf. Danmarks Statistik Tabel BYV22 for fuldført byggeri. Dertil skal lægges de mange renoveringsprojekter, hvor der lægges helt eller delvist nyt tag.

<sup>39</sup> <https://www.rockwoolgroup.com/investors/financial-reports/annual-report-highlights-2019/>

Figuren nedenfor opsummerer processerne forbundet med de identificerede anvendelsesmetoder for stenuldsaffald. Den stiplede linje angiver analysens afgrænsning.

**Figur 4-2 Processer forbundet med deponi og genanvendelse af stenuld**



#### 4.2.2 Den totale mængde stenuldsaffald, som potentielt kan genanvendes

Miljøstyrelsen (2006a, 2006b) har tidligere fremskrevet det forventede potentiale af genanvendeligt brugt stenuld fra nedrivninger og renoveringer til en samlet mængde på ca. 14.000 tons i 2012.<sup>40</sup> Ved anvendelse af samme fremskrivningsfaktor fås et estimat på 30.000 tons i 2020. Til sammenligning blev der i Affaldsstatistikken i 2017 registreret en samlet mængde isoleringsaffald på 19.000 tons i 2017, jf. Tabel 3-1. Ifølge interviews med RGS Nordic og Rockwool vurderes den årlige mængde at være ca. 25.000 tons. Vi vurderer derfor, at 25.000 tons er et mere realistisk og konservativt estimat for det samlede årlige potentiale for genanvendelse af stenuldsaffald. Vi gør opmærksom på, at der er en betydelig usikkerhed forbundet med dette estimat.

### 4.3 Beton

#### 4.3.1 Scenariebeskrivelse

Som beskrevet tidligere er den primære anvendelsesmetode for betonaffald knusning, som erstatter grus til bundsikring og bærelag, hvorfor basisscenariet kun indeholder denne anvendelsesmetode.

Først nedrives bygningen, hvorefter betonen sendes til knusning. Transporten fra knusning til brug er ikke en del af analysen, da det antages, at afstanden er den samme som hvis der skulle anvendes grus. Analysen af situationen i dag er derfor:

- Basisscenarie: 100 pct. af betonaffaldet knuses og materialenytiggøres som erstatning for grus

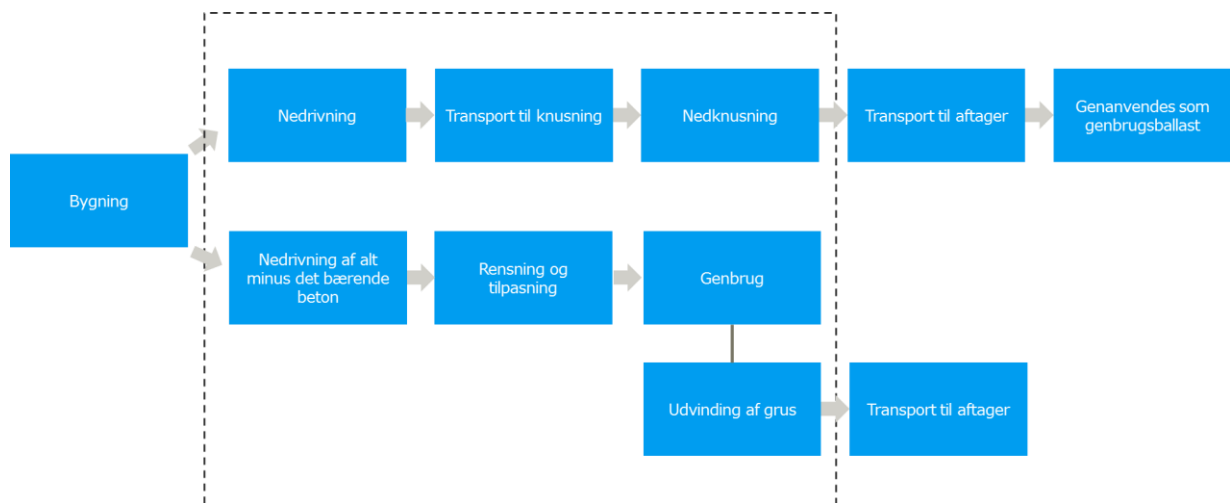
Det alternative scenarie analyserer potentialet for at genbruge den bærende betonkonstruktion i en bygning. Den første aktivitet er derfor nedrivning af hele bygningen undtagen de bærende betonelementer. Vores interviews har vist, at de bærende betonelementer herefter skal renses for skruer og andre urenheder. Derudover kan der være en mulig rensning af betonen f.eks. via sandblæsning. Da betonen ikke knuses i alternativscenariet, er det nødvendigt at udvinde grus i stedet. Alternativscenariet defineres derfor som:

<sup>40</sup> Miljøstyrelsen (2006): "Genanvendelse af brugt stenuld, Hovedprojekt"

- Alternativscenarie: 100 pct. genbrug af den bærende betonkonstruktion (råhus), mens ikke-bærende betonelementer nedkuses

Figuren nedenfor opsummerer de processer, som er forbundet med hhv. nedknusning og bevaring af betonkonstruktionen. Den stiplede linje angiver analysens afgrænsning.

Figur 4-3 Processer forbundet med nedknusning og genbrug af beton



#### 4.3.2 Den totale mængde betonaffald, som potentielt kan genbruges

Der findes ikke noget samlet estimat over den samlede mængde betonaffald, som potentielt vil kunne genbruges. Estimeringen af den potentielle affaldsmængde i nærværende undersøgelse beror derfor primært på data fra Affaldsstatistikken.<sup>41</sup> Beton indgår i Affaldsstatistikken under flere fraktioner, jf. tabellen nedenfor.<sup>42</sup>

Tabel 4-2: Udvikling i mængder betonaffald i perioden 2013-2017, 1.000 tons

EAK-kode: Affaldsfraktion	2013	2014	2015	2016	2017
17 01 01: Beton	807	1.061	1.072	1.094	1.182
17 01 07: Blandinger af beton, mursten, tegl og keramik	335	401	434	432	465

Kilde: Affaldsstatistik 2017, Miljøstyrelsen.

Den udsorterede betonfraktion udgør i 2017 1.182.000 tons og har været stødt stigende siden 2013. Flere undersøgelser viser dog, at de reelle mængder betonaffald er større end de registrerede og reelt er dobbelt så stor som de registrerede mængder i Affaldsstatistikken.<sup>43</sup> Dermed er den reelle mængde affald i den rene betonfraktion snarere ca. 2.400.000 tons.

<sup>41</sup> Da Affaldsstatistikken ikke er fuldstændig, er de registrerede mængder forbundet med en hvis usikkerhed. Ifølge Dakofa

<sup>42</sup> Udover de fraktioner vist i tabellen her indgår tegl og keramik også i fraktionen 17 01 06 (Blandinger eller separerede fraktioner af beton, mursten, tegl og keramik indeholdende farlige stoffer). Da både volumen og genanvendelsesprocent generelt er lavere for denne fraktion, ser vi bort fra den i estimering af potentialet.

<sup>43</sup> Miljøstyrelsen (2015c): "Udredning af teknologiske muligheder for at genbruge og genanvende Beton", Miljøprojekt nr. 1667.



Herudover registreres der betonaffald i en blandet fraktion, som i 2017 udgør 465.000 tons. Det vides ikke, hvordan forholdet mellem hhv. beton, mursten samt tegl og keramik fordeler sig i denne fraktion. Som beskrevet i estimeringen af potentialet for tagsten (afsnit 4.1.2) antager vi, at beton udgør 78 pct. af den blandede fraktion, svarende til 365.000 tons betonaffald. Dette giver en samlet mængde betonaffald på 2.729.000 tons i 2017.

Det må imidlertid antages, at det kun er en lille del af den samlede betonfraktion, der udgøres af bærende konstruktioner fra bygninger, som potentielt kunne være bevaret frem for at være blevet revet ned. Omvendt udgør de bærende konstruktioner størstedelen af den samlede betonmængde, som anvendes i en bygning. Vi vurderer, at et konservativt estimat på 10-15 pct. af den samlede betonaffaldsmængde kommer fra bærende bygningskonstruktioner, som potentielt kunne være bevaret. Dermed vurderes det samlede potentiale for beton til genbrug til ca. 270.000-410.000 tons årligt.<sup>44</sup> Vi gør opmærksom på, at der er en betydelig usikkerhed forbundet med dette estimat.

## 4.4 Interimstræ

### 4.4.1 Scenariebeskrivelse

I dette afsnit beskrives de opstillede analysescenarier for interimstræ. Som beskrevet tidligere anvendes interimstræ primært i dag til forbrænding eller til spånpladeproduktion. Da vi ønsker at tydeliggøre forskellen mellem at sende interimstræ til hhv. forbrænding og genbrug, inddrager vi kun disse to metoder.

I basisscenariet produceres 50.000 tons træ til brug på byggepladsen, som sendes til energiudnyttelse ved forbrænding efter brug en enkelt gang. Den første aktivitet er nedtagning af træet på byggepladsen. Ifølge interviews med STARK er der i nedtagningen af interimstræet ingen forskel på, om det skal sendes til forbrænding eller til genbrug. Nedtagningsprocessen medtages derfor ikke i analysen. Herefter transporteres træet til forbrænding. Basisscenariet analyserer kun denne form for behandling, og scenariet er derfor:

- Basisscenarie: 100 pct. af interimstræet sendes til forbrænding

Det alternative scenarie analyserer potentialet for at genbruge interimstræet fra byggepladsen. På baggrund af interviews vurderes det, at interimstræ har en gennemsnitlig brugstid på byggepladsen på 6 måneder, og at det *kan* recirkuleres 4-6 gange. I analysen anvender vi et konservativt estimat på 4 cirkuleringer af træet. Det vil sige, at interimstræet har en levetid på 2 år.

Alternativscenariet tager også udgangspunkt i det årlige forbrug på 50.000 tons. I alternativscenariet er følgende antaget:

- Interimstræet kan cirkulere to gange om året. Derfor vil der i starten af år 0 kun blive produceret 25.000 tons
- Efter brug på byggepladsen i et halvt år pilles træet ned igen, men pga. kvalitetskrav hos grossisten frasorteres en del på byggepladsen (1. sortering).<sup>45</sup> STARK vurderer, at der frasorteres 50 pct. på byggepladsen. Det betyder, at 12.500 tons sendes til forbrænding og 12.500 tons hentes af grossisten.

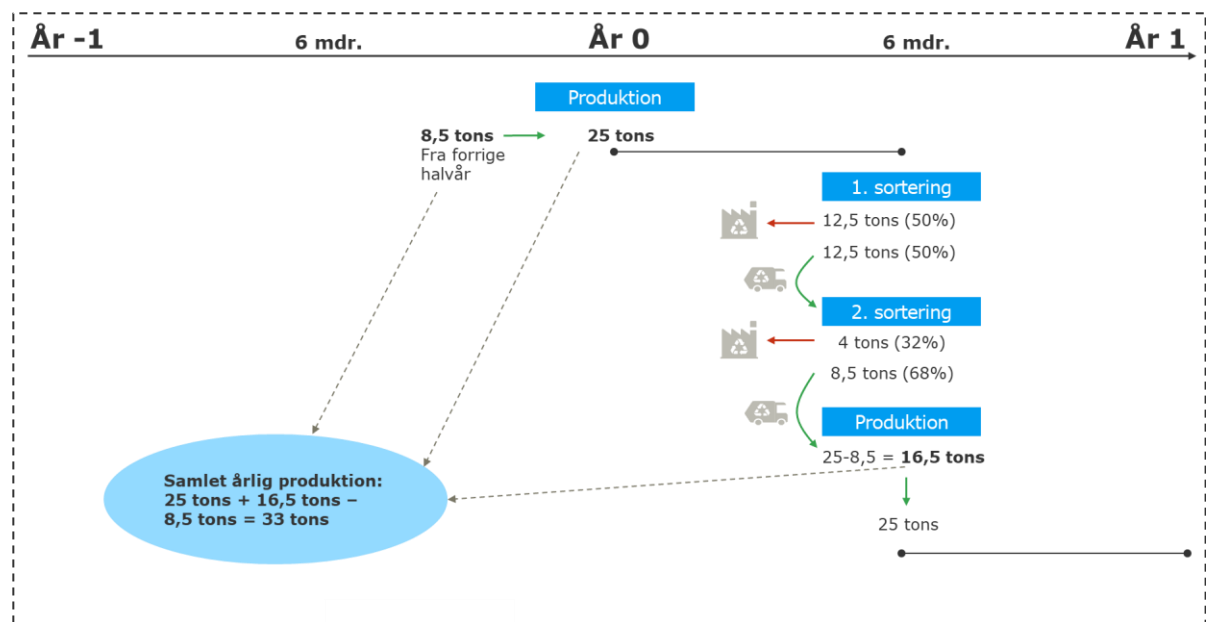
<sup>44</sup> For at sætte den estimerede mængde i perspektiv svarer det til mængden af beton, som anvendes ved opførelse eller bevaring af mellem ca. 220 og 330 kontorbyggerier. Regneeksemplet taget udgangspunkt i et almindeligt kontorbyggeri på 1.232 etagemeter. Det antages, at der i gennemsnit bruges 515 m<sup>3</sup> beton i et almindeligt kontorbyggeri (se bilagsrapport). Ved en densitet på 2,4 tons pr. m<sup>3</sup> svarer det til 1.236 tons beton. Regneeksemplet taget udgangspunkt i et almindeligt kontorbyggeri på 1.232 etagemeter. Det antages, at der i gennemsnit bruges 515 m<sup>3</sup> beton i et almindeligt kontorbyggeri (se bilagsrapport). Ved en densitet på 2,4 tons pr. m<sup>3</sup> svarer det til 1.236 tons beton. Dertil skal lægges etageboligbygninger og industribygninger, hvori de bærende betonelementer udgør store dele af de samlede konstruktioner. Til sammenligning blev der i 2019 opført knap 600 bygninger til kontor, handel, lager, offentlig administration mv. i Danmark med gennemsnitligt etageareal på ca. 1.410 m<sup>2</sup>, jf. Danmarks Statistik Tabel BYGV22 for fuldført byggeri.

<sup>45</sup> Det primære krav er, at det kun er træelementer på minimum 1 meters længde, som kan sendes til genbrug.

- Hos grossisten frasorteres endnu en del (2. sortering). Træet renses for skruer, søm og andre urenheder. På baggrund af interviews vurderes det, at der kan genbruges op mod 68 pct. Det vil sige, at 8.500 tons kan genbruges, mens 4.000 tons (32 pct.) sendes til forbrænding.

Behovet på byggepladsen til næste halvår i år 0 er stadig 25.000 tons, men da 8.500 tons kan genbruges fra det første halvår, skal der kun nyproduceres 16.500 tons. Her skal det dog også bemærkes, at der i starten af år 0 eksisterede 8.500 tons fra forrige halvår. Den samlede produktion af interimstræ om året er derfor 33.000 tons<sup>46</sup> i alternativscenariet, hvilket er skitseret i Figur 4-4 nedenfor, som også viser processen for træet i alternativscenariet.

Figur 4-4 Cyklus for interimstræ i alternativscenariet (i tusinde tons)



Kilde: Rambøll baseret på interviews

I alternativscenariet er forbruget stadig 50.000 tons, men der produceres kun 33.000 tons. Det vil sige, at der er en besparelse på 17.000 tons træ, hvilket svarer til 34 pct.<sup>47</sup> De 34 pct. forbrændes stadig, men levetiden på træet forlænges, hvorefter det forbrændes. Alternativscenariet er derfor:

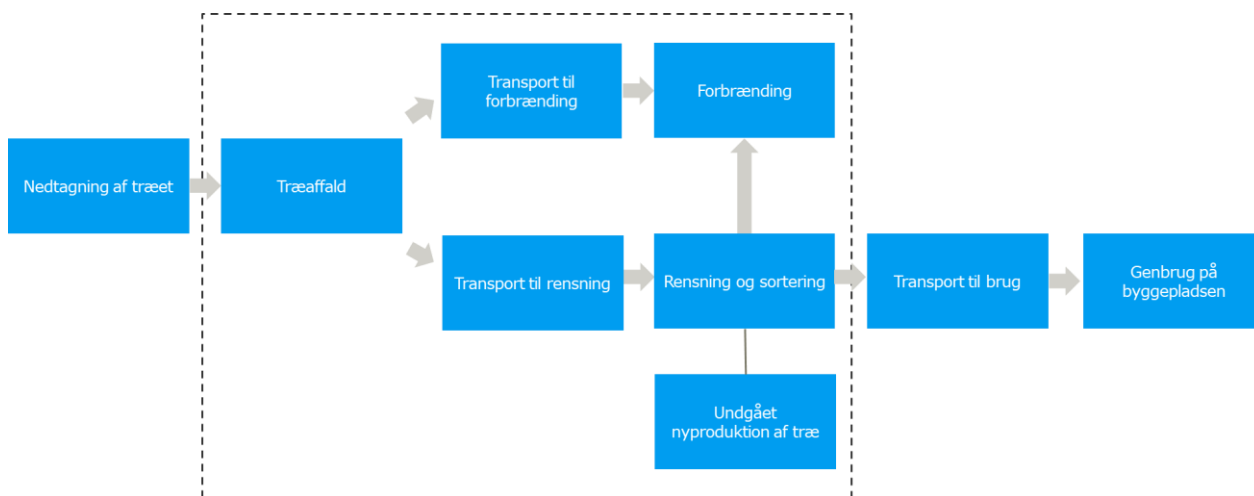
- Alternativscenarie: 100 pct. af interimstræ forbrændes, men levetiden forlænges ved genbrug for 34 pct. af træet

Figuren nedenfor opsummerer de processer, som er forbundet med hhv. forbrænding og genbrug af interimstræ. Den stiplede linje angiver analysens afgrænsning.

<sup>46</sup> 25.000 tons + 16.500 tons - 8.500 tons = 33.000 tons

<sup>47</sup> 17.000 tons / 50.000 tons \* 100 % = 34 %

Figur 4-5 Processer forbundet med forbrænding og genbrug af interimstræ



#### 4.4.2 Den totale mængde interimstræaffald, som potentielt kan genbruges

Ifølge STARK anvendes der i alt 50.000 tons interimstræ om året, som efter brug en enkelt gang sendes til forbrænding. Det årlige potentiale for genbrug af interimstræ er derfor 50.000 tons.

## 5. ANALYSE AF MILJØ- OG KLIMAMÆSSIGE KONSEKVENSER

I dette kapitel præsenteres resultaterne af livscyklusvurderingen (LCA), der undersøger de miljø- og klimamæssige konsekvenser ved de opstillede scenarier (se [kapitel 3](#)). Analysen er foretaget pr. ton af den givne materialefraktion. Analyseresultaterne er medtaget som input i den samfundsøkonomiske analyse til værdisætning af miljø- og klimaeffekter (se [kapitel 6](#)).

Kapitlet indledes i [afsnit 5.1](#) med en kort beskrivelse af metoden, som er anvendt i livscyklusvurderingen. Vi henviser til [Bilag A](#) for en mere detaljeret gennemgang af metoden og forudsætninger. Resultaterne for hver materialefraktion beskrives og fortolkes herefter i særskilte afsnit ([5.2-5.5](#)). Det samlede miljø- og klimamæssige potentiale vurderes på baggrund af en opskalering af resultaterne per ton til totale årlige værdier. For hver materialefraktion beskrives desuden analysens primære usikkerheder, hvis betydning for resultaterne afprøves i en række følsomhedsanalyser for hver enkelt materialefraktion. I slutningen af de enkelte afsnit sammenligner vi resultaterne med tidligere studier.

### 5.1 Metodisk tilgang i livscyklusvurderingen (LCA)

Livscyklusvurderingen er udført i overensstemmelse med principperne i ISO 14040/44 ved gennemgang af de fire obligatoriske trin i en LCA (ISO 2006a, 2006b). Analysen er udført som en screenings LCA, hvorfor der må tillægges en vis usikkerhed til resultaterne. En mere uddybende LCA-rapportering, jf. ISO-krav, findes i [Bilag A](#).

Analysen er gennemført som en sammenligning af to forskellige scenarier for hver materialefraktion. I et basisscenarie analyseres miljø- og klimapåvirkningen af den mest anvendte praksis for anvendelse af den enkelte materialefraktion i dag. Dernæst omfatter analysen et alternativt scenarie, som analyserer effekten af at ændre praksis til en mere cirkulær håndtering af affaldet fra byggeriet (se [kapitel 3](#) for en nærmere beskrivelse af scenarierne). De to scenarier skal ses som yderpunkter, hvor det reelle miljø- og klimapotentiale skal findes imellem de to yderpunkter. Det reelle potentiale afhænger i særdeleshed af, hvor stor en andel af et ton byggemateriale, der rent faktisk vil kunne genanvendes/genbruges. Dette tages der højde for i den samfundsøkonomiske modellering, hvor resultaterne skaleres efter hvor stor en andel af materialefraktionen, der realistisk vil kunne flyttes fra den nuværende anvendelse (typisk materialenyttiggørelse) til en mere cirkulær anvendelse (f.eks. genanvendelse eller genbrug).

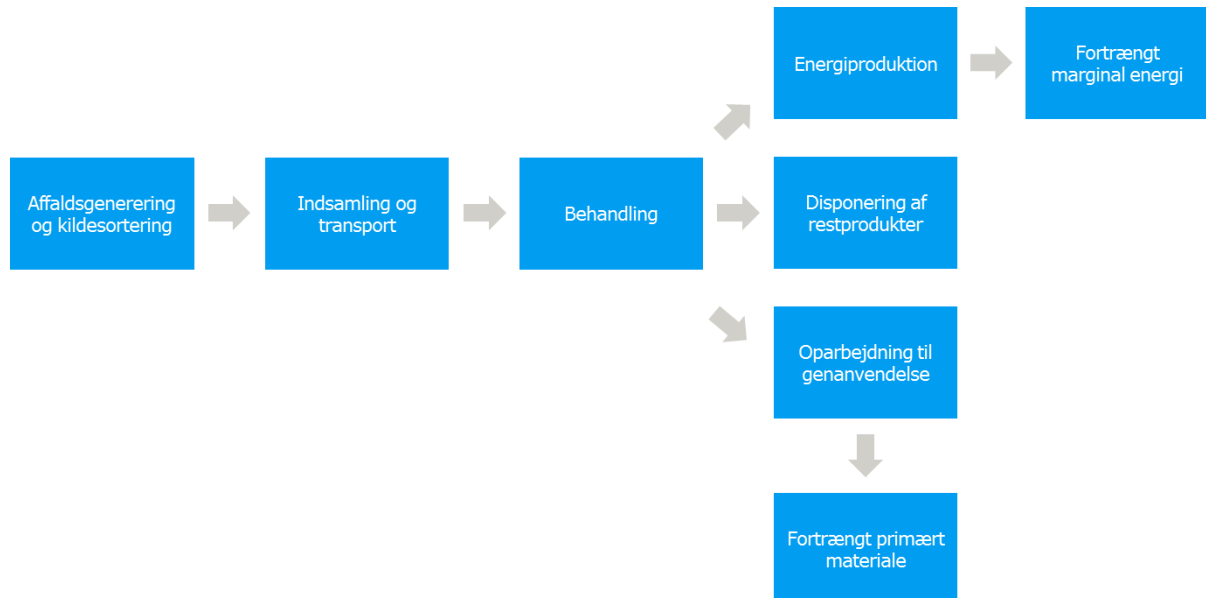
Analysen tager udgangspunkt i byggeriet og de materialefraktioner, som er indeholdt i den eksisterende bygningsmasse. Jf. systemafgrænsningen nedenfor, udgør nedrivningsprocessen det naturlige startpunkt for analysen, da det er i denne proces, byggeaffaldet genereres. Vi antager her, at forskellen mellem de to scenarier i nedrivningsfasen primært kommer til udtryk i form af øget arbejdstid/mandetimer forbundet med nedrivningen/nedtagningen. Eftersom der ikke er miljø- og klimamæssige påvirkninger ved manuelt arbejde, medtages nedrivningsprocessen ikke i livscyklusvurderingen.<sup>48</sup>

Herefter transporteres materialefraktionen til den aktør, som håndterer affaldet. Det kan f.eks. være en affaldsoperatør eller en grossist, som oparbejder materialefraktionen til genbrug, genanvendelse eller anden materialenyttiggørelse. Derudover kan denne aktør også være en producent, som genbruger eller genanvender den i ny produktion. Alle omkostningerne forbundet

<sup>48</sup> Dette er ikke ensbetydende med at antage, at der ikke anvendes maskiner i nedrivningsprocessen. Det gør der naturligvis. Vi antager blot, at der ikke er forskel på brugen af maskiner afhængig af, om der skal nedrives efter nuværende praksis eller med henblik på øget genanvendelse eller genbrug.

med disse aktiviteter er en del af analysen. Til sidst er der eventuelle gevinster i form af undgået produktion eller transport, som indregnes som en gevinst i analysen.

**Figur 5-1: Systemafgrænsning for modelleringen**



Note: Inkluderede aktiviteter på tværs af scenarier samt fortrængt marginal energiproduktion og primær materialeproduktion i tilfælde af multifunktionalitet/biprodukter. De stiplede linjer repræsenterer fortrængt produktion.

Kilde: DTU.

Udover ovennævnte omkostnings- og gevinstkategorier vil der i både basis- og alternativscenarier være miljø- og klimamæssige omkostninger forbundet med transport af byggematerialer til slutbrugeren (byggepladsen) og dennes omkostninger forbundet med f.eks. håndtering af materialerne. For disse effekter antager vi, at den miljø- og klimamæssige påvirkning er ens i begge scenarier, hvorfor de udligner hinanden i analysen.<sup>49</sup>

På basis af modelleringen udregnes alle de emissioner, der henhører til hvert scenarie. Disse omregnes herefter til potentielle miljøpåvirkninger ifølge anbefalinger i ILCD-håndbogen.<sup>50</sup> LCA-resultaterne afrapporteres i de følgende afsnit for miljøpåvirkningskategorierne klimaændringer, partikelforurening og ressourceforbrug. Resultaterne er standardiseret og vises som personækvivalenter, hvorved det er muligt at sammenligne effekter på tværs af miljøpåvirkninger.<sup>51</sup>

## 5.2 Tagsten

Følgende afsnit beskriver resultaterne for livscyklusvurderingen af to anvendelsesmuligheder for tagsten; nemlig nedknusning og genbrug. Herefter beskrives analysens usikkerheder, hvis betydning for resultaterne undersøges gennem følsomhedsanalyser. Til sidst i afsnittet sammenligner vi resultaterne med tidligere undersøgelser.

<sup>49</sup> Dette antages således, at transportafstanden vil være den samme, uagtet om slutbrugeren (f.eks. entreprenører) modtager nyproducerede byggematerialer, genbrugte byggematerialer eller byggematerialer, som er produceret ved genanvendelse af brugte materialer. Herudover antages det, at der ikke vil være nogen forskel i håndteringen af byggematerialerne ude på byggepladsen, når først materialerne er leveret

<sup>50</sup> ILCD er en forkortelse af International Reference Life Cycle Data System.

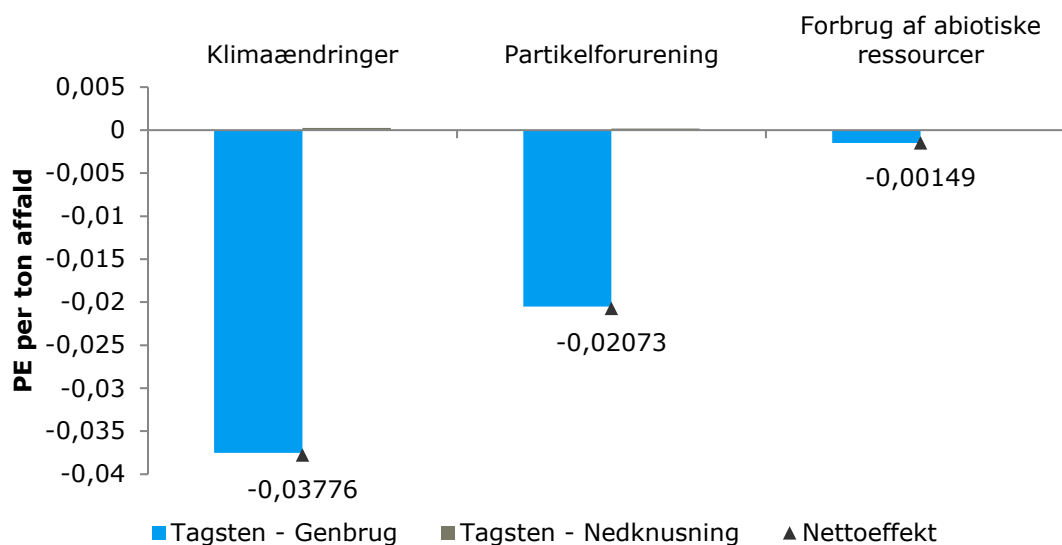
<sup>51</sup> Standardiseringen er foretaget ved at dividere resultatet med en normaliseringsreference for en personækvivalent. En personækvivalent svarer til en gennemsnitlig borgers belastning af den givne miljøpåvirkning i et år. For klimaændringer er dette f.eks. 9.220 kg CO<sub>2</sub>-ækvivalenter/borger/år

- Basisscenarie (nedknusning): 100 pct. af tagstensaffaldet knuses og anvendes som erstatning for grus
- Alternativscenarie (genbrug): 100 pct. af nedtagne tagsten genbruges

### 5.2.1 Resultater

Resultaterne for livscyklusvurderingen for tagsten er vist i figuren nedenfor. Samlet set viser livscyklusvurderingen, at genbrug af tagsten er bedst sammenlignet med nedknusning af tagsten for alle tre kategorier af miljøpåvirkninger.

Figur 5-2: Miljøpåvirkninger for scenarier for tagsten, målt i personækvivalenter (PE) per ton byggeaffald



Note: Positive værdier indikerer miljø- og klimamæssige omkostninger. Negative værdier indikerer miljø- og klimamæssige besparelser. For detaljerede resultater henvises til Bilag A.  
Kilde: DTU pba. beregninger i EASETECH.

Som det fremgår af resultaterne, **er der en netto klimabesparelse på 0,038 personækvivalenter (350 kg CO<sub>2</sub>-ækvivalenter) per ton tagstensaffald, der genbruges.**<sup>52</sup> Resultaterne følger samme mønster for hhv. partikelforurening og forbrug af abiotiske ressourcer, om end besparelsen ved genbrug i stedet for nedknusning er mindre for disse miljøpåvirkningskategorier sammenlignet med CO<sub>2</sub>-besparelsen.

#### Opskalering af klimaeffekterne med den samlede årlige mængde tagstensaffald

Jf. afsnit 4.1.2 estimeres den samlede årlige mængde tagstensaffald, som potentielt kan genbruges, til ca. 150.000 tons. Opskaleret resulterer det i en potentiel årlig klimabesparelse på **ca. 52.950 tons CO<sub>2</sub><sup>e</sup>** ved genbrug af den samlede årlige mængde tagstensaffald fremfor nedknusning. Vi gør opmærksom på, at resultatet er behæftet med en vis usikkerhed og skal fortolkes derefter.

<sup>52</sup> Hvis vi sætter resultaterne i perspektiv af et almindeligt typehus, så svarer det til en nettobesparelse i CO<sub>2</sub>-påvirkning på 0,32 personækvivalenter, hvis der anvendes genbrugstagsten fremfor nye tagsten til at lægge taget på et almindeligt typehus. Altså opnås en CO<sub>2</sub>-besparelse på knap 1/3 af én persons årlige udledning af drivhusgasser, hvis taget på bare ét typehus opføres eller renoveres ved brug af genbrugstagsten fremfor nyproducerede tagsten. Regneeksemplet taget udgangspunkt i et almindeligt typehus på 210 m<sup>2</sup>. Det antages, at der i gennemsnit bruges 14,6 tagsten pr. m<sup>2</sup> (se bilagsrapport). Yderligere antages det, at en tagsten vejer 2,8 kg.

Resultaterne skyldes overvejende de store miljømæssige gevinster ved undgået produktion af nye tagsten. Dette skyldes, at produktion af nye tagsten har en høj miljøpåvirkning. Miljøpåvirkningerne ved transport og sortering spiller kun en mindre rolle i forhold til dette.

Det skal nævnes, at resultaterne er vist for fuld genbrug af tagstenene. Hvis kun nogle tagsten kan genbruges vil resultaterne skulle skaleres i forhold til påvirkningerne til knusning. Dette er yderligere analyseret i følsomhedsanalysen.

### 5.2.2 Følsomhedsanalyser

Følgende afsnit vil beskrive de usikkerheder, der er forbundet med analysen. Da analysen er lavet som en screenings LCA, hvor der er taget udgangspunkt i litteraturværdier og når muligt inden for analysens ramme indsamlet primærdata, er resultaterne forbundet med en vis usikkerhed. Der gennemføres derfor følsomhedsberegninger på de usikkerheder, som, vi vurderer, har den største betydning for resultaterne.

Afsnittet indeholder følsomhedsberegninger på parametrene:

- Mængde tagsten i sortering der kan genbruges (genbrugsprocent)
- Transportafstand til sortering
- Energiforbrug ved produktion af nye tagsten

Da resultaterne peger i samme retning for alle tre miljøpåvirkninger, er der kun medtaget resultater for klimaændring i hovedrapporten. I bilag A kan findes resultater for de to andre miljøpåvirkninger.

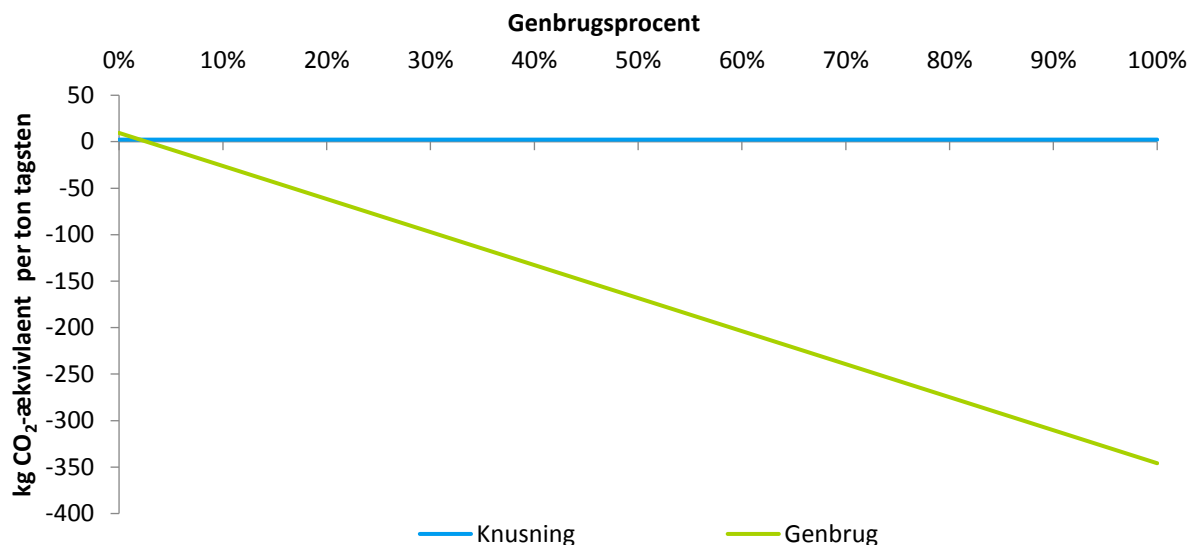
#### 5.2.2.1 Genbrugsprocent

I modelleringen er der regnet med, at 100 pct. af tagstenene kan genbruges for at beregne miljø- og klimapåvirkningerne i det optimale yderpunkt. Det må dog forventes, at nogle sten ikke har en funktionalitet, som muliggør genbrug, eller ikke kan nedtages hele. Derfor vises effekten af genbrugsprocenten nedenfor. Her er det antaget, at der køres 30 km til sortering som i basisscenariet og yderligere 30 km til knusning. Den ekstra transport er kun relevant, idet der ved 100 pct. genbrug ikke var nogen videretransport til knusning.

Figuren nedenfor viser resultatet af følsomhedsberegningen. Det fremgår, at selv ved meget lave genbrugsprocenter, kan det godt betale sig at sortere tagstenene til genbrug ud fra et klimamæssigt perspektiv. Den ekstra transport gør, at der som minimum skal kunne genbruges 2 pct. af nedtagne tagsten, før det bedre kan betale sig end knusning.<sup>53</sup> Vi vurderer på basis af disse resultater og på baggrund af, at tidligere undersøgelser har vist, at 50-80 pct. af tagstenene kan genbruges (jf. Kapitel 4), at resultaterne er meget robuste overfor ændringer i genbrugsprocenten.

<sup>53</sup> Uden denne ekstra transport ville genbrug altid være bedre, selvom ikke alt kan genbruges.

Figur 5-3 Følsomhedsanalyse for genbrugsprocenten af tagsten



Note: Positive værdier indikerer miljø- og klimamæssige omkostninger. Negative værdier indikerer miljø- og klimamæssige besparelser. Resultater illustreret for klimaændringer. Bilag A har resultater for partikelforening og abiotiske ressourcer.

Kilde: DTU pba. beregninger i EASETECH.

### 5.2.2.2 Transportafstand til sortering

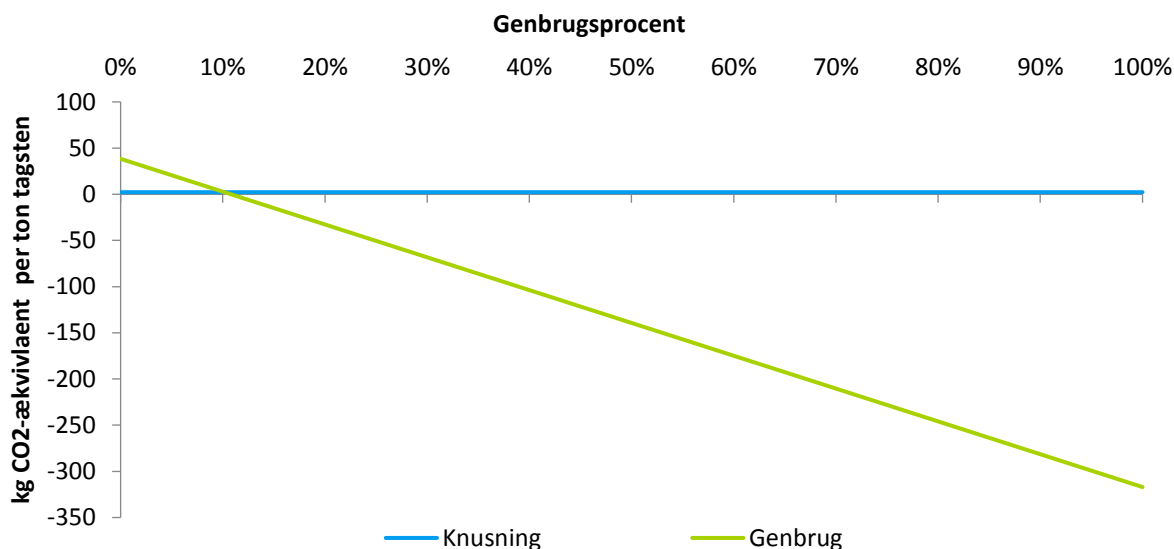
I modelleringen er det antaget, at afstanden til sortering, og til hvor stenene knuses, er den samme. Det skyldes, at det antages, at der enten eksisterer eller vil blive etableret en række sorteringsfaciliteter, der kan lave den videre sortering af de nedtagne tagsten. I "LCA af genbrug af mursten" (Miljøstyrelsen, 2013) blev det antaget, at denne afstand var 50 km, selv om der på tidspunktet kun var to sorteringsanlæg til mursten i Danmark. Primærresultaterne af LCA-vurderingen viste at transport kun havde en mindre betydning for resultaterne. I stedet for at vise størrelsen på påvirkningen fra transport alene, viser vi her, hvor stor en andel af tagstenene, der skal genbruges ved en transportafstand på 350 km for at genbrug har en lavere miljøpåvirkning end knusning.<sup>54</sup>

Figuren nedenfor viser resultatet af følsomhedsberegningen. Den viser, at den længere transportafstand har en reel betydning for resultatet, men at genbrug stadig giver god mening ud fra et miljø- og klimamæssigt perspektiv. Hvis bare 11 pct. af tagstenene kan genbruges, så kan det betale at køre dem meget lange afstande. Heraf kan vi derfor konkludere, at selv om tagstenene skal køres langt ifm. genbrug, så vil det stadig være fordelagtigt sammenlignet med nedknusning.

<sup>54</sup> Transportafstanden er sat til 350 km, da det er den forventeligt længst mulige afstand, som kan køres i Danmark



Figur 5-4 Følsomhedsanalyse for afstand til sortering og genbrugsprocenten af tagsten



Note: Positive værdier indikerer miljø- og klimamæssige omkostninger. Negative værdier indikerer miljø- og klimamæssige besparelser. Bilag A har resultater for partikelforurening og abiotiske ressourcer.  
Kilde: DTU pba. beregninger i EASETECH.

### 5.2.2.3 Klimapåvirkning i produktionen af nye tagsten

I livscyklusvurderingen er der taget udgangspunkt i produktionsdata for tagsten på basis af data fra Ecoinvent, der er den største kommercielle database for brug i livscyklusvurderinger. Dataene for tagsten er baseret på et gennemsnit over 12 forskellige anlæg i Schweiz, Tyskland og Østrig. For at undersøge resultaternes følsomhed over for ændringer i denne værdi, har vi sammenlignet ved at bruge procesdata fra ÖKOBAUDAT i stedet, som er en database fra det tyske Federal Ministry for Interior, Building and Community. Det er kun muligt direkte at sammenligne værdien for klimaændringer da de andre miljøpåvirkningskategorier er beregnet på basis af forskellige indikatorer i de to databaser.

Tabellen nedenfor viser resultatet for følsomhedsberegningen. Det fremgår, at anvendelsen af data fra ÖKOBAUDAT resulterer i en 47 pct. større CO<sub>2</sub>-besparelse end ved brug af produktionsdata fra Ecoinvent. Dette betyder blot, at genbrugsscenarioet fremstår endnu bedre.

Tabel 5-1: Værdi for klimapåvirkning i produktion af nye tagsten og betydningen for LCA-resultat

	Ecoinvent	ÖKOBAUDAT
<b>Reference</b>	<a href="https://www.ecoinvent.org/">https://www.ecoinvent.org/</a>	<a href="https://www.oekobaudat.de/">https://www.oekobaudat.de/</a>
<b>Version</b>	3.6	Release 2020-I
<b>Reference materiale</b>	Roof tile, roof tile production, RER	Roof slate (thickness 0.011 m); 30 kg/m <sup>2</sup>
<b>Klimapåvirkning i primærproduktion</b>	353 kg CO <sub>2</sub> -ækv per ton tagsten	501 kg CO <sub>2</sub> -ækv per ton tagsten
<b>Nettoresultat</b>	317 kg CO <sub>2</sub> -ækv per ton tagsten	465 kg CO <sub>2</sub> -ækv per ton tagsten

Kilde: DTU pba. beregninger i EASETECH.

### 5.2.3 Sammenligning med andre studier

Som perspektivering sammenligner vi i dette afsnit resultaterne for tagsten med lignende danske studier. Det skal bemærkes, at disse studier kan have anderledes systemafgrænsninger, der betyder, at totalværdierne for de forskellige scenarier kan variere en del. Nettoeffekten kan imidlertid stadig sammenlignes på tværs af studier uafhængig af den valgte systemafgrænsning.

Det har været nødvendigt at omregne værdier fra andre studier, så de alle svarer til 1 ton materiale (for eksempel fra m<sup>2</sup> til ton). De angivne værdier kan derfor ikke altid findes opgivet på samme måde i kildereferencen. Fælles for de fleste tidligere studier er desuden, at der her kun er undersøgt klimaeffekter (CO<sub>2</sub>), hvorfor sammenligningen kun foretages herfor.

Tabellen nedenfor viser resultaterne fra nærværende undersøgelse samt tre andre studier. Som det fremgår, er nettoeffekten i samme størrelsesorden på tværs af de tre studier, som har undersøgt effekterne ved genbrug af tagsten.<sup>55</sup> Derimod er der en betydelig forskel mellem vores resultater og resultaterne i Miljøstyrelsens (2013) LCA af genbrug af mursten. Vi har valgt at sammenligne vores resultater med dette studie, da genbrug af mursten er et af de bedst kendte eksempler på genbrug af affald fra byggeriet. Forskellen i nettoeffekt skyldes, at produktionen af nye mursten har en mindre effekt på klimaet end produktionen af tagsten målt pr. ton.

**Tabel 5-2 Værdier fra andre studier for hhv. genbrug og nedknusning af tagsten, kg CO<sub>2</sub>-ækvivalent per ton tagsten**

	Materialefraktion	Genbrug	Knusning	Nettoeffekt
<b>Denne undersøgelse</b>	Tagsten	-350	2,2	-353
<b>SBI, 2019</b>	Tagsten	7,8	391	-383
<b>Miljøstyrelsen, 2013<sup>1</sup></b>	Mursten	-163 <sup>2</sup>	4,5	-167
<b>Circularity City, 2020</b>	Tagsten	-	-	-350

<sup>1</sup>Studiet er for mursten. <sup>2</sup>Omregnet til 100% genbrug fra 64.5% genbrug.

Note: Positive værdier indikerer miljø- og klimamæssige omkostninger. Negative værdier indikerer miljø- og klimamæssige besparelser.

Kilde: DTU pba. beregninger i EASETECH, samt omregninger fra kilder.

### 5.3 Stenuld

I følgende afsnit beskrives resultaterne for livscyklusvurderingen af to anvendelsesmuligheder for stenuld. Herefter beskrives analysens usikkerheder, hvis betydning for resultaterne undersøges gennem følsomhedsanalyser. Til sidst i afsnittet sammenligner vi resultaterne med lignende tidligere undersøgelser.

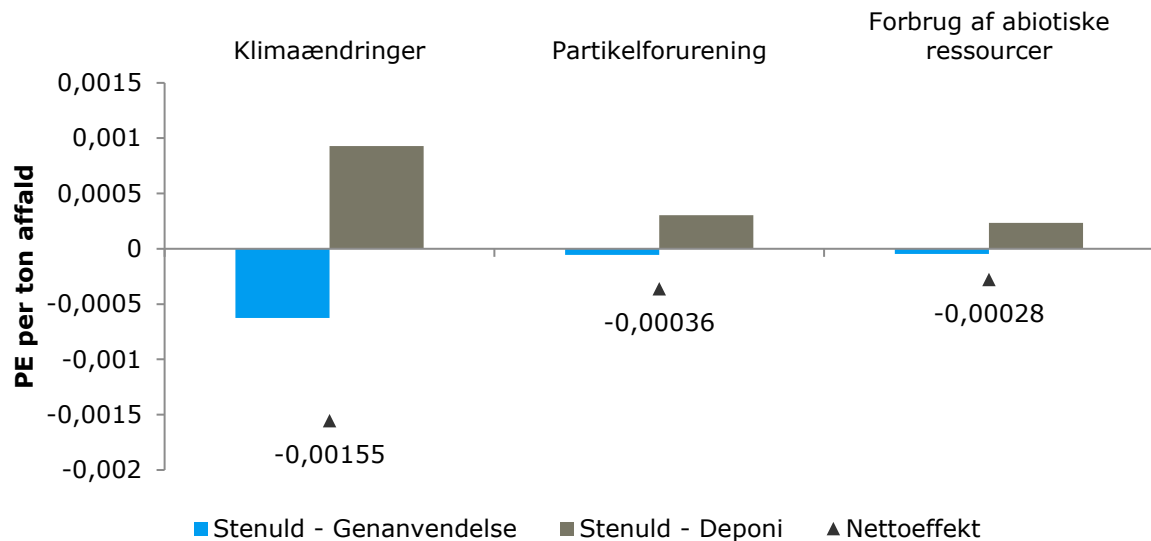
- Deponi: 100 pct. af stenuld bliver deponeret
- Genanvendelse: 100 pct. af stenuldet sendes til RGS90 for sortering, her bliver 10 pct. frasorteret og deponeret, og resten sendes til Rockwool for genanvendelse

#### 5.3.1 Resultater

Resultaterne for livscyklusvurderingen af stenuld er vist i figuren nedenfor. Samlet set viser livscyklusvurderingen, at genanvendelse af stenuld er bedre end deponering målt på alle tre miljøpåvirkningskategorier.

<sup>55</sup> Vi gør opmærksom på, at de to øvrige studier, som også har analyseret klimaeffekterne ved genbrug af tagsten, hhv. Statens Byggeforskningsinstitut (2019) og Circularity City (2020), ikke var blevet offentliggjort på tidspunktet for udvælgelse af materialefraktioner i nærværende undersøgelse.

Figur 5-5: Miljøpåvirkninger for scenarier for stenuld, målt i personækvivalenter (PE) per ton byggeaffald



Note: Positive værdier indikerer miljø- og klimamæssige omkostninger. Negative værdier indikerer miljø- og klimamæssige besparelser. For detaljerede resultater henvises til Bilag A.  
Kilde: DTU pba. beregninger i EASETECH.

Som det fremgår af resultaterne, har deponering af stenuld en negativ påvirkning på klimaet (CO<sub>2</sub>) svarende til 0,0009 personækvivalenter (9 kg CO<sub>2</sub><sup>e</sup>) per ton stenuldsaffald, der deponeres. Derimod er der en klimabesparelse på 0,0006 personækvivalenter (6 kg CO<sub>2</sub><sup>e</sup>) per ton stenuldsaffald, der genanvendes i produktionen af ny stenuld. **Nettoeffekten ved at genanvende stenuld i stedet for at deponere er således en CO<sub>2</sub>-besparelse på 0,00155 personækvivalenter (14 kg CO<sub>2</sub><sup>e</sup>) per ton stenuldsaffald.** Resultaterne følger samme mønster for hhv. partikelforurening og forbrug af abiotiske ressourcer, om end besparelsen ved genanvendelse i stedet for deponi er mindre for disse miljøpåvirkningskategorier sammenlignet med CO<sub>2</sub>-besparelsen. Det skal bemærkes at besparelserne generelt er ret små, hvilket til dels skyldes, at omkostninger og gevinster udligner hinanden.

#### Opskalering af klimaeffekterne med den samlede årlige mængde stenuldsaffald

Jf. afsnit 4.2.2 estimeres den samlede årlige mængde stenuldsaffald, som potentielt kan genanvendes i produktionen af ny stenuld, til ca. 25.000 tons. Rockwool modtog i 2019 8.600 tons stenuldsaffald. Det giver et uudnyttet potentiale for yderligere genanvendelse på 16.400 tons stenuldsaffald. Opskaleret resulterer det i en potentiel årlig klimabesparelse på **ca. 230 tons CO<sub>2</sub><sup>e</sup>**, hvis resten af den totale årlige mængde stenuldsaffald genanvendes frem for at blive deponeret. Vi gør opmærksom på, at resultatet er behæftet med en vis usikkerhed og skal fortolkes derefter.

De positive nettoeffekter ift. hhv. klimapåvirkning, partikelforurening samt forbrug af abiotiske ressourcer skyldes i særdeleshed, at der ved genanvendelse af stenuld undgås en større mængde transport af råmaterialer (sten), end det tilsvarende er nødvendigt at transportere den brugte stenuld fra byggeplads til hhv. genbrugsplads, sorteringsanlæg og granuleringsanlæg hos RGS Nordic og endeligt til genanvendelse hos Rockwool.

Ifølge Rockwool erstatter brugt stenuld jomfruelige råmaterialer (sten) 1:1, når det genanvendes i produktionen af ny stenuld. Dermed opnås en miljømæssig besparelse, når brugt stenuld kan erstatte indkøbet af jomfruelig sten. Der opnås imidlertid ingen signifikant energibesparelse i

produktionen, da det brugte stenuld skal smeltes under samme temperaturer og i samme varighed som jomfruelige stenråvarer<sup>56</sup>.

Selve processen forbundet med deponering af stenuld medfører heller ikke de store miljøpåvirkninger. Dette skyldes, at miljøpåvirkningen i den forbindelse kun går til oprettelse og drift af deponiet, som, hvad angår stenuld, er marginalt.

Resultaterne drives således primært af miljøbesparelser i de omfattede transportprocesser.

### 5.3.2 Følsomhedsanalyser

Følgende afsnit vil beskrive de usikkerheder, der er forbundet med analysen. Da analysen er lavet som en screenings LCA, hvor der er taget udgangspunkt i litteraturværdier og når muligt inden for analysens ramme indsamlet primærdata, er resultaterne forbundet med en vis usikkerhed. Der gennemføres derfor følsomhedsberegninger på de usikkerheder, som, vi vurderer, har den største betydning for resultaterne.

Afsnittet indeholder følsomhedsberegninger på parametrene:

- Transportafstande
  - Transport til sortering
  - Undgået transport af råmaterialer i produktionen
- Lavere genanvendelsesprocent

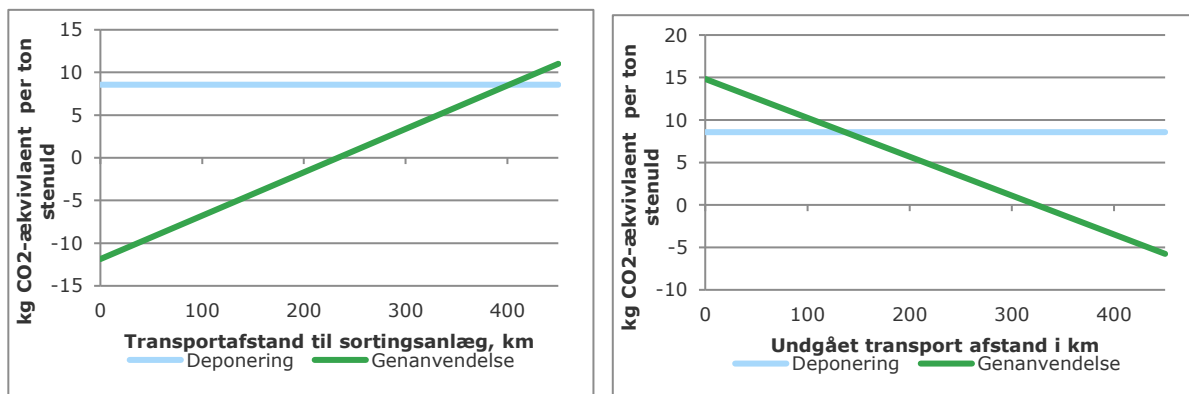
Da resultaterne peger i samme retning for alle tre miljøpåvirkninger, er der kun medtaget resultater for klimaændringer i hovedrapporten. I **bilag A** kan findes resultater for de to andre miljøpåvirkninger.

#### 5.3.2.1 Transportafstande

I modelleringen er antaget, at transportafstanden fra genbrugspladserne til RGS' sorteringsanlæg i Kolding i gennemsnit er 120 km, og at den undgåede transport af sten til produktionen af ny stenuld er 450 km. Figuren nedenfor viser resultaternes følsomhed overfor ændringer i de anvendte transportafstande.

Som det fremgår, har antagelserne om de gennemsnitlige transportafstande stor betydning for resultaterne. Overordnet set viser resultaterne af følsomhedsanalysen, at hvis den gennemsnitlige afstand til RGS Nordics granuleringsanlæg er under 400 km, så kan det bedre betale sig ud fra et miljø- og klimamæssigt perspektiv at genanvende fremfor at deponere. Resultaterne viser desuden, at jo større den undgåede transportafstand for råmaterialer er, jo større miljøbesparelse opnås ved genanvendelse af brugt stenuld frem for deponi.

<sup>56</sup> Miljøstyrelsen, 2006b. Genanvendelse Af Brugt Stenuld, Hovedprojekt. Miljøprojekt Nr. 1106.  
<https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2006/87-7052-151-4/pdf/87-7052-152-2.pdf>

**Figur 5-6 Følsomhedsanalyse på transportafstande**


Note: Positive værdier indikerer miljø- og klimamæssige omkostninger. Negative værdier indikerer miljø- og klimamæssige besparelser. Resultater illustreret for klimaændringer. Bilag A har resultater for partikelforurening og abiotiske ressourcer. Graf A viser resultater for klimaændringer som funktion af afstand til sorteringsanlæg. Graf B viser resultater for klimaændringer som funktion af den undgåede transportafstand af råmaterialer (sten).

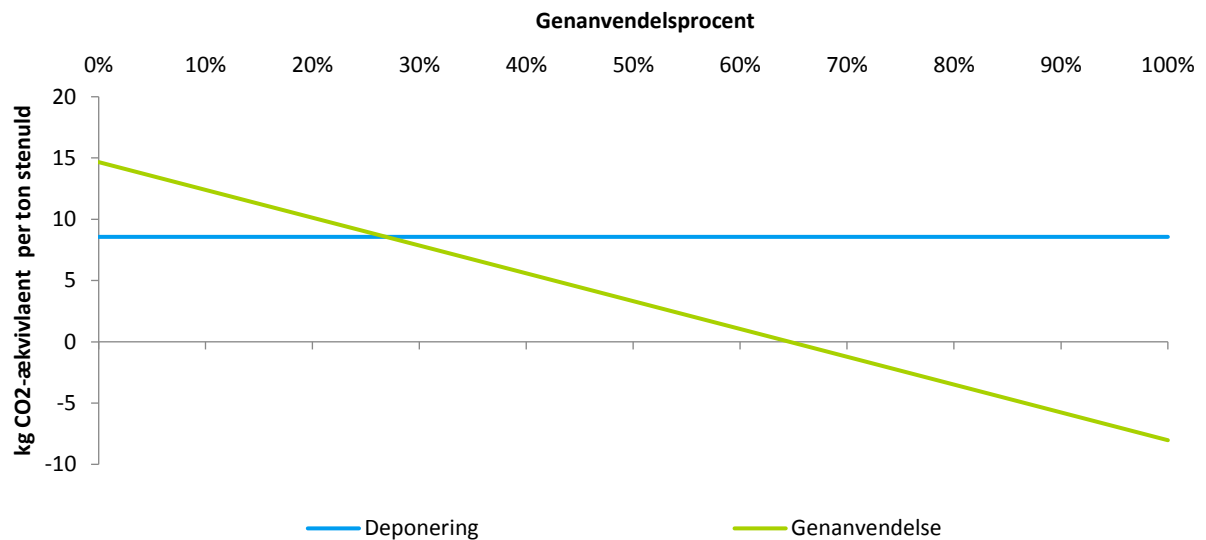
Kilde: DTU pba. beregninger i EASETECH.

### 5.3.2.2 Lavere genanvendelsesprocent

I modelleringen af hovedresultaterne er det antaget, at 10 pct. af stenuldsaffaldet, der sendes til sortering ved RGS Nordic, bliver frasorteret og deponeret. Det er usikkert, hvorvidt kvaliteten af det affald, der sendes til sortering, vil være den samme, hvis større mængder udsorteres, eller om det vil medføre, at en større andel frasorteres til deponering. Vi har derfor lavet en beregning på følsomheden af udsortering til genanvendelse. Det skal her bemærkes, at der allerede sker en grovsortering på genbrugspladsen. De 10 pct. frasortering ved RGS Nordic skal derfor ses som en finsortering.

Resultatet af følsomhedsberegningen fremgår af figuren nedenfor. Figuren illustrerer, at selv hvis en væsentligt større procentdel frasorteres (mindre genanvendelsesprocent), kan det stadig bedre betale sig at genanvende frem for at deponere ud fra et miljø- og klimamæssigt perspektiv. Skæringen i forhold til deponering ligger ved en genanvendelse på 27 pct. Det indikerer, at man i sorteringsleddet godt kan stille strenge kvalitetskrav ved at frasortere en større andel af stenulden for at mindske risikoen for tilstedeværelse af uønskede indholdsstoffer såsom asbest eller PCB. Vi vurderer, at resultaterne er robuste over for ændringer i frasorteringsprocenten, da der er langt fra analysens antagelse om 90 pct. genanvendelse (10 pct. frasortering) til 27 pct. genanvendelse (73 pct. frasortering).

**Figur 5-7 Følsomhedsanalyse af klimaeffekten som funktion af sorteringsprocenten ved RGS Nordic af stenuld der udsorteres til genanvendelse**



Note: Positive værdier indikerer miljø- og klimamæssige omkostninger. Negative værdier indikerer miljø- og klimamæssige besparelser.

Kilde: DTU pba. beregninger i EASETECH.

### 5.3.3 Sammenligning med andre studier

Som perspektivering sammenligner vi i dette afsnit resultaterne for stenuld med lignende studier. Det skal bemærkes, at det ikke har været muligt at identificere andre danske studier, som har foretaget LCA på genanvendelse af stenuld. Vi har derfor sammenlignet resultaterne med en LCA, som Rockwool (2019) selv har offentliggjort i en Environment Product Declaration (EPD) for stenuld.<sup>57</sup> Rockwool kan have defineret systemafgrænsningen anderledes, hvorfor det kun er at sammenligne nettoeffekten. Det har været nødvendigt at omregne værdierne fra Rockwools EPD, så de svarer til 1 ton materiale (fra m<sup>2</sup> til ton). Den angivne værdi her kan derfor ikke findes opgivet på samme måde i kildereferencen.

Tabellen nedenfor viser resultaterne fra dette studie og Rockwools EPD. Som det fremgår, er klimanettoeffekten ved genanvendelse af stenuld større i EPDen end i denne undersøgelse. Den primære forskel skal findes i besparelsen ved undgået transport af sten i produktionen. Her opgiver Rockwool en CO<sub>2</sub>-værdi på -69kg CO<sub>2</sub><sup>e</sup> per ton stenuld, hvor vores resultater viser en værdi på -20kg CO<sub>2</sub><sup>e</sup> per ton stenuld. Forskellen kan skyldes forskellige antagelser om længden af den undgåede transportafstand, eller øvrige klimabesparelser i produktionen. Endvidere anvender Rockwool en væsentligt lavere værdier for transportafstanden af brugt stenuld fra byggeplads/genbrugsplads. Konklusionen er imidlertid den samme; der er klimabesparelser forbundet med genanvendelse af stenuld frem for deponi.

**Tablet 5-3 Værdier fra denne undersøgelse og Rockwool (2019) for genanvendelse og deponering af stenuld, kg CO<sub>2</sub>-ækvivalent per ton stenuld.**

	Genanvendelse	Deponi	Nettoeffekt
<b>Denne undersøgelse</b>	-5,8	8,6	-14
<b>Rockwool, 2019</b>			-65

<sup>57</sup> <https://www.rockwool.com/siteassets/o2-rockwool/documentation/epd/rockwool-stone-wool-environmental-product-declaration-epd.pdf>

Note: Positive værdier indikerer miljø- og klimamæssige omkostninger. Negative værdier indikerer miljø- og klimamæssige besparelser.

Kilde: DTU pba. beregninger i EASETECH, samt omregning fra Rockwool (2019).

## 5.4 Beton

I følgende afsnit beskrives resultaterne for livscyklusvurderingen af to anvendelsesmuligheder for beton; nedknusning og genbrug af den bærende konstruktion. Herefter beskrives analysens usikkerheder, hvis betydning for resultaterne undersøges gennem følsomhedsanalyser. Til sidst i afsnittet sammenligner vi resultaterne med lignende tidligere undersøgelser.

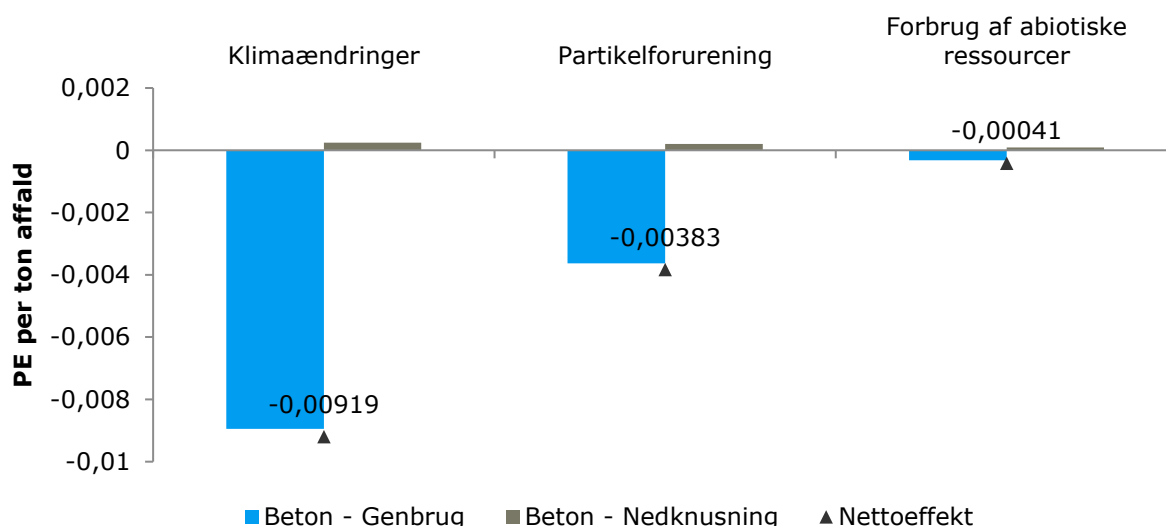
- Nedknusning: 100 pct. af betonkonstruktionen vil blive nedrevet og knust som erstatning for grus
- Genbrug/affaldsforebyggelse: 100 pct. af den bærende betonkonstruktion bevares og erstatter brugen af ny beton

### 5.4.1 Resultater

Resultaterne for livscyklusvurderingen af beton er vist i

Figur 5-8. Samlet set viser livscyklusvurderingen, at bevarelse af den bærende betonkonstruktion er bedre sammenlignet med nedknusning målt på alle tre miljøpåvirkningskategorier.

Figur 5-8: Miljøpåvirkninger for scenarier for beton, målt i personækvivalenter (PE) per ton byggeaffald



Note: Positive værdier indikerer miljø- og klimamæssige omkostninger. Negative værdier indikerer miljø- og klimamæssige besparelser. For detaljerede resultater henvises til Bilag A.

Kilde: DTU pba. beregninger i EASETECH.

Nedknusning af beton en negativ påvirkning på klimaet (CO<sub>2</sub>) svarende til 0,00024 personækvivalenter (2,2 kg CO<sub>2</sub><sup>e</sup>) per ton betonaffald, der nedknyttes. Den negative nettoeffekt skyldes, at miljøpåvirkningerne ved behandlingen (transport og nedknusning) er højere end de sparede påvirkninger ved grusgravning i Danmark.

Derimod er der en klimabesparelse på 0,0084 personækvivalenter (82 kg CO<sub>2</sub><sup>e</sup>) per ton betonaffald, der genbruges, når den bærende konstruktion bevares. **Nettoeffekten ved at bevare betonkonstruktionen i stedet for at nedknyttes er altså en CO<sub>2</sub>-besparelse på 0,0377 personækvivalenter (85 kg CO<sub>2</sub><sup>e</sup>) per ton betonaffald.**<sup>58</sup> Resultaterne følger samme mønster

<sup>58</sup> I 2017 udgjorde mængden af betonaffald 26 pct. af den samlede mængde affald fra bygge- og anlægssektoren, svarende til knap 1,2 mio. ton beton, jf. Affaldsstatistik 2017 (Miljøstyrelsen). Bærende betonkonstruktioner udgør størstedelen af den samlede betonmængde i den eksisterende

for hhv. partikelforurening og forbrug af abiotiske ressourcer, om end besparelsen ved genbrug i stedet for nedknusning er mindre for disse miljøpåvirkningskategorier sammenlignet med CO<sub>2</sub>-besparelsen.

#### **Opskalering af klimaeffekterne med den samlede årlige mængde betonaffald, som stammer fra bærende konstruktioner med bevaringspotentiale**

Jf. afsnit 4.3.2 estimeres den samlede årlige mængde betonaffald, som stammer fra bærende betonkonstruktioner med bevaringspotentiale, til ca. 270.000-410.000 tons.. Opskaleret resulterer det i en potentiel årlig klimabesparelse på **ca. 22.950-34.850 tons CO<sub>2</sub><sup>e</sup>** ved genbrug af bærende betonkonstruktioner frem for nedknusning. Vi gør opmærksom på, at resultatet er behæftet med en vis usikkerhed og skal fortolkes derefter.

Resultaterne drives primært af, at produktionen af ny beton har en høj miljøpåvirkning, særligt relateret til forbruget af cement. Hvis en betonkonstruktion bevares og genbruges, er der store besparelser ved undgået produktion af nye betonkonstruktioner. Dertil kommer, at det antages, at betonkonstruktionen i denne analyse bruges som råhus for den nye bygning, hvorfor betonen ikke skal transporteres.

Det skal nævnes, at resultaterne er vist for fuld genbrug af beton. Det er vores vurdering, at det ikke er realistisk i alle tilfælde at genbruge hele den bærende betonkonstruktion. Der vil være funktionalitetskrav, som den eksisterende bærende konstruktion ikke altid vil kunne efterleve, f.eks. hvis den nye bygning skal have en anden funktion end den eksisterende, eller der er behov for isolering under et betondække. Der vil desuden være tilfælde, hvor kvaliteten af betonen ikke tillader bevarelse af råhuset. Det kræver derfor en grundig vurdering af kvaliteten og funktionaliteten af den eksisterende betonkonstruktion for at kunne afgøre, om bevaring er muligt. En sådan vurdering skal foretages for hver enkelt byggesag, da muligheden for at bevare konstruktionen vil afhænge af specifikke forhold for den enkelte bygning.

Resultaterne viser dog med al tydelighed, at det ud fra et miljø- og klimamæssigt perspektiv giver rigtig god mening at evaluere, om en del af betonen i den eksisterende bygning kan genbruges/bevares, da genbrug resulterer i store miljøbesparelser selv ved små betonmængder.

#### **5.4.2 Følsomhedsanalyser**

I dette afsnit beskrives analysens usikkerheder. Da analysen er lavet som en screenings LCA, hvor der er taget udgangspunkt i litteraturværdier og kun når muligt inden for analysens ramme indsamlet primærdata, er resultaterne forbundet med en vis usikkerhed. Der gennemføres derfor følsomhedsberegninger på de usikkerheder, som, vi vurderer, har den største betydning for resultaterne.

I forhold til livscyklusvurderingen af genbrug af den bærende betonkonstruktion vurderes den primære usikkerhed at ligge i den forventede klimabesparelse ved undgået produktion af ny beton. Vi har derfor analyseret resultaternes følsomhed overfor ændringer i denne parameter. Herudover sammenlignes analysens resultater med lignende studier. Da resultaterne peger i samme retning for alle tre miljøpåvirkningskategorier, er kun medtaget resultater for klimaændring i hovedrapporten. I bilag A kan findes resultater for de to andre miljøpåvirkninger.

bygningssmasse. Der er derfor et stort miljømæssigt potentiale for ved at bevare den bærende betonkonstruktion, når det er muligt. Hvis vi sætter resultaterne i perspektiv af et almindeligt boligbyggeri, så svarer det til en nettobesparelse i CO<sub>2</sub>-påvirkning på 61,7 personækvivalenter ved genbrug af betonkonstruktionen frem for nedknusning. Altså opnås en CO<sub>2</sub>-besparelse på knap 62 personers årlige udledning af drivhusgasser, hvis de bærende betonkonstruktioner for bare ét boligbyggeri genbruges fremfor at blive nedrevet og nedknust. Regneeksemplet taget udgangspunkt i et almindeligt boligbyggeri på 1.375 etagemeter. Det antages, at der i gennemsnit bruges 683 m<sup>3</sup> beton i et almindeligt boligbyggeri (se bilagsrapport). Ved en densitet på 2,4 ton pr. m<sup>3</sup> svarer det til 1.639 ton beton.



### 5.4.2.1 Klimapåvirkning i produktionen af ny beton

I livscyklusvurderingen er der taget udgangspunkt i produktionsdata for beton på basis af data fra Ecoinvent, der er den største kommercielle database for brug i livscyklusvurderinger. Dataene for beton er baseret på et gennemsnit for produktion i Schweiz. For at undersøge følsomheden af denne værdi har vi sammenlignet med en proces fra ÖKOBAUDAT, der er en database fra det tyske Federal Ministry for Interior, Building and Community. Det er kun muligt at sammenligne værdien for klimaændringer, da de to øvrige miljøpåvirkningskategorier er beregnet på basis af forskellige indikatorer i de to databaser.

Som det fremgår af tabellen nedenfor, er nettoeffekten ved genbrug af den bærende betonkonstruktion 66 pct. højere, hvis man anvender produktionsdata fra ÖKOBAUDAT fremfor Ecoinvent. Det betyder blot, at det alternative scenarie for beton fremstår endnu bedre.

**Tabel 5-4 Værdi for klimapåvirkning i produktionen af ny beton og betydningen for LCA-resultat**

	Ecoinvent	ÖKOBAUDAT
<b>Reference</b>	<a href="https://www.ecoinvent.org/">https://www.ecoinvent.org/</a>	<a href="https://www.oekobaudat.de/">https://www.oekobaudat.de/</a>
<b>Version</b>	3.6	Release 2020-I
<b>Reference materiale</b>	concrete, high exacting requirements, concrete production, for building construction, with cement CEM II/B,CH	Precast concrete slab, wall, 40cm; 971 kg/m <sup>2</sup>
<b>Klimapåvirkning i primærproduktion</b>	78 kg CO <sub>2</sub> -ækv per ton beton	133 kg CO <sub>2</sub> -ækv per ton beton
<b>Nettoresultat</b>	82 kg CO <sub>2</sub> -ækv per ton beton	136 kg CO <sub>2</sub> -ækv per ton beton

Kilde: DTU pba. beregninger i EASETECH.

### 5.4.3 Sammenligning med andre studier

Som perspektivering sammenligner vi i dette afsnit resultaterne for beton med lignende danske studier. Det skal bemærkes, at disse studier kan have anderledes systemafgrænsninger. Dette betyder, at totalværdierne for de forskellige scenarier kan variere en del. Nettoeffekten kan imidlertid stadig sammenlignes på tværs af studier uafhængig af den valgte systemafgrænsning. Det har været nødvendigt at omregne værdier fra andre studier, så de alle svarer til 1 ton materiale (for eksempel fra m<sup>2</sup> til ton). De angivne værdier kan derfor ikke altid findes opgivet på samme måde i kildereferencen. Desuden er der for nogle studier kun angivet en reduktionsprocent ift. brug af ny beton, som kan være svær at sammenligne med grundet forskelle i opsætning og systemafgrænsning. De er dog medtaget, da man kan sammenligne med andre studier, der har begge opgørelser. Fælles for de fleste tidligere studier er desuden, at der her kun er undersøgt klimaeffekter (CO<sub>2</sub>), hvorfor sammenligningen kun foretages herfor.

Tabellen nedenfor viser resultaterne fra denne undersøgelse og tre andre studier. Som det fremgår, er netto-klimaeffekten i de andre studier generelt højere. Dette skyldes formentligt forskellige antagelser om hvilken type ny beton, som undgås produceret ved genbrug af beton. F.eks. omfatter livscyklusvurderingen i Statens Byggeforskningsinstitut (2019) *genbrug af betonelementer og genbrugte søjler/bjælker af beton*, hvorimod vi har undersøgt potentialet i genbrug af den bærende betonkonstruktion.

Reduktionspotentialet ved at genbruge beton i stedet for ny beton er ca. 95 pct. i de to studier, hvor dette er beregnet, hvilket er sammenligneligt med værdierne i dette studie. Alle fire studier viser således, at genbrug af beton medfører klimabesparelser, når det er funktionelt muligt at genbruge betonen. Endelig er det vores vurdering, at resultatet i denne undersøgelse må ses som et konservativt estimat, når vi sammenligner med lignende studier.

**Tabel 5-5 Værdier fra andre studier for genbrug og genanvendelse af beton, kg CO<sub>2</sub>-ækvivalent per ton beton, samt reduktionspotentiale i %**

	Genbrug	Knusning	(kg CO <sub>2</sub> ) / (%)
<b>Denne undersøgelse</b>	-82	2,2	-85
<b>SBI, 2019</b>	6,9	158	-151 / 95.5%
<b>Miljøstyrelsen, 2015c</b>	-177	8,6	-186
<b>Circularity City, 2020</b>	-	-	- / 96%

Note: Positive værdier indikerer miljø- og klimamæssige omkostninger. Negative værdier indikerer miljø- og klimamæssige besparelser. Procenter angiver besparelser i procent i forhold til knusning og brug af ny beton. Kilde: DTU pba. beregninger i EASETECH, same omregninger fra kilder.

## 5.5 Interimstræ

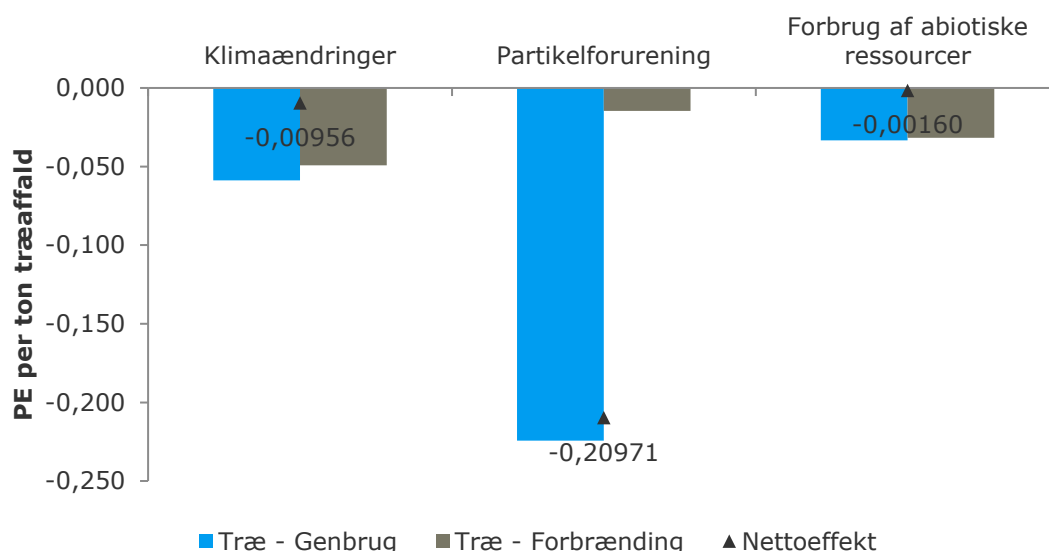
I følgende afsnit beskrives resultaterne for livscyklusvurderingen af to anvendelsesmuligheder for interimstræ; nemlig forbrænding og genbrug efterfulgt af forbrænding. Herefter beskrives analysens usikkerheder, hvis betydning for resultaterne undersøges gennem følsomhedsanalyser. Til sidst i afsnittet sammenligner vi resultaterne med lignende tidligere undersøgelser.

- Direkte forbrænding: 100 pct. af træaffaldet køres til forbrænding og anvendes til energinyttiggørelse
- Genbrug efterfulgt af forbrænding: 100 pct. af træaffaldet vil blive genbrugt en gang og erstatte nyt træ, herefter køres det til forbrænding og anvendes til energinyttiggørelse

### 5.5.1 Resultater

Resultaterne for livscyklusvurderingen af interimstræ er vist i figuren nedenfor Figur 5-9. Samlet set viser LCA-resultaterne, at forlængelse af interimstræets levetid ved genbrug efterfulgt af forbrænding er bedst, sammenlignet med at sende træet direkte til forbrænding, målt på alle tre miljøpåvirkningskategorier.

**Figur 5-9: Miljøpåvirkninger for scenarier for interimstræ, målt i personækvivalenter (PE) per ton byggeaffald**



Note: Positive værdier indikerer miljø- og klimamæssige omkostninger. Negative værdier indikerer miljø- og klimamæssige besparelser. For detaljerede resultater henvises til Bilag A.

Kilde: DTU pba. beregninger i EASETECH.

Forbrænding af interimstræ har en positiv påvirkning på klimaet (CO<sub>2</sub>) svarende til besparelse på 0,049 personækvivalenter (452 kg CO<sub>2</sub><sup>e</sup>) per ton træaffald. Dette skyldes overordnet set, at træ er en CO<sub>2</sub>-neutral energiform.<sup>59</sup> Klimabesparelsen (CO<sub>2</sub>) skyldes primært, at træ fortrænger andre, mere kulbaserede materialer.

Genbrug af interimstræ ses at have en endnu højere klimbesparelse på 0,058 personækvivalenter (541 kg CO<sub>2</sub><sup>e</sup>) per ton træaffald. Dette skyldes, at det genbrugte interimstræ efter endt brug endnu kan opnå de positive effekter ved energinyttiggørelse. **Nettoeffekten ved at genbruge træet en gang er derfor en CO<sub>2</sub>-besparelse på 0,0096 personækvivalenter (88 kg CO<sub>2</sub><sup>e</sup>) per ton interimstræaffald.** Ifølge STARK kan interimstræet recirkulere 4-6 gange, dog ikke mere end 2 gange om året. Nettoeffekten for træet, der kan genbruges flere gange, vil derfor være væsentligt højere.

#### Opskalering af klimaeffekterne med den samlede årlige mængde interimstræaffald

Jf. afsnit 4.4.2 estimeres den samlede årlige mængde interimstræaffald til ca. 50.000 tons. Ud af denne mængde kan 34 pct. recirkulere to gange i løbet af et år, mens resten frasorteres til forbrænding. Opskaleret resulterer det i en potentiel årlig klimabesparelse på **ca. 2.990 tons CO<sub>2</sub><sup>e</sup>** ved recirkulering af 17.000 tons interimstræ. Over interimstræets levetid kan det recirkuleres 4-6 gange, hvilket svarer til en samlet klimabesparelse på **ca. 5.980-8.980 tons CO<sub>2</sub><sup>e</sup>** over træets levetid. Vi gør opmærksom på, at resultatet er behæftet med en vis usikkerhed og skal fortolkes derefter.

Resultaterne følger samme mønster for partikelforurening, om end nettoeffekten er væsentligt større for partikelforurening. Det skyldes primært den undgåede træproduktion og oparbejdning til tømmer. Det skal her medtages, at denne produktion forventeligt sker i/nær skoven, hvorfor miljøpåvirkningen ikke vil være den samme som partikelforurening i et bynært miljø. Den undgåede produktion og transport er dog stadig en væsentlig gevinst.

Resultaterne for de abiotiske ressourcer er næsten ens. Det skyldes, at fokus er på en biogen ressource, der ikke har store miljømæssige produktionsomkostninger i forhold til abiotiske ressourcer. Der fremkommer derfor primært en besparelse ved den undgåede el- og varmeproduktion, hvori der indgår abiotiske ressourcer.

#### 5.5.2 Følsomhedsanalyser

I dette afsnit beskrives analysens usikkerheder. Da analysen er lavet som en screenings LCA, hvor der er taget udgangspunkt i litteraturværdier og kun når muligt inden for analysens ramme indsamlet primærdata, er resultaterne forbundet med en vis usikkerhed. Der gennemføres derfor følsomhedsberegninger på de usikkerheder, som, vi vurderer, har den største betydning for resultaterne.

Afsnittet indeholder følsomhedsberegninger på parametrene:

- Genbrugsprocent
- El- og varmemarginaler

<sup>59</sup> Materialer i den cirkulære økonomi: Træ. Teknologisk Institut (2019).

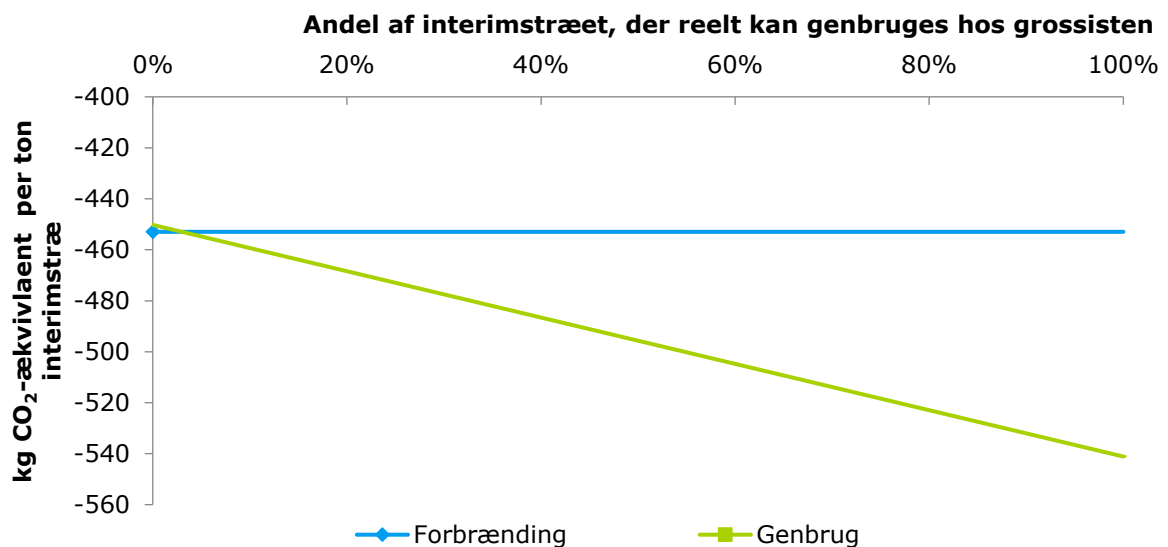
Herudover sammenlignes resultaterne med resultater fra andre studier. Da resultaterne peger i samme retning for alle tre miljøpåvirkningskategorier, sammenlignes kun resultater for klimaændring i hovedrapporten. I bilag A kan findes resultater for de to andre miljøpåvirkninger.

### 5.5.2.1 Genbrugsprocent

I modelleringen er det antaget, at alt det træ, der sendes retur til genbrug efter grovsorteringen på byggepladsen, er af en kvalitet, som muliggør genbrug. Det er i den forbindelse det vigtigt at vide, om træet reelt kan genbruges, eller om der er behov for en yderligere finsortering hos grossisten. Den mængde træ, som frasorteres ved grossisten, sendes videre til forbrænding med yderligere 30 km transport. Hvis det var blevet frasorteret allerede på byggepladsen, så kunne man i imidlertid have sparet 30 km transport til grossisten for den pågældende mængde. For at undersøge dette forhold har vi beregnet resultaternes følsomheden ved en finere sortering hos grossisten forud for genbrug.

Figuren nedenfor viser, der er en skæring mellem de to scenarier ved 3 pct. udsortering til genbrug. Det betyder, at der vil være en klimamæssig fordel i at udsortere interimstræet til genbrug hos grossisten, så længe grossisten som minimum kan genbruge 3 pct. af det modtagne interimstræ. Resultaterne viser sig således ganske robuste, eftersom STARK i dag frasorterer omkring 32 pct. af det interimstræ, de modtager fra byggepladserne, jf. afsnit 4.4.1. Følsomhedsanalysen viser altså, at der er klimamæssige fordele i at sende interimstræ til genbrug fra byggepladsen, også selvom en stor del frasorteres ved grossisten. Samtidig viser det, at man også bør undersøge mulighederne for at udsortere andre typer af træ, da det højest sandsynligt vil kunne betale sig ud fra et klimamæssigt perspektiv.

Figur 5-10 Følsomhedsanalyse for andel af interimstræet, der reelt kan genbruges hos grossisten



Note: Positive værdier indikerer miljø- og klimamæssige omkostninger. Negative værdier indikerer miljø- og klimamæssige besparelser.

Kilde: DTU pba. beregninger i EASETECH.

### 5.5.2.2 El- og varmemarginaler

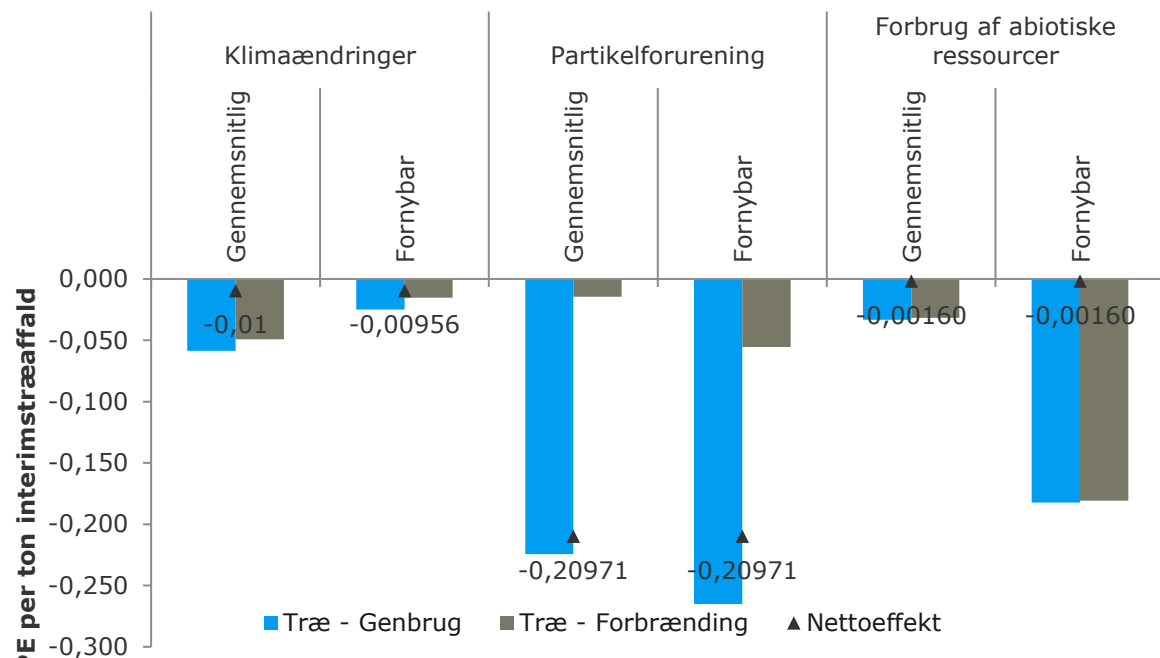
Denne følsomhedsanalyse viser, at antagelserne omkring el- og varmemarginalerne har stor betydning for LCA-resultaterne i absolutte termer. I udgangspunktet antager vi, at vi ved forbrænding af interimstræ erstatter gennemsnitlig elproduktion på det danske marked i dag, mens vi erstatter varme fra naturgas. I fremtiden forventes det, at vi har en el- og varmeproduktion, der i højere grad er baseret på fornybare kilder. Dette er undersøgt i nedenstående følsomhedsanalyse,

hvor den undgåede elproduktion er baseret på vind (80 pct.) og solceller (20 pct.), mens varmen er baseret på træ (58 pct.) og varmepumper (42 pct.).

Figuren nedenfor viser resultatet af følsomhedsanalysen. Det fremgår, at klimabesparelsen ved genbrug efterfulgt af forbrænding mindskes ved skift til mere fornybare energikilder i el- og varmeproduktionen. Samtidig stiger partikelforureningen og forbruget af abiotiske ressourcer, da der vil indgå teknologier, som bruger flere abiotiske ressourcer (til magneter, batterier etc.), som kan være krævende at opkoncentrere.

Nettoeffekten er dog den samme for alle tre miljøpåvirkninger, da der ikke er forskel i de miljø- og klimamæssige omkostninger i genbruget med hensyn til energimarginalerne. Bidraget fra genbrug af interimstræ relativt til forbrænding af træet til energiudnyttelse ses dog at blive mere vigtigt målt i procent.

Figur 5-11: Følsomhedsanalyse af antagelser om el- og varmemarginaler



Note: Positive værdier indikerer miljø- og klimamæssige omkostninger. Negative værdier indikerer miljø- og klimamæssige besparelser.

Kilde: DTU pba. beregninger i EASETECH.

### 5.5.3 Sammenligning med andre studier

Som perspektivering sammenligner vi i dette afsnit resultaterne for interimstræ med lignende danske studier. Det skal bemærkes, at disse studier kan have anderledes systemafgrænsninger. Dette betyder, at totalværdierne for de forskellige scenarier kan variere en del. Nettoeffekten kan imidlertid stadig sammenlignes på tværs af studier uafhængig af den valgte systemafgrænsning. Det har været nødvendigt at omregne værdier fra andre studier, så de alle svarer til 1 ton materiale (for eksempel fra m<sup>2</sup> til ton). De angivne værdier kan derfor ikke altid findes opgivet på samme måde i kildereferencen. Desuden er der for nogle studier kun angivet en reduktionsprocent ift. brug af nyt træ, som kan være svært at sammenligne med grundet forskelle i opsætning og systemafgrænsning. De er dog medtaget, da det er muligt at sammenligne med andre studier, der har begge opgørelser. Fælles for de fleste tidligere studier er desuden, at der her kun er undersøgt klimaeffekter (CO<sub>2</sub>), hvorfor sammenligningen kun foretages herfor.

Tabellen nedenfor viser resultaterne fra denne undersøgelse og to andre studier. Tabellen viser, at nettoeffekten for de andre studier generelt indikerer lavere klimabesparelser end resultaterne i

denne undersøgelse. Dette skyldes forskellige systemafgrænsninger og forskellige antagelser om hvilke energityper, der erstattes ved forbrænding. Alle tre studier finder dog, at der er en positiv effekt for klimaet ved at genbruge træ.

**Tabel 5-6 Værdier fra andre studier for genbrug og forbrænding af træ, kg CO<sub>2</sub>-ækvivalent per ton træ, samt reduktionspotential i %**

	Genbrug	Forbrænding	Nettoeffekt
<b>Denne undersøgelse</b>	-541	-452	-88 / -
<b>SBI, 2019</b>	16	73	-57 / 78%
<b>Circularity City, 2020</b>	-	-	- / 77%

Note: Positive værdier indikerer miljø- og klimamæssige omkostninger. Negative værdier indikerer miljø- og klimamæssige besparelser.

Kilde: DTU pba. beregninger i EASETECH, same omregninger fra kilder.

## 6. ANALYSE AF SAMFUNDSØKONOMISKE KONSEKVENSER

I dette kapitel præsenteres resultaterne af den samfundsøkonomiske analyse ved de opstillede alternative scenarier for de fire materialefraktioner. Analysens resultater er opgjort foretaget pr. ton, men det samlede samfundsøkonomiske potentiale er også vurderet gennem en opregning til totale årlige værdier ved brug af de estimerede mængder i **Kapitel 4**.

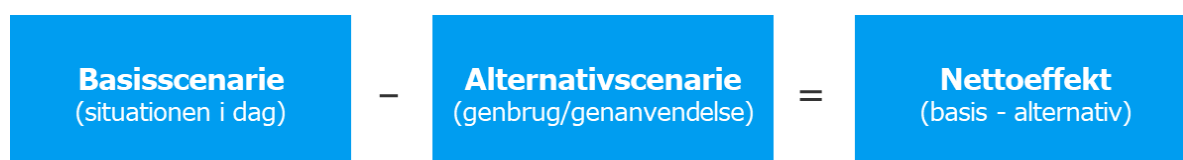
Først indeholder afsnit **6.1** en overordnet beskrivelse af metoden for den samfundsøkonomiske analyse, hvor vi desuden kort diskuterer den samfundsøkonomiske metode til prissætning af CO<sub>2</sub>-emissioner. En mere detaljeret beskrivelse af forudsætninger, metode og beregninger findes i **Bilag B**. Resultaterne for hver materialefraktion beskrives og fortolkes herefter i særskilte afsnit (**6.2-6.5**), hvor resultaterne præsenteres som nettoeffekten mellem basis- og alternativscenariet. Bruttoresultaterne kan findes i **Bilag D**. Det samlede samfundsøkonomiske potentiale vurderes på baggrund af en opskalering af resultaterne per ton til totale årlige værdier. For hver materialefraktion beskrives herefter analysens primære usikkerheder, hvis betydning for resultaterne afprøves i en række følsomhedsanalyser.

### 6.1 Generelt om samfundsøkonomisk analyse

En analyse af de samfundsøkonomiske konsekvenser indgår som et aspekt, når der skal træffes politiske beslutninger fx om hvorvidt et givent tiltag skal gennemføres eller ej. Hovedformålet med den samfundsøkonomiske analyse er at opstille og analysere de samfundsøkonomiske fordele og ulemper ved forskellige tiltag, i dette tilfælde af at øge genbrug og genanvendelse af byggeaffald.

Analysen er foretaget på baggrund af Finansministeriets vejledning<sup>60</sup>. I analysen opstilles to forskellige scenarier for hver materialefraktion. Det ene er et basisscenarie, som analyserer effekten af praksis i dag. Det andet er et alternativt scenarie, som analyserer effekten af at ændre praksis til en mere cirkulær håndtering af affaldet fra byggeriet. De to scenarier sammenholdes for at finde nettoeffekten ved at ændre praksis. Fremgangsmåden er vist i Figur 6-1. Nettoeffekten beskriver dermed den samfundsøkonomiske omkostning eller gevinst ved at ændre praksis.

Figur 6-1 Estimering af den samfundsøkonomiske nettoeffekt ved øget genbrug og genanvendelse i byggeriet



Jf. Finansministeriets vejledning skal hvert analysescenarie indeholde alle væsentlige effekter, som tiltaget medfører. Effekterne opstilles herefter som hhv. omkostninger og gevinster. Følgende omkostningskategorier indgår i analysen:

- **Håndteringsomkostninger forbundet med**
  - Nedrivning
  - Nedknusning eller oparbejdning til genbrug/genanvendelse
  - Udvinning af grus
- **Transportomkostninger**
- **Eksterne effekter (eksternaliteter)**
  - Globale effekter (miljø- og klimapåvirkninger)
  - Lokale effekter (støj, uheld, trængsel, infrastruktur)
- **Skatteforvridning**

<sup>60</sup> Finansministeriet (2017): Vejledning i samfundsøkonomiske konsekvensvurderinger 2017"

Følgende gevinstkategorier indgår i analysen:

➤ **Gevinster i form af**

- Undgået produktion af nye byggematerialer
- Undgået transport af jomfruelige byggematerialer
- Undgået transport af råmaterialer
- Undgåede omkostninger til affaldshåndtering (f.eks. deponi)

Udover ovenstående omkostnings- og gevinstkategorier vil der i både basis- og alternativscenarier være omkostninger forbundet med transport af byggematerialer til slutbrugeren (byggepladsen) og dennes omkostninger forbundet med indkøb og håndtering af materialerne. For disse effekter antager vi, at den samfundsøkonomiske omkostning er ens i begge scenarier, hvorfor de udligner hinanden i analysen. Dette skyldes, at transportafstanden vil være den samme, uagtet om slutbrugeren (f.eks. entreprenører) modtager nyproducerede byggematerialer, genbrugte byggematerialer eller byggematerialer, som er produceret ved genanvendelse af brugte materialer. Herudover kan det antages, at der ikke vil være nogen forskel i håndteringen af byggematerialerne ude på byggepladsen, når først materialerne er leveret.

Vi henviser til **Bilag B** for en detaljeret gennemgang af metode, forudsætninger og anvendte enhedspriser i den samfundsøkonomiske analyse.

### **6.1.1 En højere samfundsøkonomisk prissætning af CO<sub>2</sub>**

Et bredt forlig i Folketinget vedtog i december 2019 en historisk klimalov.<sup>61</sup> Aftalens primære mål går på en reduktion af danske drivhusgasudledninger på 70 pct. i 2030 sammenlignet med niveauet i 1990, og CO<sub>2</sub>-neutralitet i 2050. Der er generelt i samfundet enighed om ambitionen. Samfundsdebatten går derfor i stigende grad på hvilke veje, vi skal tage for at nå målet. Et centralt redskab er en CO<sub>2</sub>-afgift, som skal give bedre incitamenter til på den mest omkostningseffektive måde at nedbringe CO<sub>2</sub>-aftrykket for virksomheder, borgere og landet som helhed. Denne diskussion er både interessant og særdeles central for nærværende analyse, da klimabesparelser erfaringsmæssigt fremhæves som et af de primære argumenter for øget cirkularitet i byggeriet.

Ifølge Energistyrelsen (2019) værdisættes miljø- og klimaeffekter i samfundsøkonomisk analyse som udgangspunkt ud fra de marginale skadesomkostninger, som danske udledninger medfører for personer i Danmark.<sup>62</sup> Men hvis der er fastsat bindende målsætninger for CO<sub>2</sub>-reduktion, er det i stedet relevant at værdisætte ved brug af den marginale reduktionsomkostning. Eftersom Klimaloven indebærer en bindende målsætning, bør beregningsprisen for ændret CO<sub>2</sub>-udledning være lig den marginale reduktionsomkostning for CO<sub>2</sub>. Vi har i nærværende samfundsøkonomiske analyse fulgt Energistyrelsens vejledning om prissætning af klimaeffekter ved brug af CO<sub>2</sub>-kvoteprisen ganget med nettoafgiftsfaktoren, jf. Bilag B. Kvoteprisen angives i 2020 til 216 kr. pr. ton CO<sub>2</sub> i årets priser.

Klimarådet (2020) anbefaler i en nylig offentliggjort rapport, at man ændrer den samfundsøkonomiske prissætning af CO<sub>2</sub>, så beregningsprisen i højere grad afspejler den store samfundsmæssige betalingsvillighed for CO<sub>2</sub>-reduktioner, som er stadfæstet i den fælles målsætning om 70 pct. reduktion i 2030.<sup>63</sup> Det betyder ifølge Klimarådet en CO<sub>2</sub>-pris på ca. 1.500 kr. pr. ton svarende til omkostningerne til de marginale tiltag, som kræves frem mod 2030 for at nå målsætningen. Kraka og Deloitte (2020) har tilsvarende foreslået en klimareform, som omfatter

<sup>61</sup> <https://kefm.dk/media/12965/aftale-om-klimalov-af-6-december-2019.pdf>

<sup>62</sup> [https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Analyser/samfundsøkonomiske\\_beregningsforudsætninger\\_for\\_energipriser\\_og\\_emissioner\\_2019.pdf](https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Analyser/samfundsøkonomiske_beregningsforudsætninger_for_energipriser_og_emissioner_2019.pdf)

<sup>63</sup> <https://www.klimaraadet.dk/da/rapporter/kendte-veje-og-nye-spor-til-70-procents-reduktion>



en gradvis indfasning af en CO<sub>2</sub>-afgift på 1.250 kr. pr. ton som pejlemærke i 2030.<sup>64</sup> Begge priser er markant højere end den skønnede kvotepris i 2030 på ca. 289 kr. pr. ton i 2020-priser.

I forlængelse af ovenstående finder vi det interessant at undersøge, hvad en ændret (højere) samfundsøkonomisk beregningspris på CO<sub>2</sub> betyder for resultaterne af den samfundsøkonomiske analyse af øget genbrug og genanvendelse af byggematerialer. Ud fra et ønske om at *“keep it simple”* implementerer vi blot ændringen i beregningsgrundlaget ved at ændre på den anvendte beregningspris, der i udgangspunktet er baseret på kvoteprisen ganget med afgiftsfaktoren. Vi ændrer således ikke på elprisen, som i dag indeholder en indbygget CO<sub>2</sub>-afgift, mens vi heller ikke lader den ændrede CO<sub>2</sub>-pris påvirke statens afgiftsprovenu.

Vi undersøger betydningen af en højere CO<sub>2</sub>-pris i følsomhedsanalyser for hver af de fire materialefraktioner.

## 6.2 Tagsten

I dette afsnit præsenterer vi resultaterne af den samfundsøkonomiske analyse af scenarierne for tagsten. Dernæst beskriver vi analysens primære usikkerheder. Resultaternes følsomhed over for disse usikkerheder testes ved at foretage følsomhedsberegninger på ændringer i centrale antagelser og nøgleværdier. Analysen foretages for følgende scenarier:

- Basisscenarie: 100 pct. af tagstensaffaldet knuses og anvendes som erstatning for grus
- Alternativscenarie: 80 pct. af nedrevne tagsten genbruges, mens 20 pct. fortsat nedknuses

### 6.2.1 Resultater

Det samfundsøkonomiske resultat for basisscenariet er vist i

<sup>64</sup> [http://kraka.org/sites/default/files/public/rapport\\_smallGreatNation\\_-\\_en\\_klimareform\\_der\\_leverer\\_de\\_magiske\\_70\\_procent.pdf](http://kraka.org/sites/default/files/public/rapport_smallGreatNation_-_en_klimareform_der_leverer_de_magiske_70_procent.pdf)

nedenfor. Resultaterne viser, at der vil være et **netto samfundsøkonomisk tab på 2.167 kr. pr. ton tagsten ved at ændre praksis fra at nedknuse tagstensaffaldet til at genbruge op til 80 pct. af det.**

Det betyder, at det ud fra et samfundsøkonomisk perspektiv ikke kan betale sig at genbruge tagsten direkte på markedsvilkår frem for at nedknuse dem som erstatning for grus. I analysen forudsætter vi, at tagstenene ikke genbruges direkte på stedet, men i stedet sendes videre til en specialiseret forarbejdningsvirksomhed, som renser tagstenene og sælger dem videre. Denne situation vil være gældende, når en hel bygning skal nedrives, og hvor der er en aftager til de brugte tagsten.

**Table 6-1 Samfundsøkonomisk resultat for tagsten (kr./ton i 2020-priser)**

	<b>NETTOEFFEKT</b>
<b>OMKOSTNINGER</b>	
<b>Nedrivning</b>	-882
Nedrivning til nedknusning	
Nedrivning til genbrug	
<b>Genbrug (transport, forarbejdning, lagring)*</b>	-2.377
<b>Nedknusning</b>	90
<b>Udvinding af grus</b>	-72
<b>TOTALE HÅNDBERINGSOMKOSTNINGER</b>	<b>-3.242</b>
<b>TRANSPORTOMKOSTNINGER</b>	
Transport fra nedrivning til nedknusning	39
<b>TOTALE TRANSPORTOMKOSTNINGER</b>	<b>39</b>
<b>GLOBALLE EKSTERNE EFFEKTER</b>	
CO <sub>2</sub>	77
PM <sub>2,5</sub>	4
NO <sub>x</sub>	7
SO <sub>2</sub>	5
<b>TOTALE GLOBALLE EKSTERNE EFFEKTER</b>	<b>93</b>
<b>LOKALE EKSTERNE EFFEKTER</b>	
Støj	<b>-0,2</b>
Uheld	-2
Trængsel	-1
Infrastruktur	-2
<b>TOTALE LOKALE EKSTERNE EFFEKTER</b>	<b>-5</b>
<b>SKATTEFORVRIDNING</b>	
Ændring i afgiftsprovener	1
<b>TOTAL SKATTEFORVRIDNING</b>	<b>0,1</b>
<b>TOTALE OMKOSTNINGER</b>	<b>-3.110</b>
<b>GEVINSTER</b>	
Undgået produktion af tagsten	943
<b>TOTALE GEVINSTER</b>	<b>943</b>
<b>NETTORESULTAT</b>	<b>-2.167</b>

Note: \*Transportomkostninger for genbrugte tegl er inkluderet i produktionsomkostningen, da det ikke har været muligt at udlede transportomkostningen fra det indsamlede data.

Kilde: Rambøll

Det samfundsøkonomiske tab skyldes primært en omkostningstung nedrivningsproces og omkostninger forbundet med rensning og opbevaring af de brugte tagsten. Hvis tagstenene på et tag skal genbruges, kræver det, at tagstenene nedtages manuelt, stables på paller og køres forsigtigt videre til en oparbejdningsvirksomhed. Under en normal nedrivning gøres dette primært ved brug af en maskine (hvis hele bygningen skal nedrives). Hvis der er tale om tagrenovation, hvor tagstenene udskiftes, så vil håndværkerne typisk smide tagstenene i en container direkte fra tagryggen. I begge tilfælde vil tidsforbruget være lavere, end hvis tagstenene skal genbruges direkte. De ekstra håndteringsomkostninger ved nedtagning til genbrug opvejes kun delvist af sparede produktionsomkostninger af nye tagsten på 943 kr./ton. Alene omkostningen på 2.377 kr./ton ved at transportere, rense og opbevare tagstenene er altså omkring 2,5 gange højere end omkostningen ved at producere nye tagsten.<sup>65</sup> Det skyldes primært de mange manuelle processer forbundet med genbrug, hvorimod produktionen af nye tagsten er fuldautomatiseret. Hvis *genbrug af tagsten på markedsvilkår* skal kunne betale sig ud fra et samfundsøkonomisk perspektiv, så skal arbejdsprocesserne i dels nedrivningen og dels håndteringen af tagstenene automatiseres.

Som det fremgår af tabellen ovenfor, betyder transportomkostningerne, de lokale eksterne effekter forbundet med støj, uheld, trængsel og infrastruktur samt skatteforvriddningseffekterne ikke meget for det samlede resultat. Det samme gælder for nettoeffekten af miljø- og klimapåvirkningerne i form af CO<sub>2</sub>, PM<sub>2,5</sub>, NO<sub>x</sub> og SO<sub>2</sub>, som tilsammen udgør en positiv effekt på 93 kr./ton. Ud af det samlede resultat har det bare ikke den store betydning.

**Hvis tagstenene derimod genbruges direkte på stedet, så vil der være en netto samfundsøkonomisk gevinst på 210 kr. pr. ton tagsten.** I det tilfælde spares de 2.377 kr. pr. ton forbundet med transport, forarbejdning<sup>66</sup> og lagring af tagstenene hos en specialiseret forarbejdningsvirksomhed. Denne situation vil være gældende, når der blot er tale om et renoveringsprojekt, f.eks. hvis undertaget på et parcelhus skal skiftes. I sådanne tilfælde kan det samfundsøkonomiske betale sig at nedtage tagstenene mhp. direkte genbrug og dermed spare omkostningerne til indkøb af nye tagsten. Forudsætningen for dette er dog, at stenene ikke kræver forarbejdning, før de lægges op igen.

#### Opskalering af det samfundsøkonomiske resultat med den samlede årlige mængde tagstensaffald

Jf. afsnit 4.1.2 estimeres den samlede årlige mængde tagstensaffald, som potentielt kan genbruges, til ca. 150.000 tons. Opskalering af det samfundsøkonomiske resultat resulterer i et årligt samfundsøkonomisk tab på lidt over **325 mio. kr.**, hvis genbruget sker på markedsvilkår og behandles, oparbejdes og videresælges af en specialiseret forarbejdningsvirksomhed. Hvis tagstenene derimod genbruges direkte på stedet, så svarer det til en samlet årlig gevinst for samfundet på **31,5 mio. kr.** Vi gør opmærksom på, at resultatet er behæftet med en vis usikkerhed og skal fortolkes derefter.

### 6.2.2 Følsomhedsanalyser

Resultaterne af den samfundsøkonomiske analyse for øget genbrug af tagsten er forbundet med en række usikkerheder. Usikkerhederne beskrives i de følgende afsnit, og deres betydning for resultaterne afprøves igennem følsomhedsanalyser. Vi tester resultaternes følsomhed overfor ændringer i følgende parametre:

- Forskellen i nedrivningsomkostninger mellem hhv. genbrug og nedknusning

<sup>65</sup> 2.377 kr. pr. ton vs. 943 kr. pr. ton

<sup>66</sup> Forarbejdning spares også, fordi der er tale om en renovering, hvor tagstenene tages op, undertaget skiftes, og tagstenene nedlægges igen

- Håndteringsomkostninger ved genbrug af tagsten
- Produktionsomkostninger for nye tagsten
- En højere samfundsøkonomisk prissætning af CO<sub>2</sub>

Derudover har vi gennemført følsomhedsberegninger på prisen på nedknusning, enhedsprisen på grus samt de anvendte transportafstande. Ændringer i disse parametre har kun marginal betydning for resultatet sammenlignet med de øvrige følsomheder. Derfor fremgår de ikke her, men vi henviser til **Bilag D** for en gennemgang af resultaterne for disse følsomhedsberegninger.

Tabel 6-2 opsummerer det samfundsøkonomiske resultats robusthed over for ændringer i de nævnte parametre:

**Tabel 6-2 Opsummering på følsomhedsberegninger for tagsten**

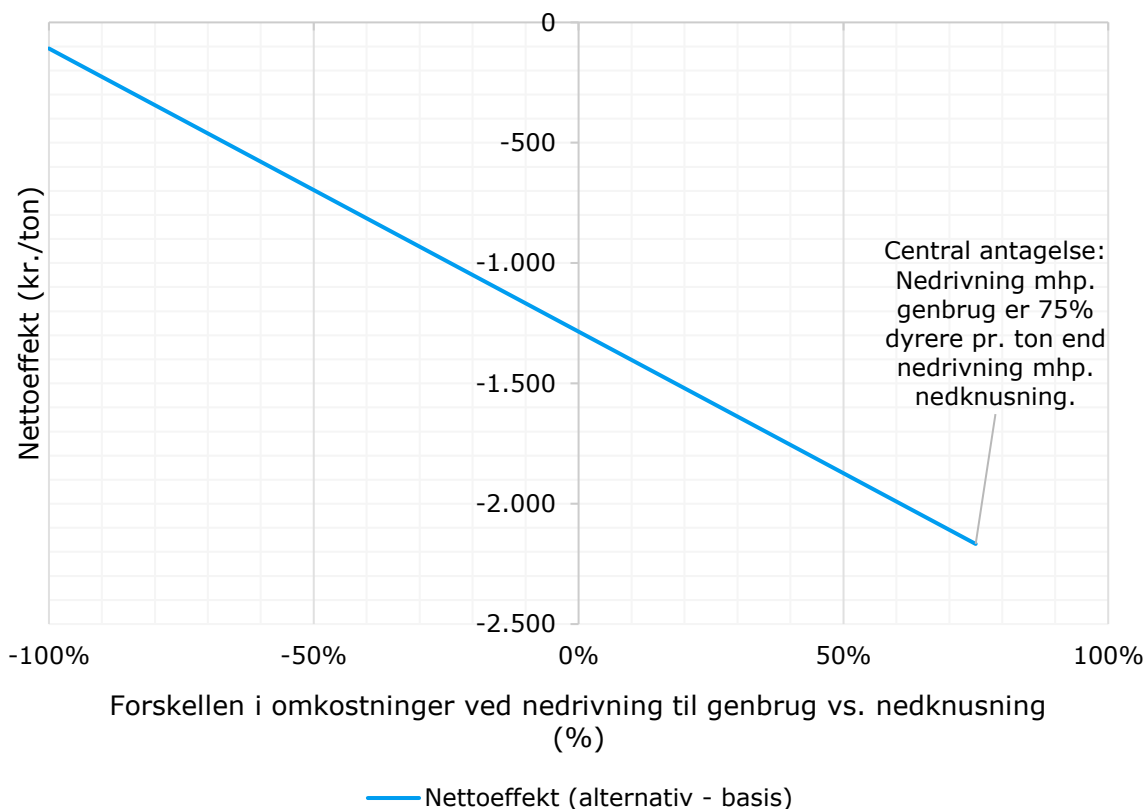
<b>Parameter</b>	<b>Robust over for ændring i parameter</b>
<i>Nedrivningsomkostninger ved genbrug</i>	Ja
<i>Håndteringsomkostninger ved genbrug af tagsten</i>	Ja
<i>Produktionsomkostninger for nye tagsten</i>	Ja
<i>Højere samfundsøkonomisk CO<sub>2</sub>-pris</i>	Ja
<i>Prisen på nedknusning</i>	Ja
<i>Enhedsprisen på grus</i>	Ja
<i>Transportafstand til knusning</i>	Ja
<i>Transportafstand til genbrug</i>	Ja

### 6.2.2.1 Forskellen i nedrivningsomkostninger ved genbrug vs. nedknusning

I dette afsnit præsenteres følsomhedsanalysen på forskellen i nedrivningsomkostninger mellem hhv. genbrug og nedknusning. Der er en usikkerhed forbundet med omkostningen til at nedrive tagstenene. Nedrivningsomkostningen i alternativscenariet er antaget, at være 75 pct. højere end i basisscenariet, hvilket skyldes et betydeligt højere tidsforbrug grundet manuelle arbejdsgange. I følsomhedsanalysen tester vi, hvor meget lavere nedrivningsomkostningen skal være i alternativscenariet, for at det kan betale sig at nedrive med henblik på genbrug fremfor nedknusning. Dette betyder med andre ord, at vi analyserer betydningen af at ændre på den relative forskel i nedrivningsomkostninger mellem hhv. basis- og alternativscenariet.

Figuren nedenfor viser nettoeffekten, når den relative forskel i nedrivningsomkostningen reduceres. Analysen viser ikke overraskende, at jo højere (lavere) nedrivningsomkostningen ved genbrug af tagsten er relativt til at nedknuse dem, jo dårligere (bedre) kan det betale sig at genbruge. Som figuren viser, er det imidlertid ikke muligt for alternativscenariet at blive samfundsøkonomisk profitabelt sammenlignet med basisscenariet. Selv hvis nedrivningsomkostningen er 0 kr. pr. ton i alternativscenariet (vises helt til venstre i figuren som -100% forskel i omkostninger ved nedrivning mellem genbrug vs. nedknusning), er der stadig et samfundsøkonomisk tab på 108 kr. på ton tagstensaffald ved at genbruge tagstenene fremfor at knuse dem.

Figur 6-2 Følsomhedsanalyse for relative nedrivningsomkostninger (2020-priser)



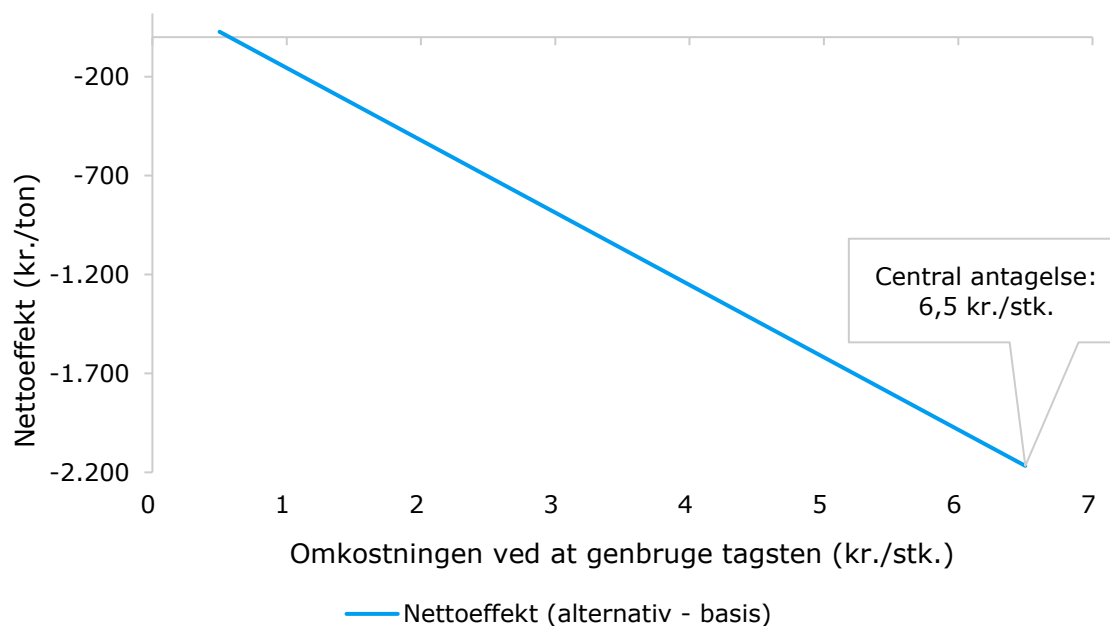
Dette betyder med andre ord, at en mere effektiv nedrivningsproces ikke alene kan gøre genbrug af tagsten samfundsøkonomisk rentabelt. Det skal f.eks. kombineres med en effektivisering af processerne forbundet med den efterfølgende håndtering af tagstenene. Dette undersøges nedenfor.

#### 6.2.2.2 Håndteringsomkostninger ved genbrug af tagsten

Følgende afsnit består af følsomhedsanalysen for prisen på at genbruge tagsten. Denne pris indeholder omkostningen ved at transportere tagstenene, rense samt opbevare dem. Jf. interviews varierer denne omkostning en del, da det afhænger af, hvor langt tagstenene skal transporteres, og hvor lang tid de skal opbevares før salg. Derfor testes denne antagelse. Den centrale antagelse er 6,5 kr. pr. stk. (2.971 kr. pr. ton).

Figur 6-3 nedenfor viser, at håndteringsomkostningerne ikke må overstige 0,6 kr./stk., hvis det alternative scenarie om genbrug af tagsten skal være samfundsøkonomisk rentabelt i praksis i dag. Det virker dog urealistisk, at omkostningen kan blive så lav.

Figur 6-3 Følsomhedsanalyse for genbrug af tagsten (2020-priser)

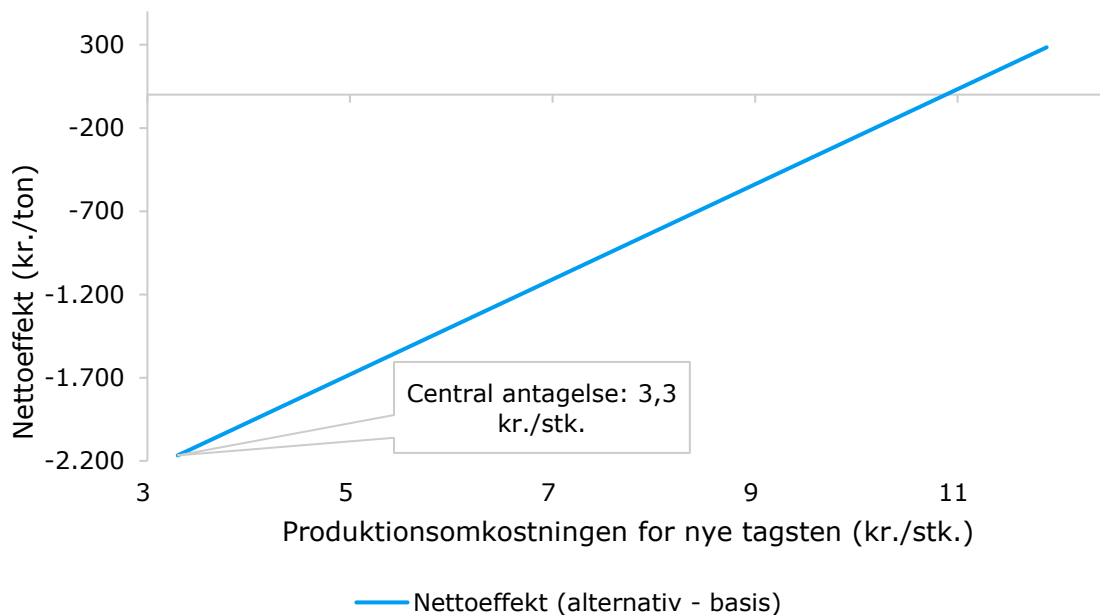


### 6.2.2.3 Produktionsomkostninger for tagsten

Følgende afsnit samt figur præsenterer følsomhedsanalysen for ændringer i produktionsomkostningerne for nye tagsten. Der er usikkerhed forbundet med produktionsomkostningerne, da de er estimeret ud fra en gennemsnitlig salgspris og fortjeneste for branchen.

Den centrale antagelse er 3,3 kr. pr. tagsten (1.179 kr. pr. ton). Figuren viser, at produktionsomkostningen skal være minimum 10,9 kr./stk., før genbrug af tagsten er samfundsøkonomisk rentabel ift. nedknusning. Da ændringen fra 3,3 til 10,9 kr./stk. er en relativ stor ændring, vurderes resultatet derfor at være robust ift. ændringer i denne parameter.

Figur 6-4 Følsomhedsanalyse for produktionsomkostninger for nye tagsten (2020-priser)

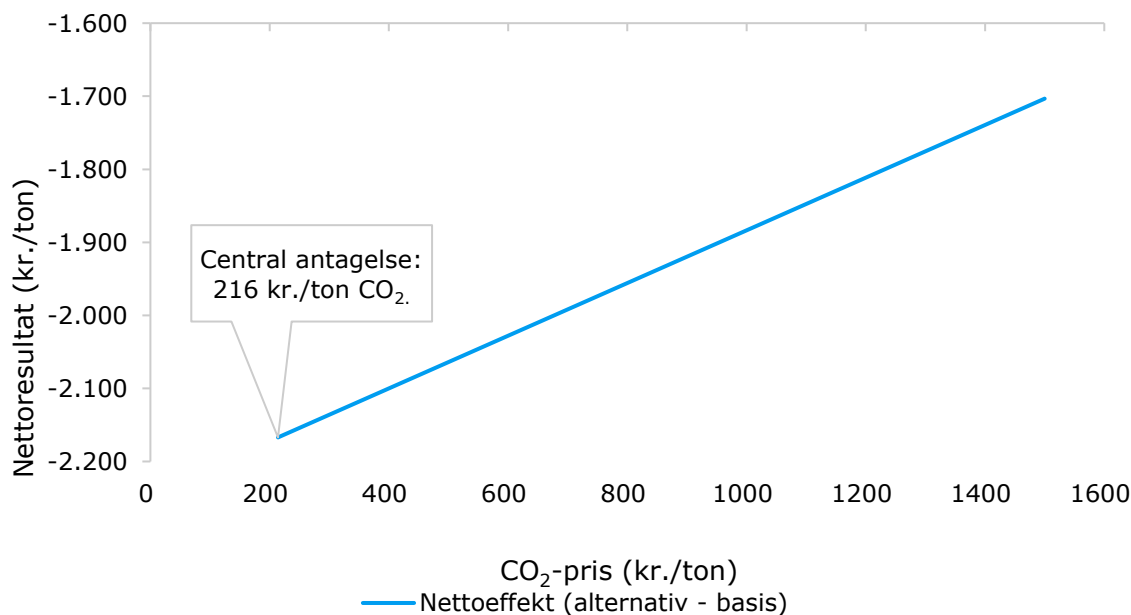


#### 6.2.2.4 En højere samfundsøkonomisk prissætning af CO<sub>2</sub>

Som det fremgår af det samfundsøkonomiske resultat, spiller miljø- og klimaeffekterne kun en meget beskednen rolle i det samfundsøkonomiske regnskab for genbrug af tagsten. Dette på trods af, at livscyklusvurderingen viser betydelige klimabesparelser ved øget genbrug.

Vi har undersøgt resultatets følsomhed overfor ændringer i den anvendte beregningspris for CO<sub>2</sub>-emissioner, jf. figuren nedenfor.

Figur 6-5: Betydningen af en højere CO<sub>2</sub>-pris for nettoeffekten for genbrug af tagsten (2020-priser)



Analysen viser, at den samfundsøkonomiske nettoeffekt ved genbrug fremfor nedknusning af tagsten forbedres i takt med, at beregningsprisen for CO<sub>2</sub> stiger. CO<sub>2</sub>-prisen skal dog stige til ca.



6.225 kr./ton CO<sub>2</sub>, før det er samfundsøkonomisk rentabelt at genbruge tagsten frem for at nedknuse dem. Resultaterne er derfor meget robuste overfor en ændret prissætning af klimaeffekterne.

### 6.3 Stenuld

I dette næste afsnit præsenterer vi resultaterne af den samfundsøkonomiske analyse af øget genanvendelse af stenuld. Dernæst beskriver vi analysens primære usikkerheder. Resultaternes følsomhed over for disse usikkerheder testes ved at foretage følsomhedsberegninger på ændringer i centrale antagelser og nøgleværdier. Analysen foretages for følgende scenarier:

- Basisscenarie: 34 pct. af stenuldsaffald genanvendes i produktionen af ny stenuld, resten deponeres
- Alternativscenarie: 90 pct. af stenuldsaffald genanvendes i produktionen af ny stenuld, resten deponeres

Som nævnt i afsnit 4.2 antager analysen, at den mængde, der ikke genanvendes i ny stenuld, deponeres. Dette anser vi som en grov men nødvendig antagelse. Nettoeffekten vil derfor formodentlig være overestimeret, da vi må formode, at de samfundsøkonomiske omkostninger ved deponi er større end ved andre (gen)anvendelsesmetoder.

#### 6.3.1 Resultater

Resultaterne af den samfundsøkonomiske analyse af øget genanvendelse af stenuld fremgår af tabellen nedenfor. Resultaterne viser, at der vil være en **netto samfundsøkonomisk gevinst på 266 kr. pr. ton, hvis genanvendelsesprocenten øges til 90 pct. modsat de 34 pct. i dag.**

Resultatet skyldes primært undgåede omkostninger til deponi samt undgået transport af jomfruelige sten til produktionen af ny stenuld – her er nettoeffekten 850 kr. pr. ton ved at genanvende 90 pct. i stedet for 34 pct.

Tabel 6-3 Samfundsøkonomisk resultat for stenuld (kr./ton i 2020-priser)

	NETTOEFFEKT
<b>OMKOSTNINGER</b>	
<b>HÅNDBEREGNINGSSOMKOSTNINGER</b>	
Genanvendelse i ny stenuld	-131
Deponi	-121
<b>TOTALE HÅNDBEREGNINGSSOMKOSTNINGER</b>	<b>-252</b>
<b>TRANSPORTOMKOSTNINGER</b>	
Transport til genanvendelse	-265
Transport til deponi	27
<b>TOTALE TRANSPORTOMKOSTNINGER</b>	<b>-237</b>
<b>GLOBALE EKSTERNE EFFEKTER</b>	
CO <sub>2</sub>	0
PM <sub>2,5</sub>	-0,1
NO <sub>x</sub>	0
SO <sub>2</sub>	0
<b>TOTALE GLOBALE EKSTERNE EFFEKTER</b>	<b>-0,03</b>
<b>LOKALE EKSTERNE EFFEKTER</b>	
Støj	-3
Uheld	-34
Trængsel	-12
Infrastruktur	-21
<b>TOTALE LOKALE EKSTERNE EFFEKTER</b>	<b>-69</b>

<b>SKATTEFORVRIDNING</b>	
Ændring i afgiftsprovener	-254
<b>TOTAL SKATTEFORVRIDNING</b>	<b>-25</b>
<b>TOTALE OMKOSTNINGER</b>	<b>-584</b>
<b>GEVINSTER</b>	
Undgået omkostninger til deponi	671
Undgået transport af sten fra Sverige	179
<b>TOTALE GEVINSTER</b>	<b>850</b>
<b>NETTORESULTAT</b>	<b>266</b>

Kilde: Rambøll

Resultaterne viser dog også, at håndteringsomkostningerne i alternativscenariet er større end basisscenariet – her er nettoeffekten -252 kr. pr. ton. Forskellen udlignes dog af højere gevinster i alternativscenariet, hvilket giver en positiv nettoeffekt. Derudover er nettoeffekten for de lokale eksterne effekter -69 kr. pr. ton. Dette skyldes en øget transport af den brugte stenuld i Danmark, da det nu skal transporteres de 322 km i stedet for de 30 km til deponi<sup>67</sup>. Denne effekt kan ikke opvejes af undgået transport af sten fra Sverige, da størstedelen af denne transport sker uden for Danmarks grænser. De lokale effekter medregner kun effekter inden for landets grænser, hvorfor dette ikke opvejes af transportafstanden i Sverige.

#### Opskalering af det samfundsøkonomiske resultat med den samlede årlige mængde stenuldsaffald

Jf. afsnit 4.2.2 estimeres den samlede årlige mængde stenuldsaffald, som potentielt kan genanvendes i produktionen af ny stenuld, til ca. 25.000 tons. Rockwool modtog i 2019 8.600 tons stenuldsaffald. Det giver et uudnyttet potentiale for yderligere genanvendelse på 16.400 tons stenuldsaffald. Opskaleret resulterer det i en potentiel årlig samfundsøkonomisk gevinst på **ca. 4,5 mio. kr.**, hvis genanvendelsesprocenten øges fra 34 pct. til 90 pct. Vi gør opmærksom på, at resultatet er behæftet med en vis usikkerhed og skal fortolkes derefter.

#### 6.3.2 Følsomhedsanalyser

Følgende afsnit beskriver de usikkerheder, der er forbundet med analysen. Der laves følsomhedsberegninger på de enkelte usikkerheder, som vises i figurer. Afsnittet indeholder følsomhedsberegninger på parametrene:

- Produktionsomkostninger for stenuld
- Prisen på deponi
- Genanvendelsesprocenten for stenuld i basisscenariet
- En højere samfundsøkonomisk prissætning af CO<sub>2</sub>

Vi har desuden testet transportafstanden til både deponi (30 km), til genanvendelse (322 km) og undgået transport af sten (450 km). Da ændringer i disse ikke medfører betydelige ændringer i nettoresultatet vises de ikke i hovedrapporten. Vi henviser i stedet til [Bilag D](#).

<sup>67</sup> Se Bilag B

Tabellen nedenfor giver et overblik resultatets robusthed over for ændringer i de respektive parametre.

**Tablet 6-4 Opsummering på følsomhedsberegninger for stenuld**

<i>Parameter</i>	<b>Robust over for ændring</b>
<i>Produktionsomkostninger for stenuld</i>	Ja
<i>Prisen på deponi</i>	Ja
<i>Genanvendelsesprocenten for stenuld i dag</i>	Ja
<i>Højere samfundsøkonomisk CO<sub>2</sub>-pris</i>	Ja
<i>Transportafstand af jomfruelig sten</i>	Ja
<i>Transportafstand til deponi</i>	Ja
<i>Transportafstand til genanvendelse</i>	Ja

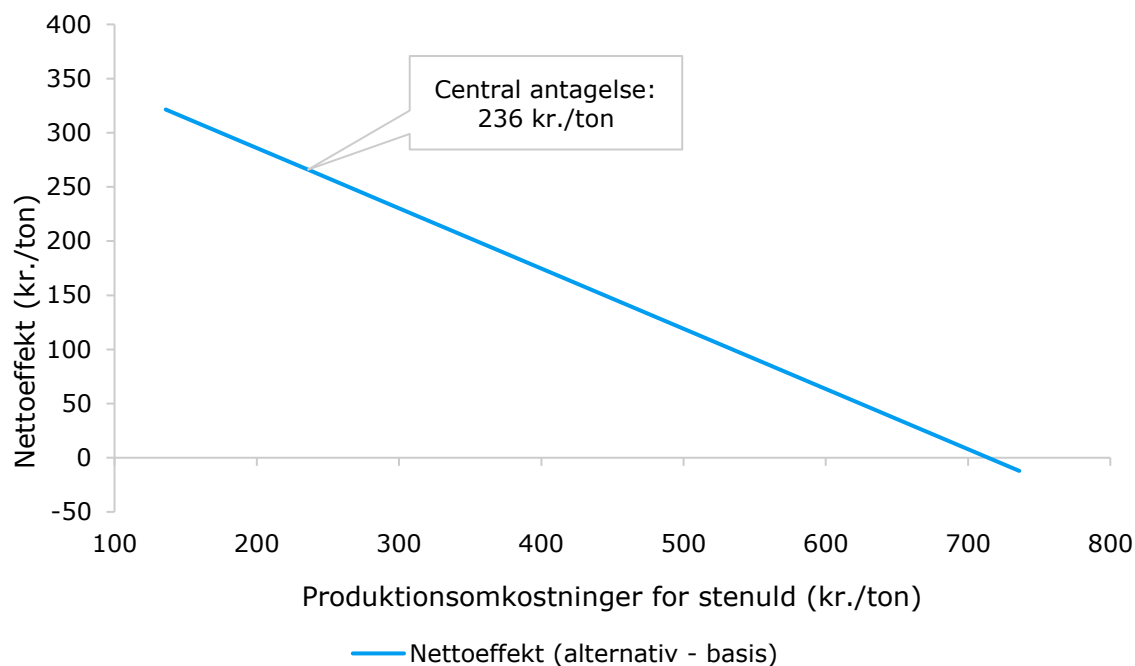
### **6.3.2.1 Produktionsomkostningen for stenuld**

Produktionsomkostningerne for stenuld er en usikkerhed, da denne parameter er fra en tidligere analyse.<sup>68</sup> Vi har forsøgt at fremskaffe opdaterede oplysning gennem interview med Rockwool, men af konkurrencemæssige hensyn har vi ikke kunnet få adgang dertil. Derfor indgår produktionsomkostningerne i en følsomhedsberegning, hvor resultaternes følsomhed overfor ændringer i parameteren testes.

Figur 6-6 nedenfor viser nettoeffekten ved ændringer i produktionsomkostningerne af stenuld. Den centrale antagelse i hovedanalysen er 236 kr. pr. ton. Resultatet viser, at produktionsomkostningen for stenuld skal stige til over 714 kr. pr. ton, før det ikke er samfundsøkonomisk profitabelt at øge genanvendelsesprocenten til 90. Da dette er en ændring af den centrale antagelse med lidt over 200 pct., vurderer vi derfor resultatet i hovedanalysen til at være robust over for ændringer i denne parameter.

<sup>68</sup> Miljøstyrelsen (2006): "Genanvendelse af brug stenuld, Hovedprojekt"

Figur 6-6 Følsomhedsanalyse for produktionsomkostningen for stenuld (2020-priser)



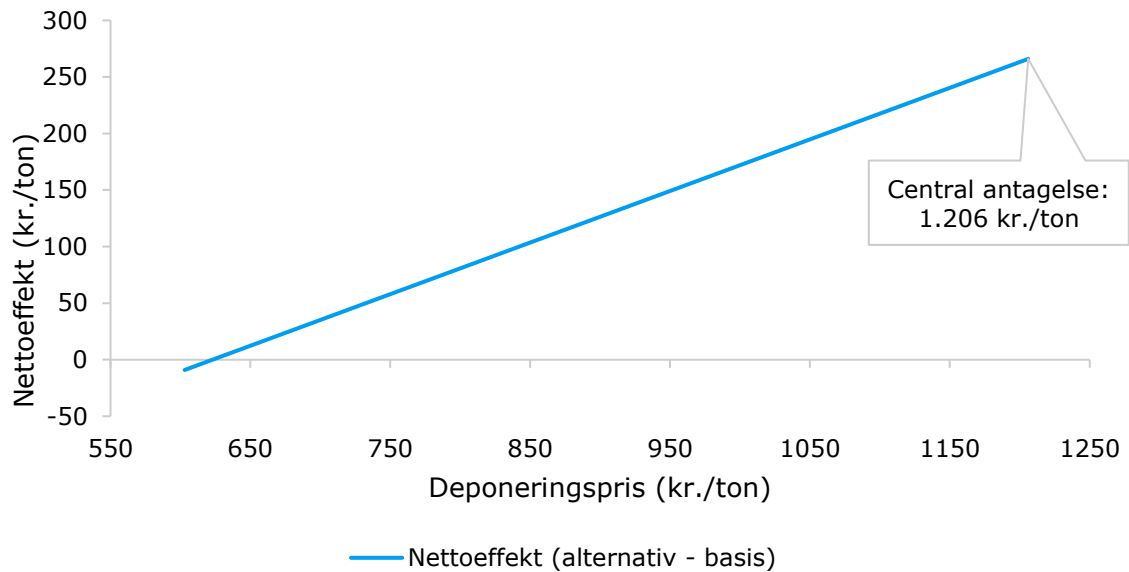
### 6.3.2.2 Prisen på deponi

Dernæst er omkostningen ved at aflevere stenuld til deponi også en usikkerhed, da denne kan variere fra sted til sted. Derudover har den en relativ stor betydning for analysens resultater, da denne pris anvendes til den resterende mængde stenuld, som ikke genanvendes.

Figuren nedenfor viser resultatet på følsomhedsberegningen. Den centrale antagelse i hovedanalysen er 1.206 kr. pr. ton. Overordnet set viser figuren, at jo lavere deponeringsprisen er, jo dårligere kan det samfundsøkonomisk svare sig at genanvende stenuld.

Figuren viser, at deponeringsprisen skal falde til ca. 625 kr. pr. ton, før deponi af stenuld (bassiscenarie) samfundsøkonomisk er mere rentabel end øget genanvendelse af stenuld (alternativscenarie). Da denne ændring næsten er en halvering af prisen ift. den centrale antagelse, vurderer vi, at resultatet er robust overfor ændringer i denne parameter.

Figur 6-7 Følsomhedsanalyse på deponeringsprisen (2020-priser)

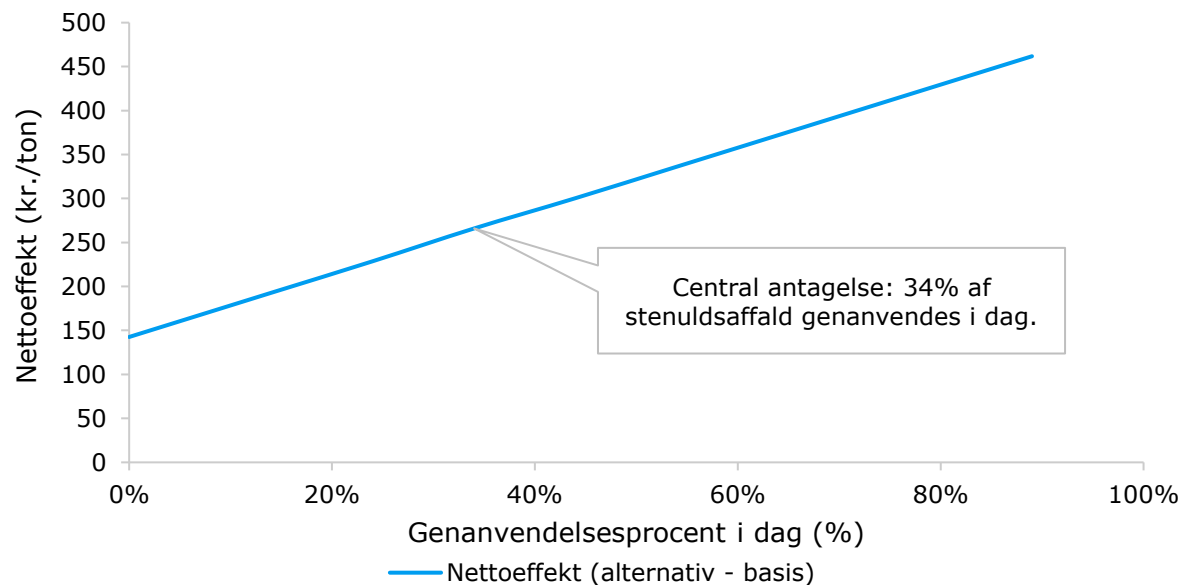


### 6.3.2.3 Genanvendelsesprocenten i basisscenariet

Dette afsnit præsenterer ændringen i analysens resultater ved at ændre den nuværende genanvendelsesprocent. Basisscenariet antager, at den nuværende genanvendelsesprocent for stenuld er på 34 pct. Denne er en usikkerhed, da den er baseret på estimater fra interviews og litteraturen. Som beskrevet i afsnit 4.2, vurderer vi, at der er et årligt potentiale på 25.000 ton stenuld.

Følsomhedsanalysen viser, at der stadig vil være en samfundsøkonomisk gevinst ved at genanvende mere stenuld, uanset hvor lav eller høj genanvendelsesprocenten er i dag, jf. Figur 6-8 nedenfor.

Figur 6-8 Følsomhedsanalyse for genanvendelsesprocent (2020-priser)

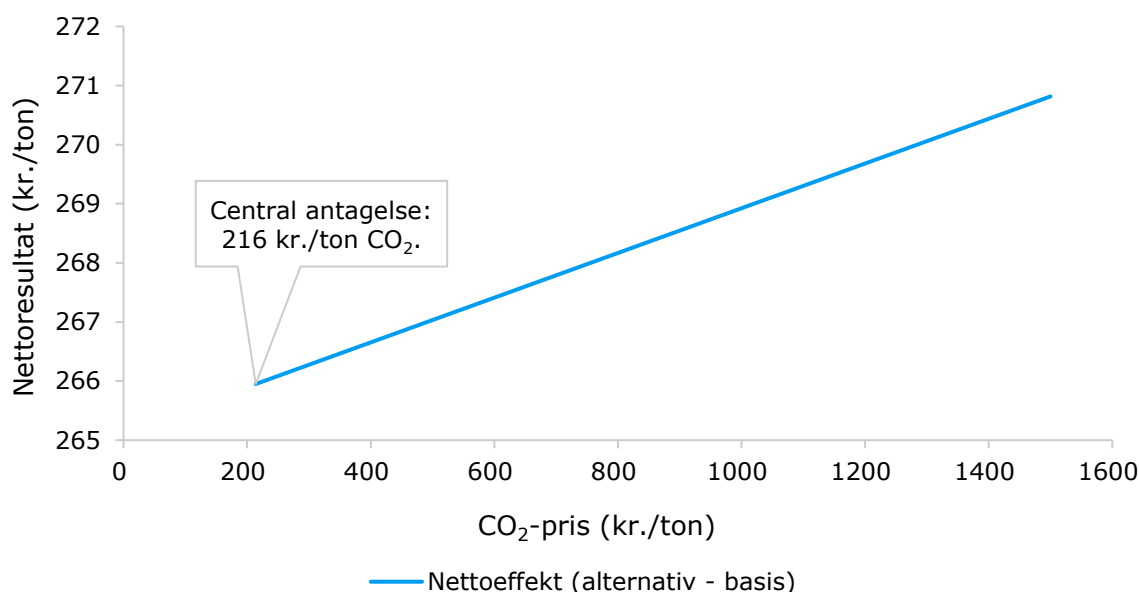


Faktisk gælder det sådan, at den *marginale samfundsøkonomiske effekt* af at genanvende mere stenuld stiger i takt med, at genanvendelsesprocenten i basisscenariet stiger. Dette ses ved, at nettoeffekten er 266 kr. pr. ton ved en genanvendelsesprocent i basisscenariet på 34 pct., stigende til 462 kr. pr. ton ved en genanvendelsesprocent på 89 pct. i basisscenariet.

### 6.3.2.4 En højere samfundsøkonomisk prissætning af CO<sub>2</sub>

Som det fremgår af det samfundsøkonomiske resultat, spiller miljø- og klimaeffekterne kun en meget beskedne rolle i det samfundsøkonomiske regnskab for genanvendelse af stenuld. Dette er forventeligt, da livscyklusvurderingen viser beskedne klimabesparelser ved øget genanvendelse, jf. afsnit 5.3.1. Analysen viser, at den samfundsøkonomiske nettoeffekt ved øget genanvendelse af stenuld kun forbedres marginalt, når beregningsprisen for CO<sub>2</sub> stiger. En ændring i CO<sub>2</sub>-prisen fra 216 kr./ton til 1.500 kr./ton ændrer kun nettoeffekten med 5. kr. pr. ton stenuldsaffald. Resultaterne er derfor meget robuste overfor en ændret prissætning af klimaeffekterne.

Figur 6-9: Betydningen af en højere CO<sub>2</sub>-pris for nettoeffekten for genanvendelse af stenuld (2020-priser)



## 6.4 Beton

Følgende afsnit beskriver resultaterne af den samfundsøkonomiske analyse af genbrug af beton. Dernæst beskriver vi analysens primære usikkerheder. Resultaternes følsomhed over for disse usikkerheder testes ved at foretage følsomhedsberegninger på ændringer i centrale antagelser og nøgleværdier. Analysen omfatter følgende scenarier:

- Basisscenarie: 100 pct. nedrivning og nedknusning af beton
- Alternativscenarie: Den bærende betonkonstruktion bevares og genbruges til en ny bygning

### 6.4.1 Resultater

I dette præsenteres resultaterne for analysen. Resultaterne vises i Tabel 6-5. Den samfundsøkonomiske analyse viser, at der vil være en **netto samfundsøkonomisk gevinst på 1.276 kr. pr. ton betonaffald ved at bevare og genbruge den bærende betonkonstruktion i stedet for at nedrive og nedknuse den.**

Tabel 6-5 Samfundsøkonomisk resultat for beton (kr./ton i 2020-priser)

NETTOEFFEKT
OMKOSTNINGER
HÅNDBTERINGSOMKOSTNINGER

Nedrivning	-455
Nedknusning	115
Oparbejdning af grus	-88
<b>TOTALE HÅNDBTERINGSOMKOSTNINGER</b>	<b>-427</b>
<b>TRANSPORTOMKOSTNINGER</b>	
Fra nedrivning til knusning	49
<b>TOTALE TRANSPORTOMKOSTNINGER</b>	<b>49</b>
<b>GLOBALE EKSTERNE EFFEKTER</b>	
CO <sub>2</sub>	22
PM <sub>2,5</sub>	1
NO <sub>x</sub>	2
SO <sub>2</sub>	1
<b>TOTALE GLOBALE EKSTERNE EFFEKTER</b>	<b>26</b>
<b>LOKALE EKSTERNE EFFEKTER</b>	
Støj	1
Uheld	15
Trængsel	5
Infrastruktur	9
<b>TOTALE LOKALE EKSTERNE EFFEKTER</b>	<b>31</b>
<b>SKATTEFORVRIDNING</b>	
Ændring i afgiftsprovener	-9
<b>TOTAL SKATTEFORVRIDNING</b>	<b>-1</b>
<b>TOTALE OMKOSTNINGER</b>	<b>-323</b>
<b>GEVINSTER</b>	
Undgået produktion af beton	1.549
Undgået transport af betonmaterialer	49
<b>TOTALE GEVINSTER</b>	<b>1.598</b>
<b>NETTORESULTAT</b>	<b>1.276</b>

Kilde: Rambøll

Resultatet er primært drevet af den undgåede produktion af ny beton, hvilket giver en nettoeffekt på 1.549 kr. pr. ton. Modsat er der dog højere nedrivningsomkostninger ved at genbruge betonkonstruktionen, hvor nettoeffekten er -455 kr. pr. ton. Selvom det ikke er hele bygningen, der skal rives ned på en anden måde, når betonen skal genbruges, så er omkostningerne højere ved denne metode. Det skyldes, at det er mere besværligt, når hele konstruktionen ikke bare kan nedbrydes på en gang. Derudover skal betonen typisk afrenses for skruer osv. inden brug.

Det skal dog siges, at genbrug af den bærende konstruktion sætter nogle begrænsninger til, hvordan den nye bygning kan udformes. Den nye bygning skal tage udgangspunkt i udformningen af den eksisterende betonkonstruktion, hvilket sætter krav til arkitekturen af den nye bygning. Det er ikke en omkostningskategori, som vi har taget højde for, men det er blot værd at bemærke, at det sætter begrænsninger sammenlignet med at opføre en ny bygning fra bunden.

#### **Opskalering af det samfundsøkonomiske resultat med den samlede årlige mængde betonaffald, som stammer fra bærende konstruktioner med bevaringspotentiale**

Jf. afsnit 4.3.2 estimeres den samlede årlige mængde betonaffald, som stammer fra bærende betonkonstruktioner med bevaringspotentiale, til ca. 270.000-410.000 tons. Opskaleret resulterer det i en potentiel årlig samfundsøkonomisk gevinst på **ca. 345-525 mio. kr.** ved genbrug af bærende betonkonstruktioner frem for nedknusning. Vi gør opmærksom på, at resultatet er behæftet med en vis usikkerhed og skal fortolkes derefter.

### 6.4.2 Følsomhedsanalyser

Følgende afsnit beskriver de usikkerheder, der er forbundet med analysen. Der laves følsomhedsberegninger på de enkelte usikkerheder. Følsomhedsberegningerne tester følgende parametre:

- Forskellen i nedrivningsomkostninger mellem genbrug vs. nedknusning
- Produktionsomkostningen for ny beton
- En højere samfundsøkonomisk prissætning af CO<sub>2</sub>

Derudover har vi testet effekten ved at ændre transportafstanden, prisen på nedknusning og prisen på grus. Disse parametre har kun marginal betydning for resultatet sammenlignet med de øvrige parametre. De er derfor udeladt i hovedrapporten men fremgår af **Bilag D**.

Tabellen nedenfor giver et overblik analyseresultatets robusthed over for ændringer i de respektive parametre.

**Tabel 6-6 Opsummering på følsomhedsberegninger for beton**

<b>Parameter</b>	<b>Robust over for ændring</b>
Forskellen i nedrivningsomkostninger mellem genbrug vs. nedknusning	Ja
<i>Produktionsomkostninger for ny beton</i>	Ja
<i>Højere samfundsøkonomisk CO<sub>2</sub>-pris</i>	Ja
<i>Prisen på nedknusning af beton</i>	Ja
<i>Enhedsprisen på grus</i>	Ja
<b>Transportafstand til knusning</b>	Ja

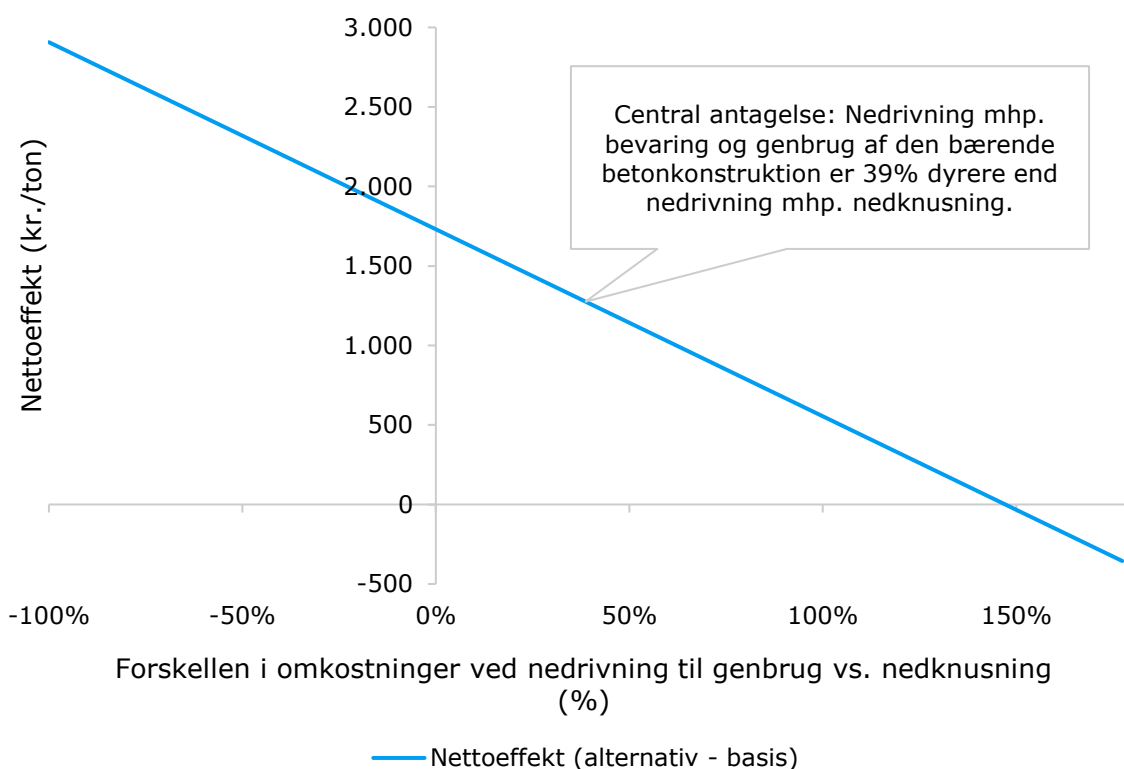
#### 6.4.2.1 Forskellen i nedrivningsomkostninger mellem genbrug vs. nedknusning

I dette afsnit præsenteres følsomhedsanalysen på forskellen i nedrivningsomkostninger mellem hhv. genbrug og nedknusning af beton. Der er en betydelig usikkerhed forbundet med omkostningen til at nedrive betonkonstruktionen, da denne er estimeret på baggrund af statistik for byggeaktiviteten for udvalgte byggerityper, jf. **Bilag B**. Nedrivningsomkostningen i alternativscenariet er 39 pct. højere end i basisscenariet. I følsomhedsanalysen undersøger vi, hvor meget større nedrivningsomkostningen skal være i alternativscenariet, for at det ikke længere kan betale sig at nedrive med henblik på bevaring og genbrug af den bærende betonkonstruktion fremfor nedknusning. Dette betyder med andre ord, at vi analyserer betydningen af at ændre på den relative forskel i nedrivningsomkostninger mellem hhv. basis- og alternativscenariet.

Figuren nedenfor viser nettoeffekten, når den relative forskel i nedrivningsomkostningen ændres. Analysen viser ikke overraskende, at jo dyrere (billigere), det er at nedrive i alternativscenariet relativt til basisscenariet, jo dårligere (bedre) kan det betale sig at bevare betonkonstruktionen.



Figur 6-10 Følsomhedsanalyse for relative nedrivningsomkostninger (2020-priser)



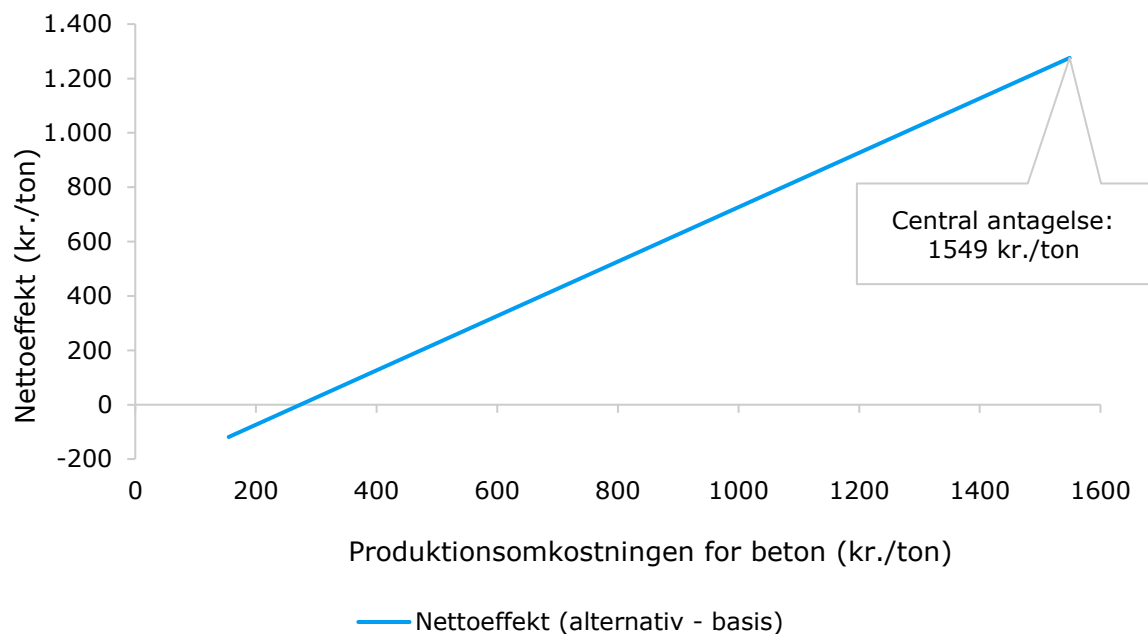
Analysen viser desuden, at den relative nedrivningsomkostning ved bevaring og genbrug af den bærende betonkonstruktion skal være knap 150 pct. højere end nedrivningsomkostningen ved nedknusning (2.907 kr./ton vs. 1.176 kr./ton), før det ikke længere er samfundsøkonomisk rentabelt at bevare den bærende betonkonstruktionen fremfor at nedknuse den. Den relative forskel i nedrivningsomkostninger mellem scenarierne antages i udgangspunktet at være 39 pct. Det skal med andre ord være betydeligt dyrere at nedrive mhp. genbrug frem for nedknusning, end hvad vi antager i nærværende analyse, for at nettoeffekten ændrer fortegn. Vi vurderer derfor, at resultaterne er særdeles robuste over for ændringer i dette parameter.

#### 6.4.2.2 Produktionsomkostningen for ny beton

Følgende afsnit præsenterer resultaterne for følsomhedsanalysen af produktionsomkostningen for ny beton. Den anvendte produktionsomkostning er en usikkerhed i analysen, da den er estimeret ud fra en gennemsnitlig salgspris og en gennemsnitlig fortjeneste for branchen.

Den centrale antagelse i hovedanalysen er en omkostning på 1.549 kr. pr. ton for produktion af ny beton. Følsomhedsanalysens resultat viser, at når omkostningen ved produktion af ny beton reduceres til 274 kr. pr. ton, er det ikke længere samfundsøkonomisk rentabelt at genbruge beton sammenlignet med at nedknuse det, jf. figuren nedenfor. Det svarer til en ændring af produktionsomkostningen med -465 pct., sammenlignet med hvad vi antager i nærværende analyse. Vi vurderer derfor, at det samfundsøkonomiske resultat er særdeles robust over for ændringer i dette parameter.

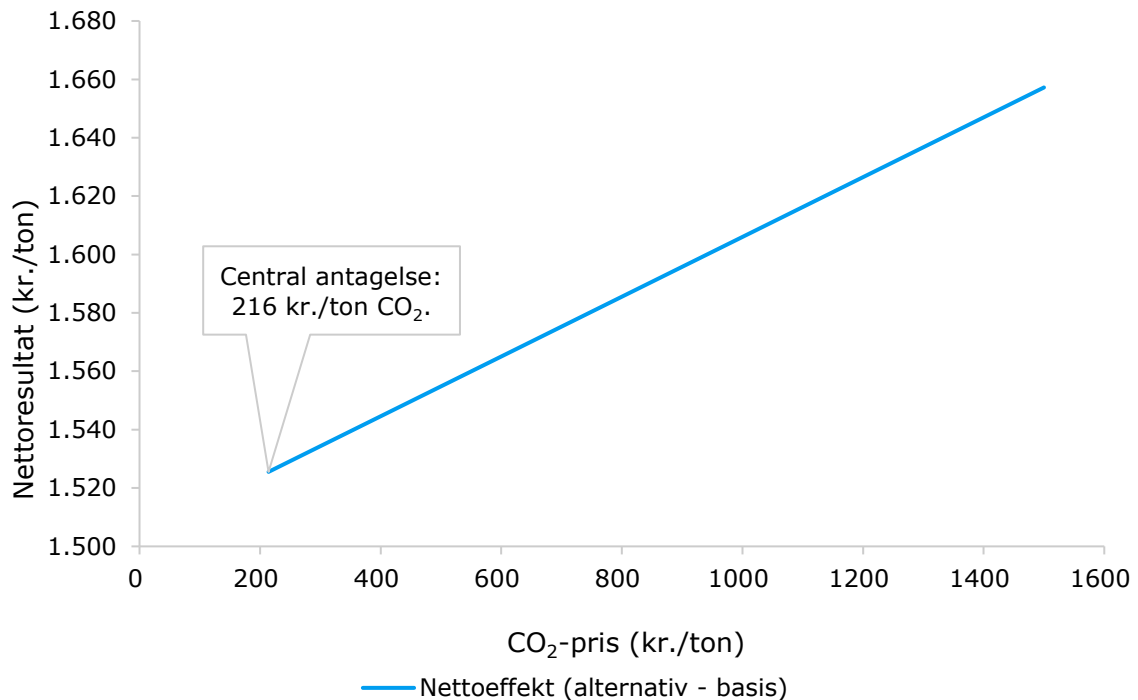
Figur 6-11 Følsomhedsanalyse for produktionsomkostningerne for ny beton (2020-priser)



#### 6.4.2.3 En højere samfundsøkonomisk prissætning af CO<sub>2</sub>

Som det fremgår af det samfundsøkonomiske resultat, spiller miljø- og klimaeffekterne kun en meget beskeden rolle. Dette på trods af, at livscyklusvurderingen viser betydelige klimabesparelser, hvis det er muligt at bevare og genbruge den bærende betonkonstruktion.

Vi har undersøgt resultatets følsomhed overfor ændringer i den anvendte beregningspris for CO<sub>2</sub>-emissioner, jf. figuren nedenfor.

Figur 6-12: Betydningen af en højere CO<sub>2</sub>-pris for nettoeffekten for genbrug af beton (2020-priser)

Analysen viser, at den samfundsøkonomiske nettoeffekt ved genbrug fremfor nedknusning af beton forbedres i takt med, at beregningsprisen for CO<sub>2</sub> stiger. Effekten er dog ganske beskedent. Resultaterne er derfor meget robuste overfor en ændret prissætning af klimaeffekterne.

## 6.5 Interimstræ

Dette afsnit præsenterer resultaterne af den samfundsøkonomiske analyse for genbrug af interimstræ. Afsnittet er opbygget på samme måde som for de foregående materialefraktioner. Analysen tager udgangspunkt i det årlige potentiale på 50.000 tons interimstræ, men resultaterne er afrapporteret pr. ton. Analysescenarierne er:

- Basisscenarie: Interimstræ fra byggepladsen sendes til forbrænding
- Alternativscenarie: Interimstræ fra byggepladsen leveres til en grossist som forarbejder det, så det kan genbruges. Genbrugsprocenten er på 34 pct., mens resten fortsat brændes.

Se bilagsrapporten for detaljer om fremgangsmåden.

### 6.5.1 Resultater

Resultaterne for den samfundsøkonomiske analyse af genbrug af interimstræ fremgår af Tabel 6-7 nedenfor. Analysen viser, at der vil være **en samfundsøkonomisk gevinst på 2.101 kr. pr. ton ved at genbruge interimstræet i stedet for at sende det direkte til forbrænding.**

Tabel 6-7 Samfundsøkonomisk resultat for træ (kr./ton i 2020-priser)

NETTOEFFEKT	
<b>OMKOSTNINGER</b>	
<b>HÅNDTERINGSOMKOSTNINGER</b>	
Omkostninger ved indlevering af affald	340
Rensning og sortering	-718
<b>TOTALE HÅNDTERINGSOMKOSTNINGER</b>	<b>-378</b>
<b>TRANSPORTOMKOSTNINGER</b>	
Omkostninger	0

<b>TOTALE TRANSPORTOMKOSTNINGER</b>	<b>0</b>
<b> Globale eksterne effekter</b>	
CO <sub>2</sub>	13
PM <sub>2,5</sub>	38
NO <sub>x</sub>	7
SO <sub>2</sub>	1
<b>TOTALE GLOBALE EKSTERNE EFFEKTER</b>	<b>60</b>
<b> Lokale eksterne effekter</b>	
Støj	0,3
Uheld	4
Trængsel	2
Infrastruktur	3
<b>TOTALE LOKALE EKSTERNE EFFEKTER</b>	<b>9</b>
<b>SKATTEFORVRIDNING</b>	
Ændring i afgiftsprovener	-114
<b>TOTAL SKATTEFORVRIDNING</b>	<b>-11</b>
<b>TOTALE OMKOSTNINGER</b>	<b>-320</b>
<b>GEVINSTER</b>	
Undgået transport i nyproduktion	222
Undgået produktion af træ	1859
Undgået indlevering af affald	340
<b>TOTALE GEVINSTER</b>	<b>2421</b>
<b>NETTORESULTAT</b>	<b>2101</b>

Kilde: Rambøll

Resultatet er primært drevet af undgået produktion af nyt træ, hvor der er en besparelse på 1.859 kr. pr. ton. Derudover er der også besparelser til transport under produktion af nyt træ samt besparelser til indlevering af træet til forbrænding.

Analysen viser dog også, at der er højere håndteringsomkostninger ved at genbruge end ved at forbrænde træet direkte. Nettoeffekten er -378 kr. pr. ton, hvilket skyldes, at træet skal sorteres og renses efter brug, inden det kan genbruges. De højere omkostninger ved at genbruge opvejes dog af de store gevinster.

De globale eksterne effekter er negative i begge scenarier. Det skyldes, at træet i begge scenarier forbrændes efter brug, hvor det anvendes til energiproduktion. Det tæller derfor positivt i det samfundsøkonomiske regnskab<sup>69</sup>.

#### Opskalering af det samfundsøkonomiske resultat med den samlede årlige mængde interimstræaffald

Jf. afsnit 4.4.2 estimeres den samlede årlige mængde interimstræaffald til ca. 50.000 tons. I analysen antager vi, at 34 pct. af denne mængde interimstræ kan recirkulere to gange i løbet af et år, mens resten frasorteres til forbrænding. Opskaleret resulterer det i en potentiel årlig samfundsøkonomisk gevinst på **ca. 36 mio. kr.** ved genbrug af 17.000 tons interimstræ. Over interimstræets levetid kan det recirkuleres 4-6 gange, hvilket svarer til en samlet samfundsøkonomisk gevinst på **ca. 72-143 mio. kr.** over træets levetid. Vi gør opmærksom på, at resultatet er behæftet med en vis usikkerhed og skal fortolkes derefter.

<sup>69</sup> Effekterne står dog på omkostningssiden i regnestykket her, hvorfor de er negative.

### 6.5.2 Følsomhedsanalyser

Følgende afsnit præsenterer de usikkerheder, som analysen indeholder. Usikkerhederne undersøges ved at lave følsomhedsanalyser på de respektive parametre. Afsnittet er opbygget på samme måde som følsomhedsanalyserne i de foregående afsnit. Følsomhedsberegningerne tester parametrene:

- Produktionsomkostninger for træ
- Frasorteringsprocent på byggepladsen
- Frasorteringsprocent hos grossisten
- En højere samfundsøkonomisk prissætning af CO<sub>2</sub>

Derudover har vi testet ændringer i prisen på at aflevere affald (1.000 kr./ton), timeforbruget ved rensning (5 timer pr. ton), transportafstanden til forbrænding (30 km<sup>70</sup>) samt den undgåede transport af træ fra Sverige (400 km). Da ændringer i disse parametre kun har marginal betydning for resultatet, vises de ikke her, men fremgår i stedet af **Bilag D**.

Tabellen nedenfor giver et overblik over, om resultatet på analysen er robust over for ændringer i de respektive parametre.

**Tabel 6-8 Opsummering på følsomhedsberegninger for træ**

<i>Parameter</i>	<b>Robust over for ændring</b>
<i>Produktionsomkostninger for træ</i>	Ja
<i>Genbrugsprocenten på byggepladsen</i>	Ja
<i>Genbrugsprocenten hos grossisten</i>	Ja
<i>Transportafstand til forbrænding</i>	Ja
<i>Højere samfundsøkonomisk CO<sub>2</sub>-pris</i>	Ja
<i>Transportafstand for nyt træ</i>	Ja
<i>Timeforbrug på rensning af træ</i>	Ja
<i>Prisen på at indlevere træ til forbrænding</i>	Ja

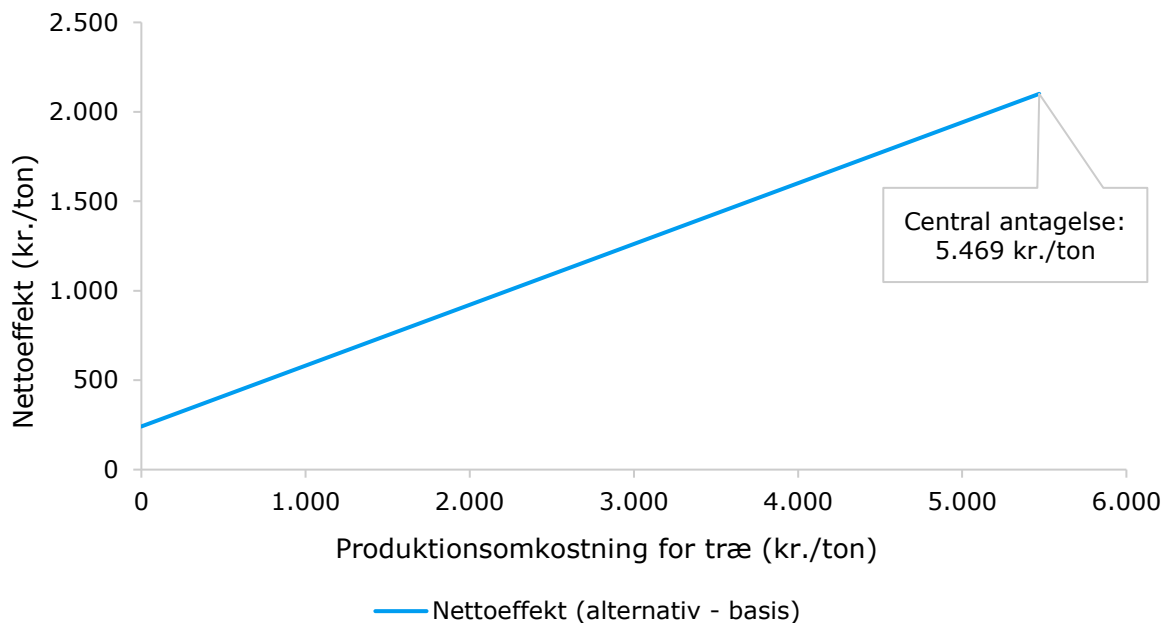
#### 6.5.2.1 Produktionsomkostninger for nyt træ

Afsnittet her præsenterer følsomhedsanalysen for omkostningen ved at producere nyt træ. Den undgåede produktion af nyt træ som følge af genbrug medtages som en gevinst i alternativscenariet. Denne omkostning er beregnet på baggrund af en gennemsnitlig salgspris og gennemsnitlig fortjeneste for hele træindustrien. Det er derfor relevant at undersøge resultatets følsomhed ved ændringer i dette parameter. Den centrale antagelse er en omkostning på 5.469 kr. pr. ton træ.

Figuren nedenfor viser, at en reduktion af produktionsomkostningen for træ ikke ændrer på det overordnede resultat. Uanset hvor lav produktionsomkostningen er, vil det stadig være samfundsøkonomisk rentabelt at genbruge interimstræet i stedet for at forbrænde det efter første brug.

<sup>70</sup> Den samme afstand er anvendt i Miljøstyrelsen (2016) Samfundsøkonomisk analyse af genbrug af mursten og vi har vurderet, at denne var retvisende.

Figur 6-13 Følsomhedsanalyse for produktionsomkostningen for træ (2020-priser)

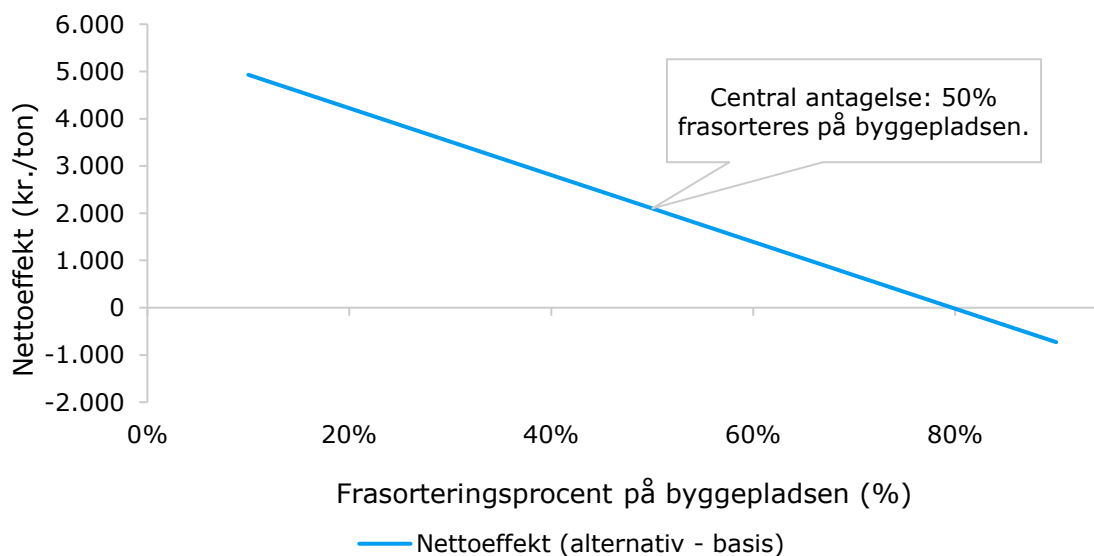


### 6.5.2.2 Frasortingsprocent på byggeplads

Dette afsnit præsenterer betydningen af at ændre på sorteringsprocenten på byggepladsen. Det er relevant at teste denne procentsats, da der er usikkerheder forbundet med den. Antagelsen i hovedanalysen er, at 50 pct. frasorteres på byggepladsen, hvilket vil sige, at 50 pct. sendes til afrensning hos grossisten.

Figuren nedenfor viser, at frasortingsprocenten skal stige til 80 pct., før det ikke længere er samfundsøkonomisk rentabelt at sende træet videre til genbrug. Det vil sige, at så længe mere end 20 pct. af det nedtagne interimstræ har en kvalitet, der muliggør genbrug, så er det bedst at sende træet tilbage til grossisten ud fra et samfundsøkonomisk perspektiv. Vi vurderer på den baggrund, at resultatet er forholdsvis robust over for ændringer i denne parameter.

Figur 6-14 Følsomhedsanalyse for frasortingsprocent på byggepladsen (2020-priser)

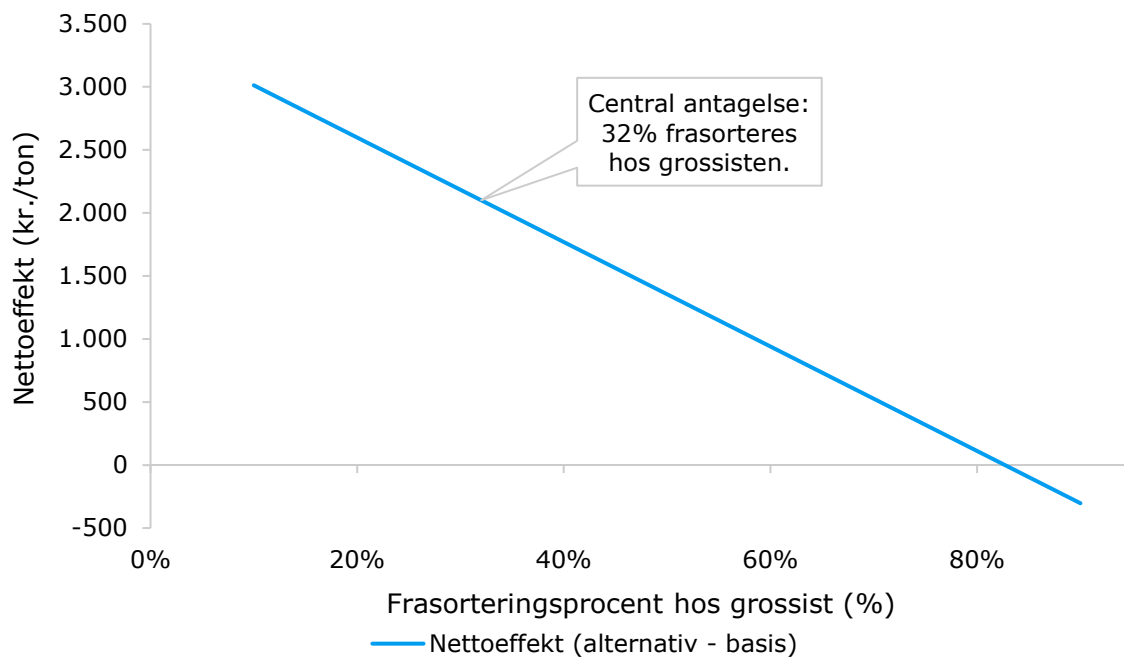


### 6.5.2.3 Frasorteringsprocent hos grossist

Dette afsnit beskriver følsomhedsanalysen for frasorteringsprocenten hos grossisten. Det vil sige den andel, der frasorteres, når grossisten renser træet for søm, skruer osv. Den centrale antagelse er en frasortering på 32 pct., som er baseret på interviews.

Figur 6-15 nedenfor viser, at hvis frasorteringsprocenten hos grossisten stiger til over 83 pct., så kan det ikke længere betale sig samfundsøkonomisk at genbruge interimstræet i stedet for at forbrænde det direkte. Da interimstræet i dag er af en kvalitet, at kun 32 pct. i gennemsnit frasorteres, vurderer vi, at resultatet er være robust overfor ændringer i dette parameter.

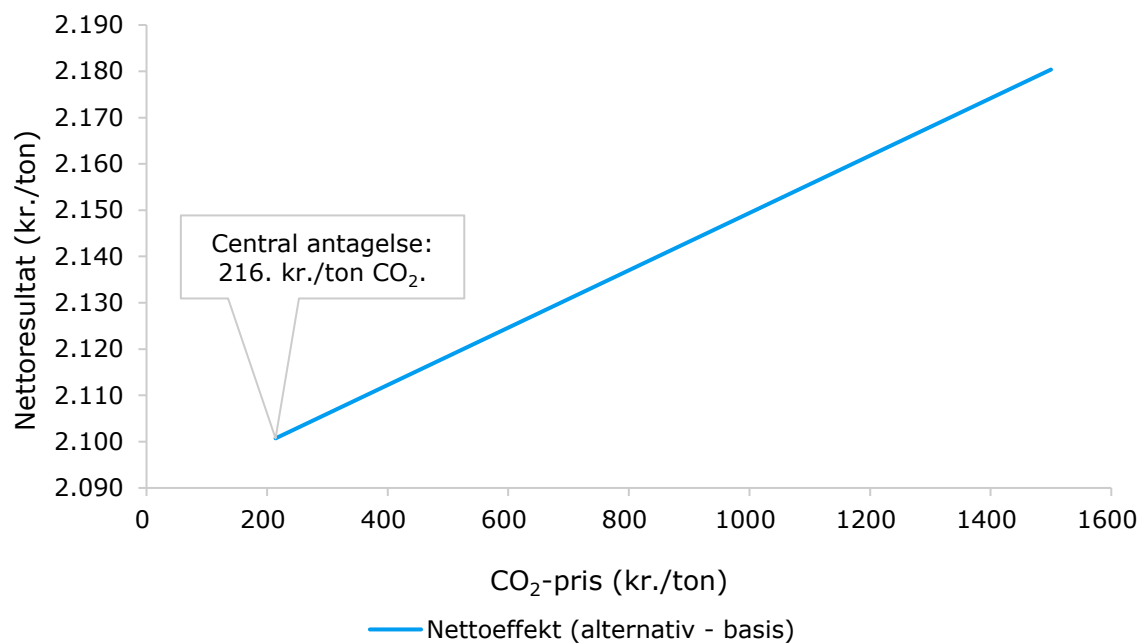
Figur 6-15 Følsomhedsanalyse af frasorteringsprocent hos grossist (2020-priser)



### 6.5.2.4 En højere samfundsøkonomisk prissætning af CO<sub>2</sub>

Som det fremgår af det samfundsøkonomiske resultat, spiller miljø- og klimaeffekterne kun en meget beskeden rolle. Dette på trods af, at livscyklusvurderingen viser betydelige klimabesparelser ved genbrug i stedet for forbrænding af træet direkte efter første brug.

Vi har undersøgt resultatets følsomhed overfor ændringer i den anvendte beregningspris for CO<sub>2</sub>-emissioner, jf. figuren nedenfor.

Figur 6-16: Betydningen af en højere CO<sub>2</sub>-pris for nettoeffekten for genbrug af interimstræ (2020-priser)

Analysen viser, at den samfundsøkonomiske nettoeffekt ved genbrug efterfulgt af forbrænding fremfor direkte forbrænding af interimstræ forbedres i takt med, at beregningsprisen for CO<sub>2</sub> stiger.. En ændring af CO<sub>2</sub>-prisen fra 216 kr./ton til 1.500 kr./ton medfører således en ændring i nettoeffekten på ca. 79 kr./ton interimstræaffald. Resultaterne er derfor meget robuste overfor en ændret prissætning af klimaeffekterne.



## 7. ANALYSE AF TOTALØKONOMISKE KONSEKVENSER

I dette kapitel præsenteres resultaterne af en totaløkonomiske analyse (LCC-analyse) for tre udvalgte byggerityper ved at øge genbruget og genanvendelsen af de fire udvalgte materialefraktioner. Formålet med Kapitlet indledes i afsnit 7.1 med en gennemgang af de overordnede, metodiske principper for udførelse af LCC-analysen. Dernæst præsenteres de tre byggerityper, som er i analysens fokus, i afsnit 7.2. Endelig præsenteres og beskrives resultaterne for den totaløkonomiske analyse på bygningsniveau for de tre byggerityper i afsnit 7.3. Detaljerede beskrivelser af de totaløkonomiske resultater på materialeniveau, herunder anvendte data og materialepriser er præsenteret i **Bilag C** sammen med en række følsomhedsanalyser på de anvendte materialepriser.

### 7.1 Overordnede principper for LCC-beregningerne

Vi gennemfører LCC-beregningerne med udgangspunkt i værktøjet LCCbyg. Formålet med den totaløkonomiske analyse af de udvalgte byggerityper er at kunne sammenligne byggeritypernes omkostningsprofil over deres levetid afhængigt af, om der indgår genbrugte/genanvendte materialer eller ej. Stenuldsfraktionen er ikke medtaget i LCC-beregningerne, fordi prisen er den samme uafhængigt af mængden af genanvendt materiale.

Udførelsen af den totaløkonomiske analyse hviler på følgende overordnede principper:

- **Omkostningsgrupper:** Analysen baseres på et fælles klassifikationsprincip for hvilke omkostninger, der inkluderes. Omfanget af beregninger begrænses til få betydende udgiftsposter, som har stor betydning for resultaterne, jf. vejledningen til LCCbyg<sup>71</sup>. F.eks. kan det være relevant kun at beregne på enkelte bygningsdele, hvis det kun er disse, for hvilke der potentielt vil indgå genbrugte/genanvendte materialer.
- **Indhentning af data:** Indhentning af data udgør som regel den største udfordring i LCC-beregninger. Drifts- og investeringsdata indhentes gennem eksisterende kilder (f.eks. Molio Prisdatabasen, Landsbyggefonden, V&S Prisbøger, Statens Byggeforskningsinstitut, m.fl.) samt på baggrund af Rambølls egne erfaringstal fra gennemsnitlige referencebyggerier. LCCbyg omfatter data om anskaffelsesomkostninger, data om levetider samt og drifts- og vedligeholdelsesomkostninger. Den tager dog ikke hensyn til produktions-, nedrivnings- og bortskaffelsesomkostninger. Netop disse omkostninger er relevante ift. den økonomiske argumentation for f.eks. at genbruge den bærende betonkonstruktion eller genbrug af tagsten. Derfor har vi indsamlet følgende data:
  - Enhedspriser på produktion af de forskellige materialefraktioner
  - Enhedspriser på nedrivning og bortskaffelse
- **Kalkulationsperioden:** Kalkulationsperioden er central, da den afgør hvor stor en andel af de fremtidige omkostninger, der bliver inddraget i analysen. Valget af kalkulationsperiode bør tage hensyn til hvilken byggeritype, som analysen omhandler, samt de enkelte materialers forventede levetid. Vi foretager beregningerne med en kalkulationsperiode på hhv. 50 år og 80 år.
- **Prisudvikling:** Beregningerne foretages i faste 2020-priser.
- **Diskontering og opgørelse af resultater:** For at kunne sammenligne resultaterne på tværs af byggerityper beregner vi nutidsværdien (summen af tilbagediskonterede fremtidige pengestrømme over byggeriets levetid) og årsomkostningen (annuitet af nutidsværdien) af alle relevante omkostninger opgjort for hele bygningen og pr. m<sup>2</sup>.

<sup>71</sup> Introduktion til LCC på bygning, Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen (2016).

## 7.2 Præsentation af de tre byggerityper

I dette afsnit præsenteres de tre forskellige byggerityper, som der efterfølgende gennemføres LCC-beregninger for. Byggerityperne er udvalgt pba. følgende principper og afstemt med TBST:

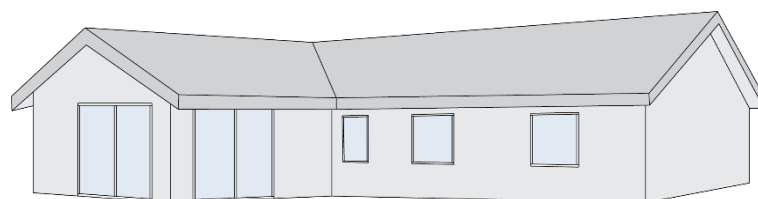
- **Princip 1:** De udvalgte byggerityper skal udgøre store dele af det samlede byggeri.
- **Princip 2:** De udvalgte byggerityper skal kunne skelnes fra hinanden baseret på deres anvendelse.
- **Princip 3:** De udvalgte byggerityper skal ikke dække over for mange forskelligartede typer af bygninger (de skal være standardiserede), da det dels vil komplicere beregningerne og dels betyder, at resultaterne ikke vil være repræsentative for et gennemsnitligt byggeri.

### 7.2.1 Typehus

Det første byggeri, som vi har udvalgt, er et typehus. Typehusets opbygning og mængder er baseret på en klassisk parcelhusopbygning, så det giver et realistisk billede af byggesummer. Beregningen på bygningsniveau giver et klart billede af, hvordan de udvalgte genbrugsfraktioner (beton, stenuld og interimstræ) kan påvirke totalomkostningerne på et typehus.

En illustration af det fiktive typehus fremgår af nedenstående figur.

Figur 7-1: Illustration af typehus



Vi har foretaget nogle antagelser ifm. opbygningen af det fiktive typehus, så anlægssummen svarer til et realistisk typehusbyggeri. Mængder og priser på eks. inventar, installationer, indvendige overflader er hentet fra Molio Prisdatabasen, jf. Bilag C. Forudsætningerne for det fiktive typehus fremgår af nedenstående tabel.

Tabel 7-1 Forudsætninger for typehus

Forudsætning	Input
<i>Totalt etageareal</i>	210 m <sup>2</sup>
<i>Grundplan</i>	210 m <sup>2</sup>
<i>Fundering</i>	Liniefundament
<i>Konstruktionsopbygning</i>	Beton vægelementer Sadeltag med gitterspær

### 7.2.2 Etageboligbyggeri

Den anden byggeritype, som vi har udvalgt, er et etageboligbyggeri, hvor byggeriets opbygning og mængder er baseret på konkrete projekter indenfor de sidste 10 år. Konkret består byggeriet af ca. 3-4 lejligheder per etage med tilhørende kælder og altaner. Det medfører, at LCC-analysen giver et realistisk billede af byggesummerne for det konkrete byggeri. Beregningen på bygningsniveau giver et klart billede af, hvordan de udvalgte genbrugsfraktioner (beton, stenuld og interimstræ) kan påvirke totalomkostningerne på et etageboligbyggeri.

En illustration af det fiktive etageboligbyggeri fremgår af nedenstående figur.

**Figur 7-2: Illustration af etageboligbyggeri**



Der er foretaget nogle antagelser ifm. opbygningen af det fiktive etageboligbyggeri, så anlægssummen svarer til virkelighedsbilledet. Mængder og priser på f.eks. inventar, installationer, indvendige overflader er hentet fra Molio's egne enhedspriser for et typisk etageboligbyggeri, jf. **Bilag C**.

Forudsætningerne for det fiktive etageboligbyggeri fremgår af nedenstående tabel.

**Tabel 7-2 Forudsætninger for etageboligbyggeri**

Forudsætning	Input
<i>Totalt etageareal</i>	1.375 m <sup>2</sup>
<i>Grundplan</i>	275 m <sup>2</sup>
<i>Fundering</i>	Punktfundamenter Pladefundament
<i>Konstruktionsopbygning</i>	Beton vægelementer Betondæk In situ kældervægge Fladt tag

### 7.2.3 Kontorbyggeri

Den sidste byggeritype, som vi har udvalgt, er et typisk kontorbyggeri. Kontorbyggeriets opbygning og mængder er baseret på kontorbyggeri projekter, indenfor de sidste 10 år. Dette medfører, at LCC-analysen giver et realistisk billede af byggesummerne for det konkrete byggeri. Beregningen på bygningsniveau giver et klart billede af, hvordan de udvalgte genbrugsfraktioner (beton, stenuld og interimstræ) kan påvirke totalomkostningerne på et kontorbyggeri.

En illustration af det fiktive kontorbyggeri fremgår af nedenstående figur.

**Figur 7-3: Illustration af kontorbyggeri**



Der er foretaget nogle antagelser ifm. opbygningen af det fiktive kontorbyggeri, således at anlægssummen svarer til virkelighedsbilledet. Mængder og priser på eks. inventar, installationer, indvendige overflader er hentet fra Molio's egne enhedspriser for et typisk kontorbyggeri, jf. **Bilag C**.

Forudsætningerne for det fiktive kontorbyggeri fremgår af nedenstående tabel.

**Tabel 7-3 Forudsætninger for kontorbyggeri**

Forudsætning	Input
<i>Totalt etageareal</i>	1.232 m <sup>2</sup>
<i>Grundplan</i>	308 m <sup>2</sup>
<i>Fundering</i>	Pælefundament Pladefundament Liniefundament
<i>Konstruktionsopbygning</i>	Beton vægelementer Betondæk Beton bjælker og søjler

### 7.3 Resultater af totaløkonomisk analyse på bygningsniveau

I dette afsnit præsenteres resultaterne af LCC-analysen for de tre udvalgte byggerityper. For hver bygningstype er der gennemført LCC-beregninger for et byggeri uden genbrugsmaterialer samt 3-4 forskellige opbygninger med anvendelse af genbrugs- og genanvendelsesmaterialer.

Resultaterne præsenteres som nettonutidsværdien af anlægsomkostningerne for de forskellige opbygninger, som er afrapporteret i en række figurer.

#### 7.3.1 Typehus

I dette afsnit vises og beskrives LCC-beregningen på bygningsniveau. Formålet med analysen er at sammenligne anlægssummerne i en situation med og uden brug af genbrugsmaterialer. Opbygningen og dermed materialemængderne i det fiktive typehus er baseret på opbygningen af et typisk dansk parcelhus/typehus, jf. afsnit 7.2.1.

De totaløkonomiske omkostninger er blevet undersøgt for fem forskellige opbygninger af typehuset, hvilke fremgår af tabellen nedenfor.

**Tabel 7-4 Forskellige opbygninger af typehuset og tilhørende energiforbrug**

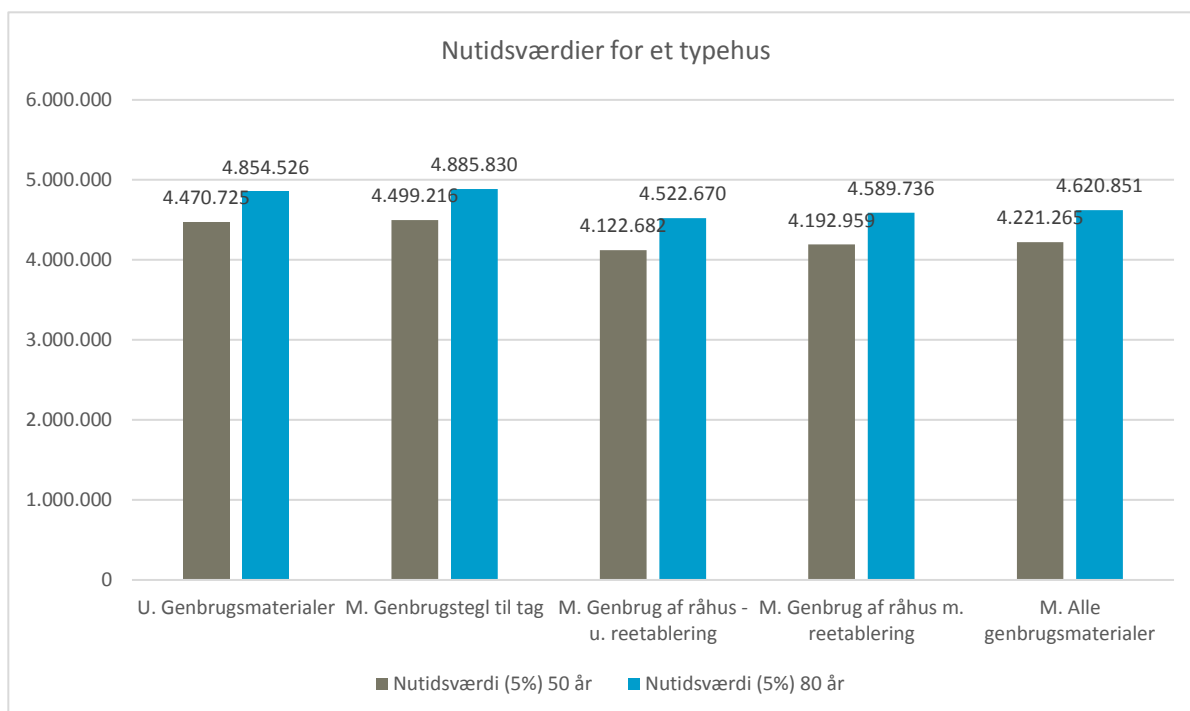
Nr.	Beskrivelse	Energiforbrug (kWh/år)
<b>1</b>	Nyt Typehus uden genbrugsmaterialer (basisscenarie) <ul style="list-style-type: none"> <li>Eksisterende hus rives ned, og der bygges nyt</li> <li>Det nye typehus er opbygget, så det opfylder energikravene for BR20</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>27 kWh/m<sup>2</sup>/år</li> <li>5.670 kWh/år</li> </ul>
<b>2</b>	Nyt Typehus med genbrugsmaterialer (beton, stenuld, tegltagsten) <ul style="list-style-type: none"> <li>Eksisterende hus rives ned, råhuset bevares og der anvendes stenuld og genbrugs tegltagsten i den nye opbygning</li> <li>Der foretages en reetablering af terrændæksopbygningen</li> <li>Byggeriet opfylder renoveringsklasse 2 med et tillæg på 20% for varmetabet igennem terrændækket</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>70,0 kWh/m<sup>2</sup> pr. år tillagt 2.200 kWh pr. År</li> <li>16.900 kWh/år</li> </ul>
<b>3</b>	Nyt Typehus med genbrug af råhus (inkl. fundamenter) <ul style="list-style-type: none"> <li>Eksisterende hus rives ned og råhuset bevares</li> <li>Der foretages en reetablering af terrændæksopbygningen, så det opfylder energikravene i renoveringsklasse 2 jf. bygningsreglementet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>70,0 kWh/m<sup>2</sup> pr. år tillagt 2.200 kWh pr. År</li> <li>16.900 kWh/år</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Andre nye opbygninger opfylder også energikravene i renoveringsklasse 2 jf. bygningsreglementet</li> </ul>	
<b>4</b>	<p>Nyt Typehus med genbrug af råhus (inkl. fundamenter)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Eksisterende hus rives ned og råhuset bevares</li> <li>• Der foretages ikke en reetablering af terrændæksopbygningen</li> <li>• Der regnes efter en opfyldelse af renoveringsklasse 2, men med et tillæg på 20% for varmetabet igennem terrændækket</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 70,0 kWh/m<sup>2</sup> pr. år tillagt 2.200 kWh pr. År</li> <li>• 20.280 kWh/år inkl. 20% tillæg ift. energiramme kravet for BR18's renoveringsklasse2</li> </ul>
<b>5</b>	<p>Nyt Typehus med genbrugstegltagsten</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Eksisterende hus rives ned og der bygges nyt, hvor der anvendes genbrugstegltagsten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 27 kWh/m<sup>2</sup>/år</li> <li>• 5.670 kWh/år</li> </ul>

#### 7.3.1.1 Sammenligning af nutidsværdi for forskellige opbygninger

I det efterfølgende sammenlignes nutidsværdierne for de forskellige opbygninger af typehuset over hhv. en 50 og 80-årig periode. Analysen viser at den dyreste opbygning, er genbrugstegl til et nyt tag. Derefter følger opbygningerne nyt hus uden brug af genbrugsmaterialer, nyt hus med genbrug af beton, tegltagsten og stenuld og til sidst etableringen af et nyt hus med genbrug af betonråhus og fundamenter.

Resultaterne er illustreret i figuren nedenfor.

**Figur 7-4: Nutidsværdien for forskellige opbygninger af et typehus**


Kilde: Rambøll

Analysen viser, at det er ca. 0,6 % dyrere at bygge huset med brug af genbrugstagsten, hvilket hovedsageligt skyldes den lidt højere enhedspris for genbrugstegltagsten. Markedsprisen på genbrugstagsten er dog stærkt varierende, hvilket undersøges i følsomhedsanalysen for teglstens pris.

Endvidere viser analysen, at det er 7,8 % billigere at genbruge råhuset uden reetableringen, i det tilfælde, at der kan søges dispensation for efterstenuld af terrændækket. Med reetableringen kan det stadig svare sig økonomisk, da det er 6,2% billigere end nybyg-scenariet. Grunden til dette kan spores tilbage til de lavere omkostninger til fjernvarme.

Samtidig indikerer analysen, at det er rentabelt at genbruge råhuset, da de nuværende priser for nedrivning og efterbehandling er lavere end enhedspriserne for ny beton.

### 7.3.2 Etageboligbyggeri

I dette afsnit vises og beskrives LCC-beregningen på bygningsniveau. Formålet med analysen er at sammenligne anlægssummen i en situation med og uden brug af genbrugsmaterialer. Opbygningen og dermed mængderne i det fiktive etageboligbyggeri er baseret på opbygningen af et typisk dansk parcelhus/typehus, jf. afsnit 7.2.2.

De totaløkonomiske omkostninger er blevet undersøgt for de opbygninger af et etageboligbyggeri, som fremgår af nedenstående tabel.

**Tabel 7-5 Forskellige opbygninger af etageboligbyggeri og tilhørende energiforbrug**

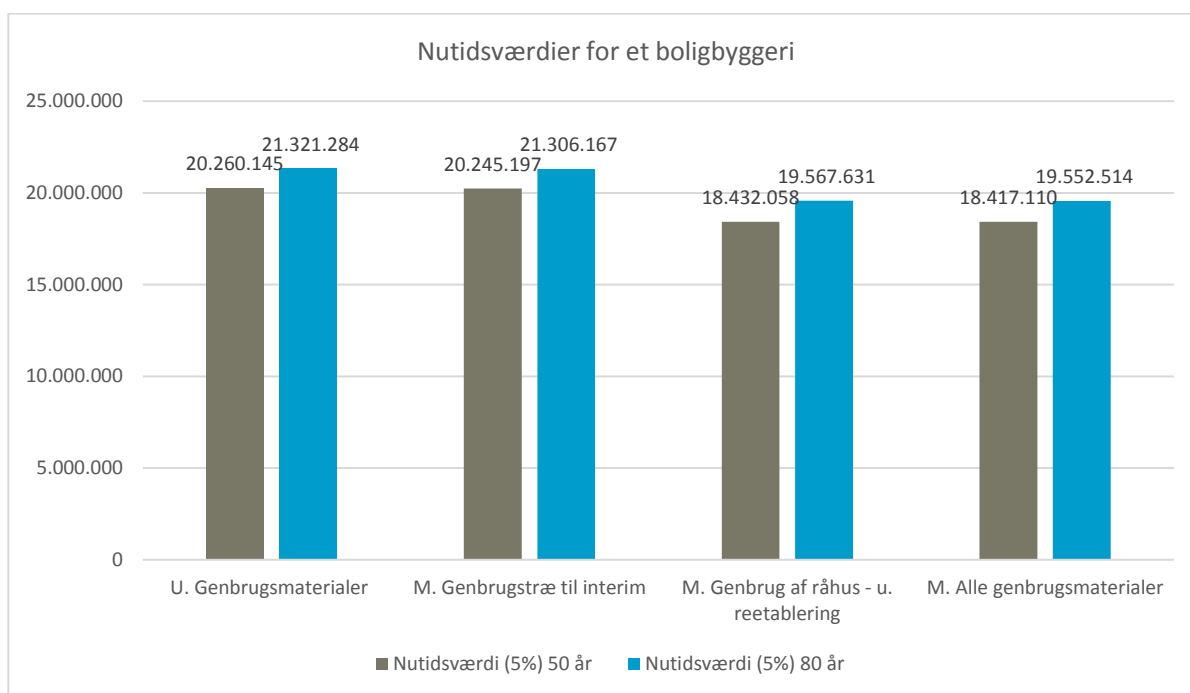
Nr.	Beskrivelse	Energiforbrug (kWh/år)
<b>1</b>	Nyt etageboligbyggeri uden genbrugsmaterialer (basisscenarie) <ul style="list-style-type: none"> <li>Eksisterende byggeri rives ned, og der bygges nyt</li> <li>Det nye etageboligbyggeri er opbygget, så det opfylder energikravene for BR20</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>27 kWh/m<sup>2</sup>/år</li> <li>37.125 kWh/år</li> </ul>
<b>2</b>	Nyt etageboligbyggeri med genbrugsmaterialer (beton, stenuld, tegltagsten) <ul style="list-style-type: none"> <li>Eksisterende hus rives ned, råhus bevares og der anvendes genbrugsstenuld og genbrugstegltagsten i den nye opbygning</li> <li>Der foretages ikke en reetablering af terrændæksopbygningen</li> <li>Byggeriet opfylder renoveringsklasse 2, med et tillæg på 20% for varmetabet igennem terrændækket</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>70,0 kWh/m<sup>2</sup> pr. År tillagt 2.200 kWh pr. År</li> <li>118.140 kWh/år inkl. 20% tillæg ift. Energiramme kravet for BR18's renoveringsklasse 2</li> </ul>
<b>3</b>	Nyt etageboligbyggeri med genbrug af råhus (inkl. fundamenter) <ul style="list-style-type: none"> <li>Eksisterende hus rives ned og råhuset bevares</li> <li>Der foretages ikke en reetablering af terrændæksopbygningen</li> <li>Byggeriet opfylder renoveringsklasse 2, med et tillæg på 20% for varmetabet igennem terrændækket</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>70,0 kWh/m<sup>2</sup> pr. År tillagt 2.200 kWh pr. År</li> <li>118.140 kWh/år inkl. 20% tillæg ift. Energiramme kravet for BR18's renoveringsklasse 2</li> </ul>
<b>4</b>	Nyt etageboligbyggeri med genbrugstræ til interim <ul style="list-style-type: none"> <li>Eksisterende hus rives ned og der bygges nyt, hvor der anvendes genbrugstræ til interim</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>27 kWh/m<sup>2</sup>/år</li> <li>37.125 kWh/år</li> </ul>



### 7.3.2.1 Sammenligning af nutidsværdi for forskellige opbygninger

I det efterfølgende sammenlignes nutidsværdierne for de forskellige opbygninger af typehuset over hhv. en 50 og 80-årig periode. Analysen viser, at den dyreste opbygning er nybyg efterfulgt af nybyg med anvendelse af genbrugstræ til interim, genbrug af råhus u.reetablering og til sidst den billigste opbygning med brug af alle genbrugsmaterialer.

Figur 7-5 Nutidsværdien for forskellige opbygninger i et etageboligbyggeri



Kilde: Rambøll

Det er ca. 9,0 % billigere at bygge etageboligbyggeriet med alle genbrugsmaterialer end nybyg (u. genbrugsmaterialer). Det skyldes bl.a. den store mængde beton, der genbruges samt genbrugstræ til interim. Forskellen mellem prisen for anvendelse af alle genbrugsmaterialer og genbrug af kun råhus uden reetablering af terrændæksopbygning er udelukkende den lidt lavere pris på genbrugstræ til interim. Da det er en engangspris har den dog ikke større indflydelse på nutidsværdien for byggeriet denne beregningsperiode.

### 7.3.3 Kontorbyggeri

I dette afsnit vises og beskrives LCC-beregningen på bygningsniveau. Formålet med analysen er at sammenligne anlægssummen i en situation med og uden brug af genbrugsmaterialer. Opbygningen og dermed mængderne i det fiktive kontorbyggeri er baseret på opbygningen af et typisk dansk parcelhus/typehus, jf. afsnit 7.2.3.

De totaløkonomiske omkostninger er blevet undersøgt for de opbygninger af et kontorbyggeri, som fremgår af nedenstående tabel.

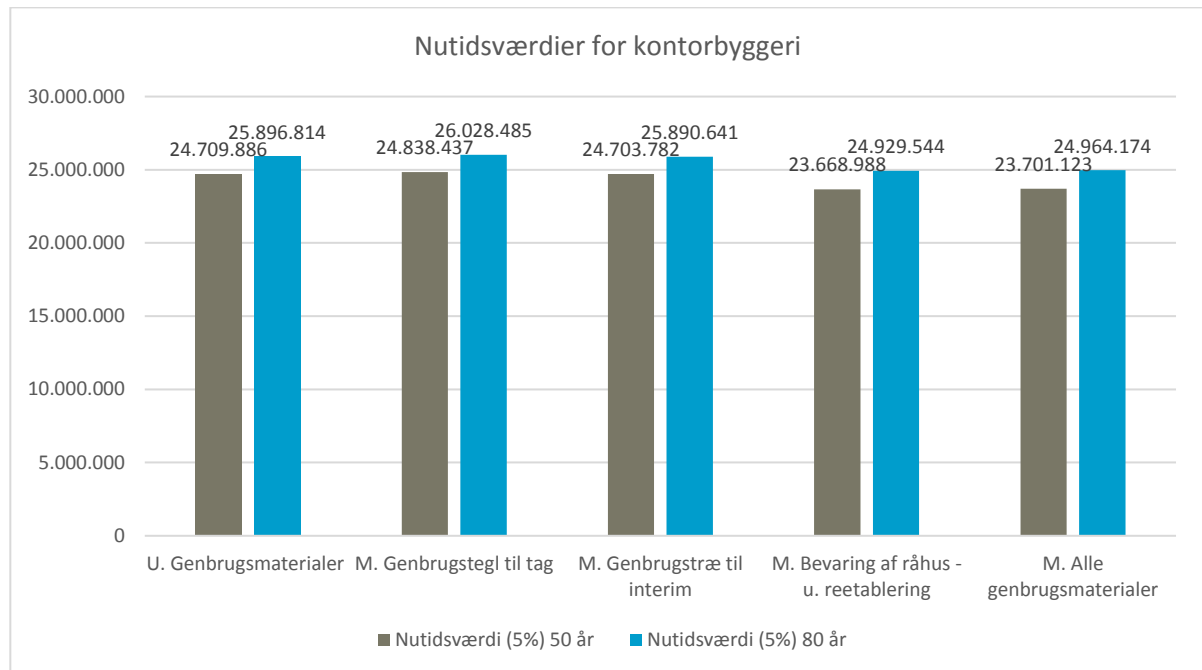
**Tabel 7-6 Forskellige opbygninger for kontorbyggeri og tilhørende energiforbrug**

Nr.	Beskrivelse	Energiforbrug (kWh/år)
<b>1</b>	Nyt kontorbyggeri uden genbrugsmaterialer (bassiscenarie) <ul style="list-style-type: none"> <li>• Eksisterende byggeri rives ned, og der bygges nyt</li> <li>• Det nye kontorbyggeri er opbygget, så det opfylder energikravene for BR20</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 27 kWh/m<sup>2</sup>/år</li> <li>• 33.264 kWh/år</li> </ul>
<b>2</b>	Nyt kontorbyggeri med genbrugsmaterialer (beton, stenuld, tegltagsten) <ul style="list-style-type: none"> <li>• Eksisterende hus rives ned, råhus bevares, og der anvendes genbrugsstenuld og genbrugs tegltagsten i den nye opbygning</li> <li>• Der foretages ikke en reetablering af terrændækket</li> <li>• Byggeriet opfylder renoveringsklasse 2, med et tillæg på 20% for varmetabet igennem terrændækket</li> </ul>	70,0 kWh/m <sup>2</sup> pr. år tillagt 2.200 kWh pr. år <ul style="list-style-type: none"> <li>• 106.128 kWh/år inkl. 20% tillæg ift. energiramme kravet for BR18's renoveringsklasse 2</li> </ul>
<b>3</b>	Nyt kontorbyggeri med genbrug af råhus (inkl. fundament) <ul style="list-style-type: none"> <li>• Eksisterende hus rives ned og råhuset bevares</li> <li>• Der foretages ikke en reetablering af terrændækket, så det opfylder energikravene i renoveringsklasse 2</li> <li>• Byggeriet opfylder renoveringsklasse 2, med et tillæg på 20% for varmetabet igennem terrændækket</li> </ul>	70,0 kWh/m <sup>2</sup> pr. år tillagt 2.200 kWh pr. år  106.128 kWh/år inkl. 20% tillæg ift. energiramme kravet for BR18's renoveringsklasse2
<b>4</b>	Nyt kontorbyggeri med genbrugstegltagsten <ul style="list-style-type: none"> <li>• Eksisterende hus rives ned, og der bygges nyt</li> <li>• Der anvendes genbrugstegltagsten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 27 kWh/m<sup>2</sup>/år</li> <li>• 33.264 kWh/år</li> </ul>
<b>5</b>	Nyt etageboligbyggeri med genbrugstræ til interim <ul style="list-style-type: none"> <li>• Eksisterende hus rives ned, og der bygges nyt, hvor der anvendes genbrugstræ til interim</li> </ul>	27 kWh/m <sup>2</sup> /år  33.264 kWh/år

### 7.3.3.1 Sammenligning af nutidsværdi for forskellige opbygninger

I det efterfølgende sammenlignes nutidsværdierne for de forskellige opbygninger af typehuset over hhv. en 50 og 80-årig periode. Analysen viser, at den dyreste opbygning er nybyg efterfulgt af nybyg med anvendelse af genbrugstræ til interim, brug af alle genbrugsmaterialer. Den billigste opbygning er med genbrug af råhus uden reetablering.

Figur 7-6 Nutidsværdien for forskellige opbygninger i et kontorbyggeri



Kilde: Rambøll

Analysen viser, at opbygning uden genbrugsmaterialer er marginalt billigere end brug af genbrugstegl til tag. Samtidig viser analyser, at det er ca. 4 % billigere at bygge kontorbyggeriet med genbrug af beton end ved hjælp af nybyg uden genbrugsmaterialer. Det skal dog påpeges, at der i dette scenarie regnes med højere energiforbrug, da alle andre bygningsdele lever op til energikravene for BR 18's renoveringsklasse 2. Hvis terrændæksopbygningen skulle nedbrydes og genetableres efter nye energikrav, vil det kræve nogle større omkostninger som muligvis ikke vil gøre scenariet økonomisk rentabelt.

## 8. AFDÆKNING AF ANVENDELSESMULIGHEDER, BARRIERER OG MULIGE LØSNINGER FOR ØGET CIRKULARITET I BYGGERIET

Denne del af analysen har til formål at afdække anvendelsesmuligheder, barrierer og mulige løsninger for de fire fraktioner beton, stenuld, tagsten og interimstræ (træ brugt midlertidigt til afspærring, gelænder mv.). I tillæg hertil analyseres barrierer og mulige løsninger for øget spånpladeproduktion. Den kvalitative analyse bygger på et omfattende litteraturstudie samt over 25 eksplorative og semistrukturerede interview med aktører i byggebranchen generelt og specifikt inden for de fire fraktioner, der er fokus i denne analyse, både i Danmark og i udlandet.

I det følgende analyseres først de tværgående muligheder og udfordringer ([afsnit 9.1](#)) og derefter de fire fraktioner hver for sig, ligesom vi inddrager og perspektiverer til internationale erfaringer med genbrug og genanvendelse indenfor de fire fraktioner ([afsnit 9.2-9.5](#)). Analysen af barrierer og mulige løsninger knytter sig op på de forskellige elementer i værdikæden, jf.

Figur 8-1.

For de fire fraktioner beskrives desuden de forskellige muligheder for øget genbrug og genanvendelse, som er afdækket i litteraturen og interviewene. Dernæst analyseres det specifikke scenarie for genbrug eller genanvendelse for hver af de fire fraktioner, som er valgt i kapitel 4. Scenariet analyseres ud fra den specifikke markedsmodel, der er med til at drive den cirkulære økonomi for hver af de fire fraktioner. Desuden kommer Rambøll med anbefalinger til, hvordan en øget cirkularitet kan opnås i inden for de fire fraktioner.

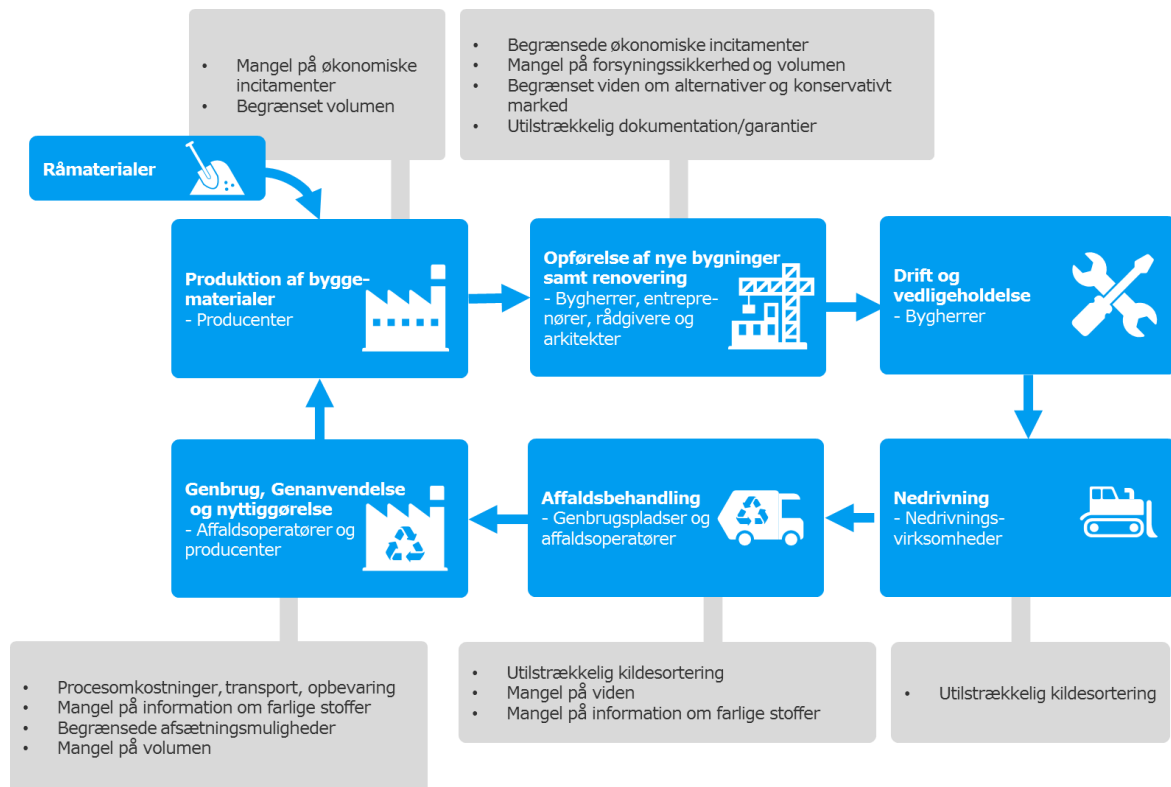
### **8.1 Tværgående udfordringer og mulige løsninger for øget cirkularitet i byggeriet**

På tværs af de fire fraktioner peger litteratur og interview på en række muligheder, men også barrierer for et velfungerende marked for øget cirkularitet. Fælles for beton, tagsten og interimstræ er, at der mangler et økonomisk bæredygtigt marked for andre løsninger end nedknusning eller forbrænding med henblik på anden materialenyttiggørelse. Samme tendens ses i byggebranchen generelt, hvor ca. 1/5 af branchens virksomheder oplever, at en central barriere for øget cirkularitet er det manglende økonomiske incitament<sup>72</sup>. For stenuld og træ til spånpladeproduktion er der et eksisterende marked for genanvendelse, hvor barriererne for at øge genanvendelsen er af en anden karakter og derfor behandles selvstændigt i det efterfølgende.

Desuden oplever godt 40 pct. af virksomhederne i byggebranchen, at dokumentation af kvaliteten for de genbrugte og genanvendte byggematerialer er en central barriere for øget genbrug og genanvendelse<sup>73</sup>. Nedenstående figur opsummerer udfordringerne for øget cirkularitet i byggeriet samt hvilke dele af værdikæden, der påvirkes af disse udfordringer.

<sup>72</sup> Teknologisk Institut (2018): Cirkulær økonomi sætter dagsorden i fremtidens byggeri

<sup>73</sup> Teknologisk Institut (2018): Cirkulær økonomi sætter dagsorden i fremtidens byggeri

**Figur 8-1 Opsummering af udfordringerne for cirkulær økonomi i byggeriet og påvirkning på værdikæden**


I det følgende præsenteres de enkelte barrierer og deres påvirkning samt mulige løsninger, struktureret efter de enkelte led i værdikæden. For leddet "drift og vedligeholdelse" kan der ikke identificeres barrierer i forbindelse med øget cirkularitet, og dette led indgår derfor ikke i nedenstående analyse.

### 8.1.1 Produktion af byggematerialer

Producenterne af byggematerialer fremstiller nye materialer til brug for byggebranchen. I denne del af værdikæden kan brugt materiale i nogle tilfælde genanvendes og indgå som en del af produktionen. Et eksempel på dette er stenuldsfabrikanter (primært Rockwool), som genanvender stenuld i produktionen. Generelt i byggebranchen angiver godt halvdelen af de danske byggevareproducenter, at de fremstiller produkter, hvor det er muligt at genanvende materialer, komponenter eller bygninger<sup>74</sup>.

For genbrug er det imidlertid anderledes. Jo mere der genbruges, jo mindre producerer producenterne af byggematerialer. For producenter af byggematerialer (i denne analyse specifikt betonfabrikanter samt tagstensfabrikanter) er incitamentet til at genbruge derfor ikke-eksisterende.

#### 8.1.1.1 Mangel på økonomiske incitamenter for genbrug af byggematerialer

Litteraturen og interview viser, at det er i producentledet, at de økonomiske incitamenter er lavest. For *genbrug* er incitamenterne som nævnt ikke-eksisterende, og det anses ikke for realistisk, at producenterne vil indgå som en aktiv spiller i at øge genbrug af byggematerialer, da dette medfører en nedgang i deres egen produktion. Dermed ses producentledet ikke som et led, der kan påvirkes væsentligt indenfor genbrug af fraktionerne beton, tagsten og interimstræ (men for sidstnævnte kan grossistledet).

<sup>74</sup> Teknologisk Institut (2018): Cirkulær økonomi sætter dagsorden i fremtidens byggeri

### Mulig løsning

Grundet ovenstående forhold har det ikke været muligt at identificere nogle relevante løsninger på manglen på økonomiske incitamentter i producentledet.

#### 8.1.1.2 Manglende volumen for genanvendelse af byggematerialer

I forhold til *genanvendelse* er der en økonomisk bæredygtig markedsmodel for både stenuld og træ til spånpladeproduktion. En central barriere for at opskalere denne markedsmodel er en manglende volumen i indsamlede materialer. For stenuld indsamles i øjeblikket 34 pct. af markedets kapacitet<sup>75</sup>. For stenuldsfraktionen er der især to barrierer for en øget volumen: Den ene er en utilstrækkelig udsortering i nedrivningsledet, som behandles selvstændigt i afsnit 9.3.2.2, og den anden er samarbejdet med primært indsamlings-/affaldsbehandlingsledet, som med fordel kan udvides.

For spånpladeproduktion er indsamlingsandelen ca. 80 pct. af markedets kapacitet. Specifikt for genanvendelse af træ handler det i højere grad om, at producentledet ikke er i stand til – eller villig til – at aftage mere -dvs. forretningsmodellen balancerer således ved den indsamlede mængde af træ. Spånpladeproduktion med genanvendt træ har fungeret som marked i mange år og har dermed løst mange barrierer gennem årene. En central løsning har været at have et tæt samarbejde med indsamlings-/affaldsbehandlingsledet for derigennem at sikre, at træet sorteres korrekt.

#### Mulig løsning: Tæt samarbejde med andre led i værdikæden (primært indsamlere)

Stenuldsproducenterne (primært Rockwool) har et tæt samarbejde med indsamlingsledet i form af RGS Nordic. En måde at øge volumen på kunne være et samarbejde med flere indsamlere eller flere genbrugsstationer.

Et tættere samarbejde i værdikæden fordrer, at det gøres økonomisk attraktivt i nedrivningsledet at sortere bedre. Dog vil den også kræve en betydelig indsats fra producentledet, som må gøre op med sig selv, om det er en reel (økonomisk) mulighed at indgå i denne dialog. Omvendt viser interview også, at den efterfølgende bearbejdning af fraktionerne bliver dyrere.

#### 8.1.2 Opførelse af nye bygninger samt reovering

Bygherreledet, som er økonomisk ansvarlig for opførelse af nye bygninger og reovering, er en central spiller i den cirkulære økonomi i byggeriet. Dette hænger sammen med, at bygherrens krav og forventninger har betydning for, hvilke byggematerialer, der efterspørges, hvilke materialer, der anvendes i byggeriet, hvordan bygningen opføres, samt hvordan affald sorteres og nyttiggøres.

Når bygherren stiller krav om, at byggematerialerne skal indeholde genanvendte materialer, skaber bygherren et marked i og med, at producenterne får en tilskyndelse til at levere byggematerialer med genanvendte materialer, og at arkitekterne, entreprenørerne og håndværkerne giver tilbud, der indeholder genbrugte eller genanvendte materialer<sup>76</sup>.

Omvendt kan rådgivere i høj grad også inspirere bygherrer til at genbruge og genanvende materialer og kan således være en driver for øget genbrug og genanvendelse<sup>77</sup>. Summa

<sup>75</sup> Interview med stenuldsproducent

<sup>76</sup> Teknologisk Institut (2018): Bygherrens rolle i den cirkulære økonomi. Note: Udover bygherren har andre forhold såsom teknologi, lovgivning, skatter eller afgiftssystemer naturligvis også betydning for byggeriets udformning.

<sup>77</sup> Miljøstyrelsen (2019): Establishing effective markets for secondary building materials

summarum er dog, at bygherren står med det økonomiske ansvar for byggeriet og dermed har en væsentlig nøgle til at få gang i den cirkulære økonomi i Danmark<sup>78</sup>. Skal dette lykkes, er der dog en del barrierer, der skal overvindes. Disse vil blive analyseret nedenfor.

### 8.1.2.1 Mangel på økonomiske incitament og manglende efterspørgsel

I bygherreledet nævnes mangel på økonomiske incitament som en af de centrale barrierer. Undersøgelser viser dog også, at en stor del af bygherrerne ikke ved, hvad der udgør de største barrierer<sup>79</sup>, hvilket indikerer, at en del bygherrer ikke arbejder cirkulært i dag.

1/3 af alle bygherrer ser det som en omkostning at stille krav om genbrug og genanvendelse<sup>80</sup>. Interview viser, at dette som oftest hænger sammen med, at nedrivningsprocessen tager længere tid og dermed er dyrere, når der stilles krav om nedtagning til genbrug og genanvendelse.

Der er dog også lidt under 1/3 af alle bygherrer, der får økonomien til at gå lige op ved krav om genbrug og genanvendelse<sup>81</sup>. Interview viser, at det især er ved brug af genanvendte materialer, som stenuld og træ til spånpladeproduktion, at økonomien hænger sammen i alle led af værdikæden, hvorimod det især for tagsten er dyrere at anvende genbrugte materialer. Når et byggeri renoveres og de bærende betonelementer efterlades, er dette typisk også en dyrere proces end at nedrive med henblik på nedknusning. At den samfundsøkonomiske analyse giver et positivt resultat, skyldes primært den undgåede produktion af ny beton, hvorimod nedrivningsomkostningerne ved at genbruge betonkonstruktionen er højere end ved nedrivning med henblik på knusning af beton.

Både for beton, tagsten og træ er der en central udfordring med en manglende efterspørgsel for de genbrugte produkter, hvilket hænger tæt sammen med det ovenstående manglende økonomiske incitament i bygherreledet samt i nogen grad den manglende volumen. Der er et velfungerende marked for anvendelse af tegl og beton som fyldmateriale og som erstatning for stabilgrus ved anlægsarbejder (veje etc.). Derfor er der ikke et incitament til at holde disse materialer indenfor byggeriets værdikæde. Udfordringen er dog, at når byggeaffald "downcycles" i affaldshierarkiet (som i ovenstående tilfælde), bliver det også mindre værd. F.eks. koster nedknust beton til vejfyld ca. 40 kr. pr. ton, hvilket er en 50 gange værdiforringelse i forhold til et nyt betonelement<sup>82</sup>.

Prisen spiller også ind på villigheden til at genbruge og genanvende byggematerialer. Fx efterspørges genbrugsbeton sjældent, da den pt. er dyrere end ny (jomfruelig) beton.<sup>83</sup> Derfor er efterspørgslen efter genbrugte og genanvendte materialer til andre anvendelser beskeden, og afsætningen sker hovedsageligt på privat basis til priser, der normalt ligger lavere end nye produkter, medmindre de har en særlig historie eller værdi<sup>84</sup>.

Det manglende marked for genbrugte produkter for beton, tagsten og træ medfører, at omkostningerne ved at være først på markedet er høje. Dette er en central barriere for ikke mindst bygherren, som står med det økonomiske ansvar for byggeriet. Interview viser da også, at både for tegl og træ er de virksomheder, der er på markedet i dag, drevet af filantropiske overvejelser snarere end økonomiske. På sigt skal forretningsmodellen være solid, men det er

<sup>78</sup> Teknologisk Institut (2018): Bygherrers rolle i den cirkulære økonomi. Note: Udover bygherren har andre forhold såsom teknologi, lovgivning, skatter eller afgiftssystemer naturligvis også betydning for byggeriets udformning.

<sup>79</sup> Teknologisk Institut (2018): Bygherrers rolle i den cirkulære økonomi. Her svarer ca. 40 pct. af de interviewede bygherrer, at de ikke ved, hvilke udfordringer der er i at stille krav om genbrug og genanvendelse.

<sup>80</sup> Teknologisk Institut (2018): Bygherrers rolle i den cirkulære økonomi.

<sup>81</sup> Teknologisk Institut (2018): Bygherrers rolle i den cirkulære økonomi.

<sup>82</sup> Aarhus Kommune (2017): Cirkulær økonomi i byudvikling.

<sup>83</sup> MST Forprojekt (2017): Affaldsforebyggelse i byggeriet.

<sup>84</sup> MST Forprojekt (2017): Affaldsforebyggelse i byggeriet.



ikke tilfældet for nuværende for de virksomheder, der indgår i denne analyse. For beton genbruges råmurene stort set ikke i dag, og det er dermed vanskeligt at vurdere, om denne forretningsmodel er økonomisk bæredygtig.

### **Mulig løsning 1: Skatterabat og ændret lovgivning**

Bygherren kan igennem brug af økonomiske incitamenter påvirkes til at bygge med genbrugte materialer eller materialer med en vis andel af genanvendt indhold. Dette kan fx være igennem en skatterabat, hvis det kan påvises, at der er brugt genbrugte/genanvendte materialer.

Denne løsning vil kunne indarbejdes relativt hurtigt, hvis den kan opnå politisk opbakning. Løsningen fordrer, at der er tilstrækkelige mængder af de enkelte fraktioner til stede, som bygherren kan lade indgå i nybyggeri eller renovering. Der er derfor behov for at løse udfordringerne i nedrivningsleddet, før en sådan rabat vil have en reel virkning. Dog kan det være med til at hjælpe bygherrerne til at tænke anderledes og mere strategisk på den cirkulære økonomi, end tilfældet er i dag.

Desuden kan det overvejes, om man på samme måde, som der er krav til energiforbrug ved opførelse og renovering i Bygningsreglementet, kan indtænke krav til brug af genbrugte og genanvendte materialer. Dette kunne være via krav om en vis procentdel af genbrugte og genanvendte materialer i nyt byggeri samt ved renoveringsprojekter. Denne løsning er dog også betinget af, at tilstrækkeligt volumen af de genbrugte og genanvendte materialer kan opnås, og vil derfor primært være relevant på den mellemlange eller lange bane.

### **Mulig løsning 2: Krav om bæredygtighed i indkøb i form af øget genbrug og genanvendelse – fra politisk hold og frivilligt**

En anden måde at drive byggebranchen frem mod øget genbrug og genanvendelse er at stille krav om bæredygtighed i indkøb i form af øget genbrug og genanvendelse. Krav om øget genbrug og genanvendelse i offentlige indkøb på byggeriområdet kan således være med til at skubbe på denne udvikling.

Bygherren kan opfordres til i udbud at stille krav om brug af genbrugs- og genanvendte materialer i byggerier. De offentlige bygherrer, som f.eks. kommuner, har en særlig rolle at spille i forhold til at være med til at drive det private marked. Dette ses blandt andet i Norge, hvor flere offentlige bygherrer stiller krav om CO<sub>2</sub>-regnskaber for byggepladser. Her kan der være brug for markedsdialoger med de private udbydere for i fællesskab at undersøge, hvilke løsninger markedet kan designe. I Danmark findes der ligeledes eksempler på kommuner, der er lykkedes med dette, f.eks. ved nedrivningen af Gl. Gladsaxe skole, hvor både mursten og tagsten blev nedrevet og genbrugt på andre af kommunens bygninger. Dette gav kommunen en samlet besparelse på ca. 1,3 mio. kr.<sup>85</sup> Krav i udbud om øget genbrug og genanvendelse kan således ikke alene skubbe på markedsudviklingen, men kan potentielt også spare penge i kommunerne.

I udbuddene kan der også indtænkes alternative tildelingskriterier som f.eks. afsætning af materialer. Rambøll foreslår desuden, at man bør tænke i udbudsformer som fx konkurrencepræget dialog (hvis det er muligt i den konkrete situation), der kan fremme længerevarende samarbejder mellem flere aktører og skabe grundlag for en samudvikling af øget genbrug og genanvendelse. Litteraturen peger også på dette<sup>86</sup>, uden at det dog skal føre til monopollignende tilstande.

<sup>85</sup> <https://www.gladsaxebladet.dk/2017/09/baeredygtig-nedrivning-giver-pengegevinst/>

<sup>86</sup> MST Forprojekt (2917): Affaldsforebyggelse i byggeriet og SBI (2015): Genbrug af byggevarer

Krav om bæredygtighed i form af genbrug og genanvendelse i indkøb kan også være med til at øge fokus på at bevæge sig opad i affaldshierarkiet og kan være medvirkende til, at det vil være lettere at planlægge nedrivning til genbrug og genanvendelse. Der kan stilles lovkrav om kortlægning af bygninger inden nedrivning, som kan sikre, at de materialer, som er egnede til direkte genbrug, nedrives selektivt. Det kan ligeledes sikres at evt. indhold af farlige stoffer registreres, så spredning undgås. Det er i forvejen krav om miljøscreening ved nedrivning af byggerier. Herudover må der arbejdes mod at sikre mere tid til den faktiske nedrivning af en bygning således, at genbrug og genanvendelse kan fremmes.<sup>87</sup> Rambøll vurderer, at der relativt enkelt ville kunne stilles krav om øget genbrug og genanvendelse i udbud, men at det kræver en indsats i form af at sikre governance og monitorering i de enkelte organisationer og dermed sikre, at det bliver fast praksis, at kravene stilles og overholdes.

### **Mulig løsning 3: Ressourcekortlægning**

Desuden kan man fra myndighedsside stille krav til bygherren om, at der skal udarbejdes en ressourcekortlægning. En ressourcekortlægning etablerer et overblik over, hvilke ressourcer en bygning indeholder. Ressourcekortlægningen kan bruges som et værktøj til at genbruge ressourcerne samt vurdere ressourcernes afsætningsmuligheder, når bygningen renoveres eller rives ned<sup>88</sup>, og kunne potentielt indgå i et bygningspas. Desuden kan ressourcekortlægningen danne grundlag for, at ressourcerne kan bruges så højt oppe i affaldshierarkiet som muligt, og eventuelt som direkte genbrug. I kombination med en miljøkortlægning giver ressourcekortlægningen grundlaget for at få kildesorteret bygningens ressourcer korrekt og for at etablere en ressourceplan eller nedrivningsplan<sup>89</sup>.

Der er for nuværende udarbejdet forslag fra myndighedsside til, hvordan en ressourcekortlægning kan gennemføres<sup>90</sup>, men det vil være en relativt omkostningsfuld løsning at indarbejde det ved hver renovering eller nedrivning. Det vil givet være nødvendigt at afsætte mere tid i projektet til ressourcekortlægning/ressourceudnyttelsesplan, der med fordel kan udarbejdes i et tværfagligt fællesskab<sup>91</sup>. Løsningen vil derfor sandsynligvis kræve, at omkostningerne til nedrivning nedbringes, da det ellers ikke vil være økonomisk interessant for aftagerne. Men lykkes det at nedbringe omkostningerne, kan en ressourcekortlægning være et godt redskab til at fastslå, hvad der er af muligheder for genbrug og genanvendelse i et givent byggeri.

En måde at sikre indarbejdelse af en ressourcekortlægning kan være at opfordre offentlige (og andre store) bygherrer til at udvikle nye udbudsformer, der fremmer tværfagligt samarbejde, hvor interessenterne har samme interesser<sup>92</sup>.

#### **8.1.2.2 Manglende viden om alternativer til nye materialer**

Interview og den eksisterende litteratur viser, at bygherrer har manglende viden om alternativerne til nye materialer, herunder omkostningerne forbundet med brug af genbrugsmaterialer. Dette giver en lav efterspørgsel og en uklar betalingsvillighed.<sup>93</sup> For både beton og tagsten viser interview også manglende viden om omkostningerne forbundet med at stille krav om øget genbrug/bevaring af disse fraktioner. Det hænger blandt andet sammen med, at få bygherrer på nuværende tidspunkt har en generel strategi for at øge genbruget og genanvendelsen i byggeriet. Genbrug af byggematerialer befinder sig således fortsat på et niveau,

<sup>87</sup> SBI (2015): Genbrug af byggevarer

<sup>88</sup> Miljøstyrelsen (2018): Ressourcekortlægning af bygninger

<sup>89</sup> Miljøstyrelsen (2018): Ressourcekortlægning af bygninger

<sup>90</sup> Miljøstyrelsen (2018): Ressourcekortlægning af bygninger

<sup>91</sup> MST Forprojekt (2017): Affaldsforebyggelse i byggeriet

<sup>92</sup> MST Forprojekt (2017): Affaldsforebyggelse i byggeriet

<sup>93</sup> Se også Miljøstyrelsen (2019): Establishing effective markets for secondary building materials

hvor forskellige aktører eksperimenterer med forskellige løsninger, hvilket især kan ses i forhold til genbrug af beton, genbrug af tagsten og genbrug af interimstræ i nærværende analyse.

Den manglende viden i værdikæden om, hvordan materialer kan genbruges, er en medvirkende årsag til, at fraktionerne beton, tagsten og træ sjældent nedrives med genbrug for øje<sup>94</sup>. Dermed beskadiges materialerne og er ikke tilgængelige til genbrug efterfølgende.

Den manglende viden om mulighederne for genbrug og genanvendelse hænger også sammen med, at der er et velfungerende marked for henholdsvis afbrænding og nedknusning til anden materialenyttiggørelse af byggematerialer, og at der derfor ikke har været et incitament for aktørerne i værdikæden til at overveje andre afsætningsmuligheder. Desuden er den eksisterende bygningsmasse ikke designet til adskillelse og genbrug, og krav til nedrivning med genbrug for øje har dermed ikke været indtænkt i den oprindelige opførelse af byggeriet. En central udfordring for bygherrerne, hvis de skal bygge mere cirkulært, er adgangen til de genbrugte og genanvendte materialer. Hvis det ikke er muligt at få adgang til genbrugsmaterialerne eller de genanvendte byggematerialer i de mængder, der skal til, kan den cirkulære markedsmode ikke fungere.

### **Mulig løsning 1: Redefinering af rollerne i værdikæden**

I værdikæden mangler dels en klar forståelse af, hvad de enkelte led i værdikæden kan bidrage med, og dels klare roller og rollefordelinger mellem branchens aktører. Dette kan betyde, at f.eks. bygherren skal have en bredere rolle i værdikæden og skal være med til at stille krav til nedrivere, så der kan nedrives til genbrug og genanvendelse. Det kan også være, at byggecentre skal være deponi eller mellem-deponi for genbrugsmaterialer, lige som det f.eks. ses, at STARK er for interimstræ. Disse roller skal gentænkes på tværs af værdikæden.

Denne løsning kræver, at værdikædens aktører alle er villige (eller kan se incitamentet for) til at redefinere værdikædens roller og indgå i et øget samarbejde, hvilken skal drives af en af aktørerne i værdikæden. Det kan fx være bygherreleddet da finansieringen af byggeriet ligger her.

Interview peger på, at en formidler er relevant for at viden om mulighederne for øget genbrug og potentielt genanvendelse er kendt i alle led af værdikæden. Et konkret eksempel er tagsten, hvor der er brug for en "mellemand" til fx at oplyse nedriverne om, hvilken kvalitet af tagsten, der er nødvendige for videresalg og hvordan nedrivning foretages med henblik på genbrug. Samme logik vil kunne overføres til fraktionerne beton og træ.

Formidleren har typisk en rolle, hvor virksomheden indsamler eller modtager affald fra nedrivning og / eller byggeprocesser, behandler det til standardiserede, certificerede produktkategorier og markedsfører og distribuerer produkterne til potentielle købere. Et eksempel på en formidler er RGS Nordic, der samarbejder med Rockwool om indsamling, sortering og granulering af stenuld. Etableringen af en returordning for stenuld og det efterfølgende partnerskab blandt værdikædens aktører sikrer afsætningsmulighederne for stenuld og spreder risikoen blandt aktørerne. Lignende samarbejder kunne potentielt etableres for de øvrige produkter.

Denne formidlende rolle kan udover affaldsindsamlere påtages af fx nedrivere eller virksomheder, der har genbrug og genanvendelse som specialområde. I tilfælde af affald, der genereres under byggeprocessen, kan materialeleverandøren også påtage sig rollen ved tilbagemagningsordninger eller, mere radikalt ved at overtage materialelogistikken på stedet. Men uanset hvem der til sidst træder ind i denne rolle, vil det kræve tid at udvikle den organisatoriske opsætning og drifts- og markedsføringserfaring<sup>95</sup>.

<sup>94</sup> MST forprojekt affaldsforebyggelse

<sup>95</sup> Miljøstyrelsen (2019): Establishing effective markets for secondary building materials

## Mulig løsning 2: Oplysningskampagner og øget formidling af muligheder

For at øge efterspørgslen kan det overvejes at gennemføre oplysningskampagner, der oplyser byggeriets aktører om, hvordan byggematerialer kan genbruges og genanvendes yderligere. Det er nødvendigt at opbygge viden og kapacitet hos bygherrer, men også nedrivere og virksomheder, der håndterer affald, for at sikre at bygningerne nedrives korrekt og affaldet sorteres korrekt.<sup>96</sup> Det kan overvejes, om denne kapacitetsopbygning skal foregå i brancheorganisationsregi i form af kurser, så omkostningerne ikke tilfalder producenter eller virksomheder, der formidler salg af affald.

Kampagnerne kan rettes mod rådgivere og arkitekter, som typisk influerer bygherrer, men også mod bygherren. I sidstnævnte led i værdikæden er det væsentligt at sandsynliggøre gevinsterne ved øget genbrug og genanvendelse, da det økonomiske incitament er begrænset for nuværende. Endvidere kunne kampagnerne fokusere på at oplyse især bygherrer men også offentligheden om den miljømæssige gevinst ved at genbruge beton og tagsten.

### 8.1.2.3 Manglende garantier og manglende dokumentation

Hvis det skal lykkes at øge genbrugs- og genanvendelsesgraden er det nødvendigt at kunne dokumentere, at materialerne er af en kvalitet og holdbarhed, der kan sidestilles med nye materialer. For stenvuld og træ til spånpladeproduktion er dette lykkedes ved, at materialerne undergår de samme kvalitetstest som nye materialer. Genbrugte tagsten og beton testes ikke på samme måde. Genbrugte tagsten er ikke omfattet af de samme garantier som nye tagsten, og det samme er tilfældet med beton, når elementer tages ud af eksisterende bygninger og genbruges i andre byggerier. Det påvirker i høj grad kundernes villighed til at overveje genbrugsmaterialer som en mulighed og er derfor en central barriere for efterspørgslen. Dette, selvom tal fra branchen indikerer, at fx genbrugte tagsten har en lige så god og måske endda bedre holdbarhed end nye tagsten<sup>97</sup>, og at garantier for holdbarheden vil være mulige at stille.

Godt halvdelen af bygherrerne stiller krav om sporbarhed og dokumentation i genbrugte og genanvendte byggematerialer. Hvis denne dokumentation ikke kan opnås, eller hvis produktets kvalitet og holdbarhed ikke kan påvises via garantier, er der en økonomisk risiko ved at anvende især genbrugte, men potentielt også genanvendte materialer. Den står bygherren i så fald alene med<sup>98</sup>.

Faren er, at ovenstående mekanismer sætter en så effektiv bremse for markedet, at det aldrig når at udvikle sig til et økonomisk bæredygtigt marked<sup>99</sup>. Derfor er det væsentligt at finde en måde at adressere denne barriere på, i hvert fald i en opstartsperiode.

## Mulig løsning 1: Statslige initiativer, der støtter op om cirkulære løsninger

Et eksempel på et statsligt initiativ, der støtter op om cirkulære løsninger, er den hollandske Green Deal. Denne aftale har til formål at hjælpe virksomheder, der ønsker at arbejde mere cirkulært med at fjerne eventuelle barrierer. Green Deal er primært relevant for virksomheder, der arbejder med cirkulære løsninger, der er profitable eller forventes at blive det inden for kort tid. Desuden giver Green Deal virksomhederne, der ønsker at arbejde cirkulært, mulighed for direkte sparring med repræsentanter fra centraladministrationen.

<sup>96</sup> SBI (2015): Genbrug af byggevarer og MST (2019): Establishing effective markets

<sup>97</sup> Center for bygningsbevaring, Raadvad (2012): genbrug og genoplægning af gamle teglsten  
[https://www.bygningsbevaring.dk/uploads/files/anvisninger/19-ANVISN\\_Tegltag\\_genoplaegning.pdf](https://www.bygningsbevaring.dk/uploads/files/anvisninger/19-ANVISN_Tegltag_genoplaegning.pdf)

<sup>98</sup> Miljøstyrelsen (2019): Establishing effective markets for secondary building materials

<sup>99</sup> Miljøstyrelsen (2019): Establishing effective markets for secondary building materials

## DEN HOLLANDSKE GREEN DEAL

Green Deal henvender sig primært til virksomheder, der står overfor at skulle bruge sin cirkulære ide på markedet, men som står overfor en række barrierer, der gør det vanskeligt at udnytte potentialet.

I praksis skitserer ansøgerorganisationen (virksomhed, brancheorganisation eller NGO) deres forretningside, de barrierer, der står i vejen for at realisere den, og potentielt de mulige løsninger. Udvælges ansøgerorganisationen, underskrives en Green Deal med regeringen om et samarbejde i to til tre år. Det foreslåede initiativ skal være i overensstemmelse med de politiske mål, være rentabelt, eller have potentialet til at blive det, og bør kunne demonstrere resultater inden for tre år.

Kilder: <https://business.gov.nl/subsidy/green-deal/> <https://www.greendeals.nl/english>  
<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/case-studies/green-deal>

I Danmark arbejder Miljø- og Fødevareministeriet med at undersøge, hvorledes en Green Deal kan udrulles.

Detaljerne er endnu ikke kendte, men det er forventningen, at også den primært kommer til at fokusere på barrierer af ikke-økonomisk karakter. Det vurderes dermed, at løsningen vil kunne implementeres relativt hurtigt, i det der forventes politisk opbakning bag initiativet.

### Mulig løsning 2: Frivillig test og materialepas

Som nævnt er det bygherren, der bærer størstedelen af risikoen for kvaliteten af de genbrugte materialer. Standarder for genbrugte materialer vil kunne være med til at sprede denne risiko<sup>100</sup>.

I Holland, Belgien og Tyskland arbejdes der aktivt med frivillige tests, som de to nedenstående eksempler viser.

<sup>100</sup> Miljøstyrelsen (2019): Establishing effective markets for secondary building materials og MST forprojekt affaldsforebyggelse

## CERTIFICERING OG STANDARDISERING HAR VÆRET EN VÆSENTLIG FAKTOR I HOLLAND, BELGIEN OG TYSKLAND

En udpræget udfordring ved genanvendelse er materialernes historik og kvalitet. Til en vurdering af kvalitet er der i Holland oprettet certificeringer, som kan garantere for materialets kvalitet, såsom genbrugsbetons styrke. Certificeringer har hjulpet med at anskue genbrugsmaterialet som et produkt og ikke som affald og har gjort det lettere at sælge og dermed skabt en markedsplads. Det offentlige har krævet en vis procentdel af materialet blev genbrugt eller anvende materialer som i højere grad kunne genanvendes i deres byggeprojekter. Affaldsindsamling er blevet standardiseret på tværs af virksomheder og kommuner, for at skabe et egentligt marked for genbrugsmaterialer.

Også i andre lande arbejder man med standarder. I Belgien og Tyskland findes der veletablerede standarder for genanvendte materialer i byggeriet. Den tyske standard dækker brug af aggregater i anlægsprojekter. Den flamske standard og tilhørende certificering adresserer og katalogiserer hvordan affaldet opstår, indsamles og transporteres, samt hvordan de genanvendelige materialer vurderes inden de modtages på et nedknusningsanlæg.

De kendte byggecertificeringsordninger – f.eks. BREEAM (BRE Environmental Assessment Method), DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen), HQE (Haute Qualité Envi-ronnementale) and LEED (Leadership in Energy & Environmental Design) – indeholder også affaldskomponenter, men disse ordninger dækker kun en brøkdel af bygge- og anlægsmarkedet. BREEAM certificeringen belønner affaldsforebyggelse ved byggeri og mindre affald til deponering, samt for anvendelse af aggregater i byggeri og design der reducerer affaldsdannelse ved renovering.

Kilde: Interview med Bouwend Nederland og MST forprojekt (2017): Affaldsforebyggelse i byggeriet

En anden mulighed for at imødegå udfordringerne med manglende garantier/dokumentation og manglende volumen er igennem brugen af et materialepas. Materialepasset har til formål at få deklareret byggematerialer i forhold til deres "rejse" og gælder både nye, genbrugte og genanvendelige materialer. Et materialepas indeholder oplysninger om det enkelte byggemateriale/det enkelte produkt, og dermed en række produktoplysninger der kan fremme genanvendelse og genbrug<sup>101</sup>. I tillæg til materialepasset kan det overvejes at arbejde med et bygningspas, som kortlægger de enkelte bygninger. Bygningspasset kan blandt andet give information om, hvor materialerne i byggeriet er placeret. Dette betyder, at de genbrugelige materialer og de skadelige stoffer kan lokaliseres og derved håndteres mere effektivt<sup>102</sup>.

I Holland har myndighederne arbejdet med materialepas, som har været med til at bane vejen for et marked for genbrugte og genanvendte materialer.

<sup>101</sup> Teknologisk Institut (2019): Analyse af bygnings- og materialepas

<sup>102</sup> Teknologisk Institut (2019): Analyse af bygnings- og materialepas

## MATERIALEPAS

Holland er langt i arbejdet med generelle krav til materialepas, der dækker over materialerne i bygninger, vandledninger og veje. Både offentlige og private aktører er gået sammen om at udarbejde et standardiseret materialepas, som viser materialets "rejse" i form af indhold, hvad det tidligere har været behandlet med og lignende historiske data. Det offentlige har adopteret disse standarder og banet vejen for et marked. I Holland arbejdes der på at udvikle et fælles udgangspunkt, da deres tidligere materialepas ikke er standardiseret og sammenlignelige. Der er nedsat en platform kaldet Circulair Bouwen in 2023, CB23 (Cirkulært Byggeri i 2023). Formålet er at undersøge, hvilket detaljeniveau/hvilken detaljeringsgrad passet skal indeholde, samt hvordan det skal fungere med ejerskab, data og data beskyttelse. Platformen består af både offentlige og private, heriblandt de ti største byggevirksomheder. Regeringen ønsker materialepasset skal gøres lovpligtigt. I mellemtiden er flere virksomheder begyndt at anvende et materialepas udviklet af Madaster. Madaster tilbyder opbevaring af data og dokumenter om bygningen (dvs. en form for bygningspas), samt udformning af materialepas til både det private og professionelle marked. Der skal betales en årlig afgift, som afhænger af hvilke services, der vælges og størrelsen af projektet.

Kilde: Interview med Bouwend Nederland samt Teknologisk Institut (2019): Analyse af bygnings- og materialepas

Løsningen med at udvikle og anvende et materialepas vurderes at have en stor effekt på at stimulere efterspørgslen på markedet og frigøre bygherren fra at stå med den økonomiske risiko for at genbruge og genanvende materialer, hvor holdbarheden ikke bliver dokumenteret (uagtet, at holdbarheden ofte er på niveau med holdbarheden i nye materialer). Dog vil der også skulle sættes anseelige ressourcer af til at udforme en organisation, der kan udarbejde materialepasset. Alternativt kan opgaven sættes i udbud, som det er sket i Holland, hvor en privat virksomhed udarbejder materialepas. Mulighederne for en fælleseuropæisk tilgang til materialepas kan også undersøges, således at det i højere grad er muligt at bruge produkterne på tværs af landegrænser.

### 8.1.3 Nedrivning

I nedrivningsleddet ser flere aktører et stort potentiale for at arbejde mere med cirkulær økonomi fremadrettet, både økonomisk (øget handel med andre aktører i værdikæden) samt i forhold til at nedriverne kan profilere sig som bæredygtige. Flere store nedrivere har en klar strategi for at øge arbejdet med genbrug og genanvendelse, men er udfordrede af, at det ultimativt er bygherren, der bestemmer, hvad der skal nedrives til genbrug eller udsorteres til genanvendelse<sup>103</sup>. Et centralt dilemma er, at der for bygherrerne er øgede nedrivningsomkostninger, hvis materialerne skal genbruges, mens nedriverne kun har et marked, hvis bygherren er villig til at betale for de øgede omkostninger.

Som markedet fungerer for nuværende, er det den enkelte nedrivers ansvar at finde en afsætningsmulighed. Hvis ikke der er en aftager til materialerne, bliver de således ikke nedrevet

<sup>103</sup> Interview med nedrivningsvirksomhed og Teknologisk Institut (2019): Cirkulær økonomi – hele vejen rundt i byggebranchen

med henblik på genbrug/genanvendelse. Større nedrivere har mulighed for i en begrænset periode at opbevare materialerne, men de skal på forhånd have en aftale med en aftager før der gør det. For interimstræ er det lykket at få etableret en markedsmodel, hvor grossistledet er aftageren, men det er endnu ikke en økonomisk bæredygtig markedsmodel. For beton og tagsten skal efterspørgslen drives gennem aftaler fra nedrivningsprojekt til nedrivningsprojekt mellem to aktører, som selv skal kunne finde hinanden. Der er således ingen markedsmechanisme, som kan facilitere efterspørgslen i en større skala. En forklaring herpå er, at der allerede eksisterer et økonomisk bæredygtigt marked for beton og tagsten (nedknuses til anden materialeudnyttelse) og træ (sendes til forbrænding), og det er derfor primært disse eksisterende genanvendelsesmuligheder, som indtænkes<sup>104</sup>. For stenuld er der et eksisterende marked for genanvendelse, men der kan også identificeres økonomiske barrierer for at øge andelen af genanvendt stenuld yderligere, som især hænger sammen med udgifter forbundet til øget udsortering.

### **8.1.3.1 Øgede omkostninger ved nedrivning til genbrug og genanvendelse**

Især for fraktionerne beton og tagsten er der økonomiske barrierer i værdikæden, som kan bremse et egentligt marked for øget genbrug og genanvendelse. Dette skyldes især nedrivningsledet, hvor arbejdsgangene ved nedrivning til især genbrug tager længere tid, end hvis genbrug/genanvendelsen ikke skulle indtænkes. Bygherrens manglende incitament til at betale for disse arbejdsgange medfører blandt andet, at der sjældent er tid til at forberede nedtagning med henblik på genbrug og genanvendelse, eller at finde afsætningsmuligheder til materialer der kunne være blevet genbrugt<sup>105</sup>. Dette hænger sammen med, at lønomsætningerne relativt til materialeomkostningerne udgør den største del af de samlede byggeomkostninger. Det kan medføre, at det bliver vanskeligt at gøre det økonomiske attraktivt at nedrive med genbrug og genanvendelse for øje. Det betyder, at det i udgangspunktet ikke kan betale sig at bruge meget tid på nedrivning med henblik på genbrug eller genanvendelse (eller forarbejdning andetsteds i værdikæden). Denne barriere er en af de helt centrale barrierer for at få gang i den cirkulære økonomi, eftersom de øgede omkostninger til nedrivning er en af de største økonomiske poster.

### **Mulig løsning – automatisering af manuelle processer**

En mulig løsning for at nedbringe omkostningerne ved nedrivning til genbrug og genanvendelse er at arbejde med at afdække, om det er muligt yderligere at automatisere nogle af de manuelle processer i byggeriet, særligt hvad angår nedrivning og sortering eftersom det er her, at de mange (dyre) mandetimer ligger.

Flere robotproducenter<sup>106</sup> har allerede produceret robotter til nedrivning, og det kan undersøges nærmere, om de nedrivningsrobotter, der allerede eksisterer på markedet, også kan anvendes, når der er tale om nedrivning til genbrug og genanvendelse. Endvidere anbefaler vi at gennemføre en grundig markedsafdækning af udbuddet for automatiserede nedrivningsydelser, da der mangler viden herom.

En mulighed for at automatisere udsorteringen kunne endvidere være at øge brugen af robotter med fx sorteteknologi, der effektivt kan sortere affaldet. I dag er det muligt at sætte robotter til fuldautomatisk at sortere affald og derved bidrage til, at udsortere brugbare materialer, som kan genbruges eller genanvendes til nye råstoffer<sup>107</sup>. Det bør undersøges nærmere, end det har været

<sup>104</sup> MST Forprojekt (2017): Affaldsforebyggelse i byggeriet

<sup>105</sup> MST Forprojekt (2017): Affaldsforebyggelse i byggeriet

<sup>106</sup> Blandt andet Inteco Robotics og Kieler

<sup>107</sup> <https://www.teknologisk.dk/robotter-med-supersanser-skal-sortere-affald-til-genbrug/36746> og <https://www.retec.dk/sortering/robotsortering-zenrobotics>



muligt inden for rammerne af denne opgave, hvorvidt robotterne i tilstrækkeligt omfang kan sortere affaldet og hvor meget hurtigere end den manuelle sortering, den kan gennemføres.

En investering i en robot eller lignende automatisering vil være en umiddelbar omkostning for nedrivningsvirksomhederne. Derfor kan denne løsning ikke stå alene, men bør følges op af andre tiltag til at stimulere efterspørgslen for genbrugte og genanvendte materialer, som fx en ressourcekortlægning, afgifter eller en oplysningskampagne, der sikrer tilstrækkelig viden om mulighederne for genbrug og genanvendelse i byggebranchen. Dette drøftes i de følgende afsnit.

### 8.1.3.2 Manglende økonomisk incitament for udsortering

Øget cirkularitet i byggeriet kræver en god udsortering så de materialer, der genbruges og genanvendes, er så ensartede og rene som muligt<sup>108</sup>. Interview viser, at for stenuld er der en udfordring med udsortering, der dels gør, at de mængder, som markedet kan aftage, ikke indsamles, og dels gør den efterfølgende bearbejdning af fraktionen dyrere. Endvidere er det helt afgørende, at tagsten og træ sorteres rigtigt, hvis det efterfølgende skal genbruges. En del af barrieren består i en manglende forståelse for, hvad der sker med fraktionerne efterfølgende, og en del af barrieren handler om manglende økonomisk incitament og dermed manglende tid til korrekt udsortering. Interview peger også på, at der er begrænsninger i containerplads på byggepladsen, samt at der på mindre byggepladser kan opstå problemer med at opbevare materialer til genbrug. Dermed bliver udsortering af alle materialer ikke prioriteret lige højt. Dette er særligt en udfordring i forhold til stenuld, som har en stor massefylde, men en lav vægt, selvom det er en af de fraktioner, der ifølge Affaldsbekendtgørelsen skal udsorteres. Det samme gælder for fx tagsten, der skal opbevares forsvarligt for ikke at gå itu<sup>109</sup>.

#### Mulig løsning: Øget forbrændingsafgift eller tilskud til afsætning af udvalgte fraktioner

For nuværende er der ikke afgifter på usorterede eller dårligt sorterede affaldsfraktioner, men der er afgifter på forbrænding og deponi. En måde at skabe et incitament til bedre udsortering kunne være at øge især forbrændingsafgiften, da langt det meste af det affald, der ikke genanvendes, ender her. Kun en lille del sendes til deponi. En løsning kunne være at øge forbrændingsafgiften, så den tilsvarende deponiafgiften<sup>110</sup>. Flere interview peger på, at en forbrændingsafgift ideelt set bør overstige arbejdslønnen til den tid, det tager at nedtage fraktionerne til genbrug og genanvendelse, før det vil medføre en øget genanvendelse og genbrug.

Omvendt kan det også overvejes, om den pris, som nedriverne modtager for de genbrugte fraktioner, med fordel kan øges. For nedriverne vil det øge incitamentet til at udsortere med en større kvalitet. For nuværende er det markedet, der bestemmer prisen, og prisen varierer en del. Hvis incitamentet skal øges, kan markedet potentielt understøttes økonomisk i en periode.

### 8.1.4 Affaldsbehandling

I dette led oparbejdes affaldet, så det (primært) kan genanvendes som et nyt materiale af værdi. Det er således her centralt, at affaldsbehandlere har god viden om mulighederne for genbrug og genanvendelse, at materialerne nedrives korrekt samt at der er en aftagerside, der efterspørger det. De to sidstnævnte udfordringer er allerede dækket i henholdsvis afsnit 6.1.2 og 6.1.3.

<sup>108</sup> SBI (2015): Genbrug af byggevarer

<sup>109</sup> Trafik- og Byggestyrelsen (2015): Barrierer og muligheder for genbrug af mursten, samt interview med aktører i teglbranchen, der bekræfter samme problemstilling for tagsten.

<sup>110</sup> Se afgifternes størrelse her <https://skat.dk/skat.aspx?oid=1921382>

#### 8.1.4.1 Manglende viden

Traditionelt er bygningsaffald blevet betragtet som et lavværdimateriale. Hvis ikke bygherren stiller krav om nedtagning til genbrug, og nedriverne ikke har fokus på dette, sker den næste vurdering af byggeaffaldet i affaldsbehandlingsleddet, hvor affaldets videre vej bestemmes (forbrænding, nedknusning, direkte genbrug mv.). Nogle af de større affaldsbehandlere har et stort fokus på cirkulær økonomi og en stor viden om mulighederne for genbrug og genanvendelse. Men litteraturen<sup>111</sup> peger også på, at især de mindre affaldsbehandlere ikke altid besidder den nødvendige viden og tid til at opgradere affaldet. Ligeledes bekræfter interview med affaldsoperatører, at de er bedst til energiudnyttelse og anden nyttiggørelse, men mangler viden om, hvordan affaldet løftes højere op i affaldshierarkiet. At flytte affald op i affaldshierarkiet kræver også kapacitet hos affaldsoperatørerne til at markedsføre materialerne til potentielle købere, herunder vurdering af markedspotentiale, risici og prisfastsættelse af materialerne<sup>112</sup>.

#### Mulig løsning: Materialer italesættes og klassificeres som affald og ikke ressourcer

En mulig løsning til at øge afsætningsmulighederne og dermed efterspørgslen kan være at ændre den måde restprodukter fra byggeri italesættes og klassificeres. I øjeblikket klassificeres restprodukter fra en renovation eller en nedrivning som affald og ikke ressourcer. Affald ses typisk som en omkostning at komme af med, mens en ressource kan ses som en potentiel indtægt.

I Sverige er der blevet arbejdet med at ændre denne tankegang, og der ses en potentiel ændring i, hvordan affald opfattes i værdikæden, som illustreret nedenfor.

### BEHOV FOR ÆNDRING I TANKEGANG OG KLASSIFICERING

En barriere ved at indføre cirkulær økonomi i Sverige har været måden hvorpå materialer klassificeres i bevægelsen gennem deres værdikæde. Når et materiale ankommer til en affaldsplads, så er det automatisk klassificeret som affald og kan ikke umiddelbart genbruges, uanset materialets stand. Det betyder, at selvom et betonelement er i en tilstand, der gør det let at genbruge, er det klassificeret som affald og vil derfor blive behandlet som sådan.

Kilde: Interview med Ragn Sells Sverige

#### 8.1.5 Genbrug, genanvendelse og nyttiggørelse

I det sidste led i værdikæden bliver affaldet sendt videre til genbrug, genanvendelse eller anden materialenyttiggørelse. I dette led befinder sig ofte virksomheder med speciale i at handle med disse materialer (dette er fx tilfældet for tagsten), men det kan også være et grossistled (som tilfældet med interimstræ).

##### 8.1.5.1 Manglende tilgængelighed af genbrugte og genanvendte materialer (begrænset forsyningssikkerhed)

Hvis genbrugte og genanvendte materialer skal indgå i nybyggeri og renoveringer i højere grad, er en central barriere den manglende sikkerhed for, at især genbrugte materialer står til rådighed. Da byggeri er tidsfølsomt<sup>113</sup> og typisk lokalt forankret (det er for omkostningsfuldt at transportere materialer over store afstande), er tilgængelighed og forsyningssikkerhed en væsentlig barriere.

<sup>111</sup> Miljøstyrelsen (2019): Establishing effective markets for secondary building materials

<sup>112</sup> Miljøstyrelsen (2019): Establishing effective markets for secondary building materials

<sup>113</sup> Miljøstyrelsen (2019): Establishing effective markets for secondary building materials

Det kan influere efterspørgselssidens villighed til at overveje genbrugs- og genanvendelsesmaterialer.

I modsætning til jomfruelige materialer kan genbrugsmaterialer sjældent bestilles efter behov, men er afhængig af, hvilke bygninger der bliver nedrevet<sup>114</sup>. Interview viser, at det er en barriere for et velfungerende marked blandt andet for tagsten, hvor der typisk er krav om ensartede sten. Det kræver stor lagerplads hos de virksomheder, der har genbrugstegl (tagsten, men som regel også mursten) som forretningsområde. Genanvendt stenuld er derimod mere homogent og har dermed en højere forsyningssikkerhed.

Procedurer omkring nedrivning influerer også forsyningssikkerheden. Som tidligere nævnt er det nødvendigt at planlægge nedrivningen anderledes, hvis byggematerialerne skal genbruges. Dette gælder især for tagsten og beton (både hvis råmurene skal blive stående, så de ikke ødelægges, samt hvis hele elementer skal genbruges). Når bygherrer ikke har det nødvendige økonomiske incitament til at sætte tid af til denne planlægning, vil nedrivningen ske uden hensyntagen til genbrug<sup>115</sup>, hvilket vil påvirke forsyningssikkerheden, som igen vil påvirke efterspørgslen efter genbrugte byggematerialer negativt.

En anden barriere for tilstrækkelig tilgængelighed af genbrugte og genanvendte materialer er, at især beton, træ og tagsten i dag benyttes til andre formål. Der er således en potentiel konflikt i at sikre tilstrækkeligt træ til forbrændingsanlæg og at genbruge det i byggeriet – især, hvis det økonomiske incitament for sidstnævnte er begrænset. Det samme er tilfældet med tagsten og beton, som i den nuværende praksis nedknyttes til anden materialenyttiggørelse, fx som vejfyld. Når efterspørgslen efter denne nyttiggørelse er stor, begrænser det muligheden for at sikre en jævn tilstrømning af materialer<sup>116</sup> til direkte genbrug.

Endelig er byggematerialer typisk tunge og uhåndterbare sammenholdt med deres relativt lave værdi. Det betyder, at transportomkostninger spiller en væsentlig rolle og medvirker til at gøre markedet for genbrugte og genanvendte byggematerialer relativt lokalt<sup>117</sup>. Dette influerer også på forsyningssikkerheden for især træ og tagsten, idet det sjældent vil kunne betale sig at fragte materialer tværs gennem landet. Beton forventes primært at blive genbrugt på den samme byggeplads, som det er nedtaget fra, da transportomkostningerne for denne fraktion er væsentlige.

### **Mulig løsning: Markedsplads for genbrugsvarer til at drive markedet**

For at sikre tilgængeligheden af genbrugte og genanvendte materialer, peger både litteraturen og interview på muligheden for at etablere en online platform for genbrugsmaterialer. En sådan platform vil kunne synliggøre udbuddet af genbrugsmaterialer og nedbringe behovet for langtidsopbevaring af materialer, som ofte er pladskrævende og omkostningsfuldt<sup>118</sup>.

Et eksempel på en sådan platform er Genbyg. Genbyg er et projekt, der har til formål at oprette en markedsplads, der registrerer materialer til genbrug og genanvendelse samt oplysninger om deres kvalitet, sikkerhed og bygningsmasse. Bygherrer og entreprenører har adgang til denne database og kan indtænke genbrugte og genanvendelige materialer i deres nybyggeri eller renovationsprocesser.<sup>119</sup> Desuden ses lignende tiltag for specifikke fraktioner, f.eks. i teglbranchen. Her har private virksomheder, der arbejder med genbrug, lignende databaser over deres tilgængelige materialefraktioner. Der er endvidere positive erfaringer med markedspladser i udlandet, blandt andet i Nederlandene, som nedenstående eksempel viser:

<sup>114</sup> Miljøstyrelsen (2019): Establishing effective markets for secondary building materials

<sup>115</sup> MST forprojekt affaldsforebyggelse

<sup>116</sup> MST forprojekt affaldsforebyggelse

<sup>117</sup> Miljøstyrelsen (2019): Establishing effective markets for secondary building materials

<sup>118</sup> Miljøstyrelsen (2019): Establishing effective markets for secondary building materials

<sup>119</sup> Miljøstyrelsen (2019): Establishing effective markets for secondary building materials

## KRAV OM BÆREDYGTIGHED FRA STATSIG SIDE GIVER MULIGHED FOR ETABLERING AF MARKEDSPLADS I NEDERLANDENE

I Nederlandene har staten stillet krav til bæredygtighed, cirkularitet og genbrugsmaterialer i byggeprojekter og har dermed været med til at skabe et genbrugsmarked for byggematerialer. Samtidig har en standardisering af måden, hvorpå byggeaffald indsamles, været med at sørge for at der er tilstrækkelig volumen og nemmere overskuelighed ved indkøb.

Kilde: Interview med BRBS Recycling

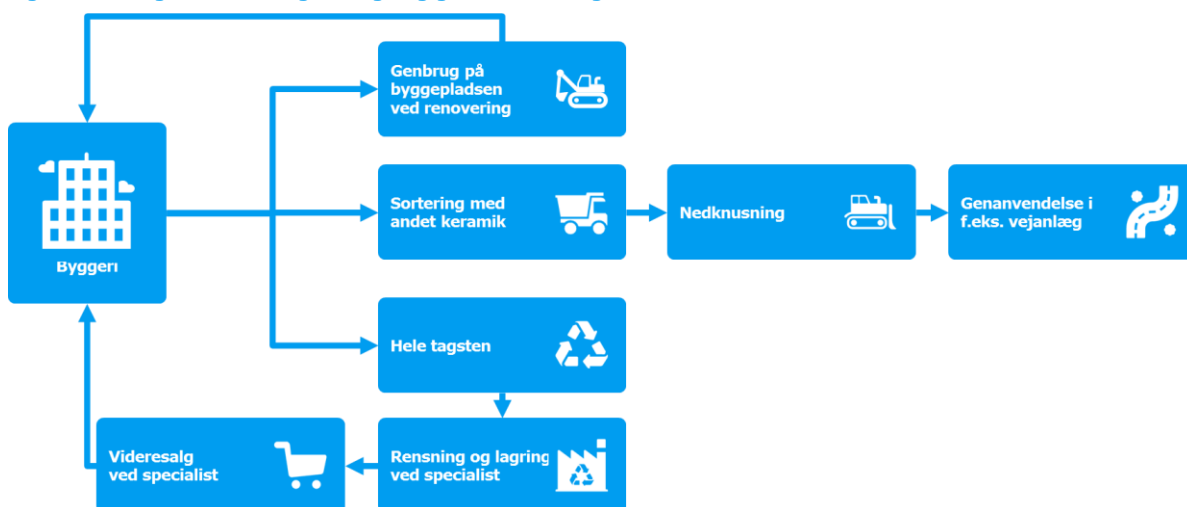
Etableringen af en markedsplads vil kræve, at der skal indgås aftaler med værdikædens aktører (nedrivningsvirksomheder, byggepladser) om af registrere affaldet på markedspladsen. Det er dog en af de helt centrale barrierer for at øge især genbruget af byggematerialer, så løsningen er derfor væsentlig at fokusere på for at være med til at skabe et bedre fungerende marked. Det kan ligeledes overvejes, om Genbyg eller andre eksisterende markedspladser med fordel kan udbygges. Offentlige myndigheder kunne med fordel støtte op en sådan markedsplads både økonomisk og organisatorisk.

### 8.2 Tagsten

Tagsten udgør en relativ lille fraktion af den samlede affaldsmængde i Affaldsdatastatistikken, men det er en fraktion med et umiddelbart højt potentiale for genbrug. Tegl minder materialemæssigt om mursten, hvor det er lykkedes at etablere et marked for genbrugte mursten.

Figuren nedenfor viser de forskellige muligheder for at genbruge og genanvende tagsten ved nedrivning eller renovering af bygninger.

Figur 8-2 Muligheder for at genbruge og genanvende tagsten



Tagsten er et holdbart materiale og kan i princippet holde i 300 år, hvis taget renoveres med 80-100 års mellemrum<sup>120</sup>. Gamle tagsten har desuden den fordel, at de er blevet testet under forskellige vejrforhold gennem en lang periode. Tag, der er nye, vil i de første 10-15 år jævnligt skulle inspiceres og defekte eller svage sten udskiftes<sup>121</sup>. Ved en omhyggelig nedtagning af tagsten i en renoveringsproces, kan man typisk genbruge 50-80 pct. af de gamle sten<sup>122</sup>, og interview med aktører i branchen indikerer en genbrugsprocent tættere på 80 pct. end på 50 pct.

På trods af fordelene ved genbrug af gamle tagsten er denne praksis ikke almindelig i Danmark. Derfor nedknuses tagsten som hovedregel, hvorefter det nedknuste materiale finder anvendelse som tilslag til vejbelægning. Tiden er essentiel for byggeprojekter, så det er ofte at foretrække at bestille nye tagsten, der kan leveres hurtigt og pålideligt. Derudover er de nye tagsten billige, da sortering og rengøring af brugte tagsten er omkostningstung. Dernæst er der et æstetisk perspektiv for i hvert fald nye bygninger, i det ejere af disse ofte ønsker et tag lavet af ensartede sten. Stenene anendes af og til ved renoveringer af ældre bygninger, men det er fortsat et nichemarked<sup>123</sup>.

I dag nedknuses næsten 90 pct. af tagsten til anden materialenyttiggørelse, f.eks. vejfyld<sup>124</sup>. Der er således et potentiale for at flytte tagstensfraktionen op i affaldshierarkiet, jf. figuren nedenfor.

<sup>120</sup> Center for bygningsbevaring, Raadvad (2012): genbrug og genoplægning af gamle teglsten  
[https://www.bygningsbevaring.dk/uploads/files/anvisninger/19-ANVISN\\_Tegltage\\_genoplægning.pdf](https://www.bygningsbevaring.dk/uploads/files/anvisninger/19-ANVISN_Tegltage_genoplægning.pdf)

<sup>121</sup> Miljøstyrelsen (2019), Establishing effective markets for secondary building materials. Miljøprojekt nr. 2076

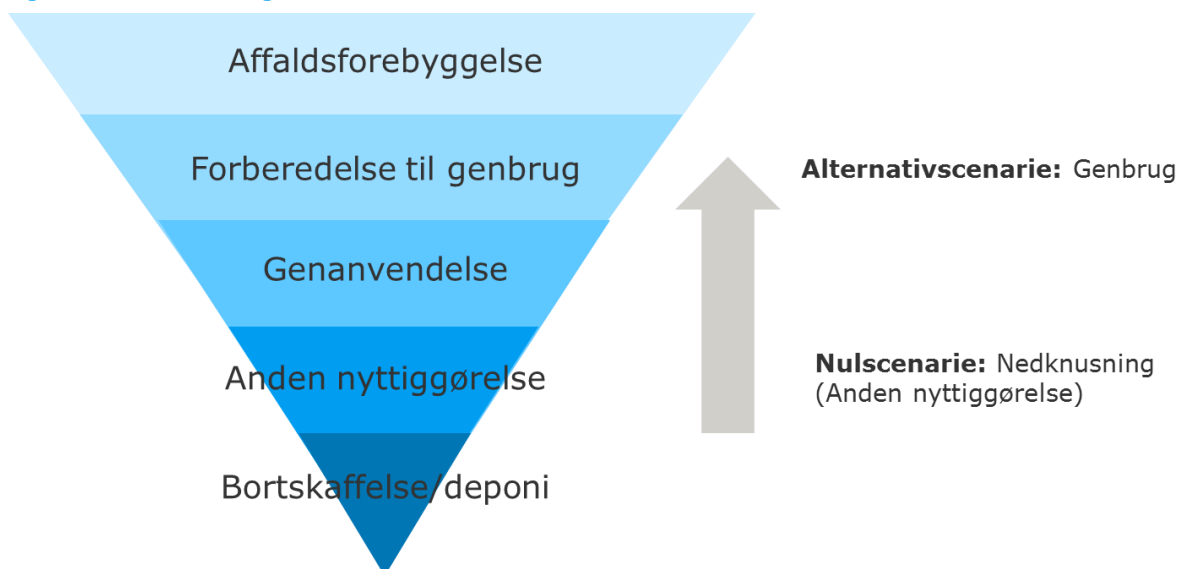
<sup>122</sup> Center for bygningsbevaring, Raadvad (2012): genbrug og genoplægning af gamle teglsten  
[https://www.bygningsbevaring.dk/uploads/files/anvisninger/19-ANVISN\\_Tegltage\\_genoplægning.pdf](https://www.bygningsbevaring.dk/uploads/files/anvisninger/19-ANVISN_Tegltage_genoplægning.pdf)

<sup>123</sup> Miljøstyrelsen (2019), Establishing effective markets for secondary building materials. Miljøprojekt nr. 2076  
 Center for bygningsbevaring, Raadvad (2012): genbrug og genoplægning af gamle teglsten

[https://www.bygningsbevaring.dk/uploads/files/anvisninger/19-ANVISN\\_Tegltage\\_genoplægning.pdf](https://www.bygningsbevaring.dk/uploads/files/anvisninger/19-ANVISN_Tegltage_genoplægning.pdf)

<sup>124</sup> Miljøstyrelsen (2019), Establishing effective markets for secondary building materials. Miljøprojekt nr. 2076

Figur 8-3 Nulscenariet og alternativscenariet i affaldshierarkiet



### 8.2.1 Markedsmodel for genbrug af tagsten

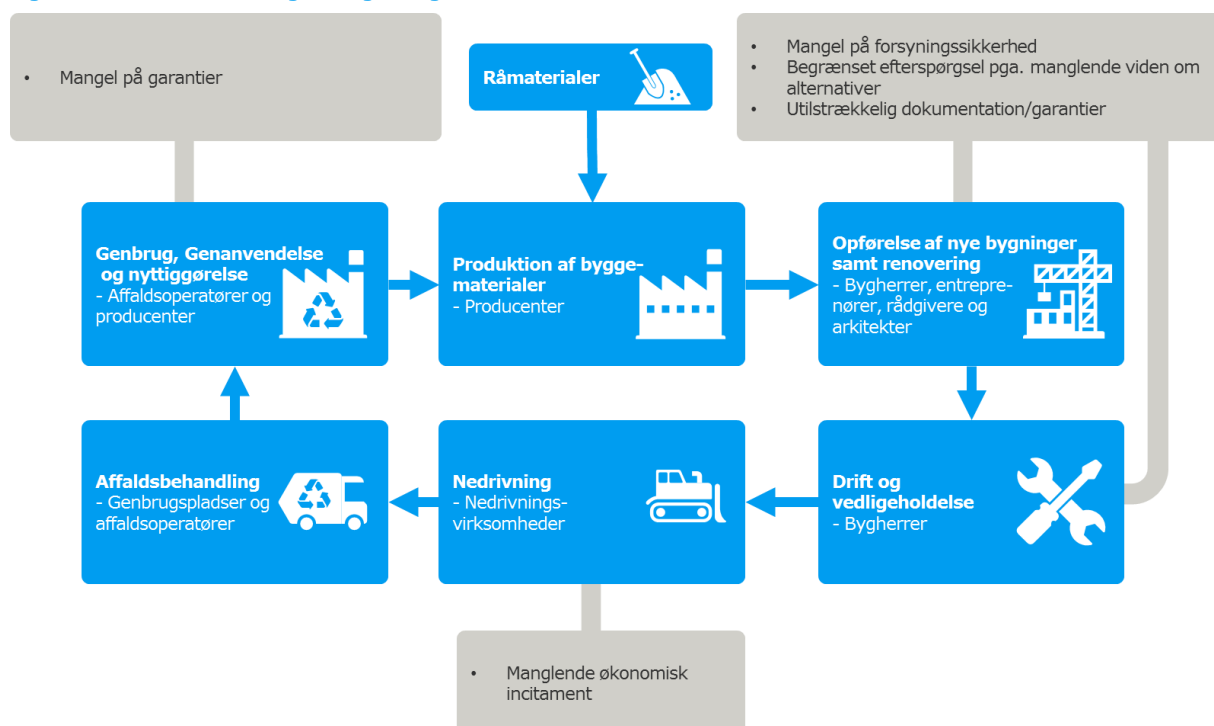
I dag findes der en specialisdrevet markedsmodel for genbrug af tagsten; en model, som også ses i genbrug af mursten. Drivkræften i markedet for øget genbrug kommer fra virksomheder, der har specialiseret sig i genbrug af tagsten. Denne markedsmodel sikrer en høj specialistviden om genbrugsmuligheder for tagsten, men kan være en potentielt dyr løsning, hvis en specialistvirksomhed får etableret sig i en monopollignende situation. Endvidere kan det være en skrøbelig situation i og med, at markedet afhænger af en enkelt eller få ildsjæle, som det f.eks. ses for genbrug af mursten. Interview viser, at der i teglstensbranchen ikke er mange specialister, der vil kunne varetage denne opgave, men omvendt er de specialister, der findes, ildsjæle.

### 8.2.2 Analyse af barriererne i værdikæden for genbrug af tagsten

Værdikæden for tagsten er relativt fragmenteret, da der er en række store producenter af nye teglsten, som ikke har noget økonomisk incitament for at understøtte genbrug af tagsten. Tagsten produceres dels i Danmark og importeres dels fra udlandet. Dernæst er der en række små specialister, som arbejder med rensning og genbrug af tagsten. Nedriverne har viden om nedrivning til genbrug, men mangler de økonomiske incitamenter til at gøre dette. Og endelig er der affaldsoperatørene, som for nuværende har et økonomisk bæredygtigt marked i at sælge tagsten nedknust til f.eks. vejfyld.

Værdikæden for genbrug af tagsten er skitseret nedenfor med de drivere og barrierer, vi har identificeret for øget genbrug. De tværgående barrierer, som allerede er analyseret ovenfor, vil ikke blive gentaget her.:

Figur 8-4 Værdikæden for genbrug af tagsten



For alle led i værdikæden er de væsentligste barrierer allerede behandlet under de generelle barrierer. Således vil vi i dette afsnit blot samle op på de væsentligste barrierer og løsninger.

### 8.2.2.1 Opførelse af nye bygninger samt renovering

I opførelsen af nye bygninger samt renovering er det centralt at sikre en efterspørgsel efter genbrugstegl. I dette led mangler der en sikkerhed for, at genbrugstegl er lige så holdbare som nye tegl, som potentielt kan løses via myndighedstest.

En central barriere er ligeledes den manglende forsyningssikkerhed og den manglende volumen, der kommer af de forskellige tagsten på markedet, som gør det vanskeligt at standardisere genbruget og dermed opnå en tilstrækkelig volumen af de forskellige typer tagsten. Forsyningssikkerheden vil givetvis øges, i takt med at markedet kommer i gang, som det er set med markedet for genbrugte mursten, men der er brug for at stimulere markedet til en start.

Til at drive markedet kan der stilles krav i udbud om øget genbrug og genanvendelse af materialer. Løsningen forventes at være relativt let implementerbar, men at det kan være vanskeligt for de offentlige myndigheder at se, hvordan et udbud med krav om øget genbrug kan se ud. Tidligere studier af bæredygtigt indkøb viser, at krav om øget genbrug i udbud bør følges op af good practise-eksempler i blandt andet kommuner. Samtidig kan en markedsdialog med leverandører af genbrugsmursten give perspektiver på mulighederne. Desuden anbefaler Rambøll, at der etableres en online platform for genbrugte tagsten, som synliggør udbuddet af genbrugsmaterialer og nedbringer behovet for langtidsopbevaring af materialer, som ofte er pladskrævende og omkostningsfuldt<sup>125</sup>.

### 8.2.2.2 Nedrivning

I nedrivningsleddet er der væsentlige barrierer for at sikre et marked for genbrugte tagsten. Den væsentligste barriere er af økonomisk karakter, idet nedrivning til genbrug er væsentligt mere

<sup>125</sup> Miljøstyrelsen (2019): Establishing effective markets for secondary building materials

omkostningsfuldt end nedrivning med nedknusning for øje. Således viser den samfundsøkonomiske analyse, at omkostningerne ved nedrivning til genbrug er 75-100 pct. højere end normal praksis i dag.

For at stimulere det økonomiske incitament anbefaler Rambøll at belønne de virksomheder, der genbruger tagsten med en skatterabat. Dette vil kunne medvirke til at gøre det økonomisk rentabelt at sætte ekstra tid af til nedrivningen. Det er muligt relativt hurtigt at indføre en skatterabat, men også en investering fra myndighedsside at gøre dette. Omvendt er nedrivningsprocessen vigtig i forhold til at bibeholde teglstenenes kvalitet, hvorfor det er helt centralt at få skabt incitament, der gør det attraktivt at bruge den nødvendige tid på nedrivning. Det er derfor væsentligt, at denne barriere adresseres og overkommes.

### **8.2.2.3 Genbrug og genanvendelse**

Genbrug og genanvendelsesleddet er et helt centralt led for at øge genbruget af tagsten. Den væsentligste barriere i dette led er, at brugte tagstens holdbarhed ikke kan dokumenteres via garantier, samt at den manglende dokumentation afholder kunderne fra at købe genbrugte tagsten.

Rambøll anbefaler at undersøge, hvorvidt det fra myndighedsside kan testes og godtgøres, at genbrugte teglsten/tagsten er af en ligeså god kvalitet som nyt materiale. Denne barriere kan løses på relativt kort sigt, i det testene kan laves og de brugte teglstens holdbarhed kan påvises<sup>126</sup>. Desuden er det centralt for at stimulere efterspørgslen, at tagstenenes holdbarhed kan påvises.

Overordnet set er der muligheder for at genbruge tagsten i større grad i dag, men at det er helt centralt at få nedbragt omkostningerne til nedrivning eller øget incitamenterne til at sætte tilstrækkelig med tid af til at nedrive med henblik på genbrug. Desuden er det væsentligt at få stimuleret efterspørgslen efter genbrugte tagsten. En central løsning er at udarbejde garantier, der belyser de genbrugte tagstens holdbarhed samt at give bygherrerne økonomisk incitament til at anvende genbrugte tagsten.

En oversigt over barriererne ved øget genbrug af tagsten, de mulige løsninger og en vurdering af implementerbarheden af løsningerne ses nedenfor.

<sup>126</sup> Center for bygningsbevaring, Raadvad (2012): genbrug og genoplægning af gamle teglsten  
[https://www.bygningsbevaring.dk/uploads/files/anvisninger/19-ANVISN\\_Tegltag\\_genoplægning.pdf](https://www.bygningsbevaring.dk/uploads/files/anvisninger/19-ANVISN_Tegltag_genoplægning.pdf)



Led i værdikæden	Barriere	Mulig løsning	Vurdering af løsnings implementerbarhed	Aktør, der kan håndtere barriere
<b>Produktion af byggematerialer</b>	Mangel på økonomiske incitamenter for genbrug	Ikke relevant da produktionsvirksomhederne ikke har en forretningsmodel, der fremmer genbrug. Dog bør det overvejes, hvilken rolle producenterne kan spille i en værdikæde med øget fokus på genbrug	-	-
<b>Opførelse af nye bygninger samt renovering</b>	Manglende efterspørgsel på genbrugte tagsten	Skatterabat ved brug af genbrugte materialer	Kan relativt hurtigt implementeres, men fordrer, at der er tilstrækkelige mængder af tagsten til rådighed	Myndigheder
		Krav til øget genbrug i Bygningsreglement	Kan relativt hurtigt implementeres, men fordrer, at der er tilstrækkelige mængder af tagsten til rådighed	Myndigheder
		Bæredygtighedskrav i indkøb i form af øget krav om genbrug	Kan relativt hurtigt implementeres, men stiller krav til efterfølgende monitorering og governance, som kræver en større indsats for at få implementeret hos (offentlige og private) bygherrer	Myndigheder, bygherrer (governance)
		Ressourcekortlægning	Det vil givet være nødvendigt at afsætte mere tid i byggeprojekter til ressourcekortlægning. Løsningen vil derfor sandsynligvis kræve, at omkostningerne til nedrivning nedbringes, da det ellers ikke vil være økonomisk interessant for aftagerne. Men lykkes det at nedbringe omkostningerne, kan en ressourcekortlægning være et godt redskab til at fastslå, hvad der er af muligheder for genbrug og genanvendelse i et givent byggeri	Myndigheder
	Manglende viden om muligheder for genbrug af tagsten	Bedre samarbejde i værdikæden og redefinering af roller, så de enkelte led i værdikæden alle påtager sig ansvar for videndeling Formidler i	Vil tage tid at implementere og kræver en ændring i måden byggeri og samarbejde i værdikæden fungerer i dag. Vil være central for at understøtte den nødvendige mentalitetsændring	F.eks. rådgivere eller genbrugsvirksomhederne, som allerede i mindre skala påtager sig opgaven med at få

		værdikæden til at drive videndeling		leddene i værdikæden til at samarbejde bedre.
		Oplysningskampagner om muligheder for genbrug	Vil relativt hurtigt kunne implementeres, men vil kun kunne fungere, hvis der sker en mentalitetsændring i måden byggeri og værdikædesamarbejde fungerer i dag	Brancheforeninger
	Manglende volumen	Statslige initiativer, der støtter op om cirkulære løsninger, f.eks. Green Deal	Danmark er i gang med at undersøge implementeringen af Green Deal Ressourcemæssigt vil der skulle afsættes midler til at kunne støtte virksomheder, men som det kan ses af det hollandske eksempel vil et sådant initiativ kunne bidrage til at stimulere genbrug af tagsten	Myndigheder
		Materialepas	Relativt ressourcekrævende at etablere men forventes at have en stor effekt på at stimulere efterspørgslen på markedet og frigøre bygherren fra at stå med den økonomiske risiko for at genbruge tagsten, hvor holdbarheden ikke bliver dokumenteret	Myndigheder
<b>Nedrivning</b>	Øgede omkostninger ved nedrivning af tagsten med henblik på genbrug	Øget automatisering af manuelle processer	Relativt stor investering for virksomhederne, som må undersøge, om investeringen står mål med gevinsten. Derfor kan denne løsning ikke stå alene, men bør følges op af andre tiltag til at stimulere efterspørgslen for genbrugte tagsten, som f.eks. ressourcekortlægning, afgifter eller oplysningskampagner, der sikrer tilstrækkelig viden om mulighederne for genbrug af tagsten.	Private virksomheder Myndigheder
	Manglende økonomisk incitament til at udsortere	Øget forbrændingsafgift eller tilskud til afsætning af tagsten til genbrug	Forventes at have stor effekt på udsorteringen, men kan potentielt betyde, at forbrændingseget affald eksporteres	Myndigheder
<b>Genbrug og genanvendelse</b>	Manglende volumen	Myndighedsgodkendte test af brugte tagsten	Løsningen kræver etablering af et testapparat, og at der afsættes de nødvendige ressourcer hertil. Løsningen er central for at sikre en højere volumen og dermed, at der er basis for at stimulere det økonomiske incitament for øget genbrug	Myndigheder
		Markedsplads for genbrugsvarer	Løsningen vil være relativt omkostningsfuld da der skal indgås aftaler med værdikædens aktører (nedrivningsvirksomheder, byggepladser) om af	Private aktører, brancheorganisationer

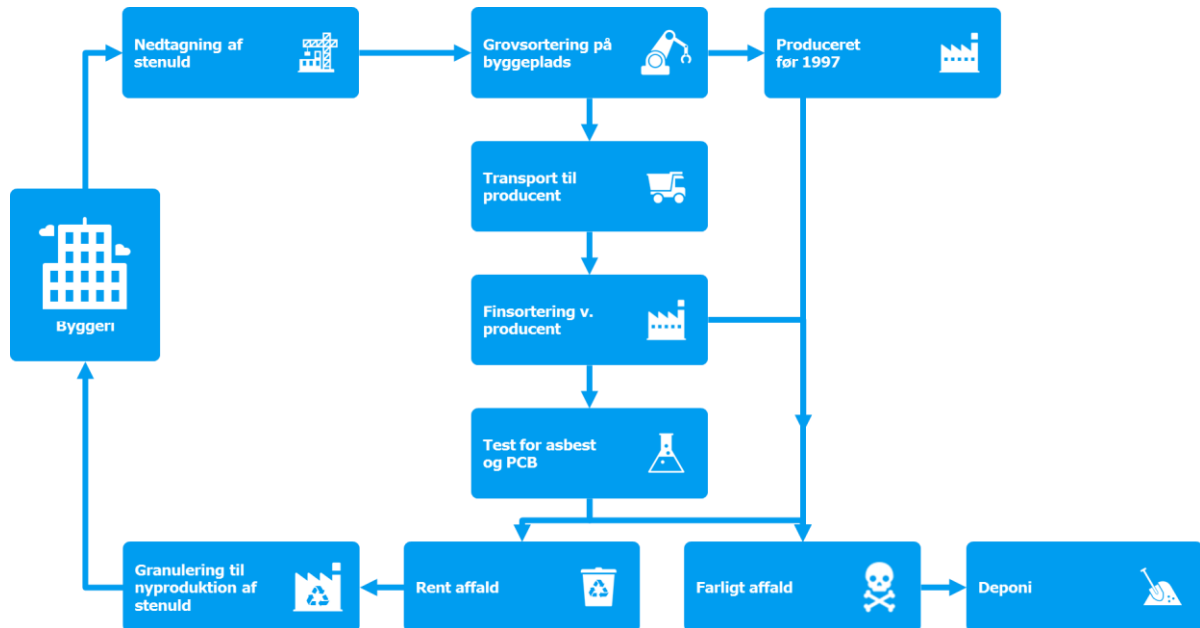


			registrere affaldet på markedspladsen. Det er dog en central barrierer for at øge især genbruget af byggematerialer, så løsningen er væsentlig at fokusere på for at være med til at skabe et bedre fungerende marked	
--	--	--	---	--

### 8.3 Stenuld

Stenuld er en af de fraktioner, som ifølge Affaldsdirektivet skal udsorteres. I de senere år er der kommet et stigende fokus på at genanvende stenuld, mens noget af det fortsat må sendes til deponi. Dette kan gøres på en række forskellige måder, jf. figuren nedenfor.

Figur 8-5 Materialerejsen for stenuld



Som det ses af figuren, klassificeres stenuld produceret før 1997 som farligt affald og skal derfor deponeres. Det er derfor kun stenuld produceret efter 1997, som er relevant for denne analyse.

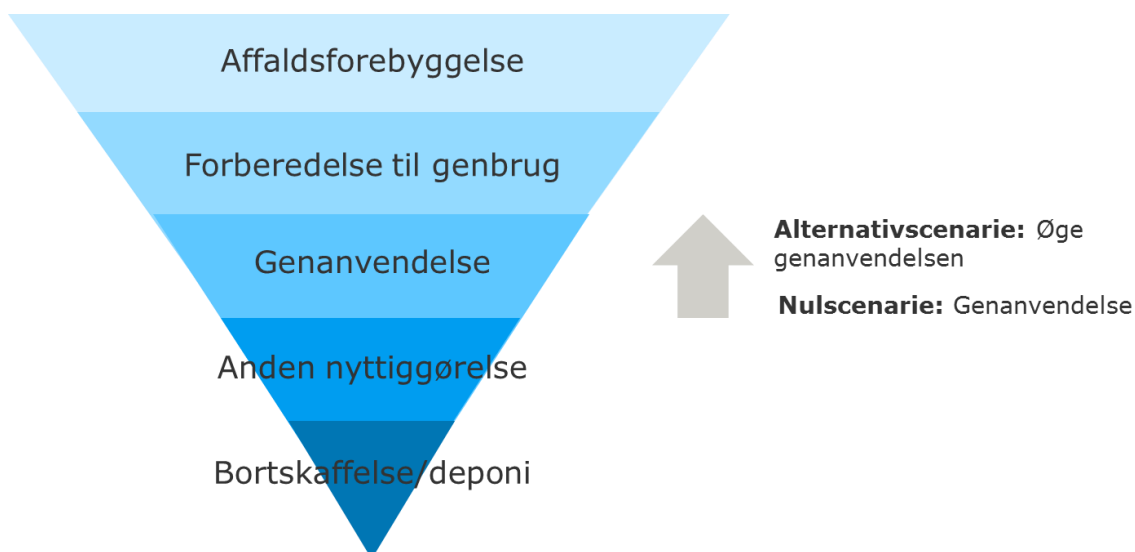
I dag genanvendes 34 pct. af den samlede mængde stenuldsaffald i produktionen af ny stenuld. Rockwool har en returordning, hvor genanvendt materiale indgår i deres produktion<sup>127</sup>. Tal fra Miljøstyrelsen viser, at det er muligt at øge denne genanvendelsesprocent til 90 pct. Genanvendelse af stenuld til nye stenuldsprodukter betyder en reduktion i brugen af nye råstoffer samt den sparede transport heraf.

Ved genanvendelse af stenuld menes der konkret, at stenuldsaffaldet fra nedrevne bygninger sorteres og benyttes i produktionen af ny stenuld, til produktion af andre isoleringsmaterialer (f.eks. Leca-kugler), og som input til produktion af beton og asfalt. Dog er sorteringen og screeningen altafgørende, da muligheden for genanvendelse kræver en "ren" sorteret mængde stenuld. Således accepteres kun en kontaminering på 5 pct. med glasuld, ligesom der er krav til materialets fugtighed. PCB-indhold og nultolerance for kontaminering med andre fraktioner, såsom træ eller plast.

Ved denne form for genanvendelse opnås affaldsminimering inden for affaldshierarkiets trin "genanvendelse".

Figur 8-6 Nulscenariet og alternativscenariet i affaldshierarkiet

<sup>127</sup> SBI (2015): Genbrug af byggevarer



### 8.3.1 Markedsmodel for genanvendelse af stenuld

I dag findes der en producentdrevet markedsmodel for genanvendelse af stenuld, som flere producenter benytter sig af. Leca modtager blandet sten- og glasuld fra Norrecco, som anvendes i produktionen af f.eks. Leca-kugler. Rockwool har en returordning, hvor genanvendt materiale indgår i deres produktion af ny stenuld. Dette sker gennem sortering på byggepladserne, hvor isoleringsmaterialet sendes til yderligere sortering ved RGS eller anden kildesortering, hvor det inddeles i hhv. stenuld og glasuld. Al glasuld sendes direkte til deponi, som er forbundet med en afgift. Stenuld produceret før 1997 klassificeres som farligt affald og skal derfor også deponeres. Hvis stenulden er produceret efter 1997, sendes det til test for asbest og PCB. Testes materialet positivt klassificeres det som farligt affald og skal derfor sendes til deponi. Det "rene" stenuldsaffald kan derefter indgå i produktionen af ny stenuld.

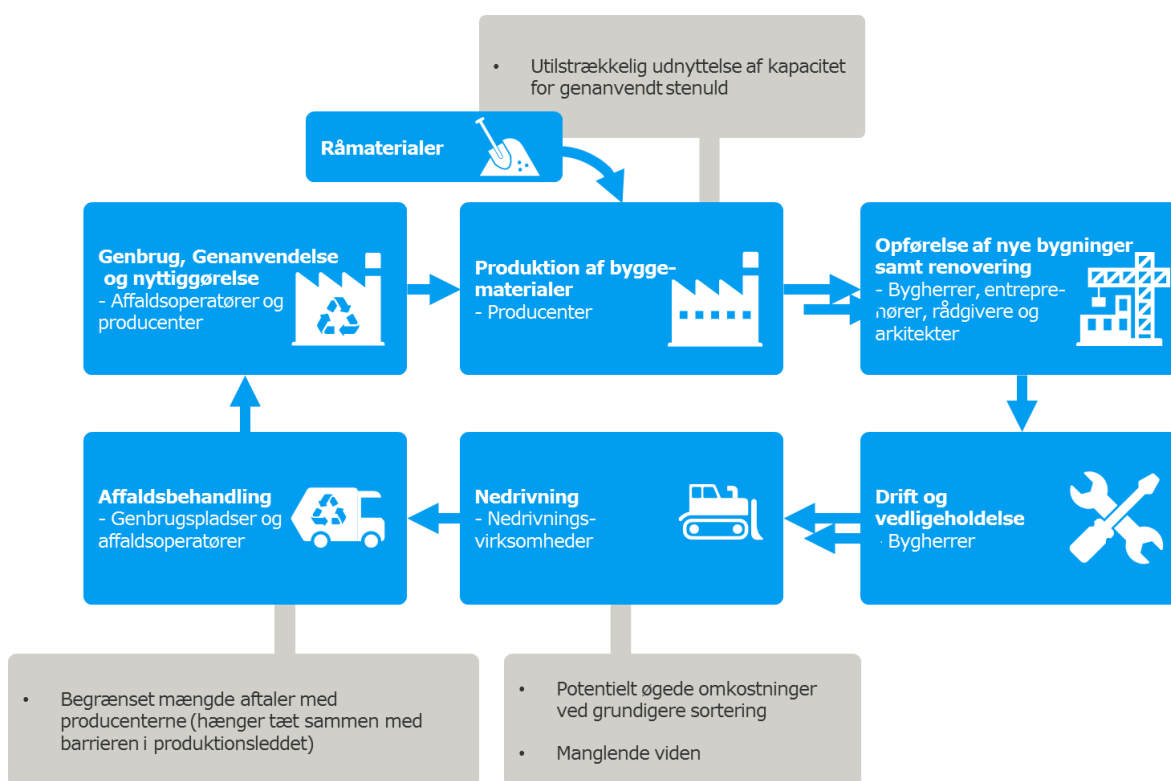
Denne markedsmodel sikrer et godt samarbejde i værdikæden, fordi de forskellige aktører er indbyrdes økonomisk afhængige. Det er dog også en måde at binde resten af værdikæden til en stærk producent, hvilket potentielt kan influere konkurrencen på markedet negativt. Men samarbejdet har været en stor fordel i forbindelse med at sikre forsyningskæden for genanvendt stenuld.

### 8.3.2 Analyse af barriererne i værdikæden for genanvendt stenuld

I analysen af barriererne i værdikæden vil vi undersøge, hvor i værdikæden barriererne opstår samt vurdere, hvor meget den enkelte barriere betyder for at kunne indfri øget genanvendelse af stenuld. De tværgående barrierer, som allerede er analyseret ovenfor, vil ikke blive gentaget her.

Værdikæden for stenuld er skitseret nedenfor med de drivere og barrierer, vi har identificeret for øget genanvendelse:

Figur 8-7 Værdikæden for genanvendt stenuld og tilhørende barrierer



Som nævnt er markedet drevet af producentleddet, og det er således af største væsentlighed, at barriererne i dette led overkommes. Disse barrierer handler i høj grad om at sikre incitamentet hos affaldshåndteringsvirksomhederne til at sortere isoleringsaffaldet efter producenternes kriterier, så en større del af affaldet genanvendes.

### 8.3.2.1 Produktion af byggematerialer

Som udgangspunkt er der et marked for stenuld til genanvendelse, som med fordel kan stimuleres yderligere for at øge genanvendelsesgraden. Dog skal der generelt skabes et større fokus på at benytte større dele af affaldet som en ressource. Det kan desuden blive en fordel for "nye" produkter, at de kan markedsføres som mere bæredygtige med angivelse af hvor stor andel af materialet, der er genanvendt<sup>128</sup>.

Da der allerede findes flere veletablerede markedsmodeller, er det et spørgsmål om at udbrede disse bedre. Rockwool, som er den helt store producent af stenuld i Danmark, har aftaler med affaldsbehandlere, herunder primært RGS Nordic, om at indsamle og bearbejde affaldet, så det kan indgå i stenuldsproduktionen som genanvendt stenuld. Dette samarbejde kan med fordel udvides til at omfatte andre affaldsindsamlere. Det kræver en del ressourcer at sætte en sådan aftale op, og Rockwool er ikke affaldsekspert, så de er afhængige af, at de har en samarbejdspartner, som har kompetencerne til at indsamle og forarbejde stenuldsaffaldet. Rockwool peger på, at det er nødvendigt med incitamenter, der understøtter dannelsen af disse aftaler, så det bliver attraktivt for affaldsbehandlere at indgå aftalerne med stenuldsproducenterne. På samme vis aftager Leca neddelte mineraluld fra Norecco til nyttiggørelse, men har for nuværende ikke kapacitet til at aftage de mængder som opstår i

<sup>128</sup> SBI (2015): Genbrug af byggevarer

markedet, og som Norecco således ville kunne levere. Her ligger begrænsningen i øjeblikket således i kapaciteten og ikke i markedet.

### **Mulig løsning 1: Udbrede kendskabet til værdikædesamarbejdet blandt affaldsoperatørerne**

Mens en del af affaldsoperatørerne sandsynligvis mangler økonomiske incitamentter til at sende stenulden til genanvendelse, er der også en del af operatørerne, der ikke er bevidste om muligheden for et øget samarbejde med Rockwool. Disse affaldsoperatører kan med fordel oplyses om mulighederne for at sende stenulden til genanvendelse. Rockwool kan potentielt stå for denne informationsdeling eller samarbejde med den relevante brancheforening for at udbrede kendskabet til denne løsning.

### **Mulig løsning 2: Undersøge muligheden for at øge forbrændings- eller deponiafgiften**

Som beskrevet er det centralt at øge incitamentet så flere affaldsoperatører udsortere stenuldsaffaldet og indgår aftaler med f.eks. Rockwool, frem for at sende det udsorterede stenuld til forbrænding eller deponi. En justering af forbrændings- og deponiafgifterne kan være en mulig løsning herpå. Afgifterne skal sikre, at det ikke kan betale sig at deponere, men at det i stedet kan betale sig i at udsortere og sende det videre til genanvendelse. For nuværende er der usikkerhed om, hvorvidt omkostninger til sortering, granulering og test modsvarer afgifterne ved deponering. Vi anbefaler derfor, at udarbejdes en totaløkonomisk model til belysning af det nødvendige afgiftsniveau for at understøtte genanvendelse af stenulden.

#### **8.3.2.2 Nedrivning**

Nedrivning og korrekt udsortering er centralt i forhold til at kunne leve op til producenternes kravspecifikationer, som bl.a. omfatter maksimalt 5 pct. glasuld i den udsorterede mængde samt ingen kontaminering med fx træaffald og plastaffald.

Interview viser, at der generelt mangler fokus på, hvor omhyggelige nedriverne skal være ved fraskæring af materiale til sortering. Når stenuldet ender hos affaldsforarbejderne, (eller som fraskær direkte tilbage til producentledet) er der andre materialer i den frasorterede mængde, herunder glasuld ud over den tilladte mængde, men også søm, skruer mv. Interview viser endvidere, at der bl.a. mangler viden om muligheden for, at frasorteringsprocessen kan omkostningsminimeres ved at sørge for at fremmedlegemer udebliver i affaldsmængden. Her er der tale om et "tradeoff" mellem omkostningerne for nedriverne og omkostningerne for affaldsoperatørerne. En bedre sortering er dyrere for nedriverne men minimerer omkostningerne for affaldsoperatørerne efterfølgende.

Samtidig er det vigtigt at fremhæve byggepladsens rolle ved grovscreening. Hvis grovscreeningen kan foregå på byggepladsen, er der mindre stenuld, der skal transporteres andre steder hen for at blive sorteret. Der er således faktorer, der taler for, at udsorteringen i højere grad foregår på byggepladserne. Den samfundsøkonomiske analyse understøtter også dette, da den viser, at transportomkostningerne potentielt stiger ved øget genanvendelse af stenuld. Kan transporten minimeres ved hjælp af bedre udsortering på byggepladsen vil det øge den samfundsøkonomiske gevinst. Skal udsorteringen i nedrivningsleddet forbedres, skal det blive økonomisk attraktivt for nedriverne at bruge mere tid på udsortering. Det er afgørende for at øge volumen af den stenuld, der kan genanvendes, at udsorteringen i nedrivningsleddet forbedres. Indsamlings-/affaldsbehandlingsleddet kan udelukkede indsamle, sortere og granulere den stenuld, der er korrekt sorteret på byggepladsen. Producentledet kan oplyse nedriverne om væsentligheden af korrekt udsortering, men vil have lille påvirkning på de øvrige mulige løsninger, såsom øgede afgifter eller øget automatisering. Dermed vil det sandsynligvis heller ikke være en fordyrende

løsning i producentledet. Udfordringen består primært i, at det er en helt central barriere at få løst for producentledet, men at dette led har lille påvirkning på løsningsmulighederne.

### Mulig løsning: Myndighedsoplysning og opfølgning på udsortering

I affaldsbekendtgørelsens §50, stk. 2 indeholder krav om udsortering af forskellige fraktioner, herunder stenuld. Således skal stenuld allerede i dag udsorteres på byggepladsen. Dog kan der stilles øgede krav til kvaliteten af det udsorterede materiale på byggepladserne. Det kræver dog et ekstra tidsforbrug hos nedriveren, samt monitorering fra myndighedsside om, at udsorteringen sker.

For at kunne stille krav om bedre udsortering kan der med fordel fra myndighedsside også oplyses om, hvordan dette gøres bedst muligt og dermed udbrede viden herom blandt nedriverne. Det kan f.eks være ved at specificere, hvor stor en kontamineringsgrad af andre fraktioner, der kan accepteres ved slutbrugeren.

Den eksisterende markedsmodel, hvor Rockwool benytter stenuldsaffald i produktion til ny stenuld fungerer under det nuværende set-up, men med en mulighed for opskalering både i forhold til antallet af aftaler med affaldsoperatører og i forhold til de indsamlede mængder. Således er den væsentligste barriere at sikre at affaldsoperatørerne har incitament til at indgå de nødvendige aftaler med producenterne. Det vurderes, at især afsøgningen af, hvorvidt det vil være muligt at øge deponiafgiften, er væsentlig for at øge mængderne.

En oversigt over barriererne ved øget genanvendelse af stenuld, de mulige løsninger og en vurdering af implementerbarheden af løsningerne ses nedenfor.

Led i værdikæden	Barriere	Mulig løsning	Vurdering af løsnings implementerbarhed	Aktør, der kan håndtere barriere
<b>Produktion af byggematerialer</b>	Manglende volumen for genanvendelse	Øge samarbejdet mellem producentled og indsamlingsled – udbred kendskab til værdikædesamarbejde	Allerede etablerede samarbejder, men kræver (økonomisk) indsats at indgå flere. Et tættere samarbejde i værdikæden vurderes at være væsentlig for at øge volumen, men fordrer, at det gøres økonomisk attraktivt i nedrivningsledet at sortere bedre	Private virksomheder Større bygherrer/bygningsejere som kommuner, universiteter mv.
<b>Nedrivning</b>	Manglende økonomisk incitament for udsortering	Øget forbrændings-/deponiafgift eller tilskud til genanvendelse af stenuld	Forventes at have stor effekt på udsorteringen, men kan potentielt betyde, at forbrændingsegnet affald eksporteres.	Myndigheder
		Myndighedsoplysning og -opfølgning	Det er i dag et krav i Affaldsbek. §50, at stenuld udsorteres. Men det vil kræve ressourcer at sikre tilstrækkelig	Myndigheder



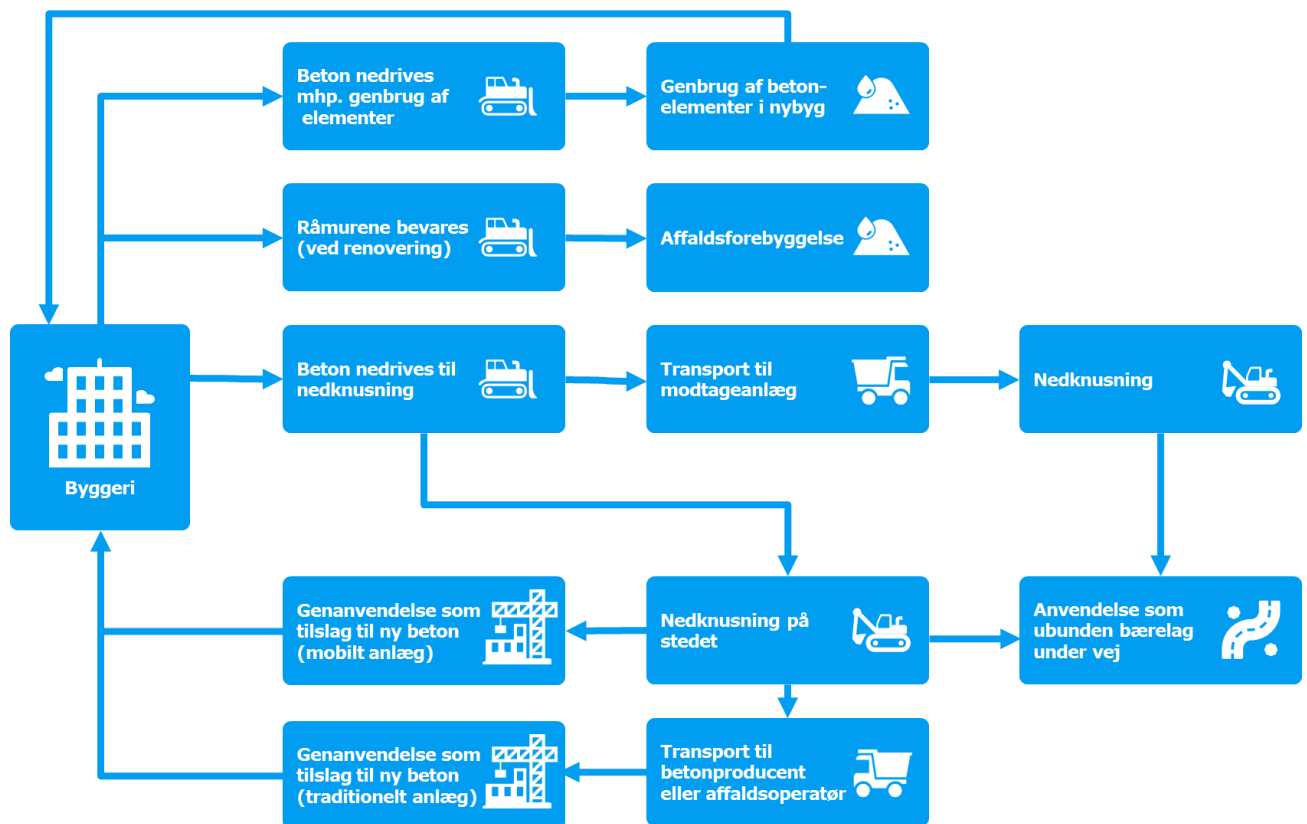
			oplysning og opfølgning.	
--	--	--	--------------------------	--

#### 8.4 Beton

Som nævnt i kapitel 4 udgør beton vægtmæssigt den største mængde byggeaffald og bidrager med en høj CO<sub>2</sub>-belastning. Der er derfor gode muligheder i at nedbringe affaldsmængder og CO<sub>2</sub>-belastning ved at øge genbrug og genanvendelse af denne fraktion.

Figuren nedenfor viser de forskellige muligheder for at udnytte beton ved nedrivning eller renovering af bygninger.

Figur 8-8 Anvendelse af beton ved nedrivning og renovering af byggeri



Som beskrevet i afsnit 3.4.3 genanvendes beton i dag, mens der på nuværende tidspunkt er relativt få eksempler i Danmark på alternative måder at genbruge og genanvende beton på.

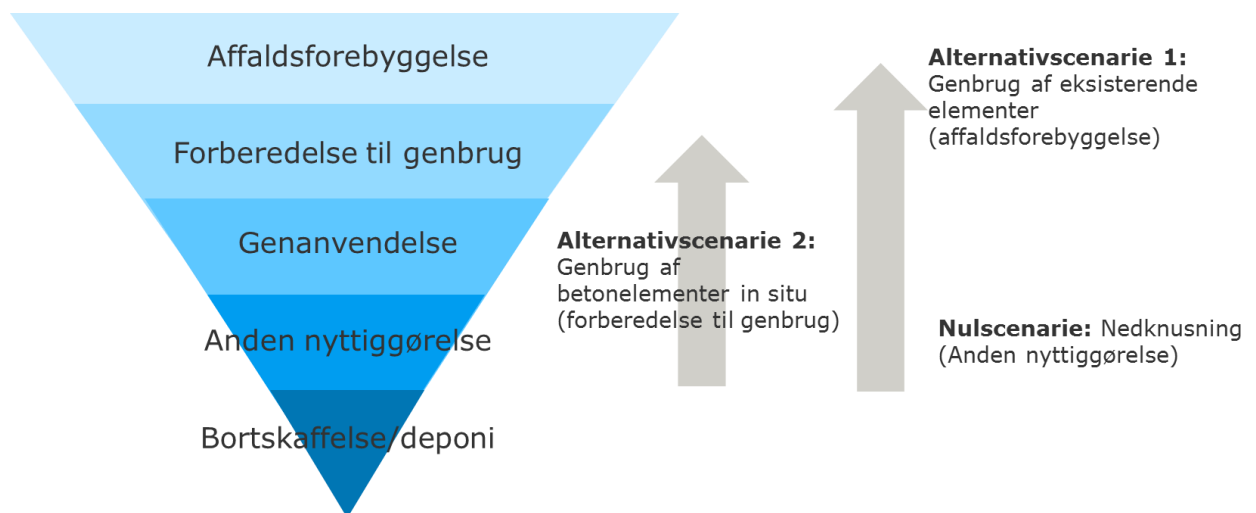
Der fokuseres dog i stigende grad på, og forskes i, mulighederne for at genanvende beton som tilslag til ny beton<sup>129</sup>. Genanvendelsen af beton som tilslag til ny beton er dog så velafdækket et område, samt et område, hvor mange nye undersøgelser pågår, og i samråd med følgegruppen og TBST har Rambøll derfor valgt ikke at fokusere på genanvendelsen af beton i nærværende rapport.

<sup>129</sup> Miljøstyrelsen (2018): Genanvendelse af knust beton i nye betonkonstruktioner og Miljøstyrelsen (2017): Affaldsforebyggelse i byggeriet - Forprojekt

I stedet fokuseres der på genbrug af beton. I denne del af analysen er der dels fokus på genbrug af beton, hvor råmurene består (som også er det scenarie, der er regnet på i hhv. LCC, LCA og den samfundsøkonomiske analyse), samt på genbrug af hele betonelementer i et nyt byggeri in situ.

Ved genbrug af beton, hvor man lader råmurene stå, er princippet, at man i stedet for at nedrive betonkonstruktionerne anvender hele konstruktionen eller dele heraf i råhuset som grundstamme for et nyt byggeri<sup>130</sup>. Ved denne form for genbrug opnås affaldsminimering, som er det øverste trin i affaldshierarkiet. Således er det muligt, ved denne form for genbrug at flytte beton fra "anden nyttiggørelse" til "affaldsforebyggelse". Som LCA-analysen også viser, er der betydelige miljømæssige incitamenter til at arbejde med at genbruge beton, som samtidig er en fraktion, der udgør en betydelig mængde af den samlede mængde byggeaffald.

**Figur 8-9 Affaldshierarkiet med nulscenariet og alternativscenariet**



Genbrug af eksisterende elementer enten ved at lade råmurene stå eller ved at genbruge de eksisterende elementer i nyt byggeri in situ er stadig et meget nyt område. Der er enkelte projekter i Danmark, som f.eks den ombyggede frøsilø på Islands Brygge i København (nu Gemini Residence) samt Dansk Industri's bygning i København<sup>131</sup>. Disse omtales ofte som prestigeprojekter, og der har været et arkitektonisk sigte med – eller merværdi i - at genbruge råmurene.

I princippet vil visse typer af betonelementer (ikke-bærende, hvor isoleringen ikke er støbt fast i betonen) kunne genbruges i nye byggerier. Det er dog ikke noget, der er praksis for i dag<sup>132</sup>, selvom der ikke er nogle tekniske barrierer til hinder for denne form for genbrug. Interview viser, at barriererne snarere skal findes i manglende viden om genbrug af beton, samt at ingen virksomheder endnu har eksperimenteret med dette og dermed påtaget sig risikoen med at genbruge beton. Dette er tæt forbundet med en manglende efterspørgsel på genbrugte elementer i værdikæden. Når efterspørgslen er der, drives den i høj grad af bygherrer og arkitekter.

<sup>130</sup> Miljøstyrelsen (2915): Udredning af teknologiske muligheder for at genbruge og genanvende beton

<sup>131</sup> Miljøstyrelsen (2915): Udredning af teknologiske muligheder for at genbruge og genanvende beton

<sup>132</sup> Miljøstyrelsen (2915): Udredning af teknologiske muligheder for at genbruge og genanvende beton

#### 8.4.1 Markedsmodel for direkte genbrug af beton

Som nævnt er direkte genbrug af beton endnu ikke en særlig udbredt metode, og der er ikke en decideret markedsmodel endnu. Dog kan der ses nogle karakteristika i de få eksempler på genbrug af råmure, som tilsammen kan give et billede af en fremadrettet mulig markedsmodel.

Efterspørgslen efter genbrugte råmure kommer typisk fra entreprenør og/eller arkitekter, der kan se en arkitektonisk merværdi til den nye konstruktion<sup>133</sup>. Interview viser, at efterspørgslen i nogle tilfælde også kan komme fra bygherren, der ønsker en særlig stil og/eller en grøn bygning. Dermed er der i denne model fokus på efterspørgsel og viden om fordelene ved direkte genbrug af råmurene fra entreprenør, arkitekter og af og til bygherren. Denne markedsmodel kan betegnes "entreprenør- og arkitektmodellen", fordi det netop er disses efterspørgsel, der driver den øgede cirkularitet i værdikæden.

Dog bør det også noteres, at det at lade råmurene stå i høj grad handler om affaldsforebyggelse, som illustreret i figur 6-3. Det sker primært som en del af renoveringsprojekter, og en egentlig markedsmodel for genbrugte råmure vil sandsynligvis afhænge af den enkelte situation.

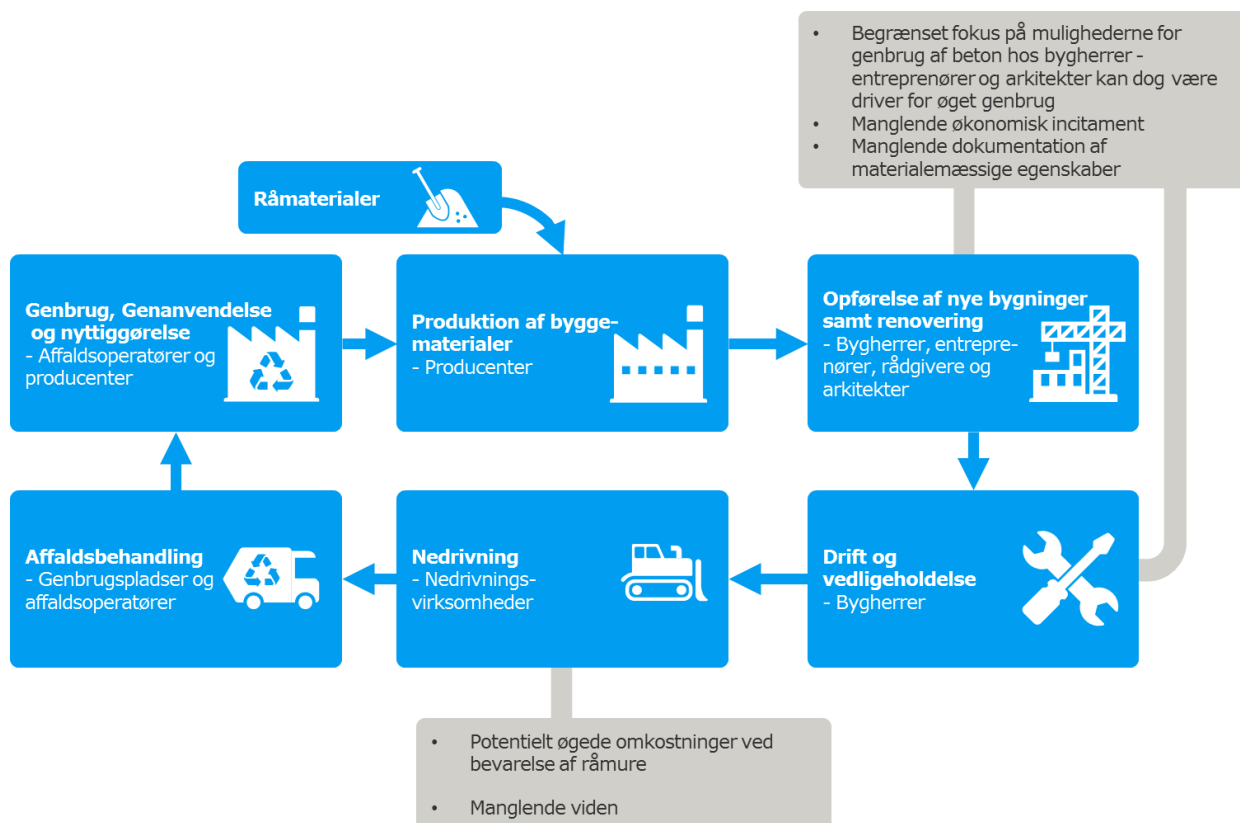
#### 8.4.2 Analyse af barrierer i værdikæden for genbrugte råmure

I analysen af barriererne i værdikæden undersøger vi, hvor i værdikæden barriererne opstår samt vurdere, hvor meget den enkelte barriere betyder for at kunne indfri øget genbrug af beton. De tværgående barrierer, som allerede er analyseret ovenfor, vil ikke blive gentaget her.

Værdikæden for beton udgøres af et stærkt producentled, der består af store virksomheder, med Aalborg Portland som en central råvareproducent og flere store producenter såsom Unicon og Ikast betonvarefabrik. Disse virksomheder har en økonomisk bæredygtig forretning baseret på nyproduktion af beton, og det økonomiske incitament for genbrug af beton for disse virksomheder er dermed ikke-eksisterende.

Værdikæden for beton er skitseret nedenfor med de drivere og barrierer, vi har identificeret for øget genbrug af beton i form af at lade råmurene stå.

<sup>133</sup> Miljøstyrelsen (2915): Udredning af teknologiske muligheder for at genbruge og genanvende beton

**Figur 8-10 Værdikæden for genbrug af beton med identificerede barrierer og drivere specifikt for denne fraktion**


Som det ses af ovenstående figur, er det især ved opførelsen af nye bygninger samt renovering, og ved nedrivning, at barriererne opstår. I opførelsen og renoveringen af nye bygninger er det ofte bygherrens begrænsede fokus på mulighederne for genbrug af beton, der udgør en barriere, ofte fordi der ikke er et økonomisk incitament til at gøre dette. Dog er der i samme led potentiale for (og erfaring med), at især rådgivere og arkitekter kan være drivkraft for øget genbrug. En anden central barriere findes i nedrivningsleddet, hvor nedriverne i værdikæden mangler viden om/økonomiske incitamenter til at efterlade råmurene, da dette typisk er en dyrere proces end at nedrive med henblik på nedknusning. Disse barrierer og mulige løsninger herpå analyseres i de næste afsnit.

#### 8.4.2.1 Opførelse af nye bygninger samt renovering

Opførelsen af nye bygninger samt renovering af bygninger er det helt centrale led i værdikæden for genbrug af beton i form af at lade råmurene stå. Det er i dette led af værdikæden, at den potentielle beslutning om genbrug af betonelementer finder sted, og det er derfor også centralt for den videre udbredelse af denne form for genbrug af beton, at barriererne i dette led overkommes.

Det økonomiske incitament er centralt i udbredelsen af øget genbrug af beton. Der eksisterer ikke for nuværende mange eksempler på, at beton genbruges ved at lade råmurene stå, og slet ingen eksempler på, at eksisterende elementer genbruges in situ ved renoveringer. Men i de eksempler, der findes, er valget om at lade råmurene stå ofte funderet i, at det giver en arkitektonisk merværdi til den nye konstruktion. Valget bunder dermed typisk ikke i, at løsningen er mere økonomisk eller miljømæssig fordelagtig. De barrierer, der alt andet lige er ved disse løsninger, er

derfor typisk medregnet og prissat i deres projektforslag<sup>134</sup>. Det betyder, at hvis bygherren tænker genbrug af råmure ind i sin renovering, sker det ofte af arkitektoniske årsager og ofte efter konsultation af arkitekter og/eller entreprenører.

Endvidere kan omkostningerne ved genbrug forstærkes af, at problematiske stoffer såsom PCB fra fugemateriale kan trænge ind i betonen og dermed skal saneres ved genbrug<sup>135</sup>.

Når arkitekter og entreprenører har været den drivende kraft, har det som nævnt ikke nødvendigvis været ud fra et økonomisk incitament, men snarere ud fra et æstetisk synspunkt. Det er således ikke en økonomisk gevinst for bygherren at genbruge råhuset. De øgede omkostninger indregnes typisk i entreprenørernes projektforslag, og det er så op til den enkelte bygherre, om de vil vælge en (potentielt dyrere) løsning med genbrug af råmure.

I forhold til direkte genbrug af råmure kan der endvidere være økonomiske barrierer forbundet med at tilpasse de nye materialer til den oprindelige konstruktion, hvilket kan fordyre processen, hvis fx døre og vinduer potentielt skal tilpasses individuelt.<sup>136</sup> Dette kan igen påvirke bygherrens økonomiske incitament negativt.

### **Mulig løsning 1: Skatterabat og krav i offentlige indkøb**

Genbrug af beton, hvor råmurene består, repræsenterer en væsentlig miljømæssig gevinst. Dette ses i LCA-analysen (afsnit 8), hvor både klimaændringer, partikelforurening og forbrug af abiotiske ressourcer påvirkes positivt ved genbrug af beton. Desuden viser den samfundsøkonomiske analyse (afsnit 7) en gevinst ved at genbruge beton. Disse besparelser kommer især fra affaldsminimeringen, og det vil derfor umiddelbart være en miljømæssig og samfundsøkonomisk gevinst at indføre tiltag, der kan øge de økonomiske incitamenter.

Det vil derfor være relevant at indarbejde krav i offentlige indkøb om, at råmure skal bestå ved renoveringer i det omfang, det er muligt. Offentlige bygherrer kan her opfordres til at gå forrest ved at udarbejde udbud, der stiller krav om genbrug eller bevarelse af råmure, især ved renoveringsprojekter. I tillæg, som også nævnt under de tværgående barrierer og løsninger vil det være muligt at belønne de virksomheder, der renoverer ved at lade råmurene stå med en skatterabat, hvis de genbruger ud over det, som lovgivningen tilsiger. I stil hermed gives der for nuværende point for genbrug og genanvendelse af beton i DGNB-certificering<sup>137</sup>, hvilket også fungerer som incitament til at genbruge mere. Disse tiltag vurderes at være væsentlige, hvis der skal skabes et incitament til at genbruge råmure. For bygherren vil et lovindgreb med krav om øget genbrug af råhuset sandsynligvis fordyre byggeriet, mens skatterabatten naturligvis vil være en ekstraomkostning (eller manglende indtægt) for staten. Dog vurderes det, at det er nødvendigt med disse tiltag for at få skabt de nødvendige incitamenter.

For at udbrede genbrug af beton i den form, hvor råmurene står tilbage ved en renovering, er det nødvendigt med en generel adfærdsændring i faserne blandt bygherrer, entreprenører, arkitekter og forbrugerne. Rambøll vurderer, at denne adfærdsændring primært vil opstå enten ved at lægge en CO<sub>2</sub>-afgift på brugen af nyfremstillet beton, eller ved en skatterabat, der favoriserer direkte genbrug af beton, f.eks. via en afgiftsfritagelse på øvrige byggematerialer i renoveringsprocessen.

<sup>134</sup> MST Forprojekt (2017): Affaldsforebyggelse i byggeriet

<sup>135</sup> Miljøstyrelsen (2018): Forekomst og udvaskning af problematiske stoffer i knust beton og tegl

<sup>136</sup> Miljøstyrelsen (2015): Udredning af teknologiske muligheder for at genbruge og genanvende beton

<sup>137</sup> Teknologisk Institut (2019): Materialer i den cirkulære økonomi: Beton

### Mulig løsning 2: Videndeling

For at sætte yderligere skub på efterspørgselssiden bør især bygherrer, men også offentligheden, i højere grad oplyses om den miljømæssige og samfundsøkonomiske gevinst ved at genbruge beton samt de gode eksempler på byggerier, hvor det er lykkedes at lade råhuset stå. Som nævnt findes der for nuværende ikke mange eksempler på dette, og det er derfor af stor væsentlighed at dele de eksempler, der måtte være. Denne løsning skal ses som et supplement til den ovenstående løsning om myndighedskrav og skatterabat. Isoleret set forventes denne løsning ikke at have den store effekt, men i sammenhæng med ovenstående kan den bidrage til at hjælpe især bygherrer til at se mulige løsninger, og visse lejere til at efterspørge genbrug.

En anden barriere for at lade råhuset stå er, at der i dag er større krav til energieffektivitet sammenlignet med tidligere. Det vil derfor potentielt kræve en energirenovering, hvis råhuset skal genbruges. Dette kan udgøre en potentielt stor udgift for bygherren, selvom det i dag er muligt at få tilskud til sin energirenovering.

### Mulig løsning 2: Øge tilskuddet til energirenovering

Som en løsning på ovenstående kan det overvejes at øge tilskuddet til energirenovering midlertidigt for at skubbe på en udvikling i en periode, som det tidligere er set med fx tilskud til solceller. I dag søges energitilskud hos et energiselskab, og størrelsen på tilskuddet afhænger af mængden af energi, der spares med en energirenovering. Denne løsning forventes at have en stor effekt på at øge incitamentet til at lade råhuset stå, især hvis krav om energirenovering bliver stillet fremadrettet, men vil naturligvis udgøre en merudgift for staten.

Herudover er en markant barriere for bygherreledet den manglende dokumentation af de materialemæssige egenskaber af den eksisterende betonkonstruktion, som drøftet i kapitel 9.1.2.8. Som nævnt er det værdifuldt for bygherreledet, hvis det fra myndighedsside er muligt at teste, hvorvidt genbrugte betonelementer eller rāmure er af lige så god kvalitet som nyt materiale eller teste bæreevnen på det genbrugte element. Typisk er det i dag nødvendigt at foretage prøvebelastninger eller på anden vis finde ud af, hvad konstruktionens bæreevne er i forhold til at tage dette i betragtning under projekteringen af den nye bygning<sup>138</sup>, hvilket kan udgøre en betydelig omkostning for bygherre og entreprenør.

#### 8.4.2.2 Nedrivning

Nedrivningsledet er det andet led i værdikæden for beton, hvor der i særdeleshed er barrierer for genbrug af rāmure. Selvom de største barrierer er at finde i opførelse af nye bygninger og renovering af bygninger, er der også både økonomiske barrierer og barrierer omhandlende manglende viden i dette led af værdikæden.

Selvom der ikke er megen praksis for bevarelse af rāmure, forventer respondenterne i de gennemførte interview, at både nedrivning/renovering af bygninger, hvor rāmurene består, samt især nedrivning med direkte genbrug af betonelementer vil øge omkostningerne. Litteraturen peger på, at det især er det tidsmæssige aspekt af nedrivningen, der forventes at øge omkostningerne og dermed sænke nedrivernes incitament til at genbruge betonelementer<sup>139</sup>. Denne barriere er allerede behandlet under de generelle barrierer men nævnes alligevel her, fordi det er en af de helt centrale barrierer i dette led. Det er nødvendigt, at bygherren finansierer de øgede omkostninger ved nedrivning, hvilket der som nævnt ovenfor ikke er et tydeligt økonomisk incitament for at gøre. Den mulige løsning på denne udfordring er primært øget automatisering af processerne for nedrivning, som vil kræve investeringsomkostninger i udstyr, jf. afsnit 8.1.3

<sup>138</sup> Miljøstyrelsen (2015): Udredning af teknologiske muligheder for at genbruge og genanvende beton

<sup>139</sup> Miljøstyrelsen (2015): Udredning af teknologiske muligheder for at genbruge og genanvende beton

Interview viser, at i renoveringsprojekter mangler nedrivningsvirksomhederne erfaring med og viden om, hvorledes byggeriet forberedes til nedrivning, hvis råmurene skal bevares eller betonelementer genbruges in situ, samt om arbejdsprocesserne forbundet med selve nedrivningen. Der mangler god praksis for, hvordan dette gøres mest hensigtsmæssigt og økonomisk optimalt. Lykkes det at overkomme denne barriere vil det potentielt også kunne influere de øgede omkostninger, der er ved nedrivning med henblik på genbrug af råmure.

### **Mulig løsning – formidlingsrolle i værdikæden**

I tillæg til at promovere good practise cases, som nævnt i kapitel 9.2.1.1, er en mulig løsning at anvende en "formidler". Dette sker for at sikre, at en bygning nedrives på en måde, så råmurene kan genbruges. Formidlerens rolle er til f.eks at oplyse nedriverne om, hvordan nedrivning foretages med henblik på genbrug af disse. Formidleren har typisk en rolle, hvor virksomheden indsamler eller modtager affald fra nedrivning og / eller byggeprocesser, behandler det til standardiserede, certificerede produktkategorier og markedsfører og distribuerer produkterne til potentielle købere. Det er dermed væsentligt, at formidleren har en god forståelse for alle led i værdikæden.

Det bør dog understreges, at de mulige løsninger i nedrivningsleddet er afhængige af, at barriererne i renoveringsleddet, der blandt andet omhandler bygherrens økonomiske incitament til at øge genbruget, først løses. Ellers forventes det ikke, at løsningerne præsenteret i nedrivningsleddet vil have en nævneværdig effekt.

Overordnet set er barriererne for beton således især at finde i opførelsen af nye byggerier og renovering samt nedrivning. Barriererne er af overvejende økonomisk karakter, hvorfor et skub i form af en økonomisk lempelse for virksomhederne eller øgede krav om genbrug anses som den mest effektive type af løsning. Fokus bør være på at løse udfordringerne i leddet omhandlende opførelse af nye bygninger samt renovering, da det vil være muligt, hvis disse løses, også at øge incitamentet til at nedrive med henblik på at bevare råhuset.

En oversigt over barriererne ved øget genbrug af beton, de mulige løsninger og en vurdering af implementerbarheden af løsningerne ses nedenfor.

Led i værdikæden	Barriere	Mulig løsning	Vurdering af løsnings implementerbarhed	Aktør, der kan håndtere barrierer
<b>Produktion af byggematerialer</b>	Mangel på økonomiske incitamenter for genbrug	Ikke relevant da produktionsvirksomhederne ikke har en forretningsmodel, der fremmer genbrug. Dog bør det overvejes, hvilken rolle producenterne kan spille i en værdikæde med øget fokus på genbrug	-	-
<b>Opførelse af nye bygninger samt renovering</b>	Manglende efterspørgsel på at lade råmure stå	Skatterabat ved brug af genbrugte materialer	Kan relativt hurtigt implementeres	Myndigheder
		Krav til øget genbrug i Bygningsreglement	Kan relativt hurtigt implementeres	Myndigheder
		Bæredygtighedskrav i indkøb i form af øget krav om genbrug	Kan relativt hurtigt implementeres, men stiller krav til efterfølgende monitorering og governance, som kræver en større indsats for at få implementeret hos (offentlige og private) bygherrer	Myndigheder, bygherrer (governance) Rådgivere
		Ressourcekortlægning	Det vil givet være nødvendigt at afsætte mere tid i projektet til ressourcekortlægning. Løsningen vil derfor sandsynligvis kræve, at omkostningerne til nedrivning nedbringes, da det ellers ikke vil være økonomisk interessant for aftagerne. Men lykkes det at nedbringe omkostningerne, kan en ressourcekortlægning være et godt redskab til at fastslå, hvad der er af muligheder for genbrug og genanvendelse i et givent byggeri	Myndigheder
	Større krav til energieffektivitet	Øge tilskuddet til energirenovering	Denne løsning forventes at have en stor effekt på at øge incitamentet til at lade råhuset stå, især hvis krav om energirenovering bliver stillet fremadrettet, men vil udgøre en merudgift	Myndigheder
	Manglende viden om muligheder for at lade råmure stå	Oplysningskampagner om muligheder for genbrug	Vil relativt hurtigt kunne implementeres, men vil kun kunne fungere hvis der sker en mentalitetsændring i måden, byggeri og værdikædesamarbejde fungerer i dag	Brancheforeninger Rådgivere
	Manglende garantier	Statslige initiativer, der støtter op om cirkulære løsninger, såsom Green Deal	Danmark er i gang med at undersøge implementeringen af Green Deal. Ressourcemæssigt vil der skulle afsættes midler til at kunne støtte virksomheder, men som det kan ses af det hollandske eksempel vil et sådant initiativ kunne bidrage til at stimulere genbrug af råmure	Myndigheder
	Materialepas	Relativt ressourcekrævende at etablere, men forventes at have en stor effekt på at stimulere efterspørgslen på markedet og frigøre bygherren fra at stå med den økonomiske risiko for at	Myndigheder	



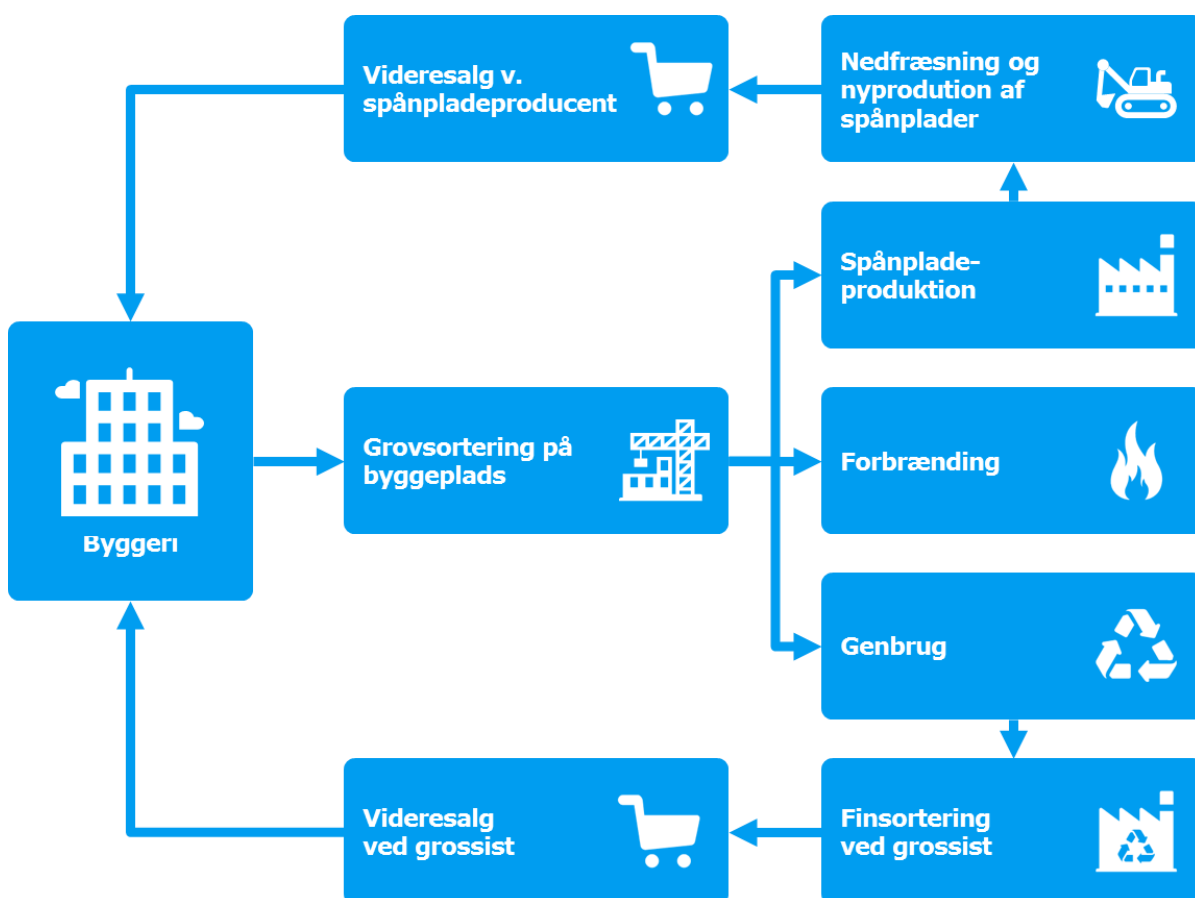
			genbruge råmure, hvor holdbarheden ikke bliver dokumenteret.	
<b>Nedrivning</b>	Øgede omkostninger ved nedrivning med henblik på at lade råmure stå	Øget automatisering af manuelle processer	Relativt stor investering for virksomhederne, som må undersøge, om investeringen står mål med gevinsten. Derfor kan denne løsning ikke stå alene, men bør følges op af andre tiltag til at stimulere efterspørgslen for at lade råmurene stå, som fx en ressourcekortlægning, afgifter eller en oplysningskampagne, der sikrer tilstrækkelig viden om mulighederne for at lade råmure stå	Private virksomheder Rådgivere
<b>Genbrug og genanvendelse</b>	Manglende volumen	Myndighedsgodkendte test af råmure	Løsningen vil kræve, at et testapparat kommer op at stå og at der afsættes de nødvendige ressourcer hertil. Løsningen er central for at sikre en højere volumen og dermed, at der er basis for at stimulere det økonomiske incitament for øget genbrug	Myndigheder
		Markedsplads for genbrugsvarer	Løsningen vil være relativt omkostningsfuld, i det der vil skulle indgås aftaler med værdikædens aktører (nedrivningsvirksomheder, byggepladser) om af registrere affaldet på markedspladsen. Det er dog en central barrierer for at øge især genbruget af byggematerialer, så løsningen er væsentlig at fokusere på for at være med til at skabe et bedre fungerende marked	Private aktører, brancheorganisationer

### 8.5 Interimstræ

Ifølge tal fra Miljøstyrelsens affaldsdatasystem udgjorde træ i 2016 126.600 ton, eller ca. 3 pct. af den samlede mængde bygge- og anlægsaffald i Danmark<sup>140</sup>. Ud af dette udgjorde interrimstræ ca. 50.000 ton.

Nedenstående figur illustrerer træets cirkulære rejse i byggeriet.

Figur 8-11 Muligheder for forbrænding, genbrug og genanvendelse af træ i byggeriet



Træ er en fraktion, som lagrer CO<sub>2</sub> i levende form. Træ er dog også en kilde til forbrænding, og der findes en velfungerende markedsmodel for dette, som konkurrerer med genbrugstræ. Det hænger blandt andet sammen med, at markedet for affaldstræ ikke fungerer optimalt i Danmark, og at der udover salg af træ til spånpladeproduktion ikke aftages større mængder træ til genanvendelse eller genbrug. Desuden foretrækker visse kommuner at brænde deres træaffald, hvilket kan skyldes, at de er medejere af forbrændingsanlæg, som er afhængige af, at der produceres nok brændbart materiale. Derfor kan disse kommuner vælge at afbrænde træ frem for at skulle importere affald<sup>141</sup>, eller skal skove og brænde bedre træ end det affaldstræ, der i stedet genbruges og genanvendes. Det er en balance, om træ skal genbruges og/eller genanvendes for enhver pris, eller om det af og til er bedre anvendt til afbrænding.

<sup>140</sup> Affaldsstatistikken 2016

<sup>141</sup> SBI (2015): Genbrug af byggemateriale

Der er desuden et velfungerende marked for salg af træ til spånpladeproduktion, hvor Kronospan står for produktionen i Danmark. Kronospan er den eneste aktør i Danmark, der i deres spånpladeproduktion reelt genanvender affaldstræ i væsentlige mængder. Virksomheden genanvender ca. 220.000 tons affaldstræ om året fra både husholdninger og erhverv<sup>142</sup>. De kan ikke p.t. aftage større mængder uden at udvide deres produktion af spånplader, hvilket virksomheden som udgangspunkt ikke har planer om, men naturligvis vil afhænge af markedsforholdene for spånplader<sup>143</sup>. Det betyder således, at for spånpladeproduktion er der som udgangspunkt ikke noget i markedet, der forhindrer en opskalering af produktionen, ud over en begrænsning i efterspørgslen efter spånplader. Begrænsningerne for at øge markedet skal findes i virksomhedens egne strategier, og kan og skal således ikke håndteres via markeds-mæssige indgreb.

Af denne grund sendes mere og mere træaffald til genanvendelse i udlandet, hovedsageligt til Sverige og Tyskland. Her stilles der imidlertid strenge krav til kvaliteten af træet (bl.a. i forhold til farlige stoffer), hvilket kræver regelmæssige prøver af de indsamlede mængder af affaldsindsamlerne i Danmark. Dette øger potentielt omkostningerne ved denne markedsmodel<sup>144</sup>. Da markedet i Danmark for nuværende er mættet, skal der bedre udsortering til for at gøre de udenlandske markeder mere økonomisk fordelagtige.

En af årsagerne til den velfungerende markedsmodel i Danmark er, at det for genbrugspladserne er billigere at få afhentet træet af spånpladeproducenter i forhold til at få det brændt. Selv når afgiftsfritaget træaffald indleveres til forbrænding i rene læs til forbrænding, opkræver forbrændingsanlægget en betaling i størrelsesordenen 100 kr./ton for at modtage affaldet<sup>145</sup>. Lignende modeller efterlyses for de øvrige fraktioner for at stimulere markedet, og her kan der med fordel skeles til markedet for spånpladetræ.

Tilbage står genbrug af interimstræ, som for øjeblikket bruges en enkelt gang, før det forbrændes. Men flere pilotprojekter arbejder med at genbruge træet op til flere gange, før det må sendes til forbrænding. Potentialer for interimstræ ligger således i at rykke længere op i affaldshierarkiet fra anden nyttiggørelse til genbrug. I det efterfølgende er fokus udelukkende på interimstræ.

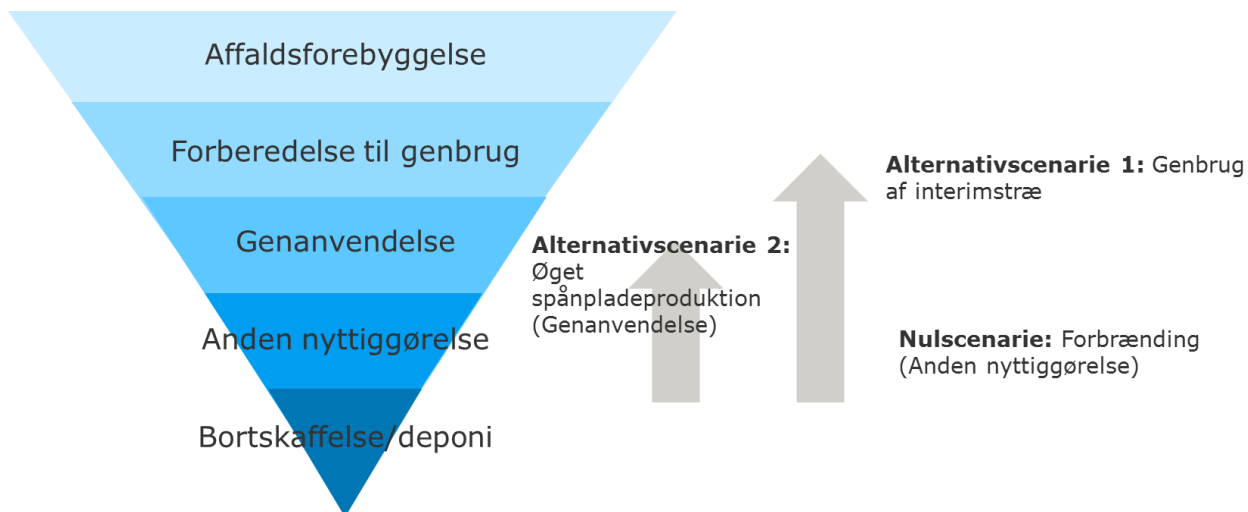
<sup>142</sup> Miljøstyrelsen (2016): Afsætningsmuligheder for træ og Miljøstyrelsen (2019): Establishing effective markets

<sup>143</sup> Miljøstyrelsen (2016): Afsætningsmuligheder for træ og Miljøstyrelsen (2019): Establishing effective markets

<sup>144</sup> Miljøstyrelsen (2019): Establishing effective markets

<sup>145</sup> Miljøstyrelsen (2018) Samfundsøkonomisk vurdering af behandling af genanvendeligt træaffald. Miljøprojekt nr. 1994, marts 2018.

Figur 8-12 Affaldshierarkiet med nulscenariet og alternativscenariet



### 8.5.1 Markedsmodel for genbrug af interimstræ

I dag findes der en grossistdrevet markedsmodel for genbrug af træ, hvor grossisten tager de brugte træmaterialer tilbage og sælger disse på ny. Et konkret eksempel på denne markedsmodel er GENTRÆ, hvor brugt interimstræ fra byggepladserne indsamles af STARK samtidig med, at de leverer nye materialer til byggepladsen. Det brugte træ afleveres hos Solum, som renser og oparbejder træet, hvorefter det sendes til STARK og bliver videresolgt i byggemarkeder<sup>146</sup>. Det minder en smule om Rockwools returordning, men med den væsentlige forskel, at grossisten ikke selv anvender materialet. Denne model kræver derfor, at grossisten har en veletableret afsætningskanal. Modellen er også relativt omkostningstung for grossisten, som selv står for afhentningen af returtræet.

Markedsmodellen for genbrugstræ influeres negativt af, at træ har en høj opvarmningsværdi og ikke genererer fossilt CO<sub>2</sub>, når det afbrændes. I et markedsperspektiv konkurrerer forbrænding derfor med genbrug af træ, hvilket også gælder på pris. Desuden opfylder Danmark sine forpligtelser overfor EU ift. genvinding, og der er derfor umiddelbart ikke noget politisk incitament til at øge genbrugsgraden<sup>147</sup>.

### 8.5.2 Analyse af barrierer i værdikæden for genbrug af interimstræ

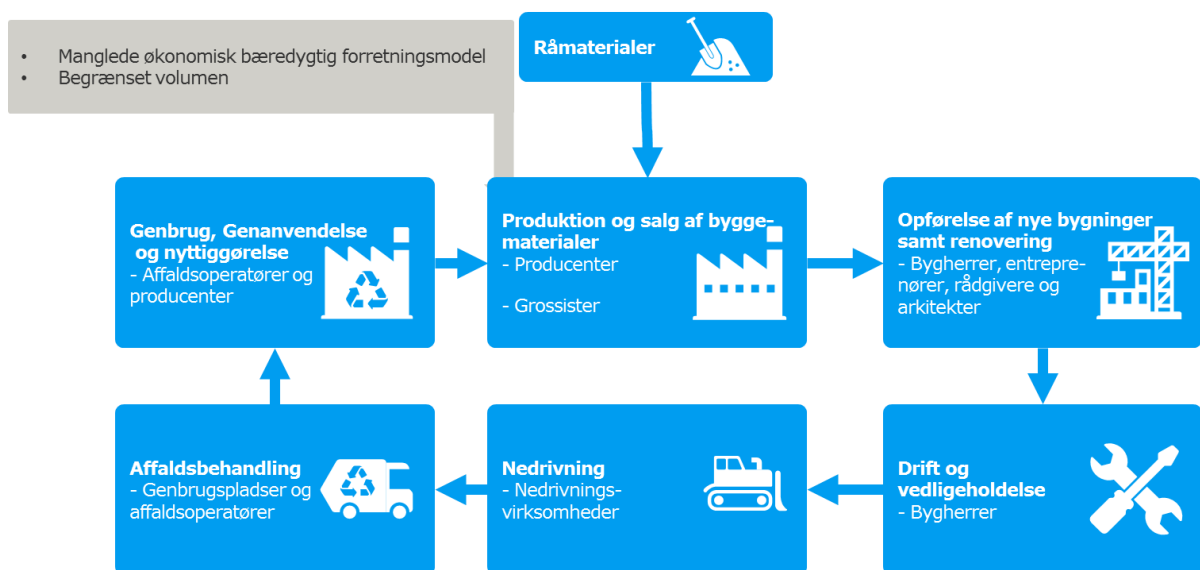
I analysen af barriererne i værdikæden vil vi undersøge, hvor i værdikæden barriererne opstår samt vurdere, hvor meget den enkelte barriere betyder for at kunne indfri øget genbrug af interimstræ. De tværgående barrierer, som allerede er analyseret ovenfor, vil ikke blive gentaget her.

Værdikæden for interimstræ er skitseret nedenfor, med de barrierer, vi har identificeret for øget genbrug:

<sup>146</sup> [http://xn--vc-mka.dk/business\\_case/gentrae/](http://xn--vc-mka.dk/business_case/gentrae/)

<sup>147</sup> Establishing effective markets

Figur 8-13 Værdikæden for interimstræ



Genbrug af interimstræ er stadig i sin vorden, og det er derfor primært pilotprojekter, der endnu findes. Der kan dog identificeres flere centrale barrierer, hvoraf den væsentligste går på at sikre en økonomisk bæredygtig forretningsmodel samt tilstrækkelig volumen.

### 8.5.2.1 Produktion og salg af byggematerialer

Denne del af værdikæden kan siges at være den, der driver markedet gennem grossister. Her er der især mangel på volumen samt en manglende økonomisk bæredygtig forretningsmodel.

Volumen af genbrugstræ er – qua de to øvrige velfungerende markeder for afbrænding og spånpladeproduktion – en barriere i forbindelse med leverancesikkerhed. Hvis volumen ikke er tilstrækkelig, kan der opstå ventetid på leverancer og derved falder interessen og efterspørgslen.

I branchen er der en reel udfordring med at få genbrugstræ nok, fordi nogle kommuner hellere vil brænde deres træaffald. Det kan skyldes, at kommunerne er medejere af forbrændingsanlæg, som er afhængige af at der produceres nok brændbart materiale, som beskrevet ovenfor.

#### Mulig løsning: Forbedret logistik

For at sikre, at så meget træ som muligt bliver sendt til genbrug, kan en løsning være at indføre et logistiksystem, som GENTRÆ allerede har fokus på. Her sættes bure ud på byggepladsen, hvor det er muligt at sortere træmaterialer. Efterfølgende bliver burene hentet og træet kan derefter købes 10-15 pct. billigere end nyt træ. Med dette koncept er logistikken inkorporeret fra start til slut. Ordningen er relativt let at implementere, og hvis det letter sorteringen på byggepladsen, kan det også forventes at øge volumen.

Tæt forbundet med at sikre den nødvendige volumen er det at sikre en økonomisk bæredygtig forretningsmodel. STARK har allerede transportlogistikken på plads og har gjort klar til, at genbrugstræet vil kunne sælges i deres byggevareforretninger. Udfordringen er at stimulere efterspørgslen blandt bygherrer og entreprenører.

### Mulig løsning: Pantordning og krav om genbrug i udbud

En mulig løsning er en ordning, hvor der pålægges et pantgebyr på interimstræet, så incitamentet til at udsortere og sikre, at træet genbruges flere gange, stimuleres. Panten vil så kunne tilbagebetales bygherre eller entreprenør den dag, træet ikke længere kan genbruges. Det er en relativt enkelt løsning at implementere, som – hvis panten er høj nok – kan forventes at stimulere efterspørgslen på interimstræ.

En anden måde at stimulere efterspørgslen kan være at sætte som et krav, at forskellige affaldstyper, herunder interimstræ, skal genbruges som en del af udbuddet. Dette vil også kunne løses relativt hurtigt, men det vil være nødvendigt at monitorere og potentielt vejlede i, at det rent faktisk indskrives i udbuddene.

Alt i alt ses det, at markedet for genbrug af interimstræ stadig befinder sig i en pilotfase, og fokus bør derfor være på at øge efterspørgslen og mængderne.

En oversigt over barriererne ved øget genbrug af interimstræ, de mulige løsninger og en vurdering af implementerbarheden af løsningerne ses nedenfor.

Led i værdikæden	Barriere	Mulig løsning	Vurdering af løsningsimplementerbarhed	Aktør, der kan håndtere barriere
<b>Produktion og salg af byggematerialer</b>	Manglende volumen	Forbedring af logistik og dermed øge indsamlingen	Relativt let løsning at sørge for udsortingsmuligheder, men kan blive et pladsproblem på byggepladser	Grossister
	Manglende økonomi i forretningsmodel	Pantordning	Relativt enkelt at indføre	Grossister
		Krav om genbrug af interimstræ i udbud	Kan relativt hurtigt implementeres, men stiller krav til efterfølgende monitorering og governance, som kræver en større indsats for at få implementeret	Myndigheder
<b>Opførelse af nye bygninger samt renovering</b>	Manglende viden om muligheder for genbrug af interimstræ	Bedre samarbejde i værdikæden og redefinering af roller, således at de enkelte led i værdikæden alle påtager sig ansvar for videndeling. Formidler i værdikæden til at drive videndeling.	Vil tage tid at implementere og kræver en ændring i måden, byggeri og samarbejde i værdikæden fungerer i dag. Vil være central for at understøtte den nødvendige mentalitetsændring	For interimstræ kunne det være grossisterne, som allerede i mindre skala påtager sig opgaven med at få leddene i værdikæden til at samarbejde bedre.
		Oplysningskampagner om muligheder for genbrug	Vil relativt hurtigt kunne implementeres, men vil kun kunne fungere hvis der sker en mentalitetsændring i måden, byggeri og værdikædesamarbejde fungerer i dag	Brancheforeninger Rådgivere

## 9. KONKLUSIONER OG ANBEFALINGER

For **tagsten** er der miljø- og klimamæssige effekter ved at genbruge tagsten frem for at nedknuse disse. LCA-analysen viser en **potentielt årlig klimabesparelse på 52.950 tons CO<sub>2</sub><sup>e</sup>** ved genbrug af den samlede årlige mængde tagstensaffald fremfor nedknusning. Dog er der samfundsøkonomiske omkostninger ved at ændre praksis fra at nedknuse tagstensaffaldet til at genbruge op til 80 pct. af det på op til ca. 2.000 kr. pr. ton tagsten eller et årligt **samfundsøkonomisk tab på lidt over 325 mio. kr.** Hvis tagstenene derimod genbruges direkte på stedet, så vil der være en netto samfundsøkonomisk gevinst på 210 kr. pr. ton tagsten eller en samlet årlig gevinst for samfundet på 31,5 mio. kr. Denne situation vil typisk være gældende ved renoveringsprojekter. Genbrug af tagsten genererer dermed en relativ høj klimabesparelse, mens der primært er en samfundsøkonomisk fordel i at genbruge tagsten ved renoveringsprojekter.

De væsentligste barrierer for at genbruge tagsten yderligere ligger tre steder:

I nedrivningsleddet, hvor nedrivning med genbrug for øje er væsentlig dyrere end nedrivning til nedknusning. En **mulig løsning** herpå er at undersøge mulighederne for øget automatisering. En investering i en robot eller lignende automatisering vil være en umiddelbar omkostning for nedrivningsvirksomhederne. Derfor kan denne løsning ikke stå alene, men bør følges op af andre tiltag til at stimulere efterspørgslen for genbrugte og genanvendte materialer, som fx en ressourcekortlægning, afgifter eller en oplysningskampagne, der sikrer tilstrækkelig viden om mulighederne for genbrug af tagsten.

I leddet for genbrug, genanvendelse og nyttiggørelse, hvor volumen af genbrugte tagsten er for lav. Her **anbefaler** Rambøll at se nærmere på etableringen af en online markedsplatform. Etableringen af en markedsplads vil kræve, at der skal indgås aftaler med værdikædens aktører (nedrivningsvirksomheder, byggepladser) om af registrere affaldet på markedspladsen. Det er dog en af de helt centrale barrierer for at øge især genbruget af byggematerialer, så løsningen er derfor væsentlig at fokusere på for at være med til at skabe et bedre fungerende marked. Offentlige myndigheder kunne med fordel støtte op en sådan markedsplads både økonomisk og organisatorisk.

I bygherreleddet, hvor der er utilstrækkelig efterspørgsel og mangel på dokumentation/garantier for kvaliteten af genbrugstagsten. Dokumentation af tagstens holdbarhed fra myndighedsside kan med fordel indtænkes. En **konkret løsning** er at udvikle og anvende et materialepas. Det vurderes at have en stor effekt på at stimulere efterspørgslen på markedet og frigøre bygherren fra at stå med den økonomiske risiko for at genbruge tagsten, hvor holdbarheden ikke bliver dokumenteret (uagtet, at holdbarheden ofte er på niveau med holdbarheden i nye materialer). Dog vil der også skulle sættes anseelige ressourcer af til at udforme en organisation, der kan udarbejde materialepasset. Alternativt kan opgaven sættes i udbud, som det er sket i Holland, hvor en privat virksomhed udarbejder materialepas. Desuden vil statslige initiativer i stil med den hollandske Green Deal kunne bidrage til at afhjælpe denne barriere. Green Deal har til formål at hjælpe virksomheder, der ønsker at arbejde mere cirkulært med at fjerne eventuelle barrierer. I Danmark arbejder myndighederne med at undersøge, hvorledes en Green Deal kan udrulles her også. Detaljerne er endnu ikke kendte, men det er forventningen, at også den primært kommer til at fokusere på barrierer af ikke-økonomisk karakter. Det vurderes dermed, at løsningen vil kunne implementeres relativt hurtigt, i det der forventes politisk opbakning bag initiativet.

For samtlige barrierer gælder det, at løsninger enten ikke anvendes i dag eller ikke er skalerede (sidstnævnte er tilfældet for markedsplatformen).

I dag findes der en specialistdrevet markedsmodel for genbrug af tagsten; en model, som også ses i genbrug af mursten. Drivkraften i markedet for øget genbrug kommer fra virksomheder, der har specialiseret sig i genbrug af tagsten. Denne markedsmodel sikrer en høj specialistviden om genbrugsmuligheder for tagsten, men kan være en potentielt dyr løsning, hvis en specialistvirksomhed får etableret sig i en monopollignende situation. Endvidere kan det være en skrøbelig situation i og med, at markedet afhænger af en enkelt eller få ildsjæle, som det f.eks. ses for genbrug af mursten.

Øges genanvendelsen af **stenuld**, er der ligeledes en **potentielt årlig klimabesparelse på 230 tons CO<sub>2</sub><sup>e</sup>**, hvis resten af den totale årlige mængde stenuldsaffald genanvendes frem for at blive deponeret. Ligeledes er der en netto samfundsøkonomisk gevinst på 266 kr. pr. ton, hvis genanvendelsesprocenten øges til 90 pct. modsat de 34 pct. i dag, svarende til en **potentielt årlig samfundsøkonomisk gevinst på ca. 4,5 mio. kr.** Både miljø- og klimamæssige besparelser samt de samfundsøkonomiske gevinster er dog relativt beskedne for denne fraktion.

De væsentligste barrierer for at øge genanvendelsen af stenuld er at øge volumen for genanvendt stenuld, som **vi forslår gøres gennem** et øget samarbejde i værdikæden, hvor producenterne etablerer samarbejder med flere affaldsoperatører. Desuden kan en justering af forbrændings- og deponiafgifterne kan være en mulig løsning herpå for at sikre, at det ikke kan betale sig at deponere, men at det i stedet kan betale sig i at udsortere og sende det videre til genanvendelse. For nuværende er der usikkerhed om, hvorvidt omkostninger til sortering, granulering og test modsvarer afgifterne ved deponering. Vi **anbefaler** derfor, at udarbejdes en totaløkonomisk model til belysning af det nødvendige afgiftsniveau for at understøtte genanvendelse af stenulden. Slutteligt er der en barriere forbundet med hvor omhyggelige nedriverne skal være ved fraskæring af materiale til sortering. Stenuld er et af de materialer, der skal udsorteres, jf. affaldsbekendtgørelsens §50, men der kan **stilles krav** om bedre udsortering samt følges op på, om disse krav overholdes.

Som nævnt er der et fungerende marked for genanvendelse af stenuld. Således vil det være et spørgsmål om at opskalere det eksisterende samarbejde i værdikæden samt at sikre, at incitamenterne for genanvendelse er til stede, fx gennem øgede afgifter. Den eksisterende markedsmodel, hvor producenterne benytter stenuldsaffald fx i produktion til ny stenuld fungerer under det nuværende set-up, men med en mulighed for opskalering både i forhold til antallet af aftaler med affaldsoperatører og i forhold til de indsamlede mængder. Således er den væsentligste barriere at sikre at affaldsoperatørerne har incitament til at indgå de nødvendige aftaler med producenterne. Det vurderes, at især afsøgningen af, hvorvidt det vil være muligt at øge deponiafgiften, er væsentlig for at øge mængderne.

For **beton** ses en årlig CO<sub>2</sub>-besparelse på 85 kg CO<sub>2</sub><sup>e</sup> per ton betonaffald, hvilket resulterer i en **potentielt årlig klimabesparelse på 22.950-34.850 tons CO<sub>2</sub><sup>e</sup>** ved genbrug af bærende betonkonstruktioner frem for nedknusning. Desuden ses en netto samfundsøkonomisk gevinst på 1.276 kr. pr. ton betonaffald ved at bevare og genbruge den bærende betonkonstruktion i stedet for at nedrive og nedknuse den, hvilket svarer til en **potentielt årlig samfundsøkonomisk gevinst på ca. 345-525 mio. kr.** Således er der en betragtelig miljø- og klimamæssig besparelse samt samfundsøkonomisk effekt forbundet med genbrug af beton. Dog sætter genbrug af den bærende konstruktion nogle begrænsninger til, hvordan den nye bygning kan udformes. Den nye bygning skal tage udgangspunkt i udformningen af den eksisterende betonkonstruktion, hvilket sætter krav til arkitekturen af den nye bygning.

Den væsentligste barriere i forbindelse med genbrug af råmurene af beton handler om et manglende økonomisk incitament blandt bygherrer. Der eksisterer ikke for nuværende mange



eksempler på, at beton genbruges ved at lade råmurene stå, og slet ingen eksempler på, at eksisterende elementer genbruges in situ ved renoveringer. I de eksempler, der findes, er valget om at lade råmurene stå ofte funderet i, at det giver en arkitektonisk merværdi til den nye konstruktion. Valget bunder dermed typisk ikke i, at løsningen er mere økonomisk eller miljømæssig fordelagtig. Rambøll **foreslår en mulig løsning**, hvor der dels indarbejdes krav i offentlige indkøb om, at råmure skal bestå ved renoveringer i det omfang, det er muligt. Offentlige bygherrer kan her opfordres til at gå forrest ved at udarbejde udbud, der stiller krav om genbrug eller bevarelse af råmure, især ved renoveringsprojekter. I tillæg er det også **en mulighed** at belønne de virksomheder, der renoverer ved at lade råmurene stå med en skatterabat, hvis de genbruger ud over det, som lovgivningen tilsiger.

En anden væsentlig barriere omhandler manglende viden om alternativerne til nye materialer, herunder omkostningerne forbundet med at lade råmurene stå. Dette giver en lav efterspørgsel og en uklar betalingsvillighed. Rambøll peger især på **to mulige løsninger**, der dels omhandler en redefinering af rollerne i værdikæden, så der opnås en klar forståelse af, hvad de enkelte led i værdikæden kan bidrage med, og endelig oplysningskampagner og øget formidling af muligheder for genbrug og genanvendelse.

En anden central barriere ved at lade råhuset stå er, at der i dag er større krav til energieffektivitet sammenlignet med tidligere. Det vil derfor potentielt kræve en energirenovering, hvis råhuset skal genbruges, hvilket kan udgøre en potentielt stor udgift for bygherren. **Rambøll foreslår** at øge tilskuddet til energirenoveringer som en mulig løsning på denne barriere.

Forlængelse af **interimstræets** levetid ved genbrug efterfulgt af forbrænding giver positive miljø- og klimamæssige effekter, nærmere betegnet en CO<sub>2</sub>-besparelse på 88 kg CO<sub>2</sub><sup>e</sup> ved at genbruge træet en gang. Interimstræet kan recirkulere 4-6 gange over dets levetid, dog ikke mere end 2 gange om året. Dette svarer til en potentiel årlig klimabesparelse på 2.992 tons CO<sub>2</sub><sup>e</sup> ved recirkulering af 17.000 tons interimstræ. **Over interimstræets levetid svarer det til en samlet klimabesparelse på 5.984-8.976 tons CO<sub>2</sub><sup>e</sup>.** Der er desuden en samfundsøkonomisk gevinst på 2.101 kr. pr. ton ved at genbruge interimstræet i stedet for at sende det direkte til forbrænding, svarende til potentiel årlig samfundsøkonomisk gevinst på ca. 36 mio. kr. Over interimstræets levetid kan det recirkuleres 4-6 gange, hvilket svarer til en **samlet samfundsøkonomisk gevinst på ca. 72-143 mio. kr. over træets levetid.**

Genbrug af interimstræ er stadig i sin vorden, og det er derfor primært pilotprojekter, der endnu findes. Der kan dog identificeres flere centrale barrierer, hvoraf den væsentligste går på at sikre en økonomisk bæredygtig forretningsmodel samt tilstrækkelig volumen. I branchen er der en reel udfordring med at få genbrugstræ nok, fordi nogle kommuner hellere vil brænde deres træaffald. **Mulige løsninger** herpå er forbedring af logistik via genbrugsbure på byggepladserne, pantordninger for interimstræ samt krav i udbud om genbrug af interimstræ på byggepladser.

I dag findes der en grossistdrevet markedsmodel for genbrug af træ, hvor grossisten tager de brugte træmaterialer tilbage og sælger disse på ny. Denne model kræver derfor, at grossisten har en veletableret afsætningskanal. Modellen er også relativt omkostningstung for grossisten, som selv står for afhentningen af returtræet.

## 10. REFERENCER

- Circularity City, 2020. *Dialogværktøj Cirkulær Værdiskabelse I Den Eksisterende Bygningsmasse.*
- Danish Waste Solutions, 2017. *Fremtidens Deponeringsstrategier - Forbedret Håndtering Og Deponering Af Affald.*
- Dansk Beton, 2018. *BETON, Genanvendelse af beton, (4).*
- Dansk Beton, 2019. *Bæredygtig Beton Initiativet, Halvering Af Co2-Udledningen Fra Betonbyggeri - Roadmap Mod 2030.*
- DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, Mikael Skou Andersen, Lise Marie Frohn Rasmussen og Jørgen Brandt, Aarhus Universitet, 2019. *Miljøøkonomiske beregningspriser for emissioner 3.0.*
- DAKOFA, 2013. *Der er udfordringer på vejen til genanvendelse af de store mængder af B&A-affald, men ikke uoverkommelige. Opsamling på konference den 17. april 2013 om bygge- og anlægsaffald – vejen til de store mængder.*
- Enemærke & Petersen a/s, 2020. *RESSOURCEPLAN CIRKULÆR KORTLÆGNING VED NEDRIVNING AF BYGGERI.* Et InnoBYG-projekt.
- Energistyrelsen, 2019. *Samfundsøkonomiske beregningsforudsætninger for energipriser og emissioner.*
- Gyproc.dk, n.d. *Gipspladens Livscyklus Og Produktion | Gyproc Danmark - Lette Konstruktioner Med Gipsbaserede Byggeplader.* [online] Gyproc.dk. Available at: <<https://www.gyproc.dk/milj%C3%B8/gipspladens-livscyklus-og-produktion>> [Accessed 16 March 2020].
- Klimarådet, 2020. *Kendte veje og nye spor til 70 procents reduktion.*
- Kraka & Deloitte, 2020. *Small Great Nation – En klimareform der leverer de magiske 70 procent.*
- Københavns Kommune, 2016. *Genbrug Af Mursten, Forslag Til Undersøgelse Af Muligheder For Genbrug Af Mursten I Forbindelse Med Renovering Af Kommunale Bygninger.*
- Københavns Kommune, 2017. *Genbrug Af Mursten, Erfaringer Fra Nedrivning Af Bygning 13 På Bispebjerg Hospital Og Genbrug Af Mursten Til Nybyggeri På Katrinedals Skole I Vanløse.*
- Miljøstyrelsen, 2006a. *Genanvendelse Af Brugt Stenuld, Forprojekt.* Miljøprojekt Nr. 1107.
- Miljøstyrelsen, 2006b. *Genanvendelse Af Brugt Stenuld, Hovedprojekt.* Miljøprojekt Nr. 1106.
- Miljøstyrelsen, 2012. *Livscyklusvurdering Og Samfundsøkonomisk Vurdering Af Forskellige Alternativer For Håndtering Og Behandling Af Gipsaffald.* Miljøprojekt nr. 1410.
- Miljøstyrelsen, 2013. *LCA Af Genbrug Af Mursten.* Miljøprojekt nr. 1512.
- Miljøstyrelsen, 2015a. *Forurenende stoffer i beton og tegl.* Miljøprojekt 1806.
- Miljøstyrelsen, 2015b. *Spredning Af Problematiske Stoffer Ved Materialenyttiggørelse Af Asfalt Til Vejbygningsformål.* Miljøprojekt nr. 1731.
- e
- Miljøstyrelsen, 2016a. *Afsætningsmuligheder For Træ.*

- Miljøstyrelsen, 2016b. *Metode Til Sortering Af Rent/Indendørs Træ*.
- Miljøstyrelsen, 2016c. *Samfundsøkonomisk Analyse Af Genbrug Af Mursten*. Miljøprojekt nr. 1904. Miljøstyrelsen.
- Miljøstyrelsen, 2017. *Affaldsforebyggelse I Byggeriet Forprojekt*. Miljøprojekt nr. 1919.
- Miljøstyrelsen, 2018a. *Modellering af udvaskning af problematiske stoffer fra beton og tegl*. Miljøprojekt nr. 2550.
- Miljøstyrelsen, 2018b. *Cirkulær Asfaltproduktion I Danmark*. MUDP Projekt.
- Miljøstyrelsen, 2018c. *Forekomsts Og Udvaskning Af Problematiske Stoffer I Knust Beton Og Tegl*. Miljøprojekt nr. 1991.
- Miljøstyrelsen, 2018d. *Genanvendelse Af Knust Beton I Nye Betonkonstruktioner*. MUDP-Rapport.
- Miljøstyrelsen, 2018e. *Projekter For Bedre Ressourceudnyttelse Livscyklusvurdering Af Genanvendelse Af Træaffald*. Miljøprojekt nr. 1995.
- Miljøstyrelsen, 2018f. *Samfundsøkonomisk Vurdering Af Behandling Af Genanvendeligt Træaffald*. Miljøprojekt nr. 1994.
- Miljøstyrelsen, 2019a. *Analyse Af Nationale Plaststrømme I Landbrug, Hotel- Og Restaurationsbranchen Og Bygge- Og Anlægsbranchen*. Miljøprojekt nr. 2084.
- Miljøstyrelsen, 2019b. *Cirkulær Forretning For DM&E Entreprenører - Gør Branchen fremtidssikret*.
- Miljøstyrelsen, 2019c. *Establishing Effective Markets For Secondary Building Materials*. Environmental Project No. 2076.
- Nordisk Institut for Bæredygtige Produkter, Miljøkemi og Toksikologi(NIPSECT), 2015. *En Vugge-Til-Port Sammenligning Af Primewool Papirisolering Med Mineraluldsisoleringsprodukter Med Hensyn Til Energiforbrug Og Klimapåvirkninger*.
- Rockwool, 2019. *Environmental Product Declaration. ROCKWOOL stone wool thermal insulation*.
- Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet, 2015. *Genbrug Af Byggevarer Forprojekt Om Identifikation Af Barrierer*.
- Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet, 2019. *Livscyklusvurdering for cirkulære løsninger med fokus på klimapåvirkning – Forundersøgelse*.
- Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut, 2019. *Kartlægning Av Plastflöden I Sverige*. SMED Rapport Nr 01.
- Teknologisk Institut, 2016. *Materialeatlas Over Byggematerialers Genbrugs- Og Genanvendelsespotentialer*. Et Innobyg-projekt.
- Teknologisk Institut, 2019a. *Bygherrers Rolle I Den Cirkulære Økonomi*. Cirkulær Ressourceøkonomi. Styrelsen for Institutioner og Uddannelsesstøtte.
- Teknologisk Institut, 2019b. *Materialer I Den Cirkulære Økonomi: Mineraluld*. Cirkulær Ressourceøkonomi. Styrelsen for Institutioner og Uddannelsesstøtte.
- Teknologisk Institut, 2019c. *Materialer I Den Cirkulære Økonomi: Plast*. Cirkulær Ressourceøkonomi. Styrelsen for Institutioner og Uddannelsesstøtte.

Teknologisk Institut, 2019d. *Materialer I Den Cirkulære Økonomi: Tegl*. Cirkulær Ressourceøkonomi. Styrelsen for Institutioner og Uddannelsesstøtte.

Teknologisk Institut, 2019e. *Materialer I Den Cirkulære Økonomi: Træ*. Cirkulær Ressourceøkonomi for Styrelsen. Institutioner og Uddannelsesstøtte.

Trafik- og Byggestyrelsen, 2015. *Barrierer Og Muligheder For Genbrug Af Mursten*.

Vadstrup, S., 2012. *Genbrug Og Genoplægning Af Game Teglsten*. Center for Bygningsbevaring.

Videncenter for Håndtering og Genanvendelse af Byggeaffald, 2018. *Best Practice Mursten*.

## 11. LISTE OVER INFORMANTER

Organisation/virksomhed	Informant	Titel
<b>Danske interview</b>		
Danmarks Grønne Investeringsfond	Dorte Glensvig	Udviklingsdirektør
Dansk Beton		
Dansk Byggeri	Simon Stig-Gylling	Miljø- og bæredygtighedskonsulent
Miljøstyrelsen	Charlotte Moosdorf	Funktionsleder, cirkulær økonomi og affald
RGS Nordic	Ebbe Tubæk Naamansen	Head of Group Sustainability
Bygherreforeningen	Graves Simonsen	Projektchef
Rockwool	Susanne Kuehn	PA Manager
Randers Tegl	Thomas Wøhlk	Fabrikschef
Unicon	Ib Bælum Jensen	Teknologichef
STARK	Louise Askær-Hune	Sustainability Manager
NCC	Anna-Mette Monnelly	Bæredygtighedschef
P. Olesen	Henrik Olesen	Driftsleder
Tscherning	Rune Holm Madsen	Produktionsdirektør
ARGO	Finn Kjær	Genbrugschef
Norrecco	Jette Bjerre Hansen	Development Manager
Tegllageret	Torben Jakobsen	Ejer
Lendager Group	Ditte Lysgaard Vind	Managing Partner
<b>Udenlandske interview</b>		
<b>Finland</b>		
Stora Enso	Lauri Linkosalmi	Senior Manager, Product Stewardship
Green Building Council Finland	Jessica Karhu	Senior Sustainability Specialist
<b>Nederlandene</b>		
Bouwend Nederland	Helen Visser	Sustainability program manager
BRBS Recycling	Otto Friebel	Director of Recycling
<b>Norge</b>		
Byggenaeringens Landsforening	Rannveig Ravnager Landet	Direktør, miljø- og energipolitik
Skanska Norge	Pablo Gonzalez Castrillo	Environmental Advisor
<b>Storbritannien</b>		
Globe Chain, Reuse marketplace	Jennifer Moldovanos	
Sustainable Construction Solutions	Charlie Law	CEO/Founder
<b>Sverige</b>		
Sveriges Byggindustrier	Marianne Hedberg	Miljøekspert
Ragn Sells	Pär Larshans	Chief Sustainability Corporate Responsibility & Public Affairs Officer

Derudover er der gennemført et enkelt dansk interview mere, hvor informanten ønskede at være anonym.



**RAMBOLL**

Bright ideas. Sustainable change.