TEKNOLOGISK INSTITUT



Miljø- og ressourcekonsekvenser ved brug af og mangel på mineralske råstoffer

En del af projektet "Konsekvenser og handlingsrum for byggeriet ved mangel på mineralske råstoffer"

TEKNOLOGISK INSTITUT

Miljø- og ressourcekonsekvenser ved brug af og mangel på mineralske råstoffer

En del af projektet "Konsekvenser og handlingsrum for byggeriet ved mangel på mineralske råstoffer"

Udarbejdet af
Teknologisk Institut
Byggeri og Anlæg
Sarah C. Andersen & Thilde F. Astrup

Sagsansvarlig
Thilde F. Astrup
Byggeri og Anlæg

1. maj 2026, version 1.0

Projektpartner:

WSP

TEKNOLOGISK INSTITUT

Sammenfatning

Denne rapport undersøger de miljø- og ressourcekonsekvenser, der kan opstå som følge af byggeriets fortsatte brug af mineralske råstoffer og en fremtidig mangel på disse. Fokus er særligt på sand, grus, sten og ler, som udgør centrale råstoffer i dansk byggeri, især gennem materialer som beton, tegl og mørtel. Rapporten indgår i projektet "Konsekvenser og handlingsrum for byggeriet ved mangel på mineralske råstoffer" og har til formål at belyse, hvilke konsekvenser forskellige udviklingsveje kan have for byggeriets råstofforbrug, miljøpåvirkninger og forsyningssikkerhed.

Analysen er gennemført som en konsekvensbaseret livscyklusvurdering (konsekvens-LCA) og omfatter perioden 2023–2040. Der arbejdes med scenarier for både efterspørgsel og forsyning. Efterspørgselsscenarierne spænder fra et højt niveau med fortsat stort nybyggeri til et lavt niveau med større vægt på renovering og transformation. Forsyningsscenarierne omfatter en traditionel råstofforsyning, en lokalt begrænset forsyning med større geografiske og planmæssige begrænsninger samt cirkulære scenarier, hvor en del af behovet dækkes gennem genanvendt beton og genbrugte mursten. Analysen fokuserer på indvinding og transport af råstoffer og belyser dermed især de opstrøms konsekvenser ved forskellige forsyningsformer.

Resultaterne viser først og fremmest, at det samlede omfang af byggeaktivitet er den vigtigste drivkraft bag både råstofforbrug og miljøpåvirkninger. Jo mere der bygges, desto større bliver efterspørgslen efter mineralske råstoffer og desto højere bliver de samlede påvirkninger. Særligt sand og sten er tæt knyttet til nybyggeri, fordi de i store mængder indgår i beton. Når byggeaktiviteten reduceres, og en større andel af indsatsen flyttes mod renovering, falder efterspørgslen efter disse råstoffer derfor markant.

For ler tegner der sig et andet billede. Her viser analysen, at efterspørgslen ikke nødvendigvis falder ved et skifte fra nybyggeri til renovering. Tværtimod kan forbruget af ler fastholdes eller stige, blandt andet fordi renovering i høj grad omfatter tagudskiftninger, hvor tegltagsten er en væsentlig materialetype. Rapporten peger dermed på, at renovering ikke automatisk reducerer behovet for alle mineralske råstoffer, men snarere ændrer sammensætningen af materialebehovet.

På tværs af de analyserede miljøindikatorer er transport en væsentlig forklaringsfaktor for påvirkninger som global opvarmning og dannelse af fine partikler. Selve råstofindvindingen er derimod særlig vigtig for påvirkninger relateret til arealanvendelse og økosystemer. Det betyder, at råstofforsyning ikke alene handler om, hvorvidt der findes

tilstrækkelige mængder råstoffer, men også om hvor de findes, hvordan de transporteres, og hvilke arealinteresser de konkurrerer med. Rapporten peger samtidig på, at regionale forskelle er væsentlige: nogle dele af landet har relativt gode råstofressourcer, mens andre i højere grad er afhængige af tilførsel fra andre regioner eller fra havet.

De cirkulære scenarier viser, at genbrug og genanvendelse kan reducere byggeriets direkte behov for jomfruelige råstoffer, men også at potentialet er begrænset. De tilgængelige mængder af betonaffald og mursten kan kun dække en mindre del af det samlede fremtidige behov. Samtidig understreger konsekvensperspektivet, at øget anvendelse af sekundære materialer i byggeriet kan flytte behovet for jomfruelige råstoffer til andre dele af samfundet, især anlægssektoren, hvor knust beton og tegl allerede i dag anvendes i stor skala. Cirkulære løsninger er derfor vigtige, men de kan ikke alene løse udfordringen med råstofmangel.

Rapporten peger på en række metodiske forbehold. Resultaterne er blandt andet følsomme over for antagelser om transportafstande, fordelingen mellem land- og havindvinding samt tilgængeligheden af sekundære materialer. Desuden karakteriserer eksisterende LCA-metoder kun i begrænset omfang de mineralske råstoffer, som er mest centrale i denne analyse, især sand, grus og sten. Resultaterne skal derfor læses som kvalificerede scenarieillustrationer snarere end præcise forudsigelser.

Samlet peger studiet på, at den mest robuste strategi består i at kombinere flere tiltag: et lavere samlet materialetræk, større fokus på renovering og transformation, bedre udnyttelse af cirkulære materialestrømme og en mere langsigtet og strategisk planlægning af råstofforsyningen. Der er behov for en mere samlet national råstofstrategi, hvor byggeri, anlæg, regionale forsyningsforhold, arealinteresser og cirkulære potentialer tænkes sammen. Hvis byggeriets afhængighed af mineralske råstoffer skal reduceres reelt, kræver det således ikke kun materialetekniske løsninger, men også ændringer i byggeaktivitet, planlægning og prioritering på tværs af sektorer.

TEKNOLOGISK INSTITUT

Indhold

Sammenfatning 3
1 Introduktion 7
1.1 Mineralske råstoffer – hvad er det? 8
1.2 Mineralske råstoffer i dansk byggeri – udfordringer og perspektiver 9
1.3 Teoretisk baggrund for analyserne 10
2 Formål og omfang 14
2.1 Funktionelle enhed og reference flows 14
2.2 LCA-tilgang 15
2.3 Systemgrænser 15
2.4 Repræsentativitet og kilder for data 16
2.5 Anvendte påvirkningskategorier 16
2.6 Sammenlignende påstande og kritisk review 17
2.7 Scenarier 17
2.8 Forventede markedsmekanismer og påvirkede aktører ved de udvalgte scenarier 28
3 Kortlægning af livscyklussen (inventory) 29
3.1 Forventede markedsmekanismer og påvirkede aktører ved de udvalgte scenarier 29
3.2 Dataindsamling 43
3.3 Baggrundsdata 58
3.4 Inventory data 58
3.5 Data kvalitet 58
3.6 Følsomhedsanalyser 58
4 Resultater (vurdering af miljøpåvirkninger og materialestrømme) 61
4.1 LCA-resultater 61
4.2 Perspektivering mellem de tre efterspørgselsscenarier 67

4.3 Materialestrømme 68
5 Analyse og fortolkning 70
5.1 Signifikante udfordringer eller svagheder ved analysen 70
5.2 Data kvalitet 71
5.3 Følsomhedsanalyser 73
6 Diskussion og perspektivering 80
6.1 Politiske og strategiske implikationer 80
6.2 Råstofforsyning, transport og arealanvendelse 80
6.3 Cirkulær økonomi og bygge- og anlægsaffald 81
6.4 Metodiske og LCA-faglige overvejelser 83
6.5 Perspektivering til udvalgte scenarier beregnet vha. attributiv LCA 84
7 Konklusion 86
7.1 Anbefalinger 87
Referencer 88
Bilag 93

1 Introduktion

Byggebranchen står over for et opmærksomhedspunkt i forhold til tilgængeligheden af mineralske råstoffer som sand, grus og andre ikke-fornybare ressourcer. Den fortsat store efterspørgsel efter disse materialer, kombineret med begrænsede naturressourcer, arealanvendelseskonflikter mv, rejser spørgsmål om branchens fremtidige materialeanvendelse og bæredygtighed.

Rapporten indgår i projektet "Konsekvenser og handlingsrum for byggeriet ved mangel på mineralske råstoffer", som udføres i et samarbejde mellem Teknologisk Institut og WSP Danmark. Projektet er støttet økonomisk af Grundejernes Investeringsfond og den filantropiske forening Realdania. Projektet undersøger konsekvenserne af fremtidig mangel på mineralske råstoffer (sand, grus og ler) for byggebranchen i Danmark. Gennem kortlægning af eksisterende viden, LCA-studier og udvikling af et idékatalog, vil projektet identificere konkrete handlingsmuligheder for at reducere byggeriets afhængighed af disse råstoffer. Resultaterne fra de forskellige delrapporter samles i et Green Paper med anvisninger til en mere ressourceeffektiv byggebranche.

Denne rapport præsenterer en konsekvensanalyse af byggeriets forbrug af mineralske råstoffer med fokus på at belyse de potentielle miljø- og ressourcemæssige konsekvenser af en fremtidig råstofmangel i byggebranchen. Samtidig bidrager den til at nuancere debatten om råstofforbrugets udvikling i byggeriet, idet analysen afdækker både de direkte og indirekte konsekvenser af forskellige strategiske valg og prioriteringer vedrørende brug af mineralske råstoffer.

Analyserne tager afsæt i livscyklusvurdering (LCA) og er baseret på en scenariebaseret tilgang, hvor forskellige fremtidsscenarier og udviklingsperspektiver opstilles og analyseres. Scenarierne tager udgangspunkt i aktuelle tendenser og den nuværende udvikling i bygge- og råstofbranchen, herunder forholdet mellem renovering og nybyggeri samt introduktionen af nye og alternative byggematerialer.

Analysen indeholder en opstilling og et valg af relevante scenarier for fremtidig råstofanvendelse, efterfulgt af en kortlægning af markedsmekanismer og anvendelsesprioriteringer for de udvalgte scenarier. Herefter beskrives mulige fremtidsscenarier og udviklingsperspektiver, som perspektiveres i forhold til byggeriets fremtidige materialebehov.

Rapporten søger at besvare følgende hovedspørgsmål: "Hvad er alternativerne for byggeriet, hvis vi ikke længere kan bruge byggematerialer med mineralske råstoffer?" I denne sammenhæng undersøges det, hvordan udviklingen i byggebranchen bevæger sig i forhold til renovering versus nybyggeri, samt hvordan mineralske råstoffer anvendes og prioriteres i dag. Analysen belyser endvidere, om dele af udfordringen kan løses ved at prioritere renovering fremfor nybyggeri, og om mineralske råstoffer lettere kan erstattes i nybyggeri eller ved renovering.

Gennem denne analyse vil bygge-, anlægs- og råstofbranchen opnå indsigt i konsekvenserne ved et fortsat stort forbrug af mineralske råstoffer og få et kvalificeret grundlag for fremtidige strategiske beslutninger omkring materialeanvendelse.

1.1 Mineralske råstoffer – hvad er det?

Skønt Danmark ikke råder over forekomster af ædelmetaller eller traditionelle malmråstoffer, som typisk karakteriserer geologisk mere varierede regioner, producerer landet en bred vifte af mineralressourcer. Disse materialer dækker ikke blot det indenlandske behov, men eksporteres også til udlandet som væsentlige samfundsmæssige råvarer. (Larsen et al., 2019)

Sand, grus og sten anvendes primært til byggeri og vejanlæg og udgør volumenmæssigt de største mineralstrømme i dansk byggeindustri. Ler forarbejdes til teglsten og tagtegl, der har været essentielle byggematerialer gennem århundreder. Kalk har en bred vifte af anvendelser, herunder produktion af cement og beton, jordbrugskalk til pH-regulering, papirindustri, røggasfiltre til luftrensning, plastikproduktion samt fodertilskud til husdyrbrug. (Larsen et al., 2019)

Kvartssand finder anvendelse til sandblæsning, faldsand til legepladser og sportsbaner, kattegrus samt produktion af hvid beton. Plastisk ler forarbejdes til bentonit, der anvendes i membraner, spunsvægge og til afskærmning af atomaffald, samt til produktion af letklinker kendt som Leca-sten. Moler anvendes til kattegrus og isoleringsmaterialer på grund af dets porøse struktur og absorberende egenskaber, mens tørv primært bruges som gromedium i gartneri og planteproduktion. (Larsen et al., 2019)

Flint udnyttes til facadebeklædning og dekorative formål, mens granit og gnejs anvendes både til vejbelægning og som facadesten i arkitektoniske sammenhænge. Endelig udgør salt en vigtig ressource med anvendelser som vejsalt til vintervej vedligehold, spise salt

til fødevareindustrien samt industrisalt til kemisk produktion og forskellige industrielle processer. (Larsen et al., 2019)

Ikke alle mineralske råstoffer er centrale eller i fokus i nærværende projekt og analyse. Der fokuseres i dette projekt på råstofferne sten, sand, grus, og ler, da det er de mest betydende materialer for byggeriet og mængdemæssigt er sten, grus og sand det mest indvundne råstof.

1.2 Mineralske råstoffer i dansk byggeri – udfordringer og perspektiver

Den danske byggesektor er fundamentalt afhængig af mineralske råstoffer, hvor sand, grus og sten udgør de primære råstoffer til byggeformål. Disse materialer finder anvendelse i en bred vifte af produkter, hvor især beton har en vigtig betydning som byggemateriale.
Udover sand og grus udvindes der også kalk og ler, som anvendes til produktion af tegl og cement, som udgør essentielle byggematerialer. Disse mineralressourcer udgør en stor andel af den danske byggeproduktion og repræsenterer både volumenmæssigt og værdimæssigt betydelige ressourcestrømme.

Ansvaret for regulering og planlægning af råstofindvinding i Danmark er opdelt mellem forskellige myndigheder, hvilket afspejler kompleksiteten i ressourceforvaltningen. Den landbaserede indvinding af mineralske råstoffer reguleres og planlægges primært af regionerne gennem råstofplaner, hvor der tages stilling til lokalisering af nye grusgrave på land under hensyntagen til både ressourcebehov og miljømæssige konsekvenser. Regionerne skal i denne sammenhæng afveje hensynet til råstofforsyning mod andre samfundsinteresser som fx byudvikling, grundvandsbeskyttelse og naturbevarelse. Det statslige ansvar for marin indvinding er forankret hos Miljøstyrelsen, som administrerer tilladelser til indvinding af råstoffer fra havbunden i danske farvande.

Den geografiske fordeling af mineralske råstoffer udgør en væsentlig udfordring for dansk råstofforsyning, idet forekomsterne er koncentreret i bestemte dele af landet, primært i Jylland, mens andre regioner, særligt øerne, har begrænsede lokale ressourcer. Dette skaber ubalancer i forsyningen, da råstoffer skal transporteres over lange afstand fra ressourcerige områder til de områder, hvor efterspørgslen er, hvilket resulterer i øgede logistikomkostninger, højere CO_2-udledning fra transport og ekstra belastning af vejnettet. Samtidig skærpes udfordringen af konkurrerende arealinteresser, idet råstofindvinding må afvejes mod fx byudvikling, landbrugsarealer, naturbevarelse, rekreative formål og grundvandsbeskyttelse. Dette reducerer de tilgængelige indvin-

dingsområder yderligere og komplicerer den langsigtede planlægning af ressourceforsyningen, samtidig med at det øger risikoen for regional eller lokal råstofmangel.

Dertil kommer, at kvalitetskrav til byggematerialer, særligt til beton-tilslag, har en væsentlig indflydelse på ressourceforbruget i dansk byggeri. Krav til tilslagsmaterialers kornstørrelse, styrke, renhed og form sikrer høj kvalitet i betonkonstruktioner, men begrænser samtidig potentielt anvendelsesmulighederne for lokalt tilgængelige materialer og genanvendte alternativer. Når lokale forekomster ikke kan opfylde disse specifikationer, nødvendiggør det import af materialer fra andre regioner eller lande, hvilket øger både omkostninger og miljøbelastning fra transport. Særligt kvalitetskrav til knust sten til højstyrkebeton medfører ofte import fra Norge og Sverige, da danske forekomster af hård bjergart er begrænsede i Danmark. Samtidig kan strenge kvalitetskrav hindre anvendelsen af genanvendt beton og andre sekundære materialer, selv hvor disse teknisk set kunne være funktionsdygtige, fordi certificering og dokumentation af disse materialer er udfordrende inden for de eksisterende standarder. Dette skaber en situation, hvor primære ressourcer foretrækkes, selv når cirkulære alternativer findes, hvilket underminerer både ressourceeffektivitet og den cirkulære økonomi.

1.3 Teoretisk baggrund for analyserne

1.3.1 Livscyklusvurdering (LCA)

Livscyklusvurdering, almindeligvis benævnt LCA[1], er en metode til at analysere og kvantificere miljøpåvirkningerne fra et produkt, en service eller et system gennem hele dets livscyklus. Dette omfatter oftest alle faser fra indvinding af råmaterialer, gennem produktion og anvendelse, til bortskaffelse eller genanvendelse efter brug. LCA giver dermed et helhedsorienteret perspektiv på miljøkonsekvenser, der går ud over blot at fokusere på én enkelt fase eller ét enkelt miljøaspekt.

Inden for LCA-metodikken skelnes der mellem to fundamentale tilgange: attributiv-LCA[2] og konsekvens-LCA. Disse adskiller sig primært i deres formål og i den måde, hvorpå de håndterer systemafgrænsninger og datavalg. Se de overordnede forskelle i Tabel 1.

[1] Forkortet fra den engelske term, Life Cycle Assessment
[2] Også kaldet normativ eller tilskrivnings-LCA

Tabel 1 Attributiv- og konsekvens-LCA

	Attributiv-LCA	Konsekvens-LCA
Hvornår	Bruges ofte i produktspecifikke analyser og miljømærkning	Bruges mere til at vurdere politikker, strategiske beslutninger eller større systemiske ændringer
Hvordan	Ser på de direkte miljømæssige effekter, der kan tilskrives produktet gennem dets livscyklus. Biprodukters påvirkning allokeres ud af systemet	Tager højde for indirekte effekter og ændringer i markedet. Biprodukters påvirkning medregnes, og det vurderes, om der erstattes andet i markedet.
Data	Bruger historiske og gennemsnitlige data	Bruger marginale data, dvs. forholder sig til hvem/hvad, der reagerer på ændret efterspørgsel
Eksempel	En attributiv-LCA af genanvendt betonaffald kortlægger miljøpåvirkningen fra knusning, sortering, transport og anvendelse som tilslag i ny beton.	En konsekvens-LCA af genanvendt betonaffald undersøger, hvordan øget genanvendelse reducerer behovet for sandindvinding, påvirker grusgravdrift og ændrer affaldshåndtering.
Fokus	Direkte påvirkninger	Både direkte og indirekte påvirkninger

Attributiv-LCA har til formål at beskrive de miljøpåvirkninger, der kan tilskrives et produkt eller en aktivitet baseret på den nuværende situation. Metoden kortlægger de faktiske fysiske strømme af materialer og energi, der er forbundet med produktet, og fordeler miljøpåvirkningerne fra fælles processer efter etablerede fordelingsnøgler. Attributiv-LCA besvarer spørgsmålet: "Hvilke miljøpåvirkninger kan tilskrives dette produkt?" Denne tilgang anvendes typisk til miljødeklarationer, produktsammenligning og til at dokumentere den miljømæssige status quo.

Konsekvens-LCA derimod fokuserer på at estimere de miljømæssige konsekvenser af en ændring eller beslutning. Metoden søger at besvare spørgsmålet: "Hvordan vil de samlede miljøpåvirkninger ændre sig, hvis vi træffer denne beslutning eller foretager denne ændring?" I stedet for at beskrive den nuværende situation, analyserer konsekvens-LCA, hvordan produktionssystemer, forsyningskæder og markeder vil reagere på ændringer i efterspørgsel. Dette indebærer ofte anvendelse af marginale data, der repræsenterer den teknologi eller det produktionssystem, som reelt forventes at blive påvirket af ændringen. Konsekvens-LCA er særligt relevant for strategiske beslutninger om produktudvikling, politiske tiltag eller investeringer, hvor formålet er at forstå de miljømæssige konsekvenser af forskellige handlingsalternativer.

Valget mellem attributiv- og konsekvens-LCA afhænger af formålet med analysen. Attributiv-LCA egner sig til at beskrive og dokumentere eksisterende systemer, mens konsekvens-LCA er mere velegnet til beslutningsstøtte, hvor målet er at identificere de miljømæssigt mest fordelagtige handlinger fremadrettet.

Hverken konsekvens-LCA eller attributiv-LCA er grundlæggende forkert eller rigtig - begge har deres berettigelse afhængigt af formålet. Den centrale diskussion handler om rimeligheden af bagvedliggende antagelser og resultaternes følsomhed herfor. Konsekvens-LCA bør betragtes som beslutningsstøtte, der identificerer potentielle risikoscenarier og informerer om, hvilke handlinger der kan iværksættes for at undgå uønskede konsekvenser og sikre, at positive intentioner ikke fører til negative systemiske effekter.

LCA tilgangen for dette studie er beskrevet i afsnit 2.2.

1.3.2 Scenarieudvikling

Anvendelsen af scenarieudvikling har til formål at undersøge, hvordan forskellige værdimæssige prioriteringer (såsom forskellige ressourceanvendelser), eller samfundsmæssige udviklingsforløb over tid influerer det grundlag, hvorpå beslutninger træffes.

I forbindelse med indvinding og anvendelse af mineralske råstoffer over tid udgør scenarieudvikling et centralt metodisk værktøj til at undersøge langsigtede konsekvenser af forskellige udviklingsforløb i byggesektoren. Ved at bruge scenarier, muliggøres en systematisk undersøgelse af, hvordan fremtidens byggeri kan udvikle sig under forskellige forudsætninger om ressourcetilgængelighed, teknologisk udvikling, regulatoriske rammer og samfundsmæssige prioriteringer.

Scenarierne kan spænde fra business-as-usual situationer, hvor nuværende praksisser fortsætter uændret, til transformative scenarier med fundamentale ændringer gennem øget cirkularitet, substitution med alternative materialer eller væsentlige ændringer i forholdet mellem nybyggeri og renovering.

Den tidslige dimension er afgørende, idet den muliggør forståelse af, hvordan beslutninger truffet i dag akkumulerer til væsentlige forskelle i fremtidige miljøpåvirkninger og ressourcetilgængelighed. Dette perspektiv er særligt relevant for mineralske råstoffer, da disse er ikke-fornybare, og udtømning af forekomster derfor udgør en reel risiko.

Skønt de opstillede fremtidsscenarier formentlig ikke vil stemme fuldstændigt overens med den faktiske udvikling, er de uundværlige for at kunne kvantificere forskellige udviklingsmuligheder. Ved at fungere som tænkte fremtidsperspektiver skaber scenarierne klarhed og gør det muligt at kvantificere eventuelle følgevirkninger, hvilket styrker grundlaget for at træffe informerede beslutninger om de beskrevne transformationer.

Scenarie omfang og beskrivelser for studiet er præsenteret i afsnit 2.7.

2 Formål og omfang

Formålet med dette LCA-studie er at analysere udvalgte scenarier for efterspørgsel og forsyning af mineralske råstoffer i den danske byggebranche, og de deraf afledte miljø- og klimakonsekvenser.

Den tilsigtede anvendelse af resultaterne er at tilvejebringe viden om de miljø- og ressourcemæssige konsekvenser af en fremtidig mangel på mineralske råstoffer til byggematerialer.

Målgruppen er aktører i bygge- og anlægsbranchen som helhed, dog med primær fokus på byggebranchen, og sekundært på anlægsbranchen. Dertil også aktører fra tangerende brancher, fx indvinder af råstoffer. Målgruppen er også myndigheder og politiske beslutningstagere, der ønsker at forstå nogle af de mekanismer og konsekvenser, der opstår i forskellige handlingsscenarier på efterspørgsel og forsyning af mineralske råstoffer. Det kunne fx være Regionerne som myndighed for råstofindvinding på land, Miljøministeriet som myndighed for råstofindvinding til havs, samt aktører involveret i udviklingen af en potentiel kommende national råstofplan.

Analysen er udført i forbindelse med projektet "Konsekvenser og handlingsrum for byggeriet ved mangel på mineralske råstoffer", i et samarbejde mellem Teknologisk Institut og WSP Danmark. Projektet er støttet økonomisk af Grundejernes Investeringsfond og den filantropiske forening Realdania.

2.1 Funktionelle enhed og reference flows

Den funktionelle enhed for studiet er totale mængder råstoffer påkrævet for at imødekomme fremskrevne byggeaktiviteter (til nybyggeri og renovering) for den temporale analyseperiode 2023-2040.

Den fremskrevne byggeaktivitet opstiller en række scenarier (beskrevet i afsnit 2.7), for efterspørgsel af nybygget og renoveret byggeri, og hvad det medfører af efterspørgsel på mineralske råstoffer, koblet med forskellige forsyningstilgange til at imødekomme denne råstofefterspørgsel.

Materialestrømme opgøres således ift. samlet efterspørgsel (i volumen, m^3) over analyseperioden 2023-2040. Der tages ikke hensyn til efterspørgsel på materialer til det generelle vedligehold af bygninger, da den vurderes som uvæsentlig i forhold til de råstofmængder, der anvendes til nybyggeri og renovering.

2.2 LCA-tilgang

Analysen i dette projekt baserer sig på konsekvenstilgangen indenfor LCA. Styrken ligger i at synliggøre indirekte og utilsigtede konsekvenser, som fx produktionsforskydninger og påvirkninger af andre industrier.

Da der dog oftest anvendes en attributiv tilgang i LCA'er udført i bygge- og anlægsbranchen, foreskrevet gennem de anvendte deklarationer og lovgivningen omkring LCA på bygningsniveau, udføres der også en perspektivering af analysens resultater til en attributiv-LCA. Denne analyse og de bagvedliggende antagelser beskrives i bilag A.

Da der arbejdes med konsekvens-LCA, udføres der systemudvidelse, hvilket betyder at man udvider systemgrænsen, så konsekvenser i andre systemer og markeder medtages. Når et produkt eller system medfører ændret efterspørgsel efter et andet produkt (fx ved substitution eller ekstra produktion), inkluderes disse ændringer eksplicit i analysen for at afspejle den reelle marginale miljøpåvirkning – dvs. miljøpåvirkningen forårsaget af de aktører på markedet, der reelt reagerer på en ændret efterspørgsel. I denne analyse indebærer det for eksempel, at når behandling og håndtering af mineralske råstoffer til byggeri modelleres (herunder ved genanvendelse eller gennem alternativ anvendelse), inddrages den efterfølgende ressourcebesparelse, der opstår ved, at primære mineralske råstoffer substitueres på markedet.

2.3 Systemgrænser

Studiet fokuserer kun på fysiske materiale flows, hvorfor sekundære ydelser og hjælpemidler (fx rådgivning, men også brug af maskineri mv. er udeladt).

Der opstilles en række scenarier for hhv. efterspørgsel af byggede kvadratmeter, samt forsyningen hertil. Der tages udgangspunkt i en konventionel byggeskik, hvor byggeri i høj grad forsynes med/fra mineralske råstoffer og byggematerialer.

Da fokus i analysen er på den forsyning, der kan imødekomme den forudsatte efterspørgsel på byggede kvadratmeter, medtages kun opstrøms processer i modelleringen, dvs. indvinding af råstoffer/ressourcer, bearbejdning og transport af disse til produktionssites. Dette svarer til modul A1 og A2 i byggeriets LCA-terminologi.

Produktion af byggematerialer (A3), håndtering ved endt levetid (C1-C4), samt bygningernes levetid ekskluderes i studiet.

2.4 Repræsentativitet og kilder for data

Data bør som udgangspunkt repræsentere en dansk kontekst og den temporale analyse-periode 2023-2040. Såfremt danske data ikke er tilgængelige, anvendes der bedst repræsentative proxydata fra omkringliggende lande eller med lignende metoder, fortrukken europæisk, og ellers globalt. Der anvendes samme tilgang til proxydata for tidsmæssig og teknologisk repræsentativitet.

Der foretages følsomhedsanalyser i begrænset omfang, for centrale antagelser og scenarier. Se specificerede beskrivelser i afsnit 3.6. Følsomhedsanalysen undersøger, hvordan ændringer i de valgte parametre (inputdata) påvirker det endelige LCA-resultat. En usikkerhedsanalyse kvantificerer den samlede usikkerhed af det endelige LCA-resultat, fx gennem Monte Carlo-simuleringer. Der foretages ikke usikkerhedsanalyser i nærværende studie.

Forgrundsdata i dette projekt dækker over totale mængder bygget areal, materiale-mængder per bygget areal, anvendelse af råstoffer i byggematerialerne samt transport-distancer af råstoffer. Forgrundsdata findes ved hjælp af litteratur, og gennem dataudveksling med Artelia fra deres projekt Veje til Biobaseret Byggeri (Lindgren et al., 2025; Realdania, 2023). Forgrundsdata projekteres til at repræsentere bud indenfor den temporale analyseperiode.

Baggrundsdata anvendes primært fra databasen ecoinvent (Wernet et al., 2016) v. 3.12 (ecoinvent, 2025), med systemmodellen "Substitution, consequential, long-term" (ecoinvent, 2024). Hvor nødvendigt eller relevant, suppleres der med proxydata eller data fra litteraturen. Baggrundsdata forbliver statiske, baseret på de tilgængelige data i anvendte databaser. LCA-modellering foregår i værktøjet openLCA (GreenDelta, 2025), v. 2.6.0.

2.5 Anvendte påvirkningskategorier

Den anvendte karakteriseringsmetode i dette studie er ReCiPe, med værditilgangen Hierarchist (H) (Huijbregts et al., 2017; Schumacher, 2025), v. ReCiPe 2016 v1.03, som implementeret i openLCA, og udvalgte påvirkningskategorier:

- Midpoint
    - Global opvarmning (GWP, målt i enheden kg CO_2eq)
    - Land transformation og land occupation (målt i m^2 annual crop eq)
    - Fine particulate matter formation (målt i kg PM2.5 eq)

  - Mineral ressource (målt i kg Cu-eq)[3]
- Endpoint (Area of Protection)
  - Damage to ecosystems

Dertil kvantificeres materialestrømmene i LCA'en, da en central måleenhed for råstoffer, er vægt (målt i kg eller ton) og volumen (målt i m^3).

2.6 Sammenlignende påstande og kritisk review

Studiet indeholder sammenlignende scenarier, dog ikke til endelig sammenligning af fx specificerede produkter, men for at illustrere forskellige løsningsrum. For at styrke robustheden af studiet, er der foretaget et eksternt review af centrale dele af hovedrapporten. Review er delt op i to faser: tidlig gennemgang af Formål og omfang (afsnit 2), og slutteligt af den komplette hovedrapport.

Det eksterne review, med feedback og dertilhørende svar, er præsenteret i bilag F.

2.7 Scenarier

Til fastlæggelse af scenarierne for studiet, er der opsat en overordnet matrix, der kombinerer efterspørgsel og forsyning, se Tabel 2. I nedenstående afsnit (2.7.1 - 2.7.2) beskrives de forskellige efterspørgsels- og forsyningsscenarier i kvalitative og overordnede træk. I afsnit 2.7.3 kobles de forskellige efterspørgsels- og forsynings-scenarier. Da ikke alle de opstillede scenarier i Tabel 2 beregnes med en fuld LCA, specificeres de udvalgte scenarier til kvantificering i afsnit 2.7.4 .

Tabel 2 Efterspørgsel og udbud, scenarie matrix

		Forsyning		
		Traditionelt	**Lokalt begrænset**	**Cirkulært**
Efter-spørgsel	**Højt**			
	Mellem			
	Lavt			

2.7.1 Efterspørgsel

Efterspørgsel efter mineralske råstoffer afhænger af forventninger til udviklingen af byggeriet, og det materialetræk denne udvikling vil forårsage. I dette projekt er der anvendt tre efterspørgselsniveauer, se Tabel 3. De præsenterer tre udviklingsveje, hvoraf

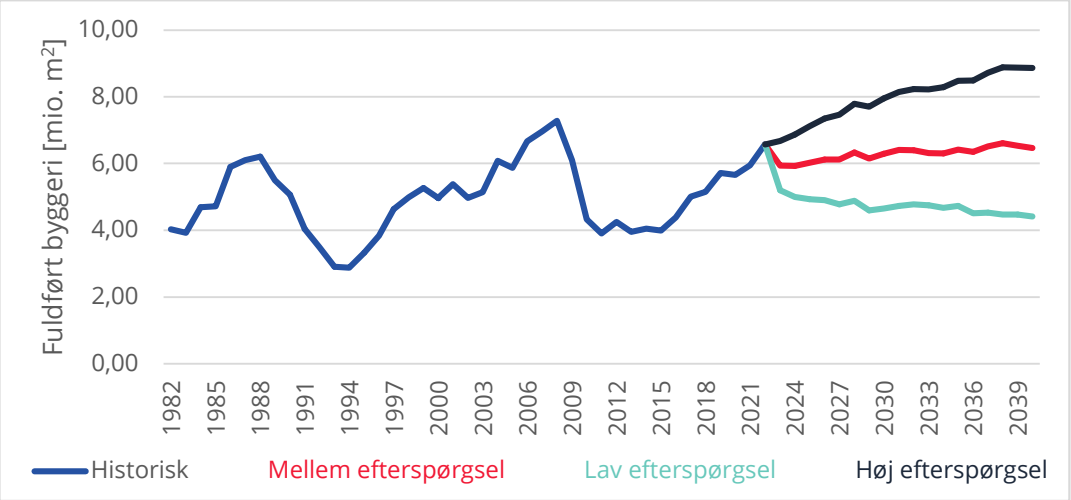
[3] karakteriserer umiddelbart ler, gips, udover de metalliske råstoffer, men ikke sten og grus

alle tre kan beskrives som idealiserede og karikerede. I praksis vil den reelle fremtid højst sandsynligt opstå et sted midt imellem – afhængigt af samfundsmæssige og politiske tiltag og udvikling. Hver udviklingsvej uddybes i de følgende afsnit.

Tabel 3 Tre niveauer for efterspørgsel efter råstoffer

Højt	Mellem	Lavt
Vi bygger som vi plejer i forhold til størrelse og frekvens. Renovering og transformation fylder ikke meget.	Mindre byggeaktivitet. Vi nedskalerer arealbehov i boligen, og øger mængden og typen af fælles arealer, samt mængden af renovering.	Byggeaktiviteten falder, med øget fokus på renovering og transformation.
Baseres på data for 'Væksten fortsætter' scenariet fra (Lindgren et al., 2025), se Figur 1	Baseres på data for 'Prognose' scenariet fra (Lindgren et al., 2025), se Figur 1	Baseres på data for 'Opbremsning' fra (Lindgren et al., 2025), se Figur 1

Figur 1 Fremskrevne scenarier for byggeaktivitet frem til 2040



Baseret på Artelias rapport om *Scenarier for fremtidens behov for biobaserede byggematerialer*. Inkluderer opvarmede arealer af (forventet) fuldført byggeri, angivet i mio. m². Kilde: (Lindgren et al., 2025)

Det er besluttet ikke at arbejde med en idealiseret fremtidsudvikling som fx byggestop. Selvom dette kan det fungere som et styrende princip for den retning, som ressource-

forvaltningen bør udvikle sig mod, anses det ikke som realistisk at implementere på nuværende tidspunkt og indenfor analysens temporale periode.

2.7.1.1 Højt

Det høje efterspørgselsniveau repræsenterer en øget/forsat stigende byggeaktivitet, som det er set de senere år. På trods af snak om omstilling, nedskaleres byggeaktiviteten ikke, og der ses en stadig vækst i mængden af nyt byggeri. Renovering og transformation af eksisterende bygningsmasse udgør ikke en betydelig andel af den samlede aktivitet. Scenariet afspejler en situation, hvor hverken klimahensyn, ressourceknaphed eller økonomiske kriser i væsentlig grad påvirker sektorens udviklingsbane.

2.7.1.2 Mellem

Det mellemstore efterspørgselsniveau karakteriseres ved en fortsættelse af, men nogenlunde stabiliseret, bygge- og anlægssektorens hidtidige aktivitet uden væsentlige ændringer i byggevolumen eller -praksis. Nybyggeri dominerer fortsat markedet, og der opføres boliger og erhvervsbyggeri i et omfang og tempo, der svarer til de historiske mønstre fra perioden 1982-2022. Renovering og transformation af eksisterende bygningsmasse udgør kun en mindre andel af den samlede aktivitet, og der er begrænset incitament til at gentænke byggeriets omfang eller karakter. Scenariet afspejler en situation, hvor hverken klimahensyn, ressourceknaphed eller økonomiske kriser i væsentlig grad påvirker sektorens udviklingsbane, dog med marginalt øget fokus på renovering.

2.7.1.3 Lavt

Det lave efterspørgselsniveau repræsenterer en periode med markant reduceret bygge-aktivitet sammenlignet med de foregående årtier. Opbremsningen kan skyldes en generel økonomisk afmatning, men den kan også være udtryk for et bevidst skifte i prioriteringer, hvor renovering, transformation og bevarelse af eksisterende byggeri kommer i fokus. Nybyggeri finder stadig sted, men i mindre skala og med større opmærksomhed på reel behovsafdækning. Kvalitet, tilpasning og langsigtet værdi prioriteres over kvantitet og hastighed. Scenariet indebærer en samfundsmæssig omstilling, hvor byggeriet i højere grad tilpasses demografiske ændringer, klimamål og ressourcebegrænsninger.

2.7.2 Forsyning

Forsyningen til at imødekomme den foreskrevne efterspørgsel afhænger af tilgængelig-heden af ressourcer og de systemer, der etableres for at mobilisere disse til byggeriet. I

dette projekt er der opstillet tre forsyningsvariationer, se Tabel 4. De repræsenterer tre forskellige tilgange til, hvordan ressourcerne kan fremskaffes, men også hvordan de kan komme til kort i forhold til at imødekomme efterspørgslen.

Der er udvalgt en række forsyningsscenarier/-modeller til dette studie. Disse er ikke udtømmende. Andre relevante forsyningsmodeller, der kunne imødekomme efterspørgsel efter materialer og råstoffer til byggeri er fx en højere grad af anvendelse af biogene materialer. Disse er kort beskrevet i afsnit 2.7.2.4, men er ikke berørt yderligere i nærværende projekt. I praksis vil det optimale være en kombination af samtlige forsyningsscenarier – afhængigt af regulatoriske rammer, markedsdynamikker og teknologisk udvikling, for at imødekomme et givent efterspørgselsbehov for råmaterialer.

Hver forsyningsvariation uddybes i de følgende afsnit.

Tabel 4 Forsyningsmodeller

	TRADITIONELT Business as Usual	**LOKALT BEGRÆNSET** Reduktion i indvindings-tilladelser, kamp om arealerne	**CIRKULÆRT** Byggeaffald anvendes jf. affaldshierarkiet
MATERIALER	▪ Traditionelle byggematerialer, primært mineralske råstoffer	▪ Traditionelle byggematerialer, primært mineralske råstoffer	▪ Betonelementer og mursten genbruges ▪ Genanvendelse af beton som tilslag i ny beton
KONSEKVENSER	▪ Fjerner materialer fra anlægssektoren? ▪ Længere transportafstande? ▪ Øget regional materialeudveksling?	▪ Øget råstofimport? ▪ Øget indvinding fra havbund? ▪ Øget regional materialeudveksling? ▪ Optimering af gravearbejde — mindre spild, øget udnyttelse? ▪ Mindre byggeaktivitet pga. stigende priser?	▪ Fjerner affald, fx knust beton og tegl fra anlægssektoren?

2.7.2.1 Traditionel forsyning

Den traditionelle forsyningsmodel repræsenterer fortsættelse af nuværende praksis, hvor byggeriet primært baseres på konventionelle mineralske råstoffer som sand, grus, sten, ler og kalk udvundet fra naturlige forekomster. Materialestrømmen følger det

traditionelle envejsmønster fra indvinding gennem anvendelse til deponering eller anden endelig udnyttelse[4] uden systematisk recirkulering. Dette scenarie forudsætter vedvarende tilgængelighed af primære geologiske ressourcer fra etablerede indvindingssteder, hvor lokale eller regionale grusgrave og stenbrud leverer råmaterialer til nærliggende byggeområder efter det behov byggeriet stiller.

En fortsættelse af den traditionelle forsyningsmodel medfører imidlertid stigende udfordringer i takt med, at de lettest tilgængelige ressourcer udtømmes eller bliver utilgængelige. Dette kan resultere i fjernelse af materialer fra anlægssektoren eller andre sektorer, der efterspørger en given ressource, hvor byggeriets efterspørgsel overstiger regional forsyningskapacitet. Samtidig kan scenariet føre til væsentligt forlængede transportdistancer, idet byggeområder må forsyne sig fra mere fjerne indvindingslokationer, hvilket øger både økonomiske omkostninger og miljøbelastning fra transport.

2.7.2.2 Lokalt begrænset forsyning

Den lokalt begrænsede forsyningsmodel er karakteriseret ved reduktion i indvindingstilladelser og intensiveret konkurrence om tilgængelige arealer til råstofindvinding. Dette scenarie afspejler stigende restriktioner på landbaseret råstofindvinding som følge af øget pres fra konkurrerende arealinteresser, herunder byudvikling, grundvandsbeskyttelse, naturbevarelse og rekreative formål, hvilket begrænser mulighederne for at etablere nye eller udvide eksisterende indvindingsområder.

Selvom byggeriet fortsat baseres på traditionelle mineralske råstoffer som sand, grus, sten, ler og kalk, medfører de lokale begrænsninger væsentlige ændringer i tilgængelighed og forsyningsmønstre. Den reducerede indenlandske indvindingskapacitet kan nødvendiggøre øget import af råstoffer fra nabolande, hvilket introducerer større forsyningsusikkerhed, afhængighed af internationale forsyningskæder samt højere transportrelaterede omkostninger og emissioner. Desuden kan traditionel forsyning intensivere behovet for øget regional materialeudveksling mellem landsdele for at afbalancere den ulige fordeling af ressourcer og efterspørgsel, eller øge importafhængigheden for at dække forsyningsgab, særligt i områder med begrænsede lokale ressourcer.

Scenariet forventes at drive en markant udvidelse af regional materialeudveksling, hvor ressourcerige områder i højere grad forsyner ressourcefattige regioner over længere distancer. Samtidig kan ressourceknaphed og de begrænsede indvindingsmuligheder

[4] Fx fyld i vejkassen

skabe økonomiske incitamenter til optimering af indvindingsprocesser og gravearbejde gennem reduktion af spild, forbedret planlægning af materialeudnyttelse og mere effektiv udnyttelse af eksisterende tilladelser. Denne ressourceknaphed kan således stimulere både teknologisk innovation og forbedrede arbejdsmetoder i indvindingssektoren for at maksimere udbytte fra tilgængelige indvindingssteder.

2.7.2.3 Cirkulær forsyning

Den cirkulære forsyningsmodel repræsenterer et paradigmeskift i byggebranchen, hvor materialestrømme transformeres fra lineære forløb til lukkede kredsløb. Kernen i denne tilgang er at minimere behovet for primære mineralske råstoffer ved systematisk at implementere affaldshierarkiet, hvor bygge- og anlægsaffald transformeres til værdifulde ressourcer gennem prioritering af genbrug over genanvendelse over bortskaffelse.

Ideelt genbruges bygningsdele som betonelementer og mursten direkte i nye konstruktioner, hvilket bevarer materialernes fulde funktionelle værdi og strukturelle integritet uden energikrævende nedbrydningsprocesser. Dette forudsætter design af bygninger med henblik på fremtidig demontering, hvor komponenter kan adskilles og genindsættes i nye projekter uden væsentligt tab af kvalitet.

Når genbrug ikke er muligt, genanvendes nedbrudt beton som tilslag i ny betonproduktion fremfor applikationer som vejfyld, hvilket maksimerer ressourceværdien og reducerer behovet for primært sand, grus og sten til byggeri. Den cirkulære tilgang medfører væsentlige ændringer i materialestrømme, idet betydelige mængder knust beton og tegl fjernes fra traditionelle affaldsstrømme og reintegreres i byggeriet. Dog kan dette ske på bekostning af eksisterende materialestrømme, hvor nedknust bygge- og anlægsaffald (primært beton og tegl) i dag anvendes som ubundne bærelag i vejbyggeri.

En øget andel af byggematerialer produceret gennem cirkulære processer kræver udvikling af infrastruktur til sortering, behandling og kvalitetssikring af sekundære materialer samt ændringer i standarder og byggereglementer for at facilitere anvendelse af cirkulære materialer i byggeriet.

2.7.2.4 Andre relevante forsyningsscenarier

Andre relevante forsyningsmodeller, end de til projektet udvalgte, omfatter bl.a. anvendelse af biogene materialer som der for tiden er stor fokus på. Denne er kort beskrevet nedenfor men ikke behandlet yderligere i projektet. I praksis vil en kombi-

nation af samtlige forsyningsscenarier være optimal for at imødekomme et givent efterspørgselsbehov for råmaterialer.

2.7.2.4.1 Biogene materialer

Biobaserede materialer kan potentielt spille en betydelig rolle i fremtidens danske byggeri som alternativ til mineralske råstofbaserede produkter. Træ, halm, hamp, tang og andre plantebaserede materialer kan erstatte konventionelle byggematerialer i visse anvendelser.

I nærværende studie indgår biogene materialer ikke som beregnet forsyningskilde. Denne afgrænsning skyldes flere metodiske forhold.

LCA-beregninger af biogene materialer er forbundet med betydelig kompleksitet, der kræver andre metodiske perspektiver end dem, der anvendes for mineralske råstoffer. Særligt tre forhold komplicerer beregningerne:

1. indirekte arealanvendelsesændringer (iLUC) bør medregnes, når biomasse allokeres til byggematerialer fremfor andre formål. Øget efterspørgsel efter biobaserede byggematerialer kan forskyde anden produktion og dermed forårsage arealanvendelsesændringer andetsteds med tilhørende klimapåvirkninger.
2. korrekt håndtering af kulstofcyklusser kræver optimalt en tidsdynamisk betragtning, hvor det har betydning, hvornår kulstof bindes og frigives.
3. multifunktionalitet af træ, introducerer en lang række sidestrømme i værdikæden fra træ til tømmer der anvendes i byggeriet, hvis markeder ideelt også bør indgå i en eventuel analyse.

Der pågår for tiden allerede mange studier, der netop tager højde for disse kompleksiteter, når der regnes på biogene materialer. Af eksempler kan nævnes projektet "*Veje til Biobaseret Byggeri*" (Lindgren et al., 2025) og studiet "*Miljømæssige konsekvenser ved ændring af byggeskik - Indledende studie af miljøpåvirkninger ved fortsættelse af nuværende byggeskik og ved en ændring til øget brug af træ.*" (Hansen et al., 2023).

En ofte fremhævet fordel ved biogene materialer er deres evne til at binde CO_2 under vækst. Gennem fotosyntese optager planter atmosfærisk kuldioxid og lagrer kulstoffet i deres biomasse. Når denne biomasse anvendes i byggeri, forbliver kulstoffet bundet i bygningskomponenterne i bygningens levetid, hvilket i LCA-sammenhæng kan bidrage med en negativ klimapåvirkning i produktionsfasen. Ved bygningens endt levetid frigives kulstoffet dog igen, enten ved forbrænding eller biologisk nedbrydning, hvorfor den

samlede klimagevinst afhænger af, hvordan materialet håndteres over hele livscyklussen, og om der etableres nye kulstoflagre gennem nyplantning.

Realisering af dette potentiale kræver hensyn til adskillige udfordringer. Tekniske barrierer omfatter sikring af tilstrækkelig brandmodstand, fugtbestandighed og holdbarhed, særligt i det danske klima med varierende vejrforhold og høj luftfugtighed. Manglende standardisering og certificeringsordninger skaber usikkerhed hos bygherrer, rådgivere og myndigheder, mens begrænsede forsyningskæder og industriel produktionskapacitet hæmmer skalering og markedsudbredelse. Endvidere skal der tages højde for areal- og anvendelseskonkurrence mellem byggematerialeproduktion og andre anvendelser af bioressourcer, herunder fødevareproduktion og energiafgrøder, samt sikres bæredygtige dyrknings- og høstmetoder der ikke belaster biodiversitet, jordkvalitet eller vandressourcer negativt.

Selvom biogene materialer ikke beregnes som forsyningskilde i dette studie, er det relevant at overveje deres potentielle indflydelse på efterspørgslen efter mineralske råstoffer. Der foretages derfor overslag over potentielle besparelser af mineralske råstoffer, baseret på eksisterende studier.

2.7.3 Kvalitative scenariebeskrivelser – kobling mellem efterspørgsel og forsyning

I det følgende kobles de tre efterspørgselsscenarier med de tre forsyningsscenarier, som angivet overordnet i Tabel 2. Beskrivelsen er kvalitativ, og der diskuteres i overordnede linjer som ideal-scenarier. Bilag B præsenterer en udvidet diskussion af de 9 scenariekombinationer. De kvalitative beskrivelser opridser et billede af, hvordan efterspørgsel og forsyning spiller sammen, hvor de udvidede beskrivelser i bilaget kan bruges som diskussionsgrundlag og belysningsbeskrivelser af den generelle problematik, til perspektivering og senere projekter.

De endelige LCA-beregninger i nærværende studie, tager dog kun udgangspunkt i en række udvalgte scenarier af hensyn til projektafgrænsning. Disse er beskrevet i afsnit 2.7.4. De resterende scenarier behandles primært kvalitativt, eller med simplificerede overslagsberegninger.

2.7.3.1 Høj efterspørgsel – traditionel forsyning

Et højt byggevolumen koblet med traditionel forsyning fastholder en lineær ressourceanvendelse, hvor nybyggeri baseres på mineralske råstoffer fra eksisterende og udlagte

indvindingsområder. Udviklingen følger historiske mønstre uden væsentlige strukturelle ændringer.

2.7.3.2 Høj efterspørgsel – lokalt begrænset forsyning

Ved fortsat højt byggevolumen under en lokalt begrænset forsyning opstår et markant misforhold mellem efterspørgsel og regional råstofkapacitet. Byggeriet er fortsat baseret på primære mineralske råstoffer, men afhængigheden af import, interregional transport og eventuel marin indvinding øges.

2.7.3.3 Høj efterspørgsel – cirkulær forsyning

Kombinationen af højt byggevolumen og cirkulær forsyning forudsætter, at en stor del af materialebehovet dækkes via genbrug og genanvendelse af eksisterende bygningsmasse og ressourcestrømme. Nybyggeri dominerer fortsat, men baseres i stigende grad på sekundære materialer. Scenariet kræver massiv udbygning af cirkulær infrastruktur og regulering.

2.7.3.4 Mellem efterspørgsel – traditionel forsyning

Ved reduceret byggeaktivitet kombineret med traditionel forsyning falder det samlede træk på primære mineralske råstoffer, men materialestrømmene forbliver grundlæggende lineære. Mindre pres på ressourcegrundlaget kan midlertidigt afdæmpe behovet for strukturelle ændringer i forsyningssystemet.

2.7.3.5 Mellem efterspørgsel – lokalt begrænset forsyning

Når byggeaktiviteten reduceres samtidig med, at lokale indvindingsmuligheder er begrænset, opstår et mere balanceret system. De samlede materialebehov er lavere, men geografiske skævheder i råstofstrømme består. Regional omfordeling og supplerende import bliver centrale virkemidler for at opretholde forsyningssikkerheden.

2.7.3.6 Mellem efterspørgsel – cirkulær forsyning

Scenariet kobler moderat byggeaktivitet med en målrettet opbygning af cirkulære materialestrømme. Den lavere byggeaktivitet reducerer presset på primære råstoffer, mens selektiv demontering genererer sekundære ressourcer til nyt byggeri. Kombinationen giver relativt gode forudsætninger for gradvis omstilling af standarder, logistik og værdikæder mod øget cirkularitet.

2.7.3.7 Lav efterspørgsel – traditionel forsyning

Ved lav efterspørgsel og fastholdt traditionel forsyningslogik reduceres det samlede ressourceforbrug markant, men uden egentlig omlægning af materialestrømmene. Aktiviteten koncentreres om kritisk infrastruktur indenfor byggeri og øgede renoveringsrater, som dog fortsat baseres på primære mineralske råstoffer.

2.7.3.8 Lav efterspørgsel – lokalt begrænset forsyning

Når byggeaktiviteten er reduceret og lokale forsyningsstrømme er begrænsede, mindskes både efterspørgsel og tilgængelig primær forsyning. Det lave aktivitetsniveau dæmper akutte forsyningsrisici, men ressourceknaphed kan stadig opstå i enkelte regioner og projekttyper.

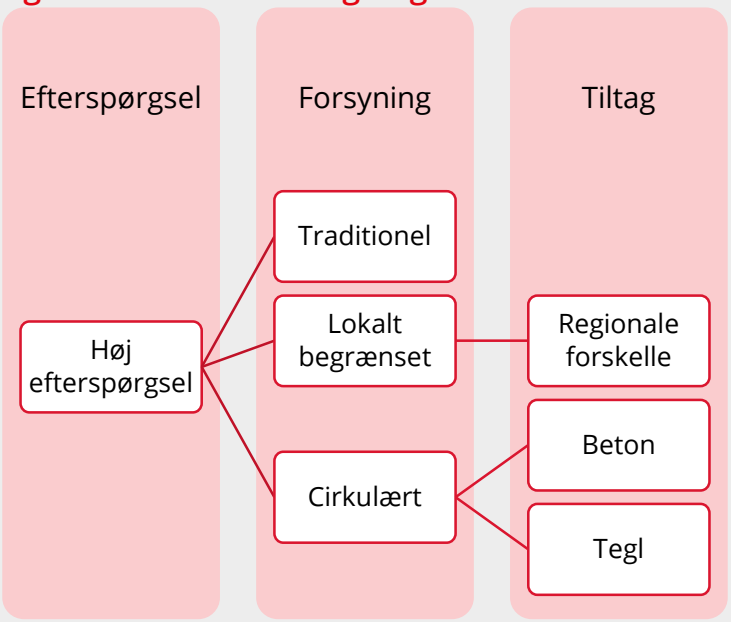
2.7.3.9 Lav efterspørgsel – cirkulær forsyning

Ved lav efterspørgsel med cirkulær forsyning bliver omdrejningspunktet at vedligeholde og ombygge eksisterende bygningsmasse med minimal brug af primære råstoffer. Projekter forsyner sig primært gennem demontering, genbrug og genanvendelse. Scenariet fungerer som et idealiseret referencepunkt for maksimal ressourceeffektivitet og systemisk forankring af cirkulære principper.

2.7.4 Udvalgte scenarier til kvantificering

Der arbejdes kvantitativt med et udgangspunkt i scenarierne for høj efterspørgsel, med forskellige forsyningstilgange. Dette, da det ønskes at undersøge hvilke alternativer og/eller markedsmekanismer, der aktiveres, når efterspørgslen forbliver 'som i dag', men bliver udfordret af forsyningen. Der opstilles således følgende scenarier til beregning, som vist i Figur 2.

Figur 2 Udvalgte scenarier til beregning



De udvalgte scenarier for høj efterspørgsel perspektiveres til udvalgte referenceår for mellem og lav efterspørgsel, da disse, af natur, vil imødekomme eventuelle udfordringer relateret til faktum at mineralske råstoffer er en begrænset ressource. Der udføres ikke LCA af alle kombinationerne beskrevet i nedenstående.

I tilfældet med både mellem og lav efterspørgsel, vil det naturligt reducere efterspørgslen efter mineralske råstoffer til byggeriet. Koblet med en traditionel forsyning, hvor den indirekte antagelse er at forsyningen er 'ubegrænset', vil der ikke umiddelbart forventes at opstå mangel på råstoffer indenfor den tidsmæssige periode for studiet.

Kobles en mellem eller lav efterspørgsel med en lokalt begrænset forsyning, kan der i nogle regioner opstå udfordringer. Her anses scenariet med høj efterspørgsel dog som en baseline eller 'worst case' scenarie, da mellem og lav efterspørgsel naturligt vil lægge et mindre pres på den tilgængelige forsyning.

Kobles en mellem eller lav efterspørgsel med en cirkulær forsyning, må det antages, at den cirkulære forsyning vil erstatte anvendelsen af de jomfruelige mineralske råstoffer fra råstofgravene, hvilket vil medføre en længere forsyningshorisont, end der i dag er

estimeret[5]. Særligt ved lav efterspørgsel må det dog antages, at der kommer et øget fokus på renovering, hvorfor forsyningshorisonten må antages at blive forlænget. Hertil kommer, at den råstoftunge fraktion, som beton og tegl, oftest ikke er dominerende ved renovering. Dette vil yderligere reducere trækket på de jomfruelige råstoffer, og dermed som udgangspunkt forlænge forsyningshorisonten.

2.8 Forventede markedsmekanismer og påvirkede aktører ved de udvalgte scenarier

Som en integreret del af konsekvens-LCA'en analyseres markedsdynamikken for udvalgte materialer for at fastslå, hvilke aktører der reelt vil blive påvirket, når den danske efterspørgsel på disse materialer ændres.

De materialer, der indgår i analysen, er udvalgte byggevarer og mineralske råstoffer, der udgør væsentlige volumenmæssige andele af det samlede materialeforbrug i de forskellige scenarier.

For at identificere de påvirkede aktører og markeder vurderes indledningsvist, hvorvidt markedet har global udstrækning eller er geografisk afgrænset. Inden for disse rammer undersøges dernæst, hvilke aktører der har fremvist produktionsvækst over en given periode, således at disse kan betragtes som de mest konkurrencedygtige markedsaktører og derfor vil være bedst positioneret til at reagere på forskydninger i markedsefterspørgslen.

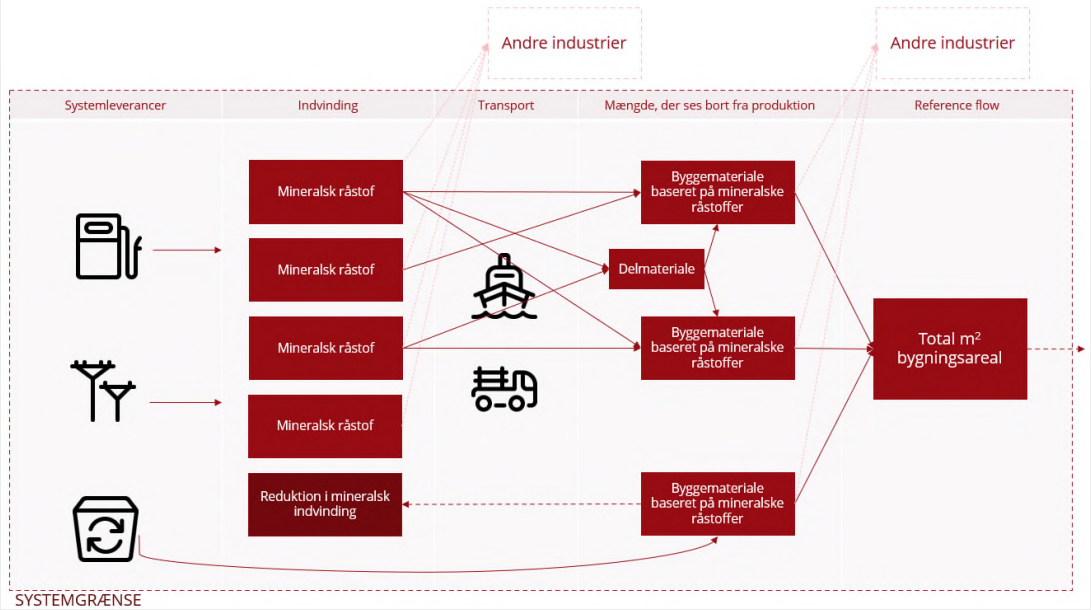
De konkret anvendte og forventede markedsmekanismer, samt påvirkede aktører er beskrevet i 3.1.

[5] Bl.a. i Larsen, G., Greve, C., & Halkjær, M. W. (2019). Hvornår er det slut med grus i Danmark? *Aktuel Naturvidenskab*, *4*, 12-15. https://aktuelnaturvidenskab.dk/fileadmin/Aktuel_Naturvidenskab/nr-4/AN4-2019-slut-med-grus.pdf

3 Kortlægning af livscyklussen (inventory)

Livscyklusoversigten (Life Cycle Inventory, LCI) dokumenterer alle data indsamlet for systemet. Indenfor den definerede systemgrænse, omfatter LCI'en en beskrivelse af processer, materialestrømme og transporter, jævnfør den fastsatte systemafgrænsning. Nedenfor er de mest centrale aspekter beskrevet. Yderlige datagrundlag findes i bilag C. Det konceptuelle flowdiagram for systemerne er illustreret i Figur 3.

Figur 3 Konceptuelt flowdiagram for modelleringen



Konceptuelt flowdiagram for systemerne. Der angives generiske bokse for indvinding af mineralske råstoffer, dette kunne være fx sand, sten, ler mv. Ligeledes angives der generiske 'byggemateriale baseret på mineralske råstoffer', dette kunne være fx beton, mursten, puds mv.

Datakortlægningen tager hensyn til både de direkte og indirekte påvirkede materiale-flows. De direkte forholder sig til massestrømmene på tværs af den modellerede livscyklus, hvorimod de indirekte inddrager de påvirkede leverandører.

3.1 Forventede markedsmekanismer og påvirkede aktører ved de udvalgte scenarier

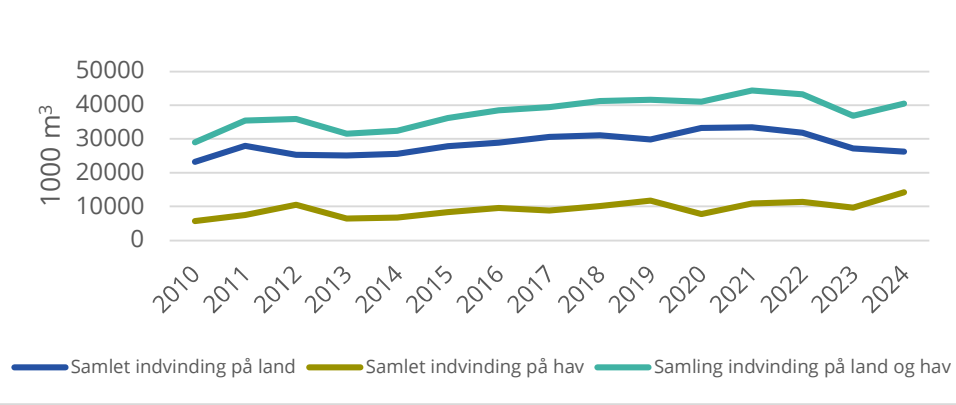
De fleste mineralske råstoffer har lav værdi i forhold til deres vægt, og transportomkostninger spiller derfor en afgørende rolle for markedsafgrænsningen. I denne analyse skelnes der mellem globale, nationale og regionale markeder. Globale markeder er

kendetegnet ved omfattende international handel og international prisdannelse. Nationale markeder er markeder, hvor udbud og efterspørgsel primært balanceres inden for Danmark, selv om import og eksport kan forekomme. Regionale markeder er mere geografisk afgrænsede markeder, hvor forsyning og afsætning hovedsageligt sker inden for en del af landet eller mellem nærtliggende områder. For mineralske råstoffer vil markedsafgrænsningen ofte være bestemt af transportomkostninger, råstofkvalitet og adgang til egnede ressourcer, og de regionale markeder følger derfor ikke nødvendigvis administrative regionsgrænser i praksis, men anvendes som opdeling i nærværende studie.

3.1.1 Jomfruelig råstofforsyning

Generelt viser data, at den samlede nationale indvinding af ikke-metalliske råstoffer på landsplan for land og hav er stigende frem til 2021, hvor der sker et lille fald, hvorefter det igen stiger fra 2023, se Figur 4. Andelen af råstoffer, der indvindes på land, er mængdemæssigt dominerende, men faldende fra 2020, hvorfor der i de seneste år suppleres betydeligt fra hav.

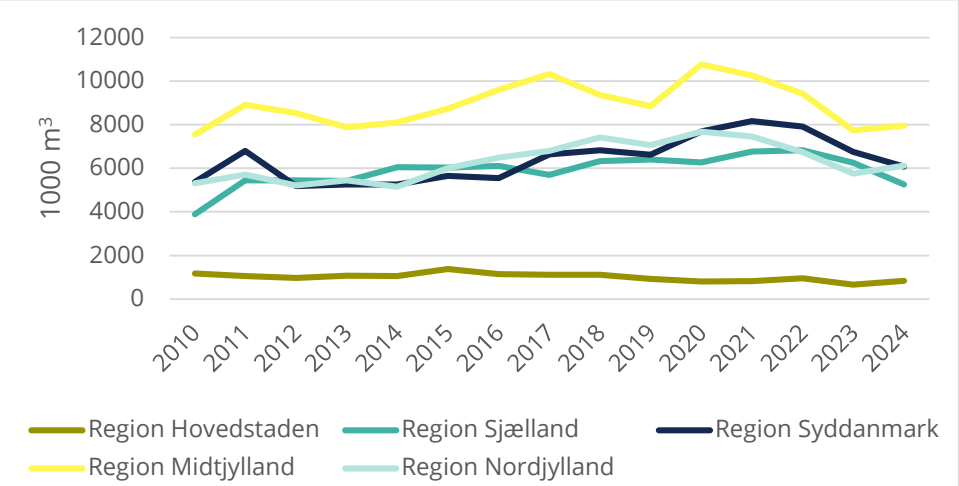
Figur 4 Råstofindvinding for hele landet i perioden 2010-2024



Samlet indvinding for hele landet, opdelt på indvinding på land og på hav. Tal for landindvinding dækker over Sand, grus og sten, Kvartssand, Granit, Ler, Ekspanderende ler, Moler, Kridt/kalk, Tørv og Andre råstoffer. Tal for havindvinding dækker over Sand, Ral og sten, Grus, Fyldsand, Grabsten og søsten, Skaller, og Andet. Figuren dækker den samlede råstofindvinding, men at kun en mindre del går til byggesektoren og anlægssektoren står for resten Kilde: (Danmarks Statistik, 2024a, 2024b; Gravgård & Permin, 2023)

Den faldende nationale landindvindingstendens er dog ikke gældende på tværs af alle regioner, hvor det nationale fald skyldes nedgang i indvinding i hhv. Region Syddanmark og Region Sjælland (Danmarks Statistik, 2025), se Figur 5.

Figur 5 Råstofindvinding på land, opdelt på regioner i perioden 2010-2024



Hele landet. Indeholder tal for Sand, grus og sten, Kvartssand, Granit, Ler, Ekspanderende ler, Moler, Kridt/kalk, Tørv, Andre råstoffer. Figuren dækker den samlede råstofindvinding, men at kun en mindre del går til byggesektoren og anlægssektoren står for resten. Kilde: (Danmarks Statistik, 2024a)

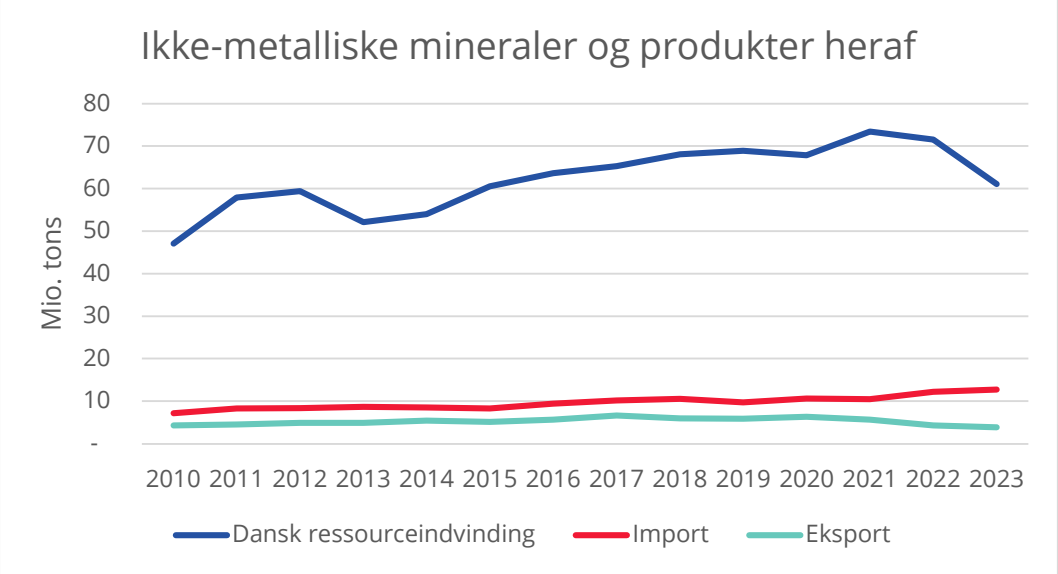
Import og eksport af disse råstoffer ligger nogenlunde stabilt, dog med en lille stigning i import og et lille fald af eksport siden 2021, se Figur 6.

I modsætning til mange andre råstoffer viser en EU-undersøgelse fra 2020, at medlemslandene samlet set indvinder tilstrækkelige mængder sand, grus og sten til at dække det interne behov uden import udefra. Der er derfor ikke tale om europæisk knaphed på disse materialer, og de optræder ikke på EU-Kommissionens liste over kritiske råstoffer – dvs. råstoffer med lav forsyningssikkerhed og høj økonomisk betydning for Europa. Der nævnes i stedet, at det kan være arealanvendelse der skaber en flaskehals. (European Commision, 2020)

I EU anvendes sand, grus og sten overvejende i nærområdet, da råstofferne har relativt lav værdi i forhold til de høje transportomkostninger. Det betyder, at handel med disse

materialer kun i begrænset omfang foregår over landegrænser og primært sker som kortdistancehandel mellem nabolande (Pedersen et al., 2021).

Figur 6 Materialestrømsregnskab for ikke-metalliske mineraler og produkter heraf – hele landet

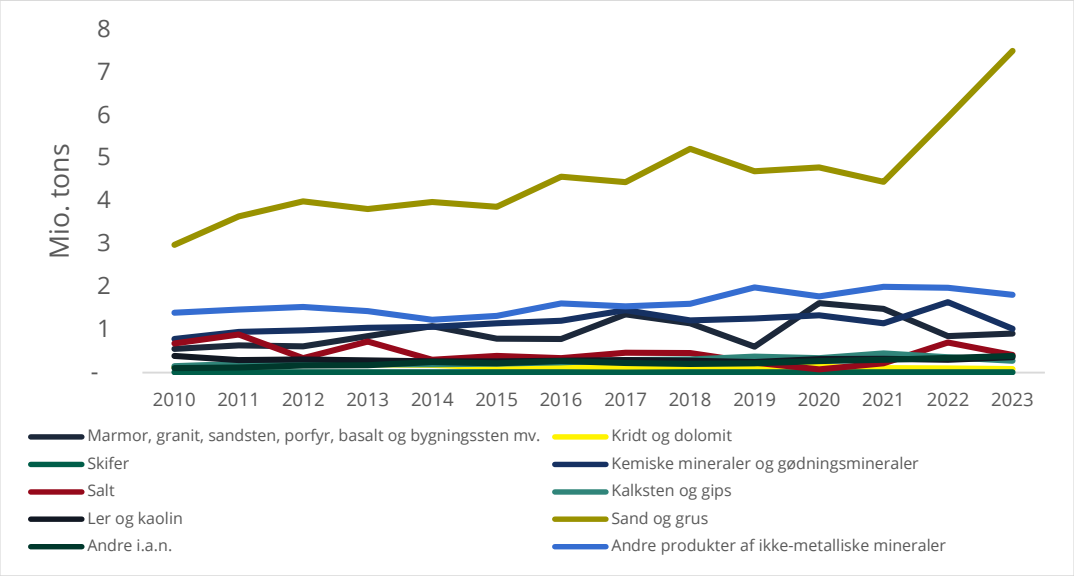


Hele landet. Indeholder tal for Marmor, granit, sandsten, porfyr, basalt og bygningssten mv., Kridt og dolomit, Skifer, Kemiske mineraler og gødningsmineraler, Salt, Kalksten og gips, Ler og kaolin, Sand og grus, Andre i.a.n., Andre produkter af ikke-metalliske mineraler. Dansk ressourceindvinding dækker indvinding af materialer inden for landets grænser Kilde: (Danmarks Statistik, 2023; Gravgård & Permin, 2023)

På den baggrund vurderes det, at den let faldende eksport indikerer, at en øgning af dansk produktion primært går til hjemmemarkedet.

Det forventes ikke, på baggrund af importtallene, at udenlandske leverandører reagerer nævneværdigt på en øget dansk efterspørgsel, dog undtaget for visse råstofgrupper, se Figur 7. Disse er i særdeleshed kategorierne for specielle stentyper (Marmor, granit, sandsten, porfyr, basalt og bygningssten mv.), skifer, ler og kaolin, samt sand og grus.

Figur 7 Import af ikke-metalliske mineraler og produkter heraf – hele landet



Hele landet. Indeholder tal for Marmor, granit, sandsten, porfyr, basalt og bygningssten mv., Kridt og dolomit, Skifer, Kemiske mineraler og gødningsmineraler, Salt, Kalksten og gips, Ler og kaolin, Sand og grus, Andre i.a.n., Andre produkter af ikke-metalliske mineraler.
Kilde: (Danmarks Statistik, 2023)

Der ses dog ikke tegn på egentlig mangel på sand og grus, nationalt, indenfor den temporale analyseperiode af nærværende studie (Leth et al., 2024), hvorfor national produktion identificeres som den relevante marginalleverandør. Dog har import været stigende de seneste år, så der bør holdes øje med om det er en midlertidig eller vedvarende tendens, ved senere studier.

På nationalt niveau vurderes det, at importen er negligerbar (8. mio. ton, imod 54 mio. tons dansk indvinding for sand og grus, for 2023) og at det reagerende marked vil være den danske indvinding.

Da national indvinding består af indvinding fra både land og hav, opstilles der en fordelingsnøgle, som dog antages statisk for hele analysens temporale periode. Med fokus på de inkluderede mineralske råstoffer i nærværende projekt, regnes der for sand, grus og sten med, at 85% kommer fra land-, og 15% fra havindvinding (Danmarks

Statistik, 2024a, 2024c). Denne fordeling underlægges følsomhedsanalyse. For ler er det 100% fra landindvinding.

Omvendt er de jomfruelige råstoffer, og den eventuelle mangel herpå, på sigt, et centralt emne for dette studie. Herunder også, at der kan opstå regionale forskelle ift. de nationale tendenser. I scenarier der undersøger regionale forskelle, vil der antageligt ses nogle udvekslende markeder på tværs af regionsgrænser. Regionalt kan der være behov for at supplere med import, fx ses indvinding til søs i polsk territorie som importeres til brug i Region Hovedstaden[6].

Mens det på nationalt niveau ikke vurderes, at der er mangel på mineralske råstoffer, ses der allerede nu mangel på udvalgte råstofkvaliteter, særlig i visse regioner. Derfor kortlægges de forskellige fraktioner af mineralske råstoffer nedenfor, med fokus på sten, sand, grus og ler. Nedenstående er i høj grad baseret på regionernes råstofplaner.

3.1.1.1 Sand, grus og sten

Region Sjælland forsynes med sand, grus og sten fra landindvinding, havindvinding og sekundære råstoffer, uden import fra udlandet. Regionen har en betydelig netto-eksport til Region Hovedstaden, der skønnes at aftage 30–50 % af den samlede indvinding. Det årlige forbrug i regionen forventes at stige fra 4,2 mio. m³ i 2015 til 6,6 mio. m³ i 2040, med et gennemsnit på ca. 6,1 mio. m³/år. Den samlede restressource i udlagte graveområder er opgjort til ca. 122 mio. m³, hvilket svarer til knap 20 års forsyning ved nuværende indvindingsniveau. Reelt kan forsyningshorisonten være kortere pga. lodsejerforhold, naturbeskyttelse og varierende råstofkvalitet (Region Sjælland, 2024). Det vurderes dog, at den reagerende leverandør til Region Sjælland ved øget råstofefterspørgsel, for nuværende, er regionen selv. Dette, da noget af deres eksisterende eksport til andre regioner muligvis kan nedjusteres, hvilket dog vil medføre reaktioner i markedet for fx Region Hovedstaden.

Region Hovedstaden har et årligt råstofforbrug på ca. 7 mio. m³ sand, grus og sten. Forsyningen baseres på begrænset lokal indvinding (0,7–1,2 mio. m³/år), ca. 1,1 mio. m³/år fra havet, ca. 0,84 mio. m³/år sekundære materialer samt betydelig import: både national råstofimport (især knuste sten fra Norge) og store mængder landindvundne råstoffer fra Region Sjælland. I 2020 stod Region Sjælland for 90 % af den samlede indvinding i Sjælland + Hovedstaden, hvoraf 56 % blev anvendt i Hovedstaden (Region

[6] Input givet af følgegruppen til projektet

Hovedstaden, 2024). Den marginale leverandør til Region Hovedstaden er således primært Region Sjælland, suppleret af havindvinding og norsk import.

I Region Midtjylland er der på regionalt niveau tilstrækkelige ressourcer af sand, grus og sten til den næste planperiode, men fordelingen er skæv, og flere grusgrave er blevet tømt som følge af store anlægsprojekter. Det betyder, at der er behov for at udlægge nye graveområder (Region Midtjylland, 2021). Den overordnede regionale tilstrækkelighed af råstoffer, medfører dog at regionen selv anses som den leverandør, der besvarer øget efterspørgsel.

For Region Syddanmark vurderes forsyningshorisonterne med udgangspunkt i kvalitetsmaterialer, som dækker over grove materialer (større end 2 mm) og omfatter stabilgrus, sand og grus til beton og asfalt samt til en vis grad bundsikringsfyld. Det ønskes, at hvert delområde i regionen er selvforsynende med disse kvalitetsmaterialer (Region Syddanmark, 2021). Dette overholdes for mestendels, hvor særlig Fyn er selvforsynende og de andre delområder i regionen bruger størstedelen af deres indvinding selv (56-71%) (Johannessen & Thorin, 2020). Sønderjylland eksporterer en andel af deres indvundne råstoffer til bl.a. Nordtyskland, men dækkes så ind fra Trekantområdet. Overordnet er det vurderet, at nuværende (pr 2018) udlagte grave estimeres forsynende frem til 2040 (Johannessen & Thorin, 2020). Af denne grund vurderes det, at den marginale leverandør til Region Syddanmark, for nuværende er regionen selv.

Region Nordjylland er stort set selvforsynende med sand, grus og sten. Det årlige fremskrevne forbrug er ca. 5,6 mio. m³, hvoraf 4,8 mio. m³ indvindes på land. Sammenholdes det med estimat af råstofressourcer i graveområder, som er medtaget i Råstofplan 2024 som i totaler er ~210 mio. m^3, vurderes den marginale leverandør at være regionen selv.

På samme måde som for national indvinding, opstilles der en fordelingsnøgle mellem land- og havindvindingsandel for de enkelte regioner, som antages statisk for hele analysens temporale periode. For sand, grus og sten er de, som angivet i Tabel 5. Disse fordelingsnøgler underlægges følsomhedsanalyse.

Tabel 5 Fordelingsnøgle mellem hav- og landindvindingsandel af sand, grus og sten for de enkelte regioner

Baseret på (Danmarks Statistik, 2024a, 2024c). Indeholder ikke balancen til import, hvorfor fordelingsnøglen i nogle tilfælde afviger fra regionens egne opgivelser.

	Landindvinding	Havindvinding
Nationalt	**85%**	**15%**
Region Hovedstaden	25%	75%
Region Sjælland	85%	15%
Region Syddanmark	87%	13%
Region Midtjylland	91%	9%
Region Nordjylland	94%	6%

3.1.1.2 Ler

Rødbrændende ler (kalk udvasket) indvindes typisk i 1–2 m dybde. Under dette ligger gulbrændende, kalkholdigt blåler, som kan indvindes ned til 6–8 m. Ikke hele det øvre lag rødler er egnet til fremstilling af fx tegl, pga. muldjord og overgangszone med grove kalkkorn (Region Syddanmark, 2021).

En stadig mere automatiseret produktion og færre teglværker betyder, at de færdige teglprodukter i dag transporteres over længere afstande end tidligere, og at en mindre kreds af teglværker står for en større del af den samlede produktion. Når de færdige produkter transporteres langt, må længere transportafstande for råvarerne tilsvarende accepteres (Region Nordjylland, 2025). Derfor antages der også en grundlæggende præmis om, at ler er en national leverandør, med kapacitet for øget indvinding, uden opdeling på de enkelte regioner. Den variable responsfaktor ved øget efterspørgsel på ler, vil være en øget transportdistance, indenlands.

Ifølge Region Sjællands råstofplan, indvindes ler kun i ganske små mængder og er dermed ikke et mængdemæssigt væsentligt råstof for regionen (Region Sjælland, 2024).

I Region Hovedstaden er der for nuværende en estimeret restressource på 1,3 mio. m^3 i de udlagte områder. På nuværende tidspunkt er der én aktiv lergrav i Region Hovedstaden, der i 2023 havde en indvinding på omkring 5000 m^3 ler (Region Hovedstaden, 2024).

I Region Syddanmark er der i perioden 2008-2019 i gennemsnit årligt indvundet ca. 207.000 m^3 ler til teglværksformål, hvilket udgør knap halvdelen af den samlede danske

indvinding af ler til teglproduktion. Omtrent 2/3 af det ler, som indvindes, er rødbrændende, og 1/3 er gulbrændende. Forsyningen af ler sker fra flere indvindingsområder tilknyttet regionens teglværker og adgangen til nærliggende[7] ler-ressourcer afgørende. Kortlægningen af ler-ressourcer i Jylland er begrænset, og de udpegede interesseområder er stort set ikke undersøgt. I Sønderjylland og på Fyn vurderes de udlagte grave- og interesseområder for teglværksler dog at indeholde ressourcer til mere end 24 år. (Region Syddanmark, 2021)

I 2018 blev der indvundet 117.000 m^3 ler i Region Midtjylland, svarende til ca. 1,3% af den samlede råstofindvinding i regionen, og ca. 18% af den samlede nationale indvinding af ler (Region Midtjylland, 2021).

I Region Nordjylland indvindes omkring 25 % af alt ler i Danmark, og teglværkerne placeret forskellige steder i regionen, forsynes af forskellige graveområder med varierende afstand til teglværkerne (Region Nordjylland, 2025). Der indvindes i gennemsnit 80-100.000 m^3 ler i regionen årligt. Med et estimat og overslag på tilbageværende råstofressourcer i Region Nordjyllands graveområder for ler i råstofplanen 2024 på 30-35 mio. m^3, må det antages at regionen er dækket ind ift. en eventuel øgning i efterspørgsel på ler.

3.1.2 Beton

For beton analyseres de væsentlige råstoffer, som indgår i betonrecepten, herunder sand og sten/grus. På grund af deres lave økonomiske værdi pr. kg betragtes disse råstoffer som tilhørende overvejende regionale markeder, hvor produktion og forbrug typisk foregår inden for relativt korte afstande. Da produktionen af byggematerialer ikke modelleres i nærværende studie, tages der ikke højde for cementleverandøren.

Sten, sand og grus er centrale mineralske råstoffer, og de forventede markedsmekanismer for disse er derfor beskrevet generelt i 3.1.1.1. Dette specificeres dog til indvinding og forventede markeder ifm. betonproduktion, for de enkelte regioner.

Råstofferne til beton er betonsand (0-4 mm), perlesten (2-8 mm), ærtesten (8-16 mm), nøddesten (16-32 mm), singels (32-63 mm) og andre sten (> 63 mm). Betonmaterialerne bliver desuden underopdelt i 5 klasser, Klasse E, A, M og P samt uklassificeret. Klasse E

[7] fortrinsvis inden for en radius af 30 km fra de enkelte teglværker

materialerne har den bedste kvalitet og er sjældne. Derimod er klasse P den laveste kvalitet og den hyppigst forekommende.

Da der i nærværende analyse arbejdes med en række udvalgte typologier for byggeri (beskrives nærmere i afsnit 3.2.1.2), ville en ideel identifikation af råstofforbruget til beton tage hensyn til ovenstående klassificering. Yderligere analyser og sammenkoblinger mellem råstofforbrug og betontype, - styrke og -klassificering har dog ikke været mulige indenfor rammerne af nærværende projekt, hvorfor der arbejdes med gennemsnitlige betontyper.

3.1.2.1 Region Sjælland

I Region Sjælland sker 90 % af indvindingen af betonmaterialer ved Kalundborg og Roskilde. Kalundborg leverer høje kvaliteter (klasse E, A, M), mens Roskilde primært leverer klasse P/uklassificeret. De bedste kvaliteter i Østsjælland ventes opbrugt om 10–15 år, og der er allerede mangel på bl.a. bundsikringsmaterialer (anlægs- og vejmaterialer), sand i eksponeringsklasse E samt sten i alle eksponeringsklasser (Region Sjælland, 2024).

På baggrund af dette, og de generelle markeder i regionen som beskrevet under afsnit 3.1.1.1, vurderes det, at højkvalitets betonråstoffer vil være den begrænsende faktor, og at øget genanvendelse samt længere transportafstande bliver nødvendige for at dække efterspørgslen.

3.1.2.2 Region Hovedstaden

Omkring 8 % af sand, grus og sten i Region Hovedstaden og Region Sjælland anvendes til betonproduktion. Kvalitetsmaterialer til beton (groft grus og sten) er meget begrænsede i Region Hovedstaden, da de tidligere grave med grove fraktioner (fx Hedelandsformationen i Høje-Taastrup) nu er udtømt, og de tilbageværende ressourcer er overvejende finkornede (Region Hovedstaden, 2024).

På baggrund af dette, og de generelle markeder i regionen som beskrevet under afsnit 3.1.1.1, vurderes det, at forsyningen af grove kvalitetsfraktioner til beton i høj grad må ske uden for Region Hovedstaden, primært via import fra Region Sjælland.

3.1.2.3 Region Syddanmark

I Region Syddanmark udgør betontilslag ca. 28 % af indvindingen, og Sønderjylland står for over halvdelen (51 %) af regionens betontilslag. Betonprodukter fra Sønderjylland

forsyner både regionen, resten af landet og eksportmarkedet. Kvalitetsmaterialer (grus/sten >2 mm) er afgørende, men ikke jævnt fordelt – fx har Sydvestjylland kun 25 % stenindhold mod ca. 40 % andre steder. Import af granitskærver via Aabenraa dækker en del af behovet for højkvalitetstilslag. (Region Syddanmark, 2021)

På baggrund af dette, og de generelle markeder i regionen som beskrevet under afsnit 3.1.1.1, vurderes det, at Sønderjylland fungerer som regionens primære leverandør af betontilslag, mens import og intern transport fra andre delområder supplerer forsyningen i områder med lavere andel af grovfraktionen.

3.1.2.4 Region Midtjylland

I Region Midtjylland er der 22 større betonproducenter, som står for mindst 30 % af Danmarks betonproduktion. Betonfabrikker har typisk 2–4 råstofleverandører med gennemsnitlige transportafstande på 38 km (sand) og 66 km (sten). De fleste beton-kvaliteter kan dækkes af regionale råstoffer, men der ses begyndende mangel på kvalitetssten til beton, og uden nye graveområder kan øget import blive nødvendig (Region Midtjylland, 2021).

På baggrund af dette, og de generelle markeder i regionen som beskrevet under afsnit 3.1.1.1, vurderes det, at Region Midtjylland fortsat vil være hovedleverandør af sand, sten og grus til beton. På sigt vil forsyningen af egnede stenfraktioner blive den afgørende begrænsning, hvilket dog ikke medregnes i nærværende studie.

3.1.2.5 Region Nordjylland

Råstofforekomsterne i Region Nordjylland er ujævnt fordelt, og de bedste kvaliteter findes kun i få områder, hvilket kan medføre lange transportafstande. Råstofferne til betonproduktion i Region Nordjylland er stærkt koncentreret i Himmerland, hvor der findes de største mængder og bedste kvaliteter af betonsand (klasse E og A), stabilgrus og sten. Aalborg og Vendsyssel har derimod kun begrænsede mængder af egnede kvalitetsmaterialer og er afhængige af langdistancetransport fra Himmerland. Thy/Hanherred er lokalt selvforsynende, mens Vendsyssel hovedsageligt indvinder fyldsand. Flere store graveområder i Himmerland forventes tømt inden for 15–20 år, men regionen vurderer generelt at have tilstrækkelige kvalitetsressourcer, dog med stigende afhængighed af få kerneområder (Region Nordjylland, 2025).

På baggrund af dette, og de generelle markeder i regionen som beskrevet under afsnit 3.1.1.1, vurderes det, at Himmerland fungerer som hovedforsyner og marginal leveran-

dør af beton-egnede kvalitetsmaterialer til både Aalborg og Vendsyssel, og at fremtidig forsyningssikkerhed i høj grad afhænger af fortsat indvinding og eventuelle nye graveområder i dette delområde.

3.1.3 Tegl

For tegl (med fokus på tagsten og mursten), analyseres de væsentligste delmaterialer: ler og sand. Både sand og ler er centrale mineralske råstoffer. De generelle forventede markedsmekanismer herfor er derfor beskrevet i afsnit 3.1.1.1 og 3.1.1.2.

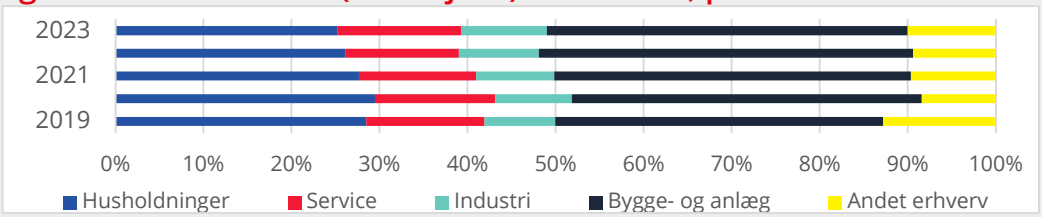
Teglværkerne er afhængige af en stabil forsyning af kvalitetsler til produktion af teglsten, der afsættes både nationalt og til eksport i store dele af Europa. Danske teglværker eksporterer hvert år millioner af mursten til både Norge og Sverige, hvor den hjemlige teglproduktion er ophørt. Derudover er Tyskland et betydeligt marked for danske mursten, selv om der fortsat er aktiv teglproduktion i landet (Bolius, 2023).

Det vurderes at en øget efterspørgsel på tegl i Danmark vil blive besvaret af dansk teglproduktion, med dansk indvundet ler. Enten ved øget indvinding af ler, eller ved omlægning af eksportmarkedet til nationalt marked.

3.1.4 Bygge- & anlægsaffald

Bygge- og anlægsaffald er det affald, der opstår i forbindelse med opførelse, renovering, ombygning og nedrivning af bygninger og infrastruktur (veje, broer, jernbaner, forsyningsinfrastruktur, mv.). Bygge- og anlægsaffald er en stor affaldsfraktion i de danske affaldsstrømme, og står for omkring 41 % af den samlede affaldsproduktion i 2023 (Miljøstyrelsen, 2025), se Figur 8, svarende til 5,1 mio. tons (ekskl. jord).

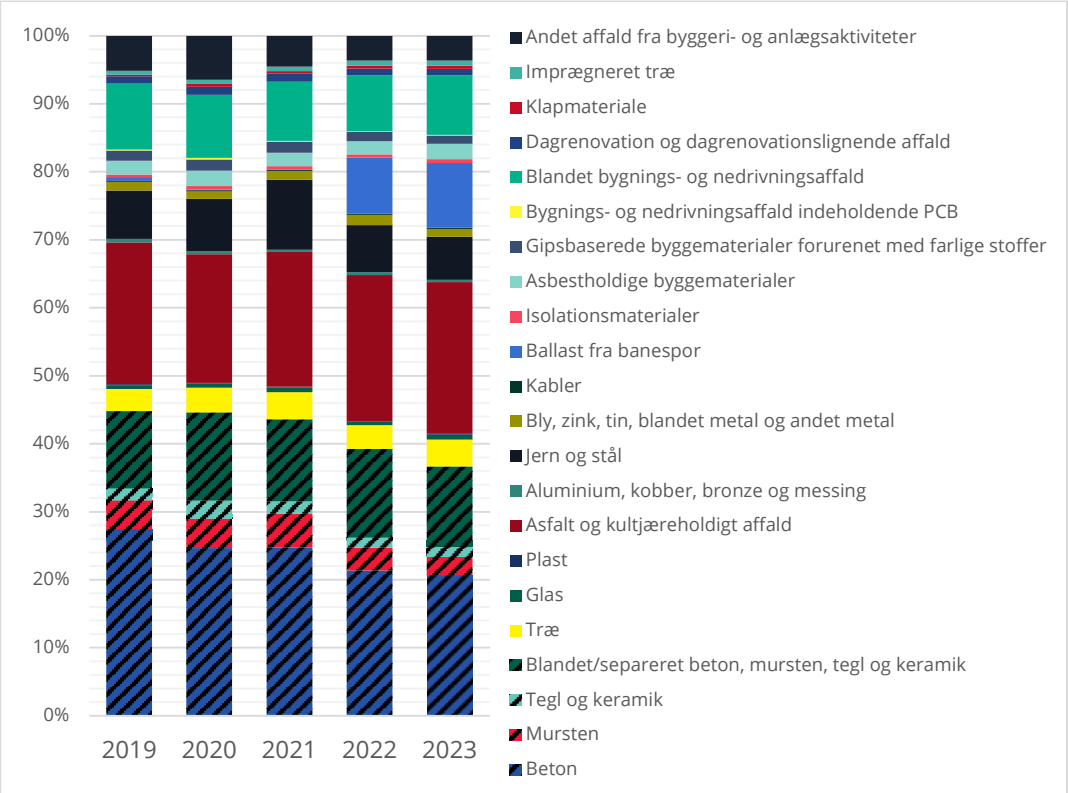
Figur 8 Primært affald (ekskl. jord) i Danmark, per affaldskilde



Indsamlet primært affald (ekskl. jord) i Danmark fordelt på affaldskilde. (Miljøstyrelsen, 2025)

Bygge- og anlægsaffald består primært af tunge, mineralske fraktioner som beton og tegl, se Figur 9. De tunge fraktioner udgør ca. 1,9 mio. tons i 2023 (Miljøstyrelsen, 2025).

Figur 9 Indsamlet primært affald fra bygge- og anlægsbranchen (ekskl. jord) fordelt på EAK-grupperinger

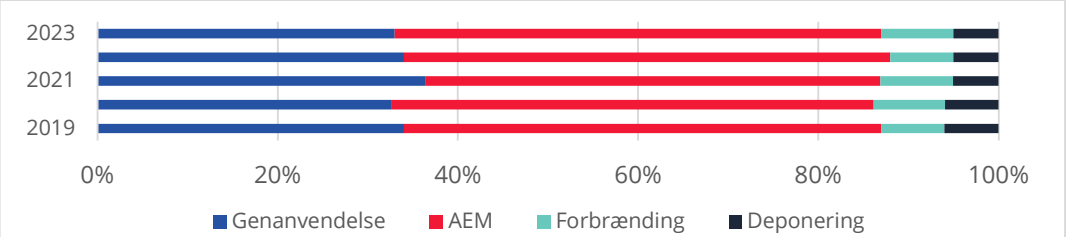


Indsamlet primært affald fra bygge- og anlægsbranchen (ekskl. jord) fordelt på EAK-grupperinger. (Miljøstyrelsen, 2025)

Den totale mængde af bygge- og anlægsaffald behandles fordelingsvist som vist i Figur 10. I dag anvendes en væsentlig del heraf som "anden endelig materialenyttiggørelse" (54 % i 2023) (Miljøstyrelsen, 2025), især som nedknust beton i bærelag og stabilgrus, hvor det erstatter primære råstoffer som sand, grus og sten.

Hvis en stigende del af disse materialer i stedet rettes mod andre anvendelser – som knust beton i ny beton eller rensede mursten til genbrug – ændres balancen mellem nyttiggørelsesscenarier samt efterspørgslen efter primære råstoffer.

Figur 10 Indsamlet bygge- og anlægsaffald i Danmark fordelt på behandlingsformer



Indsamlet primært bygge- og anlægsaffald (ekskl. jord) i Danmark fordelt på affaldskilde og behandlingsformer som affaldet er indsamlet til. AEM = Anden endelig materialenyttiggørelse. (Miljøstyrelsen, 2025)

Efterspørgslen efter de mineralske, tunge fraktioner i bygge- og anlægsaffald (dvs. særligt beton og tegl) til anvendelse i bygge- og anlægsbranchen overstiger på nuværende tidspunkt udbuddet på det danske. Det betyder som udgangspunkt, at et øget forbrug af mineralske affaldsmaterialer i én anvendelse vil medføre et tilsvarende øget behov for jomfruelige mineralske råstoffer i andre anvendelser. Da der samtidig ikke vurderes at være væsentlige begrænsninger i produktionen af jomfruelige mineralske råstoffer indenfor analysens tidsperiode, anses det for sandsynligt, at en stigende efterspørgsel efter mineralske affaldsmaterialer i byggeriet vil blive mødt af en øget produktion og anvendelse af jomfruelige mineralske råstoffer.

Den mængde nedknust beton, der hidtil har erstattet stabilgrus i vejopbygning, vil dermed falde, og dette hul udfyldes primært af øget indvinding af sand, grus og sten fra de mest konkurrencedygtige grusgrave. Overskudsjord kan i enkelte projekter forædles, fx ved kalkstabilisering, men vurderes ikke som dominerende marginal i denne sammenhæng.

For tegl indebærer en øget efterspørgsel efter genbrugsmursten, at selektive nedrivningsprojekter og sorteringsaktører får stigende betydning som leverandører af hele sten, der direkte substituerer ny producerede teglsten. Da danske teglværker forsyner både hjemmemarkedet og eksportmarkeder, vil øget brug af genbrugsmursten reducere behovet for ny teglproduktion og dermed behovet for indvinding af ler. Marginaleffekten af øget brug af genbrugsmursten tilskrives således reduceret indvinding af ler. Desuden må det antages at bygge- og anlægsaffaldet der genbruges som mursten, i stedet for at blive nedknust, ikke kan erstatte stabilgrus i vejopbygning.

I en marginalbetragtning vil det ofte være rimeligt at antage, at den ekstra tonnage, som "mangler" til vejbyggeri, kommer fra indvundne primær sand- og grus ressourcer, snarere end fra en reduktion i vejbyggeri, da efterspørgslen efter infrastruktur typisk er politisk og funktionelt drevet, og dermed relativt uelastisk.

3.1.5 Opsummering af forventede markedsmekanismer og påvirkede aktører

De forventede markedsmekanismer og påvirkede aktører som diskuteret i ovenstående afsnit er opsummeret til modellering i Tabel 6.

Tabel 6 Opsummering af forventede markedsmekanismer og påvirkede aktører

Opsummering af forventede leverandører for de forskellige materialefraktioner og regioner. Baseret på indhold fra afsnit 3.1.1 - 3.1.4.

	Sand, grus og sten	Ler	Beton (råstoffer hertil)	Tegl (råstoffer hertil)	Bygge- og anlægs-affald
Generelt	National indvinding af sand, grus og sten	National indvinding af dansk ler	National indvinding af sand, grus og sten	National indvinding af dansk ler	Indvundne primær sand- og grus ressourcer, national indvinding
Region Hovedstaden	Region Sjælland		Region Sjælland		
Region Sjælland	Region Sjælland		Region Sjælland		
Region Syddanmark	Region Syddanmark		Region Syddanmark		
Region Midtjylland	Region Midtjylland		Region Midtjylland		
Region Nordjylland	Region Nordjylland		Region Nordjylland		

3.2 Dataindsamling

Forgrundsdata findes ved hjælp af litteratur, og gennem dataudveksling med Artelia fra projektet Veje til Biobaseret Byggeri (Lindgren et al., 2025; Realdania, 2023). Data-indsamlingen er opdelt på hhv. efterspørgsel og forsyning.

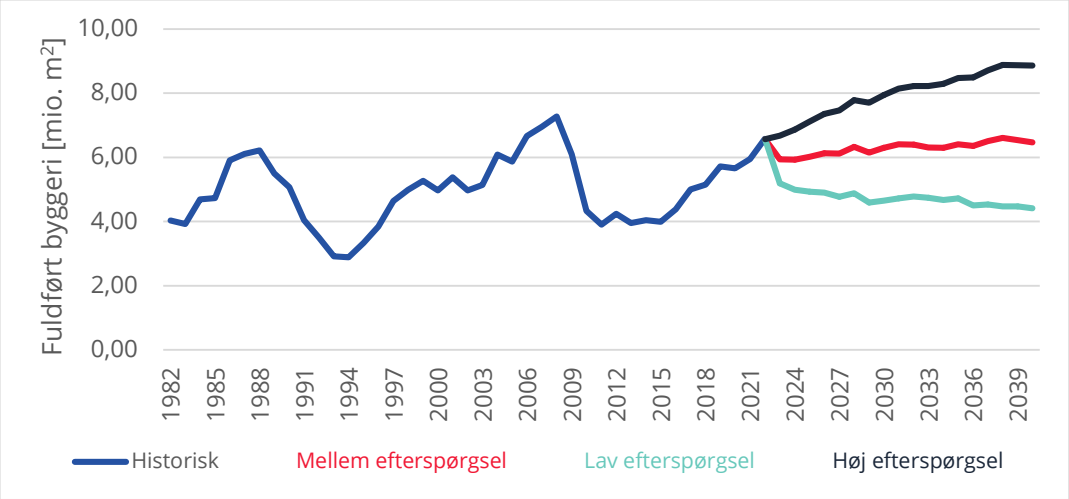
3.2.1 Efterspørgsel (ressourcetræk/behov)

Efterspørgsel efter råstoffer anvendt til byggeri defineres top-down. Med udgangspunkt i en fremskrivning af byggeaktiviteten, koblet med materialeforbrug opdelt i dominerende bygningstypologier, fremskrives den forventede efterspørgsel efter råstoffer.

3.2.1.1 Byggeaktivitet

Fremskrivning af byggeaktiviteten er baseret på data fra Artelia fra rapporten *Scenarier for fremtidens behov for biobaserede byggematerialer* (Lindgren et al., 2025), som er en del af projektet Veje til Biobaseret Byggeri. I nærværende projekt anvendes der data fra scenarierne 'festen fortsætter', 'prognose' og 'opbremsning', se Figur 11, som kobles til definitionerne høj, mellem og lav efterspørgsel. Fremskrivningerne repræsenterer den totale mængde fuldført byggeri i m^2, som kobles til typologier, bygningsdele og råstoffer anvendt per m^2 bygningsareal. På denne måde opnås totale værdier for materialestrømme i den temporale analyseperiode.

Figur 11 Fremskrevne scenarier for byggeaktivitet frem til 2040



Gengivelse af Figur 1 i nærværende rapport. Baseret på Artelias rapport om *Scenarier for fremtidens behov for biobaserede byggematerialer*. Inkluderer opvarmede arealer af (forventet) fuldført byggeri, angivet i mio. m^2. Kilde: (Lindgren et al., 2025)

Fremskrivningerne kan opdeles på bygningstypologier, se Figur 12.

Figur 12 Fremskrevne scenarier for byggeaktivitet opdelt på inkluderede bygningstypologier, frem til 2040



Baseret på Artelias rapport om *Scenarier for fremtidens behov for biobaserede byggematerialer*. Inkluderer opvarmede arealer af (forventet) fuldført byggeri, angivet i mio. m^2. Kilde: (Lindgren et al., 2025)

3.2.1.2 Typologier og bygningsdele

For at estimere det fremtidige behov efter byggematerialer, anvendes dataudtræk baseret på den af Artelia udviklede model, der kortlægger det årlige omfang af bygningsdele, der enten nybygges eller renoveres (Lindgren et al., 2025). Nybyggeri estimeres af Artelia på baggrund af data fra Danmarks Statistik, BRR og Energi-mærkningsordningen, mens omfanget af renovering bygger på baggrundsdata fra BUILD-rapporten "Klimapåvirkning fra renovering", hvor renoveringsniveauet for den eksisterende bygningsmasse er anslået.

Med udgangspunkt i det anslåede areal (målt i m^2) af bygningsdele, der nybygges og renoveres, tildeles typiske konstruktionsopbygninger inden for konventionelt byggeri,

per m^2 bygningsareal. På den måde kan masse og volumen af udvalgte hovedmaterialer beregnes. De samlede materialemængder i de fremtidige scenarier fastlægges derefter og justeres i forhold til forventede ændringer i byggeaktiviteten baseret på prognoser.

3.2.1.2.1 Nybyg

Datagrundlaget anvendt af Artelia er omgrupperet efter anvendelseskoder og korrigeret for uopvarmede arealer. Fokus er på den opvarmede del af bygningsmassen, hvor der stilles krav om LCA (Lindgren et al., 2025).

I datagrundlaget anvendes 2022 som referenceår, hvor den samlede byggeaktivitet udgjorde ca. 8,8 mio. m^2 , hvoraf opvarmede byggeaktivitet udgjorde ca. 6,58 mio. m^2 (Lindgren et al., 2025). Byggeaktiviteten for opvarmet bygningsareal er samlet i 6 hovedtypologier baseret på typisk bygningsudformning, se Tabel 7.

Tabel 7 Bygningstypologier anvendt i nærværende studier, baseret på (Lindgren et al., 2025)

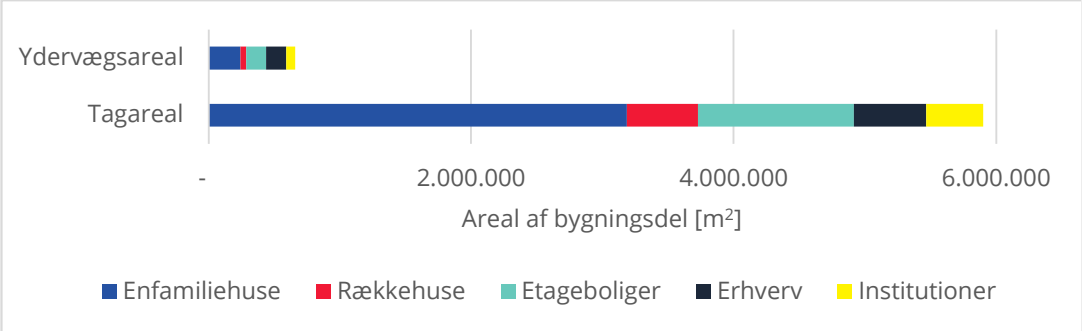
Anvendt typologi	Undertypologi	Andel af byggeaktivitet i referenceåret, 2022
Enfamiliehuse	Stuehus, parcelhus, andet helårsbolig, Sommerhus	32%
Rækkehuse	Rækkehuse, kædehuse, klyngehuse	12%
Etageboliger	Etagebolig, kollegium, døgninstitution, bygning med ferielejligheder, feriecenter	27%
Industri	Industri med produktion, værksted, energiproduktion, landbrug, parkering, transport mm.	18%
Erhverv	Kontor, handel, butikscenter, hotel, restaurant, service	5%
Undervisning, kultur og institution	Biograf, teater, museum, bibliotek, kirke, grundskole, universitet, hospital, lægehus, daginstitution, idrætshal mm.	6%

Uopvarmet byggeri er ikke inkluderet i beregningerne, hvorfor typologien 'andet' fra (Lindgren et al., 2025) er ekskluderet. Bygningstyperne udgør dog en væsentlig andel af den samlede byggeaktivitet og vil derfor også have betydning for det samlede materialebehov. Særligt avls- og driftsbygninger samt uopvarmede lagerhaller fylder relativt meget. (Lindgren et al., 2025)

3.2.1.2.2 Renovering

Til modellering af renoveringsomfang årligt, tages der udgangspunkt i (Lund et al., 2022a, 2022b). I beregningsarket (Lund et al., 2022a) er der udregnet en årlig renoverings-mængde for forskellige bygningsdele: tag, ydervæg, vinduesareal, gulvareal, loftareal, skillevægsareal, antal køkkener og badeværelser. Af disse, udvælges de bygningsdele der vurderes at anvende (dansk indvundne) mineralske råstoffer, se Figur 13 for hvilke, samt omfanget af de enkelte bygningsdele angivet i årligt areal, opdelt på bygningstypologi[8].

Figur 13 Udvalgte bygningsdele til renovering



Mængden/areal af bygningsdele der renoveres årligt, opdelt på bygningstypologier. Baseret på (Lund et al., 2022a)

Det antages, at renoveringsraten indgår med en konstant årlig rate, dog varierende for de enkelte efterspørgselsscenarier, da den grundlæggende antagelse for nærværende projekt er, at en reduceret efterspørgsel på nyt byggeri, medfører en øget andel af renovering. Dvs. at der for høj efterspørgsel renoveres de mængder som fundet i (Lund et al., 2022a), for mellem efterspørgsel renoveres +20% og for lav efterspørgsel renoveres +70%. Disse renoveringsmængder, tillægges de årlige arealbehov for nybyg-geri.

Der er i (Lund et al., 2022a) yderligere opstillet konstruktionsopbygninger (materiale-forbrug), for de enkelte bygningsdele. Estimerede materialemængder per konstruktions-type til renovering er listet i Tabel 8. Hvor der ikke har været volumenmængder, er der suppleret med data anvendt ifm. opgørelse af nybyggeri.

[8] Typologierne 'Stuehuse' og 'Parcelhuse' fra referencestudiet er lagt sammen i nærværende anvendelse

Tabel 8 Materiale pr. m² renoveret bygningsareal

Materialeforbrug i hhv. mængder og volumen per inkluderet bygningsdel til renovering, med materialer der indeholder mineralske råstoffer.

		Materiale pr. m² renoveret bygningsareal		Enhed
		Tagareal	Ydervægsareal	
MATERIALE	Isolering	0,200	0,200	m^3
	Tegl	0,02	-	m^3
	Betontagsten	40,76	-	kg
	Fibercement	12,62	12,62	kg
	Puds	-	0,014	m^3

3.2.1.3 Materialer og råstoffer

For at omregne omfanget af bygningsdele i m^2 til materialemængder i m^3 er der tildelt generiske konstruktionsopbygninger til de enkelte bygningsdele. Der anvendes data-grundlaget for konventionelt byggeri fra (Lindgren et al., 2025). Fordelingen af materiale anvendt per areal bygningsdel per m^2 opvarmet bygningsareal antages konstant.

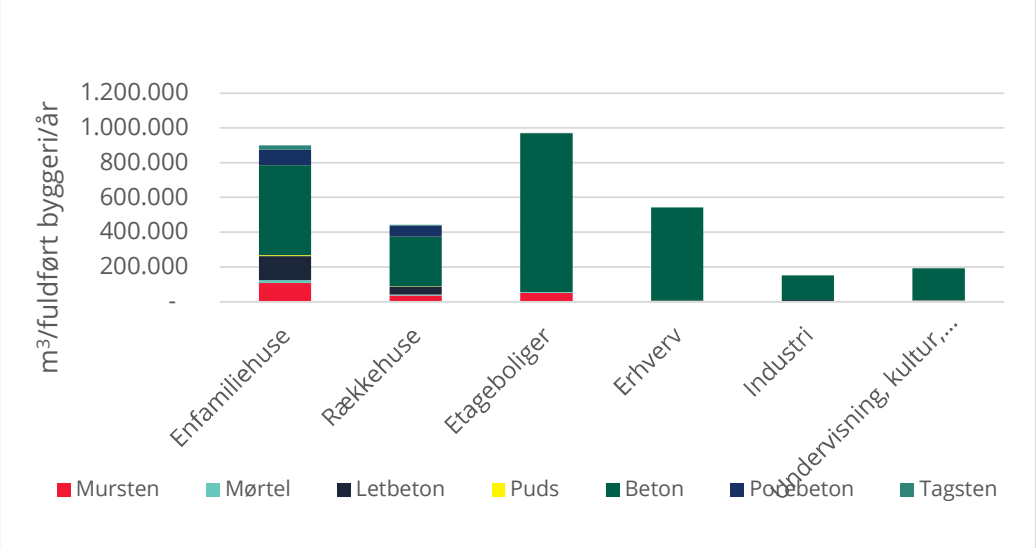
Da referencestudiet fra Artelia har fokus på omstillingen til et mere biobaseret byggeri, indeholder data en lang række materialer, der er relevante for både biobaseret og konventionelt byggeri – eller enten eller. Til nærværende studie er der kun trukket data ud for de materialetyper, der vurderes at være baseret på mineralske råstoffer, se Tabel 9, hvor også de totale estimerede mængder materiale brugt i referenceåret, 2022, er angivet. De totale mængder kan yderligere kobles til de enkelte materialetypologier, se Figur 14.

Tabel 9 Udvalgte byggematerialer, samt estimerede mængder brugt i 2022

Mængder er angivet i enheden m^3/fuldført årligt byggeri/år. Baseret på rådata (Lindgren et al., 2025)

Materiale	Estimeret mængde brugt i 2022
Mursten	211.030
Mørtel	27.646
Letbeton	188.407
Puds	9.420
Beton	2.574.323
Porebeton	151.200
Tagsten	36.561

Figur 14 Volumen materiale brugt per bygningstypologi



Volumen materiale brugt per bygningstypologi. Mængder er angivet i enheden m³/fuldført byggeri/år. Baseret på rådata fra (Lindgren et al., 2025)

Disse materialemængder kobles herefter med gennemsnitlige recepter for de forskellige materialer, se Tabel 10. Tallene baseres på tilgængelige EPD'er og andre relevante produktinformationer.

Disse recepter kobles med materialemængder per bygningstypologi, hvorved mængden af råstoffer brugt per bygningstypologi kan opgøres. Disse nøgletal kan så kobles til den samlede byggeaktivitet, fra Figur 11.

TEKNOLOGISK INSTITUT

Tabel 10 Råstoftræk pr enhed byggemateriale

Tallene er udarbejdet på baggrund af forskellige miljøvaredeklarationer (EPD'er), og angivet i % per enhed byggemateriale. Der er så vidt muligt taget udgangspunkt i EPD'er for danske eller danskproducerede produkter, men disse er i nogle tilfælde suppleret med andre EPD'er eller litteratur. Hvor der i referencen er anvendt spænd, er der defineret en middelværdi.

Råstof	Byggemateriale								
					Tagsten			Delmaterialer	
	Beton	Letbeton	Mursten	Tegl	Fiber-cement	Cementsten	Mørtel	Cement	Klinker
Densitet [kg/m³]	2400	535	1800	2020	-	-	1660	3140	3170
Enhed for materiale i deklaration	m³	m³	ton	m²	m²	m²	ton	ton	-
Densitet [kg/enhed]	2400	535	1000	41	12,62	40,76	1000	1000	-
Kilde	(Stenstrop et al., 2018)	(H+H Deutschland GmbH, 2023)	(Kalk- og Teglværksforeningen af 1893, 2014)	(Randers Tegl A/S, 2025b)	(Swisspearl Danmark Holding A/S, 2021)	(Ikast Betonvarefabrik A/S, 2022)	(Wewers Mørtel A/S, 2023)	(Aalborg Portland A/S & Cementir Holding, 2025)	(Wolf, 2024)
Sand	40%	41%	16%		17%	72%	87%		
Sten	50%								
Ler			84%	100%					
Kalksten		9%					7%	13%	81%
Cement	10%	16%			62%	20%	7%		
Genanvendt tilslag		1%							
Klinker								85%	
Gips		1%							
Vand		31%				7%			
Andet		1%	0%	0%	21%	1%		2%	18%

3.2.1.4 Efterspørgsel på råstoffer til andet end byggeri

Ses der på de overordnede materialestrømme af råstoffer, estimeres det, at der for sand, grus og sten bruges ca. 25% til byggeri, og de resterende til 75% til anlægsarbejder (Larsen et al., 2019), mens andre vurderer en fordeling på 30% til byggeri og 70% til anlæg (Smith & Andersen, 2020). Dette er for den direkte anvendelse af råstoffer. Kigges der derimod på 'endelig anvendelse' af råstofferne, fx når de er indarbejdet i beton, antyder et studie af Metabolic for Region Syddanmark, at det nærmere er 20% der går til byggeri, da en del af råstofferne brugt til beton, er beton der anvendes i anlægsbranchen (Johannessen & Thorin, 2020). I (Smith & Jensen, 2026) vurderes anvendelsen, som angivet i Tabel 11.

Tabel 11 Overordnet anvendelse af råstoffer

Overordnet anvendelse (inkl. import og eksport). Data stammer fra (Smith & Jensen, 2026)

Overordnet anvendelse	Andel
Anlægs- og vejmaterialer	51 %
Asfaltmaterialer	4 %
Betontilslagsmateriale	26 %
Opfyldning/kystsikring	18 %
Anden anvendelse	1 %

Da andet råstofforbrug dog er udenfor scope af dette studie, ses denne fordeling dog kun som perspektiv og størrelsesorden af råstofforbrug i relation til byggeriet forbrug.

3.2.2 Forsyning (Tilgængelighed af råstoffer)

Forsyningsveje for råstoffer, anvendt til byggeri, defineres bottom-up, og dækker forsyningskilder (beskrevet som processer), samt transport af disse råstoffer.

3.2.2.1 Traditionel

I den traditionelle forsyningstilgang, antages det, at alle råstoffer, der efterspørges, leveres fra råstofgrave. Dette modelleres mht. de marginale råstofleverandører som beskrevet i afsnit 3.1. Den underliggende antagelse her er således, at der ikke er nogen begrænsning på forsyningen af mineralske råstoffer, og såfremt der opstår reduceret tilgang til råstoffer, udvides eksisterende mængde og omfang af råstofgrave.

For at disse råstoffer kan forsynes til den fremskrevne efterspørgsel, skal de dog transporteres. Transportdistancer for landindvundne råstoffer i den traditionelle

forsyningsmodellering tager udgangspunkt i gennemsnitlige nationale transport-distance på 55 km (Konstantyner, 2025). Denne distance suppleres dog med en følsomhedsanalyse, hvor der regnes med 90 km[9].

For marine råstoffer, regnes der med en gennemsnitlig transport på 146 km, hvoraf 85 km er til søs og 61 km til lands (COWI, 2022a).

3.2.2.2 Lokalt begrænset

I den lokalt begrænsede forsyningstilgang, antages det, at alle råstoffer, der efter-spørges, leveres fra råstofgrave, dog med de regionale begrænsninger og antagelser om marginale råstofleverandører, som beskrevet i afsnit 3.1.

I forhold til modellering af denne regionale opdeling, opstilles der en fordelingsnøgle for byggeaktiviteten opdelt i regioner. Da materialeforbrug er koblet op på bygnings-typologien, opstilles fordelingsnøglen for byggeaktivitet per region per inkluderet bygningstypologi, se Tabel 12. Denne fordelingsnøgle antages at være statisk på tværs af analysens tidsperiode

Fordelingsnøglen baseres på den samlede byggeaktivitet angivet i BYGV11 (Danmarks Statistik, 2022) med referenceåret 2022 og kobles på bygningstypologierne defineret i (Lindgren et al., 2025). Det antages statisk som fordeling. Det antages, at renoverings-graden er statisk på tværs af hele landet.

Tabel 12 Fordeling af byggeaktivitet opdelt på region og bygningstypologi

Baseret på BYGV11 (Danmarks Statistik, 2022)

	Region Hovedstaden	Region Sjælland	Region Syddanmark	Region Midtjylland	Region Nordjylland
Enfamiliehuse	19%	40%	36%	31%	44%
Rækkehuse	8%	18%	13%	12%	12%
Etageboliger	43%	18%	18%	27%	14%
Industri	17%	13%	22%	20%	16%
Erhverv	5%	3%	6%	5%	6%
Undervisning, kultur og institutioner	8%	8%	5%	5%	8%

[9] Baseret på GEUS rapport, hvor det angives at "*råstoffer generelt kun transporteres indenfor en radius af 80-100 km, og endnu kortere afstande for lav-kvalitetsprodukter*" (Leth et al., 2024)

Transportdistancer i den lokalt begrænsede forsyningsmodellering tager udgangspunkt i gennemsnitlige regionale transportdistancer, som angivet i Tabel 13 for landindvundne råstoffer, og Tabel 14 for marine råstoffer. Disse distancer suppleres med en følsomhedsanalyse, hvor der regnes med +/-50%.

Tabel 13 Transportdistancer for landindvundne råstoffer i den lokalt begrænsede forsyningsmodellering

	Region Hovedstaden	Region Sjælland	Region Syddanmark	Region Midtjylland	Region Nordjylland
Transport-afstand [km]	31	42	25	38-66[10]	40[11]
Reference	(COWI, 2023)	(COWI, 2023)	(COWI, 2022b)	(Stenstrop et al., 2018)	(Hejlesen & Larsen, 2008)

Tabel 14 Transportdistancer for marine råstoffer i den lokalt begrænsede forsyningsmodellering

Estimeret ud fra losningsområder (COWI, 2022a)

	Region Hovedstaden	Region Sjælland	Region Syddanmark	Region Midtjylland	Region Nordjylland
Transport-afstand [km] til søs	38	19	180	105	93
Transport-afstand [km] til lands	15	61	61	112	63

3.2.2.3 Cirkulær

Ved den cirkulære forsyning, analyseres der to underscenarier, hvor det antages, at en andel af efterspørgslen imødekommes vha. nogle cirkulære tiltag. Disse tiltag er specificeret til hhv. genbrug af mursten, samt genanvendelse af bygge- og anlægsaffald (betonaffald) som tilslag i ny betonproduktion.

[10] Baseret på rapport om råstoffer til betonproduktion i Region Midtjylland, hvor det angives at den gennemsnitlige køreafstand for sand er 38 km og 66 km for sten.

[11] Det har ikke været muligt at finde nyere opgørelser for Region Nordjylland, hvorfor der anvendes referencedata fra et 2008 studie fra Vejdirektoratet.

De to underscenarier præsenteret er under optimistiske antagelser om 100% hhv. genbrug og genanvendelse. Der tages altså ikke hensyn til eventuelle alternative anvendelsesbehov, politiske beslutninger eller tekniske muligheder/begrænsninger.

3.2.2.3.1 Betontilslag

I underscenariet om anvendelse af sekundære tilslag til ny betonproduktion, tages der udgangspunkt i tilgængelige mængder bygge- og anlægsaffald, og den andel heraf der består af beton. Ifølge affaldsstatistikken for 2023 (Miljøstyrelsen, 2025) udgør den rene betonfraktion 21% af den samlede bygge- og anlægsaffald, svarende til ~1,1 mio. tons. Herudover indsamles betonaffald i blandede fraktioner, fx som del af den affaldsfraktion, der benævnes "Blandinger eller separerede fraktioner af beton, mursten, tegl og keramik", eller som del af fraktionen "Blandet bygnings- og nedrivningsaffald".

Affaldsstatistikken omfatter dog kun det affald, der indberettes til ADS (AffaldsData-Systemet). En mindre del nedknuses i forbindelse med nedrivninger og nyttiggøres på stedet, fx som midlertidige køreveje i forbindelse med byggeprocessen. Den beton, der nedknuses på stedet, indberettes typisk ikke til ADS, og det vides derfor ikke, hvor store mængder det drejer sig om (Astrup, 2022). (Lauritzen & Kellermann, 2024) estimerer en årlig 'produktion' af betonaffald på 3 mio. tons, hvoraf 40% (dvs. 1,2 mio. ton) vurderes egnet til genanvendelse som tilslag i ny beton (Lauritzen & Kellermann, 2024).

I nærværende studie regnes der derfor med at 1,2 mio. tons årligt, af de efterspurgte grove tilslag til ny betonproduktion kan dækkes af nedknust betonaffald. Det antages som en statisk fraktion.

I praksis, når betonaffaldet nedknuses, opstår der en fin og en grov fraktion. Det estimeres at 40% af det knuste beton er fin fraktion (Lauritzen & Kellermann, 2024), som ikke kan anvendes i den nye beton.

Det antages derfor at der erstattes 0,72 mio tons grove tilslag i beton årligt. Den årlige efterspørgsel for grove tilslag til beton varierer, da denne afhænger af den årlige byggeaktivitet. De gennemsnitlige fordelingsnøgler for hele analysen perioden er dog angivet i Tabel 15. Fordelingsnøglerne er opgivet for alle tre efterspørgsel scenarier for at illustrerer at ved fx lav efterspørgsel, øges den relative andel for hvor meget af efterspørgslen der kan dækkes af genanvendte tilslag. I praksis regnes der dog kun på scenarier for høj efterspørgsel, som beskrevet i afsnit 2.7.4.

Tabel 15 Gennemsnitlige fordelingsnøgler for anvendelsen af genanvendte vs. jomfrueligt tilslag i beton

Nøgletallene præsenterer et gennemsnit på tværs af analyseperioden. I praksis anvendes der årlige fordelingsnøgler, da forholdet varierer, afhængigt af byggeaktiviteten.

	Høj efterspørgsel	Mellem efterspørgsel	Lav efterspørgsel
Andel af genanvendt tilslag	19%	24%	32%
Andel af jomfrueligt tilslag	81%	76%	68%

Substitutionseffekten for genanvendt betonaffald som tilslag i ny beton er illustreret i Figur 15.

Figur 15 Substitutionseffekten for genanvendt betonaffald som tilslag i ny beton

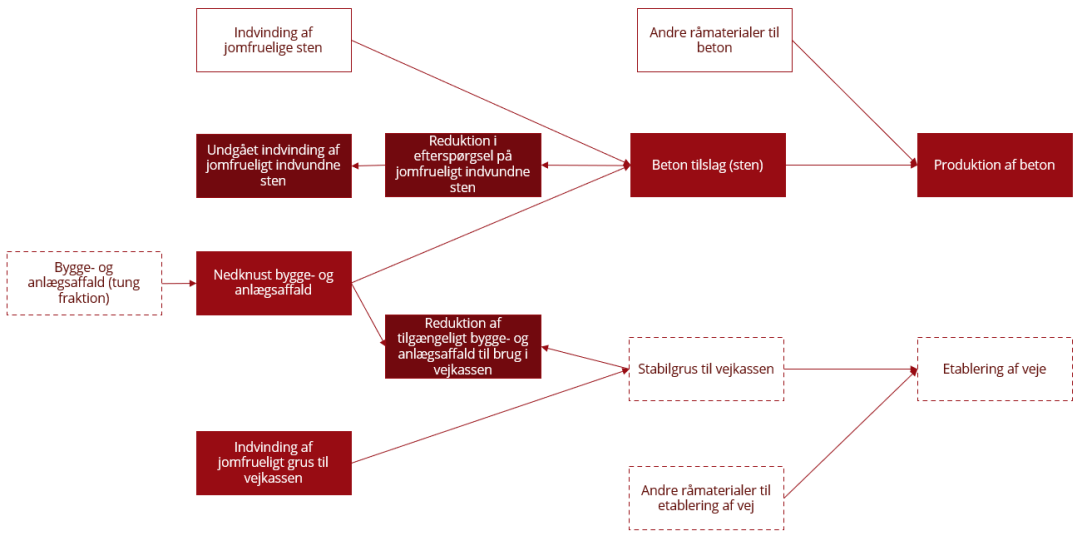


Illustration af substitutionseffekten for genanvendt betonaffald som tilslag i ny beton. Den aktive substitutionseffekt er illustreret gennem de farvede bokse, hvor de hvide bokse repræsenterer andre processer der ikke påvirkes af substitutionseffekten og de stiplede bokse er udenfor systemgrænsen. Ved brug af genanvendte tilslag, reduceres efterspørgslen for jomfrueligt indvundne sten (den grove tilslags fraktion i beton), hvorfor indvindingsmængden reduceres. Da bygge- og anlægsaffald dog allerede har en funktion i værdikæden for etablering af veje, nemlig som stabilisering i vejkassen, antages det at tilgængeligheden der reduceres, og således må erstattes med jomfrueligt indvunden grus.

Ved anvendelse af nedknust beton til nye tilslag, modelleres knusning af betonen, samt transporten. Knusnings modelleres vha. en baggrundsproces fra den anvendte database, der medtager energiforbrug og maskinel for mekanisk knusning af 1 kg sten (Kellenberger, 2010). Transport modelleres med de samme transportdistancer som for jomfruelige råstoffer fra landindvinding i nationalt regi, dvs. 55km [38]. Denne distance suppleres dog med en følsomhedsanalyse hvor der regnes med 90 km.

3.2.2.3.2 Mursten

I underscenariet om anvendelse af genbrugte mursten, tages der udgangspunkt i tilgængelige mængder bygge- og anlægsaffald, og den andel heraf der består af mursten. Ifølge affaldsstatistikken for 2023 (Miljøstyrelsen, 2025) udgør den rene murstensfraktion 3% af den samlede bygge- og anlægsaffald, svarende til ca. 144.000 tons. De reelle mængder er højst sandsynligt højere. Som det er tilfældet med beton, kan mursten også indsamles sammen med andre affaldsfraktioner, og herudover vil en vis andel blive nedknust og nyttiggjort på stedet i forbindelse med nedrivninger. Se kap. *3.2.2.3.1 Betontilslag* for flere detaljer.

Det er desuden kun mursten opmuret med kalkmørtel, der som udgangspunkt er egnede til genbrug, da denne mørtel forholdsvis let kan renses væk fra stenene.

Ifølge (Jordal-Jørgensen & Pedersen, 2016; NIRAS et al., 2017) ligger potentialet for genbrugte mursten på 30 – 47,3 mio. sten årligt. Regner man med en stenvægt på 2,3 kg (Randers Tegl A/S, 2025a), svarer det til 69.000-108.790 tons mursten årligt.

I nærværende studie regnes der med at 108.790 tons mursten årligt, af de efterspurgte mursten til byggeri, kan dækkes af genbrugte mursten. Der modelleres som udgangspunkt med potentialet på 47,3 mio. sten, men udføres en følsomhedsanalyse på det årlige potentiale på 30 mio. sten.

Der tages ikke højde for om der erstattes bag- eller formur, da produktionen af stenene ikke er inkluderet i nærværende analyse. Der ses alene på materialestrømmene for mineralske ressourcer.

Den årlige efterspørgsel for mursten varierer, da denne afhænger af den årlige byggeaktivitet. De gennemsnitlige fordelingsnøgler for hele analysen perioden er dog angivet i Tabel 16. Fordelingsnøglerne er opgivet for alle tre efterspørgsel scenarier for at illustrerer at ved fx lav efterspørgsel, øges den relative andel for hvor meget af

efterspørgslen der kan dækkes af genbrugte mursten. I praksis regnes der dog kun på scenarier for høj efterspørgsel, som beskrevet i afsnit 2.7.4.

Tabel 16 Gennemsnitlige fordelingsnøgler for anvendelsen af genbrugte mursten vs. mursten produceret med jomfruelige råstoffer

Nøgletallene præsenterer et gennemsnit på tværs af analyseperioden. I praksis anvendes der årlige fordelingsnøgler, da forholdet varierer, afhængigt af byggeaktiviteten.

	Høj efterspørgsel	Mellem efterspørgsel	Lav efterspørgsel
Andel af genbrugte mursten	24%	30%	39%
Andel af jomfruelige mursten	76%	70%	61%

Substitutionseffekten for genbrugte mursten som erstatning af nye mursten er illustreret i Figur 16.

Figur 16 Substitutionseffekten for genbrugte mursten som erstatning af nye mursten

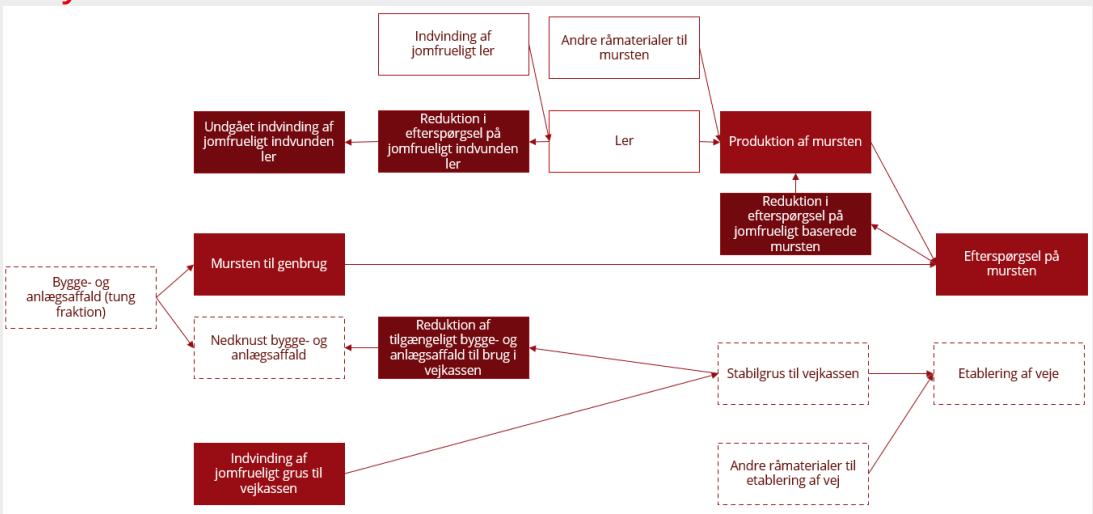


Illustration af substitutionseffekten for genbrugte mursten. Den aktive substitutionseffekt er illustreret gennem de farvede bokse, hvor de hvide bokse repræsenterer andre processer der ikke påvirkes af substitutionseffekten og de stiplede bokse er udenfor systemgrænsen. Ved brug af genbrugte mursten, reduceres efterspørgslen for jomfrueligt indvunden ler (der anvendes til mursten produktion), hvorfor indvindingsmængden reduceres. Da bygge- og anlægsaffald dog allerede har en funktion i værdikæden for etablering af veje, nemlig som stabilisering i vejkassen, antages det at tilgængeligheden der reduceres, og således må erstattes med jomfrueligt indvunden grus.

Transport modelleres med de samme transportdistancer som for jomfruelige råstoffer fra landindvinding i nationalt regi, dvs. 55km [38]. Denne distance suppleres dog med en følsomhedsanalyse hvor der regnes med 90 km.

3.3 Baggrundsdata

Baggrundsdata anvendes primært fra databasen ecoinvent (Wernet et al., 2016) v. 3.12 (ecoinvent, 2025), med systemmodellen "Substitution, consequential, long-term" (ecoinvent, 2024). Hvor nødvendigt eller relevant, suppleres der med proxydata eller data fra litteraturen. Baggrundsdata forbliver statiske, baseret på de tilgængelige data i anvendte databaser.

Det er for udvalgte baggrundsprocesser blevet justeret i processen, således at repræsentativitet er marginal bedre for dansk kontekst. Dette gælder primært justering af elektricitetskilder. Dette dækker over en grov konvertering af globale eller europæiske baggrundsdata/-processer til tilsvarende dansk strømleverandør/el mix. Hvilke processer der er berørt, beskrives i bilag C.

3.4 Inventory data

Oversigten over de anvendte data (input, output og flows) er angivet i bilag C.

3.5 Data kvalitet

Datakvaliteten er vurderet iht 'Data quality level and criteria of the UN Environment Global Guidance on LCA database development', som angivet i table E.2 i EN15804+A2 (European Committee for Standardization, 2019). Datakvaliteten vurderes i forhold til geografisk, teknologisk og tidsmæssig repræsentativitet. Datakvaliteten vurderes på 3 parametre: geografisk, teknologisk og tidsmæssigt, og kan kategoriseres i 5 'stadier', fra meget god, god, fair, dårlig, meget dårlig. Vurderingen er præsenteret i afsnit 5.2.

3.6 Følsomhedsanalyser

Der vurderes følsomhed på en række udvalgte faktorer og parametre:

- Fordelingsnøgle mellem land og havindvinding
- Transportafstande af råstoffer
- Potentialet for genbrug af mursten i forsyningsscenarie
- ReCiPe værditilgange

For afsnit 3.6.1 - 3.6.2 anvendes der en sensitivitetsratio Denne beregnes ved

$$SR = \frac{\%\ ændring\ i\ output\ (LCA\ resultatet)}{\%\ ændring\ i\ input}$$

Heraf tolkes så,

- SR > 1: Resultatet er meget følsomt over for ændringen. En lille ændring i input giver en stor ændring i output.
- SR ≈ 1: Resultatet ændres proportionalt med inputtet.
- SR < 1: Resultatet er lavt følsomt. Selvom input ændres meget, påvirker det kun det samlede resultat en lille smule.

For de andre to følsomhedsanalyser vurderes ændringerne mere kvalitativt.

3.6.1 Transportafstande af råstoffer

De anvendte transportafstande vurderes for følsomhed, ved hhv. at:

- udskifte den nationale transportafstand for landindvundne råstoffer på 55km (Konstantyner, 2025) med 90 km[12].
- Ændre de nationale transportafstande for marine råstoffer med +/- 50%
- Ændre de regionale transportafstande for land- og havindvundne råstoffer (se Tabel 13 og Tabel 14) med +/- 50%.

3.6.2 Potentialet for genbrug af mursten i forsyningsscenarie

Der modelleres som udgangspunkt med et årligt potentiale på 47,3 mio. sten, men udføres en følsomhedsanalyse, hvor det årlige potentiale er reduceret til 30 mio. sten svarende til 69.000 tons mursten årligt.

Den årlige efterspørgsel efter mursten varierer, da denne afhænger af den årlige byggeaktivitet. De gennemsnitlige fordelingsnøgler for hele analyseperioden er i følsomhedsanalysen ændret som angivet i Tabel 17.

[12] Baseret på GEUS rapport, hvor det angives at "*råstoffer generelt kun transporteres indenfor en radius af 80-100 km, og endnu kortere afstande for lav-kvalitetsprodukter*" Leth, J. O., Clausen, R., Ditlefsen, C., Keiding, J. K., Mortensen, M. H., Pjetursson, B., & Høyer, A.-S. (2024). *Et nationalt overblik over de reelt tilgængelige råstofressourcer i Danmark* (DANMARKS OG GRØNLANDS GEOLOGISKE UNDERSØGELSE RAPPORT 2024/8, Issue. https://data.geus.dk/pure-pdf/GEUS-R_2024-8_web.pdf

Tabel 17 Gennemsnitlige fordelingsnøgler for anvendelsen af genbrugte mursten vs. mursten produceret med jomfruelige råstoffer

Nøgletallene præsenterer et gennemsnit på tværs af analyseperioden. I praksis anvendes der årlige fordelingsnøgler, da forholdet varierer, afhængigt af byggeaktiviteten.

	Fra hovedstudiet	Til følsomhedsanalyse
Andel af genbrugte mursten	24%	15%
Andel af jomfruelige mursten	76%	85%

3.6.3 Fordelingsnøgle mellem land og havindvinding

I tildelingen af påvirkede markedsaktører, er der defineret en fordelingsnøgle mellem leverance af råstoffer fra hhv. land- og havindvinding for både nationalt og regionalt niveau. Denne forskydes med en ombytning af forholdet i en følsomhedsanalyse.

3.6.4 ReCiPe værditilgange

Den anvendte karakteriseringsmetode i dette studie er ReCiPe, med værditilgangen Hierarchist (H) (Huijbregts et al., 2017; Schumacher, 2025). Der udføres tillæggende analyser ved brug af værditilgangene Individualist (I), og Egalitarian (E) (Schumacher, 2025), for at se om andre værdier for karakterisering, vil have indflydelse på resultater og konklusioner.

4 Resultater (vurdering af miljøpåvirkninger og materialestrømme)

Den anvendte karakteriseringsmetode i dette studie er ReCiPe, med værditilgangen Hierarchist (H) (Huijbregts et al., 2017; Schumacher, 2025), og udvalgte påvirkningskategorier. Der anvendes både midpoint og endpoint kategorier i studiet. Midpoint indikatorer repræsenterer mellemliggende indikatorer i causalkæden for specifikke påvirkninger som klima, arealanvendelse og andre miljøeffekter. Endpoints repræsenterer *skadeskategorier* for udvalgte fokusområder ('Area of Protection'). I dette studie anvendes der økosystemers kvalitet, der måles i potentielt tab af artstyper.

Dertil kvantificeres materialestrømmene i LCA'en, da en central måleenhed for råstoffer er vægt (målt i kg eller ton) og volumen (målt i m^3).

Alle resultat udtræk fra openLCA modellen for de relevante indikatorer, samt materialestrømsmængder kan findes i bilag D.

4.1 LCA-resultater

Generelt ses det på tværs af alle resultater, at forholdet mellem de forskellige scenariers påvirkningerne overordnet er ens, med stigende påvirkninger hen over studiets tidsperiode. Dette skyldes den fremskrevne årlige efterspørgsel for byggeri. Resultaterne gennemgås i detaljer på de følgende sider.

Der udføres også en perspektiverende sammenligning for referenceåret 2030, mellem høj efterspørgsel af byggeaktivitet, til hhv. mellem og lav efterspørgsel, se afsnit 4.2.

4.1.1 Midpoint-kategorier

De totale påvirkninger for de forskellige forsyningsscenarier, ved høj efterspørgsel, er præsenteret i Tabel 18.

Figur 17 - Figur 20 præsenterer resultaterne for de 4 udvalgte 'midpoint' påvirkningskategorier for studiet.

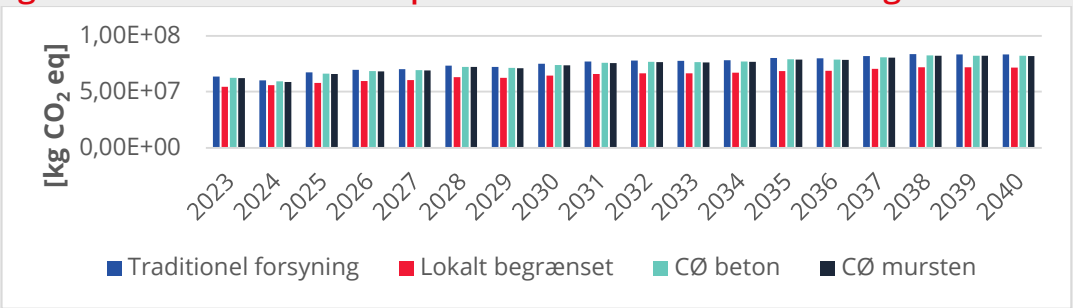
Tabel 18 Summerede påvirkninger for hele studiets analyseperiode, 2023-2040, midpoint kategorier

		Traditionel forsyning	Lokalt begrænset	CØ beton	CØ mursten
Fine particulate matter formation	[kg PM2.5 eq]	2,30E+06	2,20E+06	2,21E+06	2,24E+06
Global warming	[kg CO_2 eq]	1,35E+09	1,17E+09	1,33E+09	1,33E+09
Land use	[m^2a crop eq]	3,77E+08	5,20E+08	3,50E+08	3,78E+08
Mineral resource scarcity	[kg Cu eq]	2,21E+08	2,21E+08	2,21E+08	1,86E+08

Generelt drives scenariernes påvirkning på den **globale opvarmning** ('Global warming'), Figur 17, primært af transport, og sekundært af forbrænding og produktion af den dieselolie, der bruges ifm. indvinding af de forskellige råstoffer i råstofgravene.

Det ses, at scenariet for en lokalt begrænset forsyning generelt har en lavere påvirkning sammenlignet med de andre tre forsyningsscenarier. Dette skyldes at transportdistancerne varierer fra de landsdækkende distancer, koblet med ændrede fordelinger af hhv hav- og landindvinding der også påvirker transportdistancer, og derfor er det relative bidrag af råstoffernes transport mindre. Transport er kendt som en central faktor i opgørelser for råstoffers miljøpåvirkning, og underlægges derfor også en følsomhedsanalyse i afsnit 5.3.1.

Figur 17 Resultater iht. midpoint indikator: Global warming



Generelt drives scenariernes påvirkning på den globale opvarmning primært af transport, og sekundært af forbrænding og produktion af den dieselolie der bruges ifm. indvinding af de forskellige råstoffer i råstofgravene.

Generelt drives scenariernes påvirkning på **arealanvendelse** ('Land use'), Figur 18, primært af råstofindvinding, og den nødvendige transformation fra fx våd-, skov, eller andre områder til indvindingsareal (grusgrav eller indvinding til søs). Der er anvendt en proxy-proces ("indvinding fra flod") for modellering af havindvinding, som bidrager med en signifikant andel af land/areal transformationen, selvom landindvinding også karakteriserer transformation af landareal. Om bidraget fra dansk havindvinding, til forskel for flod, ville blive karakteriseret på samme måde er desværre ikke kendt, og kræver yderligere analyser og kortlægninger, som dog ikke er indeholdt i nærværende studie. Sekundært er det vejtransport, der bidrager til arealanvendelseskategorien, i form af bl.a. udlagte veje, der allokeres til de anvendte transportprocesser.

Det ses, at både forsyningsscenariet for lokal begrænsning og "CØ beton" stikker ud.

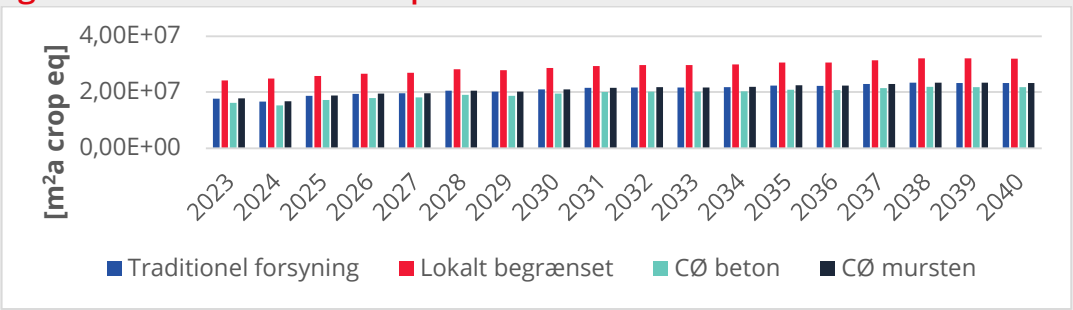
Lokalt begrænset forsyning resulterer i en større arealanvendelse sammenlignet med de øvrige forsyningsscenarier. Det skyldes studiets antagelse om marginale leverandører for sand og sten, hvor især Region Hovedstaden i dominerende grad forsynes af havindvundne råstoffer, og i baggrundsdata fra LCA modellen karakteriseres havindvinding med højere bidrag til arealanvendelse.

Flodindvinding har ofte en større samlet areal- og naturpåvirkning end både landbaserede stenbrud og havindvinding, fordi skaderne breder sig ud over selve udvindingsstedet til brinkerne, økosystemerne og områder nedstrøms. Det kan føre til erosion, uklart vand, tab af fiskehabitater og skade på sårbare ferskvandsmiljøer tæt på mennesker, mens landbaserede stenbrud typisk er mere afgrænsede, og havindvinding oftest har et mindre direkte landarealaftryk. Da datakvaliteten for den anvendte havindvindings proxy (flodindvinding) er vurderet som dårligt, overordnet, og samtidig har en betydelig indflydelse på resultaterne i analysen (særligt arealanvendelse), er der foretaget noget perspektiverende analyser af det anvendte proxydatasæt, og kendte branchedata i bilag E.

Omvendt har scenariet for forsyning med *genanvendte betontilslag* ("CØ beton") en lidt lavere påvirkning sammenlignet med de øvrige forsyningsscenarier. Det skyldes den bagvedliggende antagelse, at den undgåede indvinding af sten til betontilslag baseres på indvinding i en kombineret grus, og sandgrav, hvorimod indvindingen af grus til vejfyld (som ikke længere kan dækkes af betonaffald, da det er omdirigeret til betontilslag) antages leveret af knust grus produktion, dvs. en anden bearbejdning af råmaterialet.

Den marginale forskel skyldes derfor højst sandsynligt modelleringsvalg, frem for en reel besparelse.

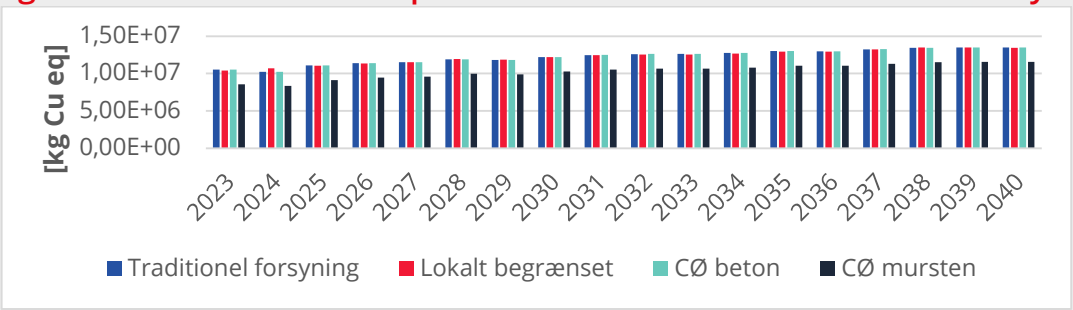
Figur 18 Resultater iht. midpoint indikator: Land use



Generelt drives scenariernes påvirkning på arealanvendelse primært af råstofindvinding, og den nødvendige transformation fra fx våd-, skov, eller andre områder til indvindingsareal (grusgrav eller indvinding til søs).

Kategorien "**mangel på mineralske ressourcer**" ('Mineral ressource scarcity'), Figur 19, drives generelt af indvinding af ler. Det ses, at alle forsyningsscenarier performer nogenlunde ens. Ved gennemgang af resultaterne for mangel på mineralske ressourcer er det dog vigtigt at være opmærksom på, at mineralske råstoffer generelt kun karakteriseres i begrænset omfang af de fleste LCIA metoder. For nærværende analyse, hvor der anvendes ReCiPe, betyder det, at der fx kun karakteriseres ler, basalt og kalksten, men ikke sand, sten og grus.

Figur 19 Resultater iht. midpoint indikator: Mineral resource scarcity

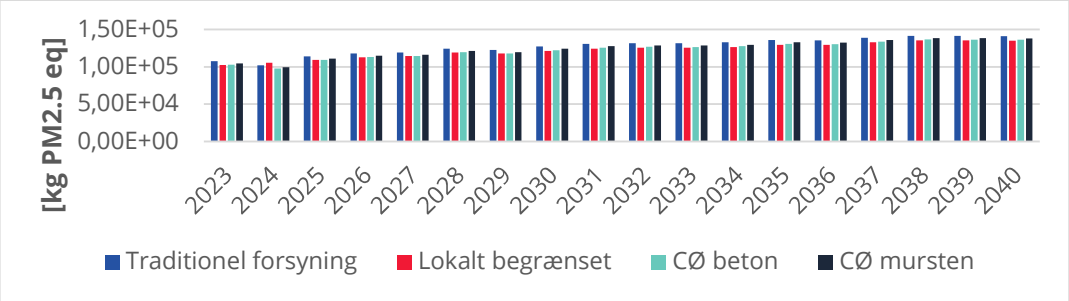


Generelt drives scenariernes påvirkning på mangel af mineralske ressourcer af indvindingen af ler.

Generelt drives scenariernes påvirkning på **dannelsen af fine partikler** ('Fine particulate matter formation'), Figur 20, primært af transport, og sekundært af forbrænding og produktion af den dieselolie, der bruges ifm. indvinding af de forskellige råstoffer i råstofgravene.

Det ses, at forsyningsscenarierne performer relativt ens. Dog stikker resultaterne for den traditionelle forsyning en smule ud, hvilket skyldes samme dynamik som for global opvarmning, hvor transportpåvirkningerne varierer. Sammenstillet med CØ forsyningsscenarierne er der et skifte i råstofindvindingen og de tilhørende transportdistancer, hvorfor også disse scenarier påvirkes.

Figur 20 Resultater iht. midpoint indikator: Fine particulate matter formation



Generelt drives scenariernes påvirkning på dannelsen af fine partikler primært af transport, og sekundært af forbrænding og produktion af den dieselolie der bruges ifm. indvinding af de forskellige råstoffer i råstofgravene.

4.1.2 Endpoint-kategori

De totale påvirkninger for de forskellige forsyningsscenarier, ved høj efterspørgsel, er præsenteret i Tabel 19.

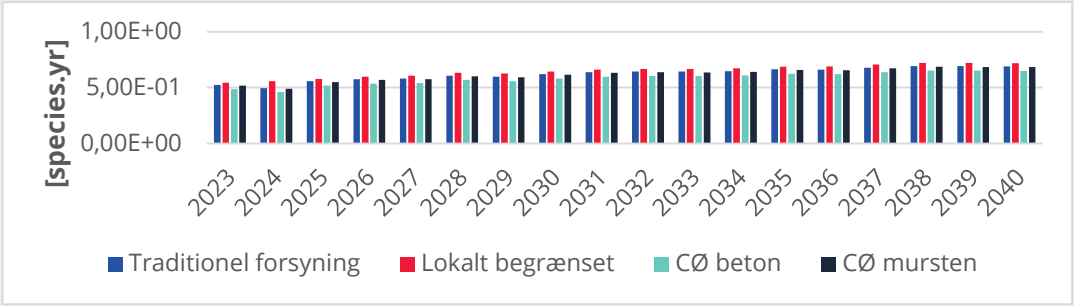
Tabel 19 Summerede påvirkninger for hele studiets analyseperiode, 2023-2040, endpoint kategorien *ecosystem quality*

		Traditionel forsyning	Lokalt begrænset	CØ beton	CØ mursten
Ecosystem quality	[species.yr]	1,12E+01	1,17E+01	1,05E+01	1,11E+01

Figur 21 præsenterer den udvalgte 'endpoint' kategori for studiet. Generelt drives scenariernes påvirkning på økosystemers kvalitet af bidrag fra klimaforandringer, forbrug af vand, forsuring og fotokemisk ozondannelse, samt arealanvendelse. Klimaforandring, forsuring og fotokemisk ozondannelse er i høj grad påvirket af transport og forbrænding af diesel (dannelse og udledning af fx CO_2, NO_x mv.), hvor arealanvendelsen og vandforbrug er påvirket af selve indvindingen, som også nævnt tidligere.

Det ses, at scenariet for CØ forsyning med genanvendte betontilslag påvirker mindre end de andre forsyningsscenarier, hvilket skyldes et relativt mindre bidrag fra arealanvendelse. Lokalt begrænset forsyning har den højeste påvirkning, drevet af et relativt højere bidrag fra arealanvendelse, som også diskuteret tidligere under påvirkninger for midpoint-kategorien arealanvendelse.

Figur 21 Resultater iht. endpoint indikator: Ecosystem quality



Generelt drives scenariernes påvirkning på økosystemers kvalitet af bidrag fra terrestriske/-landfaste økosystemer i form af klimaforandringer, forbrug af vand og forsuring, samt arealanvendelse.

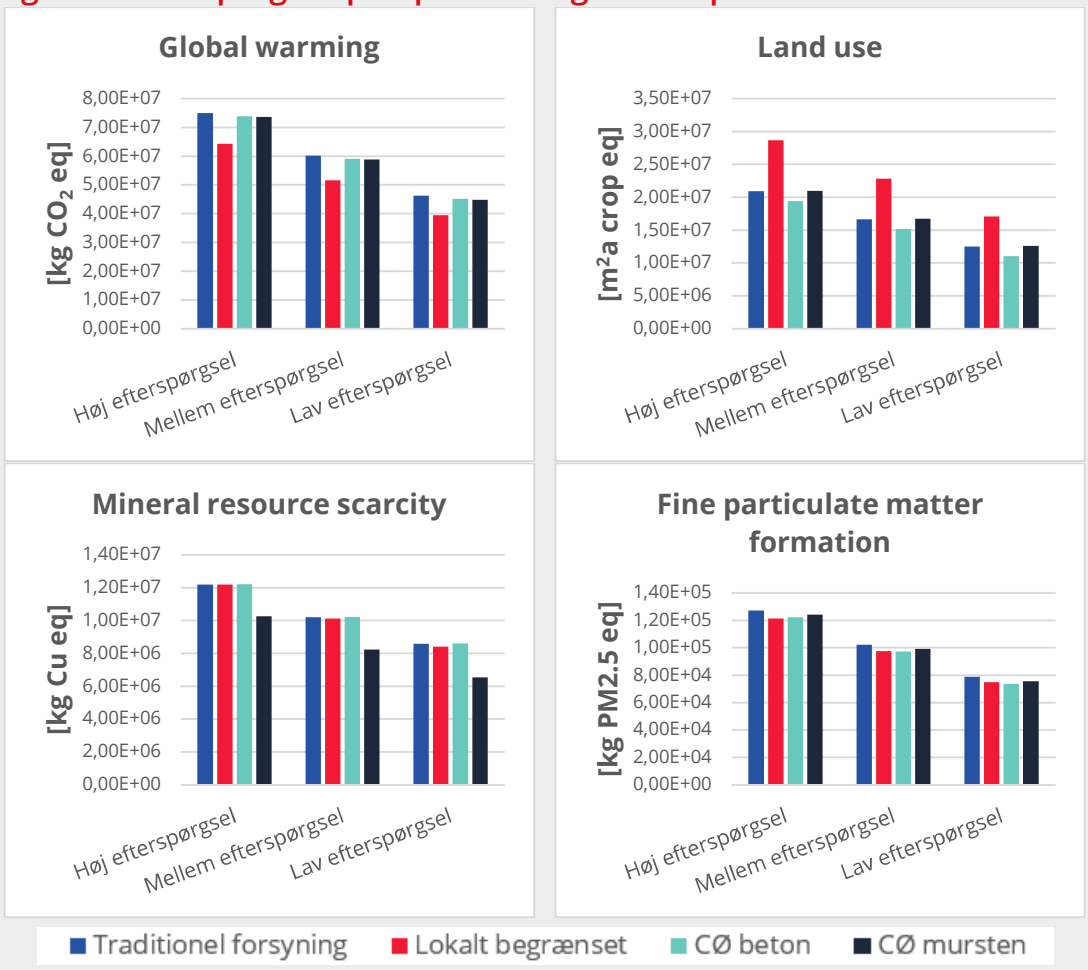
Resultater for økosystemers kvalitet bør dog aflæses og fortolkes med forsigtighed, da vurdering af økosystemkvalitet i livscyklusvurderinger (LCA) ofte forbundet med stor usikkerhed. Det skyldes især, at systemerne er komplekse, at datagrundlaget ofte er begrænset, og at forskellige modeller giver forskellige resultater. Særligt er der udfordringer (og pågående udviklingsarbejde) med manglen på ensartede og geografisk præcise karakteriseringsfaktorer og stor usikkerhed om effekter fra arealanvendelsesændringer.

4.2 Perspektivering mellem de tre efterspørgselsscenarier

Perspektivering af efterspørgselsscenarierne udføres for det udvalgte referenceår, 2030, og kun for de anvendte midpoint-kategorier. De fire forsyningsscenarier og deres påvirkninger er vist for hver af de tre efterspørgselsscenarier, se Figur 22.

Generelt ses det, at samme tendens som præsenteret i afsnit 4.1.1 er gældende, og blot forskydes tilsvarende den reducerede efterspørgsel. I takt med at efterspørgslen for nybyggeri reduceres, reduceres det dominerende træk på mineralske råstoffer, her særligt sand og sten.

Figur 22 Efterspørgselsperspektivering for midpoint indikatorer



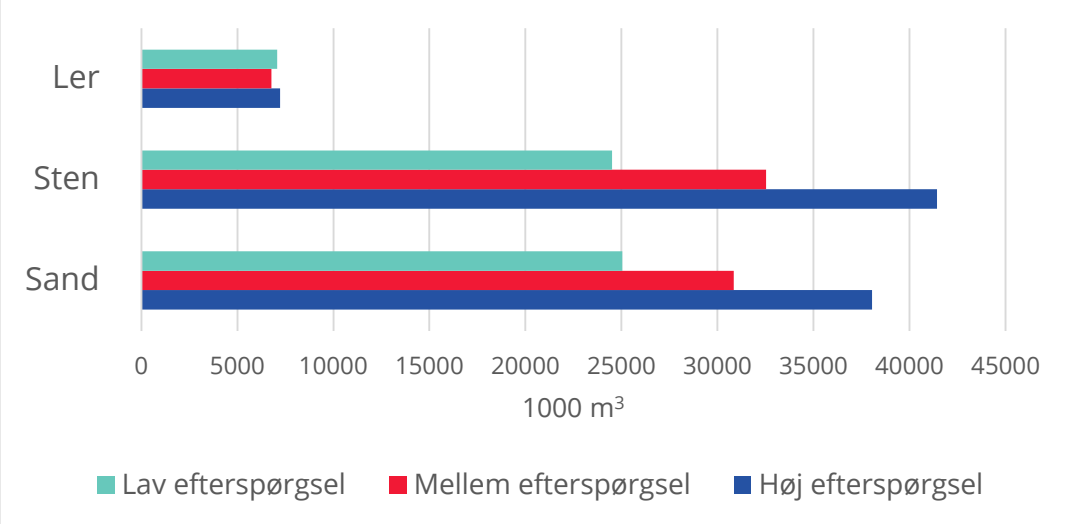
Perspektivering af efterspørgselsscenarier udføres på det udvalgte referenceår, 2030, og kun for de anvendte midpoint kategorier. De fire forsyningsscenarier og deres påvirkninger er vist for hver af de tre efterspørgselsscenarier. OBS: y-aksens værdier varierer fra graf til

4.3 Materialestrømme

Materialestrømmene for studiet er opgjort for de tre centrale mineralske råstoffer, som udpeget i indledningen af denne rapport; sand, sten og ler. De er opgjort i totalvolumen over studiets tidsperiode for de tre fremskrevne efterspørgselsscenarier, se Figur 23, og for de enkelte år, opdelt på hhv. nybyggeri og renovering, se Figur 24 - Figur 25. I Figur 24 - Figur 25 ses det at kurverne for nybyggeri stiger, hvilket drives af at byggeaktivitetens fremskrivning foreskriver en stigning i aktivitet. Derimod regnes renovering som en statisk rate per efterspørgselsscenarie, dvs. en fast rate på '1' for høj efterspørgsel, 1,2 for mellem efterspørgsel og 1,7 for lav efterspørgsel.

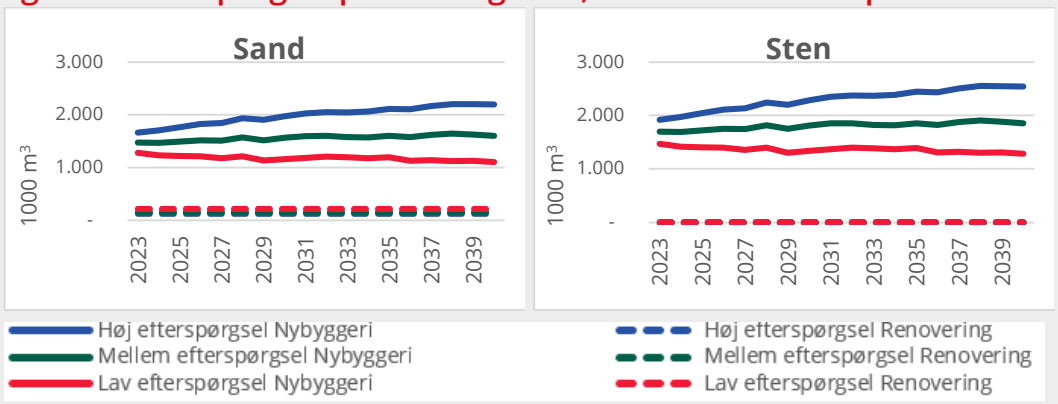
Af Figur 23 ses, at de totale massestrømme falder for både sand og sten, i takt med en reduceret efterspørgsel. Dette, da det største træk på disse råstoffer kommer fra bygge-materialer som beton, der i stor grad anvendes i nybyggeri, hvilket også kan ses i Figur 24.

Figur 23 Totale massestrømme af udvalgte mineralske råstoffer



Summen for hele analysen tidsperiode, 2023-2040. De totale massestrømme falder for både sand og sten, i takt med en reduceret efterspørgsel. Dette, da det største træk på disse råstoffer kommer fra byggematerialer som beton, der i stor grad anvendes i nybyggeri.

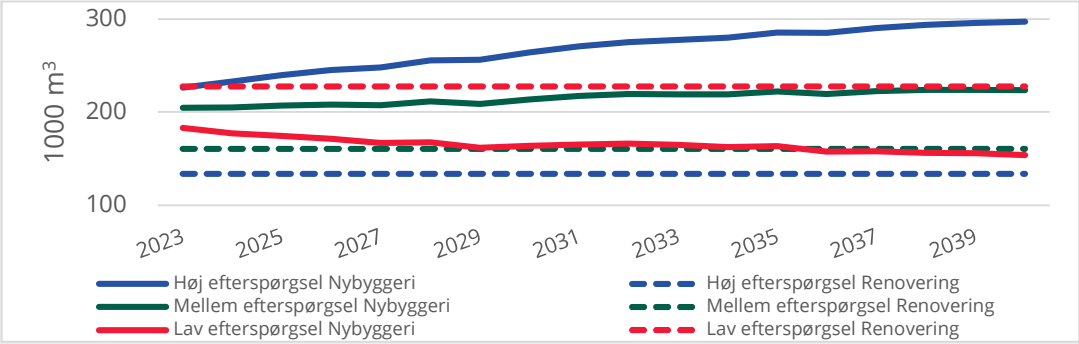
Figur 24 Efterspørgsel på sand og sten, over studiets tidsperiode



Opdelt på hhv. nybyggeri og renovering. De totale massestrømme falder for både sand og sten, i takt med en reduceret efterspørgsel. Dette, da det største træk på disse råstoffer kommer fra byggematerialer som beton, der i stor grad anvendes i nybyggeri

Samme tendens ses dog ikke for ler. Dette skyldes dels, at en stor andel af de mineralske råstoffer efterspurgt til renovering er brugt til forskellige tagdækningsmaterialer, herunder tegltagsten, som primært består af ler. Da grundantagelsen for studiet er, at renoveringsgraden øges i takt med, at den fremskrevne efterspørgsel af nybyggeri reduceres, ses det i Figur 25, at efterspørgsel for ler brugt til renovering overstiger efterspørgsel til nybyggeri, i scenariet for 'lav efterspørgsel'.

Figur 25 Efterspørgsel på ler, over studiets tidsperiode



Opdelt på nybyggeri og renovering. Da grundantagelsen for studiet er, at renoveringsgraden øges i takt med at den fremskrevne efterspørgsel af nybyggeri reduceres (fra høj til lav efterspørgsel), ses det at efterspørgsel for ler brugt til renovering overstiger efterspørgsel til nybyggeri, i scenariet for 'lav efterspørgsel'.

5 Analyse og fortolkning

Resultaterne viser, at de samlede miljøpåvirkninger overvejende følger omfanget af byggeaktivitet: mere byggeri giver højere påvirkning på tværs af alle kategorier. Samtidig bliver det tydeligt, at valg af forsyningsscenarie og balancen mellem nybyggeri og renovering ændrer, *hvilke processer* der dominerer, og dermed hvor der er størst optimerings- og reduktionspotentiale.

For global opvarmning og dannelse af fine partikler er det især transporten af råstoffer, der sætter aftrykket. Her giver lokal forsyning en mærkbar reduktion, fordi kortere transportafstande mindsker både CO_2-udledning og luftforurening. I et klimapolitisk perspektiv peger det på, at geografisk planlægning af råstofindvinding og logistik er vigtig.

Ressourcetrækket på mineralske råstoffer er drevet af *få*, men *vigtige* materialer i byggeriet. Når efterspørgslen flyttes fra nybyg til renovering, falder trækket på sand og sten (primært til beton), mens forbruget af ler til tegltagsten kan stige.

Dette peger på, at ved et spørgsmål om renovering kontra nybyg, er renovering ikke automatisk "bedre" i alle miljø- og ressourcedimensioner. Renovering kan være fordelagtig for visse råstoffer og global opvarmning, men kan samtidig øge forbruget af specifikke mineralske materialer som ler.

5.1 Signifikante udfordringer eller svagheder ved analysen

Selvom nærværende studie er opstillet for at repræsentere nødvendige og forventede behov og efterspørgsel på mineralske råstoffer, indeholder den også en række signifikante udfordringer og svagheder. De mest centrale listes nedenfor, og bør forbedres ved nye/fortsatte studier.

- **Forenklet markedsmodellering af genbrug og genanvendelse**
  Modellen antager fx, at øget brug af genbrugsmursten primært fortrænger dansk teglproduktion og dermed ler indvinding. Uden en egentlig markedsanalyse (fx via branchedata) er der usikkerhed om, hvorvidt effekten i praksis fordeler sig på eksport, lageropbygning eller ændret produktion andre steder.

- **Begrænset detaljeringsgrad i byggedatagrundlaget**
  Uopvarmet byggeri (fx avls- og driftsbygninger, uopvarmede lagerhaller) er ikke inkluderet, selv om disse typer fylder meget i den samlede byggeaktivitet. Det

betyder, at det samlede nationale materialeforbrug til byggeri, sandsynligvis undervurderes. Desuden skelnes ikke mellem kælderydervægge og øvrige ydervægge, hvilket påvirker bl.a. estimerede mængder beton under terræn.

- **Manglende kobling mellem betonegenskaber og råstofforbrug**
  Der er ikke lavet en detaljeret sammenhæng mellem bygningstyper, beton- og produktionstyper, styrkeklasser og eksponeringsklasser (P, M, A, E). I stedet anvendes én generiske betonrecept. Det kan give skævheder i vurderingen af både mængder og typer af anvendte mineralske råstoffer, og dermed også vurderinger ift. knaphed i de enkelte regioner, hvor det er kendt, at visse fraktioner er knappe.

- **Regional fordeling og materialestrømme**
  Det antages implicit, at materialeforbruget og råstofindvinding følger den regionale fordeling af byggeaktivitet, selv om materialer i praksis ofte transporteres på tværs af regioner. Det skaber usikkerhed især i scenarier, hvor lokal forsyning antages.
- For eksempel kan et byggeri i Region Hovedstaden i modellen antages at bruge råstoffer fra samme region, fordi byggeaktiviteten er højest dér. I praksis kan sand, grus eller sten dog komme fra andre regioner, da produktionen af beton foregår i en anden region, hvor indvindingen faktisk finder sted. Antagelsen kan derfor forskyde påvirkningen geografisk (ved at påvirke fx transport distancer, der igen påvirker fx klimapåvirkning) og skabe usikkerhed, især i scenarier med lokal forsyning.

- **Valg af LCA-database og karakteriseringsmetode**
  Analysen anvender procesbaserede ecoinvent-data og ReCiPe-metoden. Det giver høj procesdetalje, men dækker ikke hele økonomien, som en input-output-baseret tilgang ville gøre.
  Samtidig karakteriserer ReCiPe kun udvalgte mineraler (fx ler, basalt, kalksten) i ressourceindikatoren, mens centrale råstoffer som sand, sten og grus ikke indgår. Dermed undervurderes deres betydning i indikatoren for mangel på mineralske ressourcer. Der er dog ingen karakteriseringsmetoder på nuværende tidspunkt der karakteriserer alle relevant mineralske råstoffer.

5.2 Data kvalitet

Datakvaliteten vurderes i forhold til geografisk, teknologisk og tidsmæssig repræsentativitet. Datakvaliteten vurderes på 3 parametre: geografisk, teknologisk og tidsmæssigt,

og kan kategoriseres i 5 'stadier', fra meget god, god, fair, dårlig, meget dårlig. Den fulde vurdering er præsenteret i bilag E.

Generelt er kvaliteten for forgrundsdata og baggrundsdata vurderet som fair – meget god, se Tabel 20. Dette er en grov summering af vurderingen for de enkelte forgrunds- og baggrundsdata i bilag E.

For forgrundsdata gælder det generelt at data er indhentet for Danmark, hvorfor den geografiske repræsentativitet er meget god. For den teknologiske repræsentativitet er der for flere af inputdata vurderet at teknologisk repræsentativitet ikke er relevant (fx for fremskreven byggeaktivitet og transportafstande), men for særligt recepter er den vurderet som god – med forbeholdet at det ikke anvendes i eller skal repræsentere en specifik produktion, men er anvendt generisk i nærværende studie. Det er altså anvendelseskonteksten i dette studie der forringer repræsentativitets vurderingen, da studiet ikke tager hensyn til produktionsmæssige specificiteter. For det temporale aspekt er repræsentativitet vurderet god, da de fleste reference data er fra 2020-2022, hvor de egentlige beregninger i nærværende studie er 2025. Et par enkelte undtagelser er fx transportafstande for Region Nordjylland, hvor datagrundlaget er for 2008 i mangel af nyere specifikke data.

For baggrundsdata gælder det generelt at den geografiske repræsentativitet er fair. Dette skyldes i særlig grad at de fleste indvindingsdata er baseret på schweiziske data, der vurderes sammenlignelig men ikke ens til danske kontekst. Desuden er en enkelt processer der vurderes meget dårlig, dækkende indvinding til søs, hvor der blev anvendt en proxy proces baseret på brasiliansk flod indvinding. Teknologisk vurderes repræsentativitet overordnet som god, baseret på samme argumentation som for geografisk, at schweiziske forhold vurderes rimeligt sammenlignelige med danske, og på samme måde er fx også indvinding til søs dårlig repræsenteret. Tidsmæssigt vurderes repræsentativitet er være meget god. Dette baseres på at de tidsmæssige referencer tages som sidste review dato for datasættet, da det antages at der her er vurderet at data stadig er acceptable. Det er dog med den indlejrede usikkerhed at repræsentativiteten vil blive mindre og mindre robust i takt med fremskrivningsperioden, da det ikke anvendes dynamiske og/eller prospektive data.

Tabel 20 Overordnet 'gennemsnits' vurdering for datakvalitet

Med udgangspunkt i den dominerende vurdering indenfor hver kategori. Dette udelukker dog ikke, at enkelte at vurderingsparametrene for enkelte processer eller datastrømme vurderes bedre elle dårligere.

	Repræsentativitet		
	Geografisk	**Teknologisk**	**Tidsmæssigt****
Forgrundsdata	Meget god	God/Fair*	God
Baggrundsdata	Fair	God	Meget god

* Det vurderes at den teknologisk repræsentativitet for recepter på de mineralske byggemateriale max kan vurderes god, da det ikke anvendes i eller skal repræsentere en specifik produktion, men er anvendt generisk. Det er altså anvendelseskonteksten i dette studie der forringer repræsentativitets vurderingen, da studiet ikke tager hensyn til produktionsmæssige specificiteter.

** Den tidsmæssige repræsentation vurderes ud fra tidspunkt på analysen. Det er dog med den indlejrede usikkerhed at repræsentativiteten vil blive mindre og mindre robust i takt med fremskrivningsperioden, da det ikke anvendes dynamiske og/eller prospektive data.

5.3 Følsomhedsanalyser

Følsomhedsanalysen udføres på et udvalgt referenceår, 2030, da resultat-tendenserne for de enkelte år er ens, hovedsageligt styret af den totale mængde byggeri. Desuden vurderes kun midpoint-indikatorer fra ReCiPe. Alle resultat udtræk fra openLCA modellen for de relevante indikatorer, og følsomhedsanalyser kan findes i bilag D.

5.3.1 Transportafstande af råstoffer

Den nationale transportafstand til lands, varieres fra 55 km til 90 km, hvilket svarer til en forøgelse på ca. 64 %. De resulterende sensitivitetsratioer ses i Tabel 21. Det ses, at parameteren ikke kan anses som *meget følsom* (en sensitivitetsratio >1, jf. beskrivelser i afsnit 3.6), dog ændres resultatet for global opvarmning tættere på proportionalt (en ratio ≈ 1), for alle tre berørte forsyningsscenarier.

Tabel 21 Sensitivitetsratio for de traditionelle og cirkulære forsynings-scenarier ved ændring af transportdistancen på land fra 55 km til 90 km.

Det ses, at parameteren ikke kan anses som *meget følsom*, dog ændres resultatet for global opvarmning mere end blot proportionalt, for alle tre berørte forsyningsscenarier.

Påvirkningskategori	**Sensitivitetsratio**		
	Traditionel forsyning	**CØ beton**	**CØ mursten**
Fine particulate matter formation	0,26	0,35	0,34
Global warming	0,55	0,73	0,72
Land use	0,13	0,19	0,17
Mineral resource scarcity	0,01	0,02	0,02

De regionale transportdistancer til lands varieres med +/- 50%. De resulterende sensitivitetsratioer herfor ses i Tabel 22. Heraf ses det, at parameteren ikke kan anses som *meget følsom* og endvidere, at resultaterne ændrer sig betydeligt mindre en blot proportionalt med ændringen.

Tabel 22 Sensitivitetsratio for det lokalt begrænsede forsyningsscenarie ved ændring af transportdistancen på land med +/-50%

Parameteren anses ikke som *meget følsom* og endvidere, at resultaterne ændrer sig mindre en blot proportionalt med ændringen

Påvirkningskategori	Sensitivitetsratio	
	Ved +50%	Ved -50%
Fine particulate matter formation	0,18	-0,18
Global warming	0,44	-0,43
Land use	0,07	-0,07
Mineral resource scarcity	0,01	-0,01

Både de nationale og regionale transportdistancer til havs varieres med +/- 50%. De resulterende sensitivitetsratioer herfor ses i Tabel 23. Heraf ses det, at parameteren ikke kan anses som *meget følsom* og endvidere, at resultaterne ændrer sig betydeligt mindre end blot proportionalt med ændringen. Desuden ses det, at resultaterne er mindre følsomme overfor antagelserne om transportafstande til havs sammenlignet med transport på land.

Tabel 23 Sensitivitetsratio for alle forsyningsscenarier ved ændring af transportdistancen til havs med +/-50%

Parameteren anses ikke som *meget følsom* og endvidere, at resultaterne ændrer sig mindre en blot proportionalt med ændringen.

Påvirkningskategori	Sensitivitetsratio							
	Traditionel forsyning		Lokalt begrænset		CØ beton		CØ mursten	
	Ved +50%	Ved -50%	Ved +50%	Ved -50%	Ved +50%	Ved -50%	Ved +50%	Ved -50%
Fine particulate matter formation	0,06	-0,06	0,07	-0,07	0,06	-0,05	0,06	-0,06
Global warming	0,10	-0,09	0,12	-0,11	0,09	-0,09	0,10	-0,10
Land use	0,02	-0,02	0,02	-0,02	0,02	-0,02	0,02	-0,02
Mineral resource scarcity	0,003	-0,002	0,003	-0,003	0,002	-0,002	0,003	-0,003

5.3.2 Potentialet for genbrug af mursten i forsyningsscenarie

Der modelleres som udgangspunkt med et årligt potentiale på 47,3 mio. sten, men udføres en følsomhedsanalyse hvor det årlige potentiale er reduceret til 30 mio. sten. Dette svarer til en reduceret mængde på ca. 37 %. De resulterende sensitivitetsratioer herfor ses i Tabel 24. Heraf ses det at parameteren ikke kan anses som *meget følsomt* og endvidere at resultaterne ændrer sig mindre end proportionalt med ændringen.

Tabel 24 Sensitivitetsratio for det cirkulære forsyningsscenarie "CØ mursten" ved genbrug af en reduceret mængde mursten

Parameteren anses ikke som *meget følsomt* og endvidere at resultaterne ændrer sig mindre en blot proportionalt med ændringen.

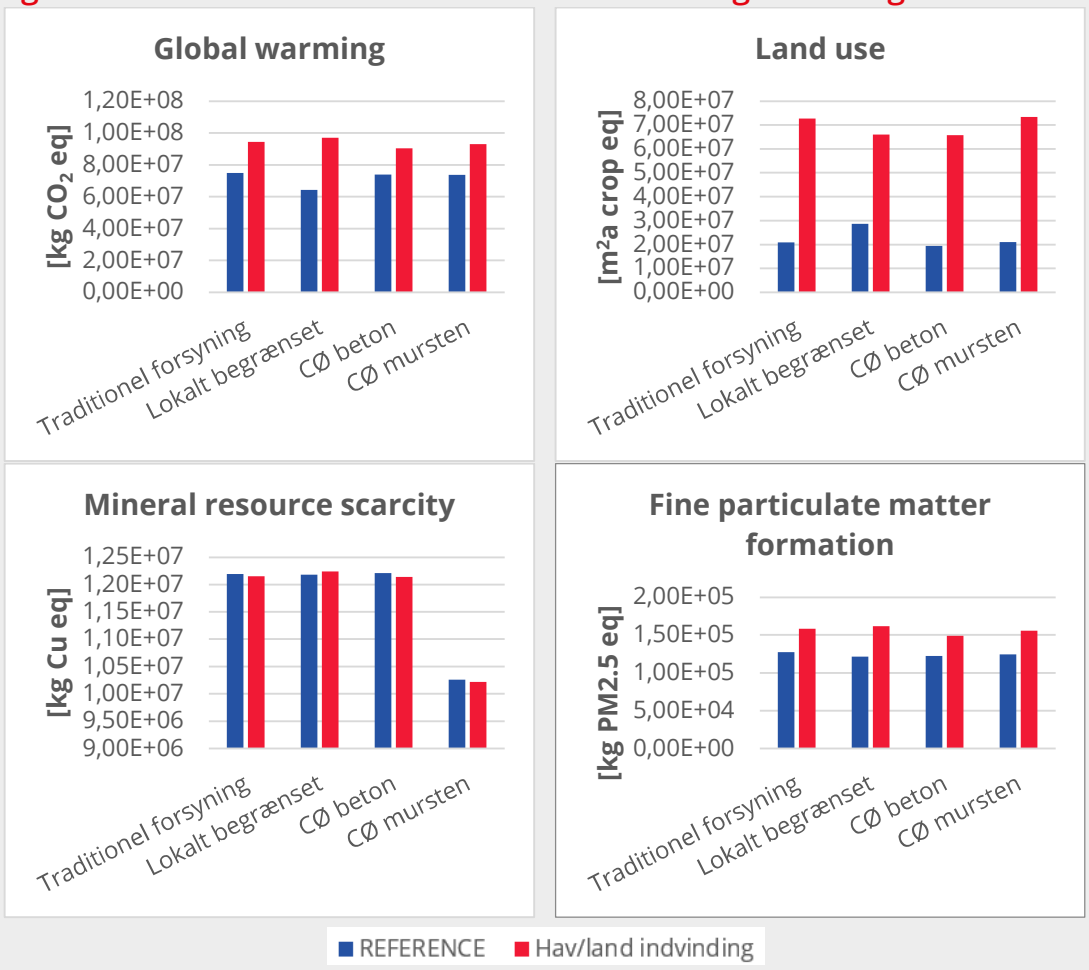
Påvirkningskategori	Sensitivitetsratio
Fine particulate matter formation	0,02
Global warming	0,02
Land use	-0,004
Mineral resource scarcity	0,19

5.3.3 Fordelingsnøgle mellem land og havindvinding

I tildelingen af påvirkede markedsaktører, er der defineret en fordelingsnøgle mellem leverance af råstoffer fra hhv. land- og havindvinding for både nationalt og regionalt niveau, se Tabel 5. Denne forskydes med en ombytning af forholdet i en følsomheds-analyse, så hovedparten af råstofferne antages udvundet til havs i stedet for på land. Af Figur 26 ses, at det for 3 ud af de 4 inkluderede påvirkningskategorier forårsager en forøgelse af påvirkningen. Det skyldes, at det i nærværende studie særligt er transport, der bidrager til disse indikatorer, og at transportafstandene i de fleste tilfælde er længere ved havindvinding sammenlignet med indvinding på land.

Mhp. kategorien 'land use', domineres resultatet endvidere, som også diskuteret i hoved-resultaterne, af at der for havindvinding er brugt en proxy proces for flodindvinding fremfor havindvinding. Dette forskyder påvirkningerne, og skal derfor læses med forbehold for de indlejrede usikkerheder ved brugt af proxy processen.

Figur 26 Resultatudtræk iht. hav/land indvindingsfordeling



'Reference' svarer til hovedanalysens resultater, hvor 'hav/land indvinding' er følsomheds-analysen. Det ses for 3 ud af de 4 inkluderede påvirkningskategorier at ændringen for indvindingsfordelingen forårsager en forøgelse af påvirkningen. Det skyldes, at det i nærværende studie særligt er transport, der bidrager til disse indikatorer, og at transport-afstandene i de fleste tilfælde er længere ved havindvinding sammenlignet med indvinding på land. OBS: y-aksens værdier varierer fra graf til graf.

5.3.4 ReCiPe værditilgange

Der udføres følsomhedsanalyser ved brug af værditilgangene Individualist (I) og Egalitarian (E) som supplement til studiets anvendelse af Hiearchist (H), for at se om andre værdier for karakterisering vil have indflydelse på resultater og konklusioner.

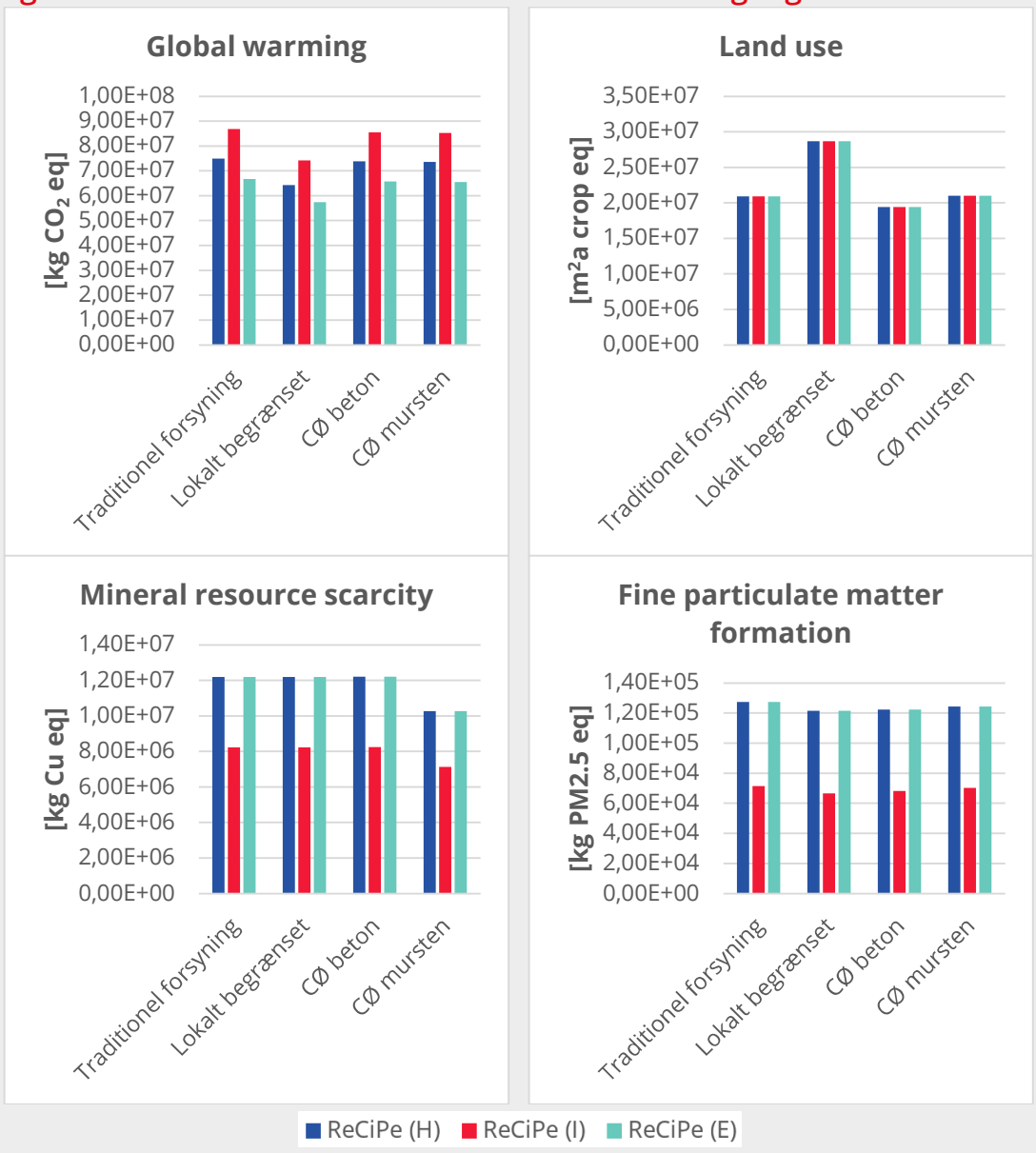
Af Figur 27 ses, at den anvendte værditilgang har en indflydelse på de numeriske værdier for alle de anvendte påvirkningskategorier, på nær arealanvendelse (land use). Det varierer dog i hvilken retning denne ændrede værditilgang påvirker resultaterne, da 'individualist' viser sig mere fremtrædende for påvirkningskategorien 'global opvarmning', hvorimod den er lavere for både 'mangel på mineralske ressourcer' og ' dannelsen af fine partikler'.

Det individualistiske perspektiv (I) fokuserer på kortsigtede interesser (en tidshorisont på 20 år) og ser på de påvirkninger, som der er klar enighed om. Dette kan være med til at forklare, hvorfor påvirkningen fra global opvarmning fremstår højere i denne værditilgang. En væsentlig forklaring er, at metan (CH_4) tillægges større betydning ved en 20-årig tidshorisont end ved 100 år, mens karakteriseringsfaktorerne for fx CO_2 og N_2O kun ændres i begrænset omfang. Det hierarkiske perspektiv (H), som er anvendt som hovedtilgang i nærværende studie, bygger på en tidshorisont på 100 år og afspejler de principper, der typisk anvendes i politiske og metodiske sammenhænge. Værditilgangen (I) bygger samtidigt på en tro på, at mennesker ved hjælp af teknologi kan tilpasse sig forskellige udfordringer.

Det hierarkiske perspektiv (H) tager udgangspunkt i de politiske principper, der oftest anvendes, både i forhold til tidshorisont og andre relevante spørgsmål, hvilket også er grunden til at denne blev valgt som hovedtilgang i nærværende studie.

Det egalitære perspektiv (E) er den mest forsigtige tilgang, fordi det arbejder med en længere tidshorisont (1000 år) og også tager højde for påvirkninger, som endnu ikke er fuldt dokumenterede, men hvor der findes tegn på, at de kan have betydning.

Figur 27 Resultatudtræk iht. de tre ReCiPe værditilgange



Analyser ved brug af værditilgangene Individualist (I) og Egalitarian (E) som supplement til studiets anvendelse af Hierarchist (H), OBS: y-aksens værdier varierer fra graf til graf.

5.3.5 Opsummering af følsomhedsanalyserne

Følsomhedsanalyserne viser samlet set, at studiets resultater er relativt robuste over for de undersøgte ændringer i forudsætningerne. De fleste parametre kan ikke betragtes som stærkt følsomme, da ændringer i input generelt medfører mindre end proportionale ændringer i de beregnede miljøpåvirkninger.

Transportafstande på land har den største betydning blandt de testede transport-parametre, særligt for påvirkningskategorien global opvarmning, mens både regionale landtransporter og transporter til havs kun har begrænset indflydelse på resultaterne.

Følsomhedsanalysen af fordelingsnøglen mellem land- og havindvinding viser dog, at en større andel af havindvinding øger påvirkningen i størstedelen af de undersøgte kategorier, primært som følge af længere transportafstande.

Bliver følsomhedsanalyserne sammenholdt med datakvalitetsvurderinger i afsnit 5.2, hvor særligt baggrundsprocessen anvendt for indvinding til søs er af dårlig kvalitet/-repræsentativitet, kan det konkluderes at dette aspekt bør være centralt fokus for forbedringer ved yderligere studier.

Endelig viser analysen af ReCiPe-værditilgange, at valg af værditilgang påvirker de numeriske resultater for de fleste påvirkningskategorier.

Overordnet peger analyserne derfor på, at studiets hovedtendenser er stabile, men at resultaternes størrelse i nogen grad afhænger af både transportforudsætninger og den valgte metodiske værditilgang.

6 Diskussion og perspektivering

Diskussionen af studiet er opdelt i fire overordnede emner og en perspektivering, hvor de kvantitative resultater af konsekvens-LCA'en sammenholdes med resultater fra en attributiv LCA, som er den mest udbredte modelleringstilgang indenfor LCA i byggeriet.

6.1 Politiske og strategiske implikationer

Studiet peger ind i en kontekst, hvor Danmarks arealer allerede er overplanlagte, og hvor flere regioner forventes at løbe tør for sand, grus og sten med de nuværende gravetilladelser. LCA-resultaterne for klima, arealanvendelse og ressourceforbrug bør derfor læses som input til en mere langsigtet råstofpolitik. En oplagt politisk opgave er at etablere et nationalt "råstofbudget", hvor kendte reserver, forventet bygge- og anlægsaktivitet samt cirkulært potentiale vurderes samlet. I en dansk kontekst, hvor arealer allerede er under pres, er dette centralt. (Arler et al., 2015) estimerer, at der frem mod 2050 kan være planlagt for mindst 140 % af Danmarks areal, når behov til bl.a. natur, skov, energi og byudvikling lægges sammen.

Samtidig viser både dette studie og andre analyser, at veje og anlæg står for langt størstedelen af råstofforbruget, mens store dele af den teknologiske og regulativ udvikling hidtil har fokuseret på byggeri. Strategier, der alene retter sig mod byggeri, vil derfor ikke være tilstrækkelige. Mere radikale scenarier – fx et kraftigt reduceret byggevolumen, hvor kun kritisk infrastruktur opføres – illustrerer, at aktivitetsniveauet i sig selv er en afgørende styringsparameter, indikeret af nærværende analyse scenarie for 'lav efterspørgsel'. Sådan en omstilling kræver dog betydelig opbygning af kompetencer i renovering og ombygning.

6.2 Råstofforsyning, transport og arealanvendelse

De regionale forsyningsforhold er betydeligt mere komplekse end et simpelt valg mellem lokal og landsdækkende forsyning. Vejdirektoratet peger på, at Region Hovedstaden er den eneste region med større forbrug end egen indvinding, og at der i flere regioner er mangel på bestemte fraktioner og kvaliteter, især sten til beton og kvalitetssand (Hejlesen & Larsen, 2008). Tilsvarende viser regionale analyser, at transportafstande varierer markant mellem delområder, fx mellem 30 og 52 km i Region Sjælland/Hovedstaden og mellem 20 og 30 km i Region Syddanmark (COWI, 2022b, 2023).

Det betyder, at scenariet for lokalt begrænset forsyning bør fortolkes med forsigtighed. Vores antagelser om transportafstande og forsyningsmønstre er nødvendigvis forenklede og burde ideelt specificeres pr. materialefraktion og region. For beton er det ikke

nok at kende afstanden; der skal også skelnes mellem konkrete fraktioner og kvaliteter. I Region Midtjylland vurderes der fx at være begyndende mangel på egnede stenfraktioner til beton, og rapporten "Bedre råstoffer til beton" angiver, at regional indvinding kun dækker en mindre del af behovet, mens resten dækkes af sømaterialer og import (Stenstrop et al., 2018). Hertil kommer ændringer i den faktiske forsyning, som ikke er med i analysen, fx lukningen af Køge Bugt Depot fra ultimo 2025 (Knudsen, 2025). Lukningen af Køge Bugt Depot illustrerer, at forsyningssituationen kan ændre sig hurtigt, uden at det nødvendigvis afspejles i de statistikker, vores modeller bygger på.

Dertil kommer der dilemmaet om reducerede gravetilladelser: færre grave kan mindske lokale arealindgreb, men øge transportafstandene, mens et mere distribueret net af grave kan have den modsatte effekt (Johannessen & Thorin, 2020) Begrænsning af gravetilladelser et styringsgreb, som kan forlænge forsyningshorisonten, men dette er ikke taget med som modelleringsscenarie i vores scenarier, da det vurderes at det ikke løser den nuværende problematik om tilgængelighed af råstoffer. Dette understreger, at LCA-resultaterne skal ses som et øjebliksbillede under givne planforudsætninger – ikke som en deterministisk fremskrivning.

Et vigtigt metodisk forbehold er, at isolering ikke indgår i materialestrømsanalysen, fordi stenuld er baseret på vulkanske råmaterialer som basalt og derfor falder uden for afgrænsningen til sand, sten, grus og ler fra danske råstofgrave. Det er en relevant afgrænsning i en råstofanalyse af danske forhold, men i et LCA- og materialestrømsperspektiv betyder det, at især renoveringsscenarier kan fremstå mindre råstofintensive, end de reelt er, fordi isolering ofte udgør en væsentlig materialestrøm i disse scenarier.

6.3 Cirkulær økonomi og bygge- og anlægsaffald

De cirkulære scenarier viser miljøgevinster, men de bygger på idealiserede antagelser, hvor al betonaffald antages at blive anvendt som tilslag i ny beton, og al murstensaffald antages at blive genbrugt. Et centralt forbehold er, at bygge- og anlægsaffald allerede har flere konkurrerende anvendelser, og at den faktiske miljøgevinst derfor afhænger af, *hvad* materialet fortrænger.

For nedknust beton er gevinsten relativt begrænset, hvis det blot erstatter danske primære tilslag fra grusgrave, men kan være større, hvis det erstatter mere transporttunge og kvalitetskrævende materialer som importeret granit. Samtidig peger diverse studier fortsat på, at de dokumentérbare affaldsmængder kun giver et begrænset fortrængningspotentiale, og at der fortsat er usikkerhed om håndteringen og anvendel-

sen af sandfraktionen, som udgør en stor del ved knusning af betonaffald (Ottosen, 2019).

Der skelnes mellem nedknust procestilslag (spild af beton fra egen produktion) og genanvendt tilslag (beton fra eksisterende konstruktioner), og ifølge det danske tillæg til betonstandarden, DS/EN 206 DK NA:2020, kan begge typer ikke kun anvendes i passiv miljøklasse, men også i moderate, aggressive og ekstra aggressive miljøklasser, hvis producentens kontrolsystem dokumenterer, at tilslaget stammer fra betoner med eksponeringsklasser svarende til den ønskede anvendelse. Der er således ikke længere kun tale om anvendelse i passiv eksponeringsklasse, sådan som det tidligere ofte blev fremhævet (NIRAS et al., 2017).

For tegl peger litteraturen på, at udsortering og højværdianvendelse er vigtig, fordi tegl blandet i knust beton forringer kvaliteten som vejmateriale, mens rene teglfraktioner i højere grad kan genbruges som mursten eller indgå i nye produkter. For mursten er det i nærværende studie antaget, at øget genbrug fortrænger dansk teglproduktion og dermed dansk ler indvinding. Det er en rimelig marginalantagelse, men den er ikke entydig: effekten kan også være forskydning mellem hjemmemarked og eksport eller ændret produktion i andre geografier.

Samlet understreger dette, at markedseffekten af øget genbrug og genanvendelse ikke er entydig: den afhænger af materialernes kvalitet, renhed og alternative anvendelser i andre led af værdikæden (NIRAS et al., 2017).

Markedseffekten er også central i et konsekvens-LCA-perspektiv: hvis mere beton- og teglaffald flyttes fra vejfyld til byggeri, kan veje og anlæg få behov for flere jomfruelige råstoffer. Miljøstyrelsen peger på, at både beton- og teglaffald i dag har mange anvendelser i ubundne bærelag og belægninger (NIRAS et al., 2017). Her kan overskudsjord fungere som en mulig buffer, hvis teknologier som kalkstabilisering udbredes, men dette er ikke belyst i nærværende analyse.

Hvis renovering øges, og nedrivning reduceres, kan affaldsmængderne endvidere falde, og behovet for primære råstoffer til veje og anlæg dermed stige. Vores scenarier tager kun delvist højde for disse forskydninger og bør derfor læses som idealiserede cirkulære cases snarere end fuldt markedsrealistiske beskrivelser.

Derudover er implementeringen af cirkulære praksisser hæmmet af økonomiske vilkår (billige primære råstoffer), tekniske usikkerheder (kvalitet, standarder), design af eksisterende bygninger uden demonterbarhed og manglende data om materialer i den byggede masse. Disse barrierer kan betyde, at de teoretiske gevinster i praksis indfries langsommere eller i mindre omfang.

De mest robuste strategier kunne derfor kombinere reduktion i det samlede nybyggeri, prioritering af cirkulære løsninger i nybyggeri (hvor der trækkes store mængder af især beton) og målrettet brug af renovering dér, hvor den faktisk mindsker både materialeforbrug og miljøpåvirkning.

6.4 Metodiske og LCA-faglige overvejelser

Studiet omfatter indvinding og transport, men ikke den efterfølgende materialefremstilling. Det er en væsentlig afgrænsning, men også en bevidst prioritering i forhold til analysens formål, som er at belyse råstofforbrug, indvindingspres og de geografiske forskydninger i miljøpåvirkningen knyttet til forsyningen af materialer. Til dette formål vurderes det som tilstrækkeligt at inkludere indvinding og transport, da disse led er centrale for at beskrive arealindgreb, lokale naturpåvirkninger og transportrelaterede forskelle mellem forsyningsscenarier. Afgrænsningen betyder dog, at analysen ikke giver et fuldstændigt billede af de samlede miljø- og ressourcekonsekvenser på tværs af værdikæden.

Hvis formålet i højere grad er at belyse materialernes samlede klimaaftryk eller sammenligne forskellige materialetyper i et livscyklusperspektiv, bør den efterfølgende materialefremstilling også medtages. Metabolic (Johannessen & Thorin, 2020) peger eksempelvis på, at CO2-aftrykket fra de oparbejdede materialer i næste led af værdikæden kan være op mod 30 gange større end de direkte udledninger fra indvinding og transport.

Endelig er fremskrivningen af byggeaktiviteten forbundet med betydelig usikkerhed; de faktiske tal for 2023–2025 afviger allerede fra nogle af de forudsatte trends. En egentlig usikkerheds- og følsomhedsanalyse af både aktivitetsniveau og råstofscenarier ville derfor være et naturligt næste skridt.

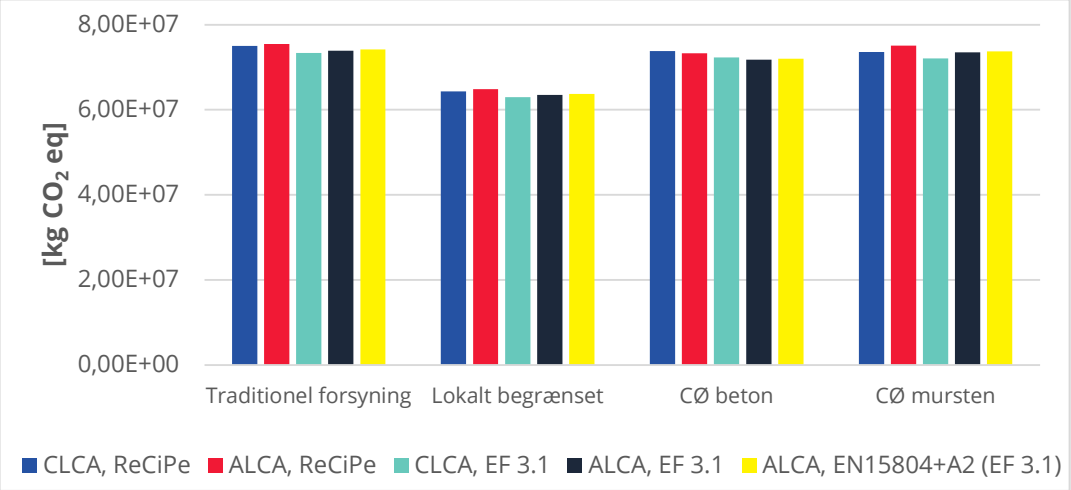
Endelig rejser studiet et klassisk konsekvens-LCA-spørgsmål: når udbuddet af genanvendte materialer er begrænset, hvilke materialer fortrænges så? Den pointe kendes fra andre C-LCA-eksempler, hvor øget efterspørgsel på genanvendt materiale ikke

nødvendigvis reducerer primær produktion én til én. Derfor bør resultaterne læses som kvalificerede scenarieillustrationer snarere end præcise forudsigelser af fremtidige markedsreaktioner.

6.5 Perspektivering til udvalgte scenarier beregnet vha. attributiv LCA

Baggrund for beregninger mv. for de perspektiverende beregninger er præsenteret i bilag A. Figur 28 præsenterer resulter for påvirkningskategorien 'global opvarmning* beregnet med udgangspunkt i henholdsvis konsekvens- og attributiv-LCA.

Figur 28 Resultatudtræk for konsekvens og attributiv LCA-model, for påvirkningskategorien 'global opvarmning'



CLCA = resultatudtræk fra konsekvens LCA'en. ALCA = resultatudtræk fra den atributionelle LCA-model. "ReCiPe", "EF 3.1" og "EN15804+A2" er de forskellige karakteriseringsmetoder (LCIA) anvendt. OBS, selvom enheden for alle kategorierne er [kg CO_2-eq], kan resultaterne på tværs af LCIA-metoder ikke sammenlignes 1:1, da forskellen netop skyldes karakteriseringen.

Selvom enheden for alle kategorierne er [kg CO_2 eq], kan resultaterne på tværs af LCIA-metoder ikke sammenlignes 1:1, da forskellen netop skyldes karakteriseringen. Dette ses bl.a. for "ALCA, EF 3.1" og "ALCA, EN15804+A2 (EF 3.1)", hvor CO_2 -udledningen iht. EN15804+A2 angiveligt er marginalt højere, end når der anvendes EF 3.1. Da den bagvedliggende LCA-model er den samme, skyldes denne forskel karakteriseringen af forskellige drivhusgasser.

Ses der dog på resultaterne på tværs af LCA-modeller, dvs. CLCA og ALCA iht. ReCiPe samt CLCA og ALCA iht. EF 3.1., er karakteriseringsmetoden den samme. Her skyldes forskellen, metodiske modelleringsforskelle. Generelt ses det, at modellering iht. atributionelle principper resulterer i marginalt højere bidrag til global opvarmning for alle forsyningsscenarierne, på nær et ("CØ beton"), ved brug af begge karakteriserings-metoder. Dette skyldes antagelser i de anvendte baggrundsdata.

For det cirkulære forsyningsscenarie, hvor der anvendes genanvendt betontilslag ("CØ beton"), ses, at konsekvensmodellen resulterer i en marginal højere CO_2-udledning. Dette skyldes de modelleringsmæssige værdivalg, hvor konsekvensmodellen tager højde for hvilke markeder og aktører, der bliver påvirket ved beslutningen om genanvendelse af bygge- og anlægsaffald. I konsekvensmodellen antages det således, at øget genanven-delse af bygge- og anlægsaffald, der bruges som genanvendte tilslag i byggebranchen, blot forskyder indvindingen af jomfruelige råstoffer til brug i vejkassen. For den atributionelle model er grundantagelsen, som også anvendes af byggebranchen, at sekundære materialer er 'gratis', under antagelsen 'polluter pays', og der tages ikke hensyn til forskydningerne i markedet.

Omvendt ses det, at samme mekanisme ikke er synlig for det cirkulære forsynings-scenarie, hvor der genbruges mursten. Dette skyldes, at markedsantagelsen for den genbrugte mursten i konsekvensmodellen er besparet ler, sammen med indvinding af grus til vejkassen. I dette tilfælde er CO_2-besparelsen knyttet til undgået indvinding af ler større end CO_2-omkostningerne forbundet med indvinding af grus til vejkassen. For den atributionelle model er grundantagelsen, som også anvendes af byggebranchen, at sekundære materialer er 'gratis', under antagelsen 'polluter pays'. Der tages heller ikke hensyn til forskydningerne i markedet, dvs. der indvindes ikke grus, med der krediteres heller ikke for den sparede indvinding af ler.

Heraf kan det konkluderes, at de forskellige og valgte modelleringstilgange kan have ind-flydelse på resultaterne og de deraf afledte konklusioner og anbefalinger.

7 Konklusion

Studiet viser, at byggeriets fremtidige miljø- og ressourcekonsekvenser ved mangel på mineralske råstoffer først og fremmest afhænger af omfanget af byggeaktiviteten og af, hvordan råstofforsyningen organiseres. Jo mere der bygges, desto større bliver både råstoftrækket og de samlede miljøpåvirkninger. Den mest grundlæggende faktor er derfor ikke alene valg af materialer, men også hvor meget der samlet bygges.

Analyserne viser, at sand og sten især er knyttet til nybyggeri, primært gennem beton, og at efterspørgslen på disse råstoffer derfor falder ved lavere byggeaktivitet og øget fokus på renovering. For ler ses et andet billede, idet efterspørgslen kan fastholdes eller stige i renoveringsscenarier, blandt andet på grund af brugen af tegltagsten. Et skifte fra nybyggeri til renovering reducerer således ikke nødvendigvis behovet for alle mineralske råstoffer, men ændrer sammensætningen af behovet.

Studiet viser også, at transport spiller en væsentlig rolle for påvirkninger som global opvarmning og dannelse af fine partikler, mens selve indvindingen er central for areal-anvendelse og påvirkning af økosystemer. Råstofforsyning er derfor ikke kun et spørgsmål om tilgængelige mængder, men også om geografi, logistik og arealinteresser.

Følsomhedsanalyserne indikerer, at klimapåvirkningen er mere følsom over for ændringer i transport på land end over for ændringer i transport til søs. Samtidig viser analysen, at en større andel havindvinding generelt øger klimapåvirkningen i de undersøgte scenarier. Det skyldes ikke nødvendigvis, at søtransport i sig selv er mere belastende, men at den samlede transportkæde ved havindvinding i dette studie er længere, fordi materialerne både transporteres til søs og derefter videre på land. Under de anvendte antagelser peger resultaterne derfor på, at øget forsyning fra hav typisk vil øge klimapåvirkningen, mens kortere landbaserede transportafstande reducerer den.

De cirkulære scenarier peger på, at genbrug og genanvendelse kan reducere behovet for jomfruelige råstoffer i byggeriet, men også at potentialet er begrænset. Tilgængelige mængder af beton- og teglaffald kan ikke dække det samlede fremtidige behov, og en øget anvendelse i byggeriet kan samtidig forskyde behovet for primære råstoffer til andre anvendelser, især i anlægssektoren. Cirkulære løsninger er derfor vigtige, men kan ikke stå alene.

Samlet peger studiet på, at den mest robuste tilgang er at kombinere lavere materialeefterspørgsel, øget renovering og transformation, bedre udnyttelse af cirkulære materialestrømme samt en mere langsigtet og strategisk planlægning af råstofforsyningen.

7.1 Anbefalinger

På baggrund af studiet anbefales det, at reduktion af det samlede materialetræk gøres til et centralt virkemiddel, blandt andet gennem øget fokus på renovering, transformation og bedre udnyttelse af den eksisterende bygningsmasse.

Det anbefales desuden, at der arbejdes for en mere samlet og langsigtet national råstofstrategi, hvor bygge- og anlægssektorens behov, regionale forsyningsforhold, arealinteresser og cirkulære potentialer ses i sammenhæng.

Derudover bør cirkulære løsninger som genbrug af mursten og genanvendelse af beton udvikles videre, men med fokus på realistiske anvendelser, bedre dokumentation og kvalitetssikring samt forståelse for, hvilke materialestrømme de fortrænger andre steder i samfundet.

Endelig anbefales det, at datagrundlaget styrkes i fremtidige studier, særligt i forhold til regionale forsyningsmønstre, materialekvaliteter, affaldsstrømme og miljøpåvirkninger ved havindvinding, men også ved inddragelse af hele anlægssektoren, som er en dominerende råstofforbruger, så beslutningsgrundlaget for fremtidig råstofforvaltning forbedres.

TEKNOLOGISK INSTITUT

Referencer i rapporten

Arler, F., Jørgensen, M. S., Galland, D., & Sørensen, E. M. (2015). *Kampen om m2 - Prioritering af fremtidens arealanvendelse i Danmark*. F. Teknologirådet. https://vbn.aau.dk/da/publications/prioritering-af-fremtidens-arealanvendelse-i-danmark/

Astrup, T. F. (2022). *Selektiv nedrivning i byggebranchen - Livscyklusvurdering (LCA) af konsekvenser ved selektiv nedrivning*. https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2022/02/978-87-7038-353-0.pdf

Bolius. (2023). *42 timer i op til 1.050 grader: Sådan bliver en mursten til*. https://www.bolius.dk/42-timer-i-op-til-1050-grader-saadan-bliver-en-mursten-til-98642

COWI. (2022a). *Transportanalyse af marine råstoffer*. Regionernes videncenter for miljø og ressourcer. https://backend.miljoeogressourcer.dk/media/materialer/55/Transportanalyse_af_marine_r__stoffer_final_FINAL-ua.pdf

COWI. (2022b). *Transportanalyse i Region Syddanmark*. Region Syddanmark. https://regionsyddanmark.dk/media/wlefcnjs/transportstr%C3%B8mme-af-r%C3%A5stoffer-i-region-syddanmark_april-2022.pdf

COWI. (2023). *Analyse af transportstrømme af råstoffer i Region Hovedstaden og Region Sjælland*. Region Hovedstaden & Region Sjælland. https://app-rsjdxp-cms-prod-001.azurewebsites.net/media/4jmfkprr/analyse-af-20-01-2023-af-transportstroemme-af-raastoffer-i-region-hovedstaden-og-region-sjaelland.pdf

Danmarks Statistik. (2022). BYGV11: Den samlede byggeaktivitet (ikke korrigeret for forsinkelser) efter område, byggefase, anvendelse og bygherreforhold. In.

Danmarks Statistik. (2023). MRM2: Materialestrømsregnskab efter materialetype og indikator. In.

Danmarks Statistik. (2024a). RST01: Råstofindvinding (1000 m3) efter område og råstoftype. In.

Danmarks Statistik. (2024b). RST3: Råstoffer indvundet fra havet (1000 m3) efter farvandsområde og råstoftype. In.

Danmarks Statistik. (2024c). RST04: Losning af råstoffer fra havet (1000 m3) efter område og råstoftype. In.

Danmarks Statistik. (2025). Fald i indvinding af råstoffer i 2024. In Danmark Statistik (Ed.).

ecoinvent. (2024). *System Models*. Retrieved Feb 6th from https://support.ecoinvent.org/system-models#Substitution_Consequential_LongTerm

ecoinvent. (2025). *ecoinvent Version 3.12*. Retrieved Feb 6th from https://ecoinvent.org/ecoinvent-v3-12/#new-updated-data

European Commision. (2020). *Non-critical raw materials factsheets* (Critical raw materials, Issue. https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/critical-raw-materials_en

European Committee for Standardization. (2019). EN 15804:2012+A2:2019 - Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products. In.

Gravgård, O., & Permin, A. (2023). *Danske materialestrømme - Beskrivelse og dokumentation af Danmarks Statistiks materialestrømsregnskaber* https://www.dst.dk/Site/Dst/SingleFiles/GetArchiveFile.aspx?fi=48516460086&fo=0&ext=nat

GreenDelta. (2025). *OpenLCA*. Retrieved 26/03 from https://www.openlca.org/

H+H Deutschland GmbH. (2023). *MD-23056-EN* https://www.epddanmark.dk/media/10vdfzkx/md-23056-en.pdf

Hansen, R. N., Andersen, C. M. E., Birgisdottir, H., Hoxha, E., Eliassen, J., Schmidt, J. H., & Weidema, B. (2023). *Miljømæssige konsekvenser ved ændring af byggeskik: Indledende studie af miljøpåvirkninger ved fortsættelse af nuværende byggeskik og ved en ændring til øget brug af træ*. https://vbn.aau.dk/ws/portalfiles/portal/611605949/Milj_m_ssige_konsekvenser_ved_ndring_af_byggeskik.pdf

Hejlesen, C., & Larsen, M. (2008). *Råstofforsyning i Danmark – Sand, grus og sten* (Rapport 163, Issue.

Huijbregts, M. A. J., Steinmann, Z. J. N., Elshout, P. M. F., Stam, G., Verones, F., Vieira, M., Zijp, M., Hollander, A., & van Zelm, R. (2017). ReCiPe2016: a harmonised life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, *22*(2), 138-147. https://doi.org/10.1007/s11367-016-1246-y

Ikast Betonvarefabrik A/S. (2022). *MD-22037-DA* https://www.epddanmark.dk/media/py0l53y1/md-22037-da.pdf

Johannessen, M., & Thorin, T. (2020). Hvordan realiseres bæredygtig råstofforvaltning. In METABOLIC (Ed.), *Paradigmeskifte i råstofforvaltningen*. Region Syddanmark.

Jordal-Jørgensen, J., & Pedersen, J. K. (2016). *Samfundsøkonomisk analyse af genbrug af mursten*. https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2016/11/978-87-93529-42-7.pdf

Kalk- og Teglværksforeningen af 1893. (2014). *MD-14004-DA, UDLØBET* https://www.epddanmark.dk/media/kw2kmo1p/md-danske-tegl-14004-da.pdf

Kellenberger, D. (2010). *Rock crushing* (ecoinvent. https://ecoquery.ecoinvent.org/3.12/consequential/dataset/5781/documentation

Knudsen, L. M. (2025). Efter 60 år er det slut med sandsugning i dele af Køge Bugt. *DR*. https://www.dr.dk/nyheder/seneste/efter-60-aar-er-det-slut-med-sandsugning-i-dele-af-koege-bugt

Konstantyner, L. (2025). *Betydningen af råfstofmangel frem mod 2040*. Dansk Industri,. https://www.danskindustri.dk/arkiv/analyser/2025/11/betydningen-af-rafstofmangel-frem-mod-2040/

Larsen, G., Greve, C., & Halkjær, M. W. (2019). Hvornår er det slut med grus i Danmark? *Aktuel Naturvidenskab*, *4*, 12-15. https://aktuelnaturvidenskab.dk/fileadmin/Aktuel_Naturvidenskab/nr-4/AN4-2019-slut-med-grus.pdf

Lauritzen, E. K., & Kellermann, K. (2024). Genanvendelse af beton som tilslag i ny beton. (Erfaringsblad (99) 24 10 11). https://byg-erfa.dk/genanvendelse-af-beton-tilslag-ny-beton

Leth, J. O., Clausen, R., Ditlefsen, C., Keiding, J. K., Mortensen, M. H., Pjetursson, B., & Høyer, A.-S. (2024). *Et nationalt overblik over de reelt tilgængelige råstofressourcer i Danmark* (DANMARKS OG GRØNLANDS GEOLOGISKE UNDERSØGELSE RAPPORT 2024/8, Issue. https://data.geus.dk/pure-pdf/GEUS-R_2024-8_web.pdf

Lindgren, L. B., Svane, N. D., & Maagaard, S. E. (2025). *Scenarier for fremtidens behov for biobaserede byggematerialer*. https://realdania.dk/viden-og-laering/vidensbibliotek/publikationer/faglige-publikationer/scenarier-for-fremtidens-behov-for-biobaserede-byggematerialer

Lund, A. M., Zimmermann, R. K., Kragh, J., Rose, J., Aggerholm, S., & Birgisdottir, H. (2022a). *Beregningsark til Bygningsrenovering_2022_09_28* (Institut for Byggeri, By og Miljø (BUILD). https://vbn.aau.dk/da/publications/klimap%C3%A5virkning-fra-renovering-muligheder-for-udformning-af-gr%C3%A6ns/

Lund, A. M., Zimmermann, R. K., Kragh, J., Rose, J., Aggerholm, S., & Birgisdottir, H. (2022b). *Klimapåvirkning fra renovering: Muligheder for udformning af grænseværdier til LCA for renovering*. A. Universitet. https://vbn.aau.dk/da/publications/klimap%C3%A5virkning-fra-renovering-muligheder-for-udformning-af-gr%C3%A6ns/

Miljøstyrelsen. (2025). *Affaldsstatistik 2023*. https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2025/08/978-87-7564-025-6.pdf

NIRAS, Copenhagen Ressource Institute, & Lauritzen Advising. (2017). *Affaldsforebyggelse i byggeriet, Forprojekt*. https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2017/02/978-87-93529-66-3.pdf

Pedersen, C. D., Dyck-Madsen, S., & Jarby, C. (2021). *Anvendelse af beton i byggeriet - Fremsynsnotat*. https://concito.dk/files/media/document/2021.11.26%20Fremsynsnotat%20beton%20i%20byggeriet.pdf

Randers Tegl A/S. (2025a). *MD-25036-EN_rev2* https://www.epddanmark.dk/media/gopjj0cw/md-25036-en_rev2.pdf

Randers Tegl A/S. (2025b). *MD-25091-EN_rev1* https://www.epddanmark.dk/media/0ilnqfqd/md-25091-en_rev1.pdf

Realdania. (2023). *Veje til biobaseret byggeri*. Retrieved feb 6th from https://realdania.dk/projekter/veje-til-biobaseret-byggeri

Region Hovedstaden. (2024). *Råstofplan 2025*. https://rh.viewer.dkplan.niras.dk/media/hcvjwv42/raastofplan-2025.pdf

Region Midtjylland. (2021). *Råstofplan 2020*. https://rm.viewer.dkplan.niras.dk/media/293499/ra-stofplan-2020.pdf

Region Nordjylland. (2025). *Råstofplan 2024*. https://rn.viewer.dkplan.niras.dk/media/rvsd5ra5/1-raastofplan-2024_02_2025_jfi_9.pdf

Region Sjælland. (2024). *Råstofplan 2020-2031, Printudgave fra den digitale hjemmeside*. https://rs.viewer.dkplan.niras.dk/plan/25#/3613

Region Syddanmark. (2021). *Råstofplan 2020 for Region Syddanmark*. https://regionsyddanmark.dk/media/vjplaend/r%C3%A5stofplan-2020-for-region-syddanmark-juli-2023.pdf

Schumacher, L. (2025). *ReCiPe*. Pré Sustainability. Retrieved 12. Februar from https://pre-sustainability.com/articles/recipe/

Smith, K. H., & Andersen, S. C. (2020). *Fremtidens bygematerialer - Har vi mangel på råstoffer?* . https://cms.teknologisk.dk/getmedia.asp?media_id=78249

Smith, K. H., & Jensen, J. K. (2026). *RÅSTOFFORBRUG I DANMARK - en del af projektet 'Konsekvenser og handlingsrum for byggeriet ved mangel på mineralske råstoffer'*.

Stenstrop, G., Kristiansen, L., & Ernst, L. G. (2018). *Bedre råstoffer til beton*. Region Midtjylland. https://www.ru.rm.dk/siteassets/01-klima-og-miljo/rastoffer/publikationer/bedre-rastoffer-til-beton_2018.pdf

Swisspearl Danmark Holding A/S. (2021). *MD-20045-EN_rev5, UDLØBET* https://www.epddanmark.dk/media/ezvhn1hj/md-20045-en_rev5.pdf

Wernet, G., Bauer, C., Steubing, B., Reinhard, J., Moreno-Ruiz, E., & Weidema, B. (2016). The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, *21*(9), 1218-1230. https://doi.org/10.1007/s11367-016-1087-8

Wewers Mørtel A/S. (2023). *MD-23052-DA_rev1* https://www.epddanmark.dk/media/1fnnzgou/md-23052-da_rev1.pdf

Wolf, T. (2024). *The Chemistry of Clinker*. Carbon Re(R). https://carbonre.com/the-chemistry-of-clinker/

Aalborg Portland A/S, & Cementir Holding. (2025). *EPD-IES-0020908, Aalborg BASIS® cement* https://www.aalborgportland.dk/wp-content/uploads/2025/08/EPD-Aalborg-Portland-BASIS-2025-v4.pdf

TEKNOLOGISK
INSTITUT



Bilag

Indhold i bilag

Bilag A Beregningsgrundlag for perspektivering 2
Bilag B Kvalitative scenariebeskrivelser.....6
Bilag C Inventory.....15
Bilag D Resultattabeller CLCA.....46
Bilag E Datakvalitet.....63
Bilag F Ekstern review 70
Referencer i bilag.....79

Bilag A Beregningsgrundlag for perspektivering

Beregningsgrundlag for afsnit 6.5 i hovedrapporten: Perspektivering til udvalgte scenarier beregnet vha. attributiv LCA.

A.1 Formål og omfang

Formålet, den tilsigtede anvendelse og målgruppen for analysen er overordnet den samme, som beskrevet i afsnit 3 af hovedrapporten. Undtagelsen er dog, at hovedformålet med den atributionelle analyse beskrevet her er at perspektivere de fundne data i hovedrapporten med tal og beregningsformat mere velkendt fra byggebranchen.

A.1.1 Funktionelle enhed og reference flows

Den funktionelle enhed for studiet er totale mængder råstoffer påkrævet for at imødekomme fremskrevne byggeaktiviteter (til nybyggeri og renovering) for den temporale analyseperiode 2023-2040.

Materialestrømme opgøres således ift. samlet efterspørgsel (i ton) over analyseperioden 2023-2040, herunder hvordan forsyningen hertil tilvejebringes. Der tages ikke hensyn til generelt vedligehold.

A.1.2 LCA-tilgang og allokering

I modsætning til systemudvidelses- og substitutionstilgangen fra konsekvensanalysen i hovedrapporten, anvendes der her kun direkte opstrømsprocesser, der er relevante for det efterspurgte råstoftræk.

A.1.3 Systemgrænser

Studiet fokuserer kun på fysiske materialeflows, hvorfor sekundære ydelser og hjælpemidler (fx rådgivning, men også brug af maskineri mv. er udeladt).

Der opstilles en række scenarier for hhv. efterspørgsel af byggede kvadratmeter, samt forsyningen hertil. Der tages udgangspunkt i en konventionel byggeskik, hvor byggeri i høj grad forsynes med/fra mineralske råstoffer og byggematerialer.

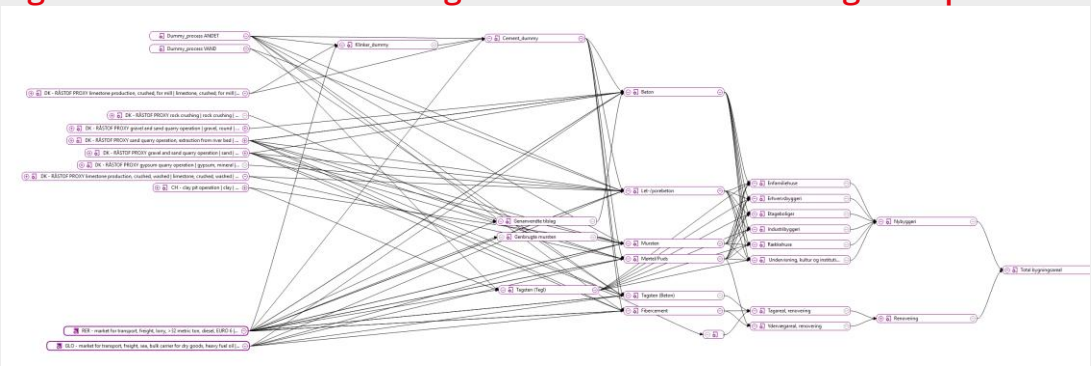
Da fokus ligger på hvilken forsyning, der imødekommer den forudsatte efterspørgsel for byggede kvadratmeter, tages kun opstrømsprocesser med i modelleringen, dvs. indvin-

ding af råstoffer/ressourcer, bearbejdning og transport af disse til produktionssites. Dette svarer til modul A1 og A2 i byggeriets LCA-terminologi.

Analyse af håndtering ved endt levetid, samt bygningernes levetid ekskluderes i studiet.

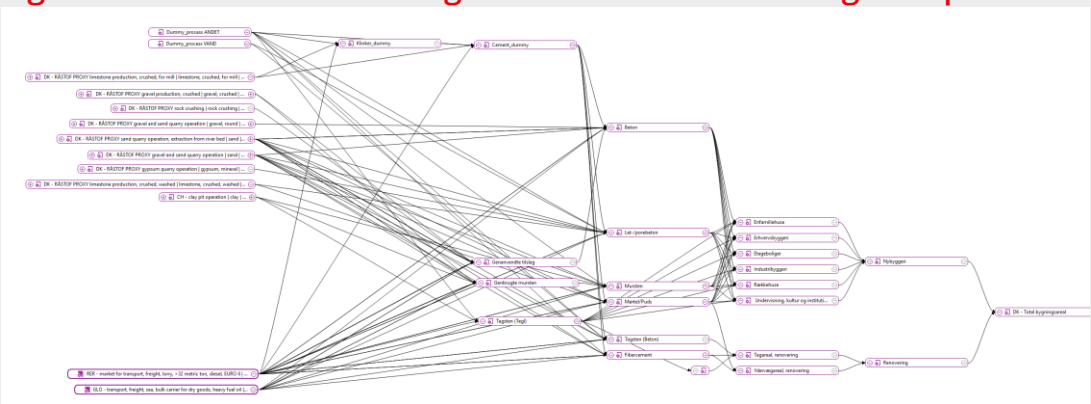
Figur A-1 viser den konceptuelle model og systemafgrænsningen for den normative LCA-model, til sammenligning med den konceptuelle model og systemafgrænsning for modellen analyseret i hovedrapporten, se Figur A-2.

Figur A-1 Generisk model diagram for ALCA modelleringen i openLCA.



Modellen styres vha. parametrisering for inputdata vedr. efterspørgsel og forsyning.

Figur A-2 Generisk model diagram for CLCA modelleringen i openLCA.



Modellen styres vha. parametrisering for inputdata vedr. efterspørgsel og forsyning.

A.1.4 Repræsentativitet og kilder for data

Tilgang til repræsentativitet og kilder til data er som udgangspunkt den samme som for konsekvensanalysen i hovedrapporten, dog med undtagelse af anvendte baggrundsdata.

Baggrundsdata anvendes primært fra databasen ecoinvent [1] v. 3.12 [2], med systemmodellen " Allocation, cut-off, EN15804" [3]. Hvor nødvendigt eller relevant, suppleres der med proxydata eller data fra litteraturen. Baggrundsdata forbliver statiske, baseret på de tilgængelige data i anvendte databaser.

A.1.5 Anvendte påvirkningskategorier

Den anvendte karakteriseringsmetode i konsekvensstudiet i hovedrapporten er ReCiPe, med værditilgangen Hierarchist (H) [4, 5], og udvalgte påvirkningskategorier. I perspektiveringsstudiet med en normativ tilgang anvendes der kun påvirkningskategorien Global opvarmning (GWP, målt i enheden kg CO_2eq).

Desuden suppleres der med GWP-resultater via karakteriseringsmetoderne EF 3.1 [6] for både konsekvens og attributiv LCA og EF 3.1 EN15804 [7] for den attributive LCA.

A.1.6 Tilpasning af data og scenarier

Forgrundsdata er som udgangspunkt de samme i nærværende studie som i konsekvensstudiet i hovedrapporten. Særligt, da det er en relativt simpel model, der kun tager højde for indvinding og transport, hvorfor der ikke opstår en række sidestrømme, der skal allokeres ud af systemet.

I modsætning til konsekvensstudiet anvendes der ikke markedsanalyser eller marginale data, hvorfor der heller ikke substitueres for potentielt påvirkede aktører ved ændring af værdikæden (eksempelvis når der anvendes sekundære materialer i det cirkulære forsyningsscenarie).

Særligt ved de sekundære materialer, antages det endvidere, iht. tilgangen fra byggeriets LCA'er, at sekundære materialer kommer ind i systemet 'gratis', uden beregning. Dog modelleres knusning og transport.

A.2 Inventory

Inputdata til den atributionelle model er de samme som for konsekvens modellen, se bilag C. Der anvendes i beregningerne dog kun data for 2030, som udvalgt beregnings år.

A.3 Resultater og fortolkning

Resultaterne vises per forsyningsscenarie, LCA model og LCIA metode i Tabel A-1. Herefter perspektiveres de kort til hovedrapportens resultater og konklusioner for konsekvens studiet, i hovedrapportens afsnit 6.5.

Tabel A-1 Resultatudtræk fra openLCA ALCA resultater

Enheden på tværs af alle LCIA metoder er for global opvarmning [kg CO_2 eq]. CLCA= konsekvens LCA modellen. ALCA = den attributive LCA model. OBS: decimal operator er angivet som '.' og ikke som ',', aht. anvendte operator konvention i LCA programmet.

		Miljøpåvirkninger			
LCA model	**LCIA metode**	Traditionel forsyning	Lokalt begrænset	CØ beton	CØ mursten
CLCA	ReCiPe (H)	7.50E+07	6.43E+07	7.38E+07	7.36E+07
ALCA	ReCiPe (H)	7.55E+07	6.48E+07	7.33E+07	7.51E+07
CLCA	EF 3.1	7.34E+07	6.29E+07	7.23E+07	7.20E+07
ALCA	EF 3.1	7.39E+07	6.35E+07	7.17E+07	7.35E+07
ALCA	EN 15804+A2 (EF 3.1)	7.41E+07	6.37E+07	7.20E+07	7.38E+07

Bilag B Kvalitative scenariebeskrivelser

Disse scenarier beskriver forskellige fremtidsudfald, som man kunne forestille sig. De forholder sig ikke til hvad der bør ske eller ville være gavnligt eller optimalt ift. nuværende politiske strømme. Scenarierne er idealiserede og karikerede udviklingsveje, som ikke udtrykker, hvad der nødvendigvis bør ske, men som bruges til at tydeliggøre spændingsfelter, handlemuligheder og potentielle konsekvenser. De skal læses som analytiske udfaldsrum, der kan danne grundlag for diskussion, perspektivering og senere kvantificering. Oveni disse udfaldsrum, skal der således tages politiske beslutninger og stillingtagen til andre problemstillinger, fx overholdelse af Paris aftalen [8] eller de Planetære Grænser [9].

Scenarierne kombinerer tre niveauer for efterspørgsel med tre forsyningsmodeller. Efterspørgselsscenarierne spænder fra fortsat høj byggeaktivitet over et mellemniveau svarende omtrent til historiske mønstre til et lavt niveau med opbremsning og øget fokus på renovering og transformation. Forsyningsscenarierne spænder fra en traditionel lineær forsyningsmodel over et system med lokalt begrænset råstofindvinding til en cirkulær model, hvor genbrug og genanvendelse af byggematerialer spiller en væsentlig rolle.

B.1 Høj efterspørgsel – Traditionel forsyning

Dette scenarie repræsenterer en fortsættelse af de senere års høje byggeaktivitet kombineret med en forsyning, der fortsat overvejende baseres på primære mineralske råstoffer. Nybyggeri forbliver den dominerende aktivitet, mens renovering og transformation kun spiller en begrænset rolle. Forsyningen følger business-as-usual, hvor sand, grus, sten og ler indvindes fra eksisterende og udlagte råstofområder og føres gennem lineære materialestrømme til anvendelse og efterfølgende bortskaffelse.

Den høje efterspørgsel lægger et vedvarende pres på de primære ressourcer. Materialeflows domineres af store mængder råstoffer, der transporteres fra indvindingsområder til betonværker, teglværker, byggepladser og anlægsprojekter. I takt med at let tilgængelige forekomster udtømmes eller bliver vanskeligere at udnytte, må forsyningen i stigende grad hentes fra mere perifere lokaliteter. Derved øges transportafstande, logistisk kompleksitet og afhængighed af et velfungerende distributionssystem.

Markedet i dette scenarie er præget af et fortsat højt materialetræk og risiko for stigende priser på særligt de kvaliteter, der er mest efterspurgte i byggeriet. Når forsyningen primært sker gennem primære råstoffer, og der ikke sker væsentlig omstilling i

materialeanvendelsen, vil marginale forsyningskilder typisk være fjernere grusgrave, specialforekomster eller i nogle tilfælde import af særlige kvaliteter. Det kan føre til øget konkurrence mellem forskellige anvendelser, fx mellem betonproduktion, vejbygning og øvrige anlægsformål.

Kvalitetsproblematikken bliver central, fordi et lineært system uden stærk styring af ressourcekvalitet ofte medfører, at højere kvaliteter end nødvendigt anvendes til mindre krævende formål. Betonkvaliteter kan anvendes i fyld- eller bærelagsformål, mens lokale materialer af lidt lavere kvalitet fravælges, selv om de kunne være tilstrækkelige i mange anvendelser. Dermed forværres presset på knappe ressourcer yderligere.

Scenariet illustrerer samlet et system med høj aktivitet og høj afhængighed af primær indvinding. Det er et robust og genkendeligt system, fordi det bygger på kendte forsyningsmønstre, men det er samtidig sårbart over for ressourceknaphed, stigende transportbehov og manglende strukturel omstilling.

B.2 Høj efterspørgsel – Lokalt begrænset forsyning

Dette scenarie kombinerer et fortsat højt byggevolumen med en situation, hvor mulighederne for lokal råstofindvinding er væsentligt begrænsede. Byggeriet efterspørger fortsat store mængder primære mineralske råstoffer, men reduktion i indvindingstilladelser og stigende konkurrence om arealer begrænser den regionale forsyningskapacitet. Der opstår dermed et tydeligt misforhold mellem behov og lokal tilgængelighed.

Materialestrømmene forskydes i dette scenarie fra kortere, regionale leverancer mod mere langstrakte forsyningskæder. Øget import, interregional transport og muligvis større anvendelse af marine råstoffer bliver nødvendige elementer for at opretholde forsyningen. Hvor traditionelle forsyningsmønstre tidligere kunne baseres på relativ nærhed mellem indvindingssted og anvendelse, bliver det i dette scenarie i højere grad nødvendigt at forbinde ressourceområder og forbrugscentre over større afstande. Dette kan skabe pres på havne, terminaler, transportkorridorer og mellemdepoter.

De økonomiske konsekvenser forventes at være markante. Når indenlandsk indvinding ikke i tilstrækkelig grad kan reagere på høj efterspørgsel, bliver forsyningskurven mere uelastisk, og priserne kan stige betydeligt. Ikke mindst specialkvaliteter og materialer til beton kan blive kritiske. Markedet bliver samtidig mere følsomt over for forstyrrelser i internationale forsyningskæder og over for geopolitiske eller regulatoriske ændringer i nabolande.

Knapheden på lokale ressourcer kan dog også udløse mere systematisk optimering af gravearbejde og indvinding. Der opstår stærkere incitamenter til at reducere spild, forbedre sortering og karakterisering af råstoffer og udnytte eksisterende tilladelser mere effektivt. Alligevel er det usandsynligt, at sådanne effektiviseringer alene kan kompensere for et stort forsyningsgab under vedvarende høj byggeaktivitet.

Scenariet peger dermed på en fremtid, hvor den traditionelle afhængighed af primære råstoffer fastholdes, men hvor de lokale rammevilkår gør denne model langt mere spændt og omkostningstung. Det er et scenarie med høj aktivitet, høj forsyningsrisiko og stigende afhængighed af eksterne kilder.

B.3 Høj efterspørgsel – Cirkulær forsyning

Dette scenarie kombinerer et fortsat højt byggevolumen med en ambitiøs omstilling af forsyningen i retning af cirkulære materialestrømme. Nybyggeri dominerer fortsat, men en voksende del af materialebehovet søges dækket gennem genbrug af bygningsdele og -materialer samt genanvendelse af bygge- og anlægsaffald i overensstemmelse med affaldshierarkiet. Forsyningen baseres således ikke længere alene på primære råstoffer, men på en hybrid mellem primære og sekundære ressourcer.

Scenariet forudsætter en markant udbygning af den cirkulære markedsinfrastruktur. Selektiv nedrivning, demontering, sortering, mellemlagring, dokumentation og kvalitetssikring bliver centrale funktioner i værdikæden. Direkte genbrug af betonelementer, mursten og andre komponenter forudsætter ikke blot tekniske løsninger, men også markedspladser og logistiske systemer, der kan matche udbud og efterspørgsel i tid, sted og kvalitet. Når direkte genbrug ikke er muligt, bliver genanvendelse af fx beton som tilslag i ny beton et vigtigt supplement.

Trods den cirkulære ambition vil det høje byggevolumen sandsynligvis betyde, at sekundære ressourcer ikke kan dække hele behovet, især ikke i scenariets tidlige fase. Der vil derfor fortsat være væsentlig efterspørgsel efter primære råstoffer. De sekundære ressourcer reducerer presset på ny indvinding, men eliminerer det ikke. Den centrale problematik bliver, om mængder, kvaliteter og tidsmæssig tilgængelighed af sekundære materialer kan følge med et fortsat højt tempo i byggeriet.

Markedet ændrer karakter, fordi affaldsstrømme i stigende grad bliver ressourcestrømme. Knust beton og tegl trækkes væk fra deres nuværende anvendelser i fx ubundne bærelag og får prioriteret værdi i nye byggematerialer. Dermed opstår også nye konkurrencer mellem sektorer og anvendelser. Det, der i dag opfattes som en

velfungerende ressource for anlægssektoren, bliver i dette scenarie i højere grad reserveret til byggeriet, hvorfor anlægssektoren har brugt for nye forsyningskilder.

Kvalitetsstyring bliver afgørende. Sekundære materialer har typisk større variation i egenskaber end primære, og deres anvendelse i nye produkter forudsætter dokumentation, standardudvikling og tilpasning af byggeregler. Scenariet illustrerer derfor både potentialet og udfordringen ved at forsøge at forene høj byggeaktivitet med dyb cirkulær omstilling.

B.4 Mellem efterspørgsel – Traditionel forsyning

Dette scenarie kombinerer et mellem efterspørgselsniveau med traditionel forsyning. Byggeaktiviteten ligger her nærmere et historisk eller mere normaliseret niveau end i højscenariet. Nybyggeri er fortsat den dominerende aktivitet, og renovering og transformation spiller kun en marginalt større rolle end i dag. Forsyningen er fortsat lineær og baseret på primære mineralske råstoffer fra etablerede indvindingssystemer.

Det samlede materialetræk er lavere end i scenariet med høj efterspørgsel, og presset på ressourcerne er derfor mindre. Dette kan midlertidigt mindske behovet for at tage mere perifere eller omkostningstunge forsyningskilder i brug. Nogle regioner vil fortsat kunne dækkes fra relativt nærliggende indvindingsområder, og transportafstandene kan derfor i gennemsnit være mere moderate. Samtidig forbliver systemets grundlæggende struktur uændret: råstoffer udvindes, forarbejdes, anvendes og forlader derefter kredsløbet uden egentlig recirkulation.

Markedsmæssigt vil scenariet typisk være præget af større stabilitet end ved høj efterspørgsel. Prispresset er mindre, forsyningsrisikoen lavere, og behovet for ekstreme marginale forsyningskilder reduceres. Det kan skabe et indtryk af, at systemet er mere bæredygtigt eller robust, men i realiteten er det stadig et lineært system, som ikke adresserer den langsigtede udfordring med at reducere afhængigheden af primær indvinding.

Den mere moderate aktivitet kan samtidig have en paradoksal effekt: når forsyningspresset er mindre akut, svækkes incitamentet til innovation, substitution og udvikling af cirkulære løsninger. Traditionelle praksisser kan derfor fortsætte relativt uforstyrret. Kvalitetsmatching, bedre udnyttelse af lokale materialer og investeringer i genanvendelse kan udskydes, fordi den eksisterende model fortsat fungerer tilstrækkeligt.

Scenariet illustrerer således en tilstand af relativ balance og kontinuitet. Det er mindre presset end scenariet for høj efterspørgsel, men det rummer også risikoen for at fastholde sektoren i et velkendt, men strukturelt uforandret ressourceforbrug.

B.5 Mellem efterspørgsel – Lokalt begrænset forsyning

Dette scenarie kombinerer et mellem efterspørgselsniveau med en forsyning, der er præget af lokale begrænsninger på indvinding. Byggeaktiviteten er lavere end i scenariet for høj efterspørgsel, men stadig betydelig, og den baserer sig fortsat primært på mineralske råstoffer. Samtidig reducerer arealkonkurrence og indskrænkede tilladelser mulighederne for at forsyne byggeriet fra nærliggende kilder.

I forhold til scenariet med høj efterspørgsel og lokalt begrænset forsyning er systemet her mere balanceret. Det samlede behov er mindre, og derfor bliver spændet mellem efterspørgsel og lokal kapacitet mindre akut. Alligevel ophæver det lavere aktivitetsniveau ikke de geografiske skævheder i råstofforekomster og forbrug. Der vil fortsat være områder, hvor den lokale tilgængelighed ikke svarer til behovet, og hvor materialer må transporteres ind fra andre landsdele eller fra udlandet.

Materialestrømmene bliver derfor præget af regional omfordeling. Færre, større indvindingssteder kan komme til at forsyne større opland, og forsyningssikkerheden vil i stigende grad afhænge af planlægning, koordinering og transportinfrastruktur. Import og marin indvinding kan fungere som supplement, især for særlige kvaliteter eller i regioner med vedvarende knaphed, men afhængigheden bliver ikke nødvendigvis lige så udtalt som ved høj efterspørgsel.

Markedet forventes at reagere med moderate prisstigninger og øget fokus på effektiv ressourceudnyttelse. Begrænsede lokale forsyningsmuligheder skaber incitamenter til bedre planlægning af indvinding, mindre spild og mere præcis allokering af materialekvaliteter til de anvendelser, hvor de skaber størst værdi. I dette scenarie kan ressourceknapheden derfor få en vis disciplinerende effekt, uden at systemet bliver lige så presset som under høj aktivitet.

Scenariet peger på et system, hvor forsyningsudfordringerne er reelle, men håndterbare. Det er karakteriseret ved lavere samlet pres, men fortsat afhængighed af geografisk omfordeling og traditionelle råstofstrømme.

B.6 Mellem efterspørgsel – Cirkulær forsyning

Dette scenarie kobler et mellemstort efterspørgselsniveau med målrettet opbygning af cirkulære materialestrømme. Byggeaktiviteten ligger på et moderat niveau, og nybyggeri spiller fortsat en vigtig rolle, men presset på materialeforsyningen er mindre end ved høj efterspørgsel. Samtidig udvikles systemer for genbrug og genanvendelse, så en stigende andel af materialebehovet kan dækkes af sekundære ressourcer.

Den lavere aktivitet giver relativt gode betingelser for omstilling. Når efterspørgslen ikke vokser så hurtigt, bliver det lettere at opbygge infrastruktur, standarder og praksisser for selektiv nedrivning, demontering og materialegenanvendelse. Mængden af sekundære materialer fra eksisterende bygningsmasse vil i højere grad kunne dække en meningsfuld andel af behovet, og der opstår bedre muligheder for at udvikle lokale eller regionale kredsløb, hvor materialer fra ét projekt anvendes i et andet.

Materialeflows bliver mere komplekse end i de 'traditionelle' forsynings scenarier, men de kan også blive mere målrettede og værdibevarende. Betonelementer og mursten kan i nogle tilfælde genbruges direkte, mens beton og tegl, der ikke kan genbruges som komponenter, kan forarbejdes og indgå i nye produkter. Derved reduceres behovet for primære råstoffer, og den lineære afhængighed af indvinding mindskes gradvist.

Markedet udvikler nye værdikæder, hvor byggeaffald i stigende grad behandles som ressource. Det kan ændre eksisterende materialestrømme væsentligt, ikke mindst fordi materialer, der i dag går til anlægsformål, i stedet prioriteres til højere prioriterede anvendelser i byggeriet. Det forudsætter dog, at materialehierarkiet håndhæves, og at de økonomiske og regulatoriske rammer understøtter denne prioritering.

Kvalitetsproblematikken er fortsat central, men mere håndterbar end ved høj efterspørgsel. Det moderate aktivitetsniveau giver bedre mulighed for at udvikle dokumentation, testregimer og standarder. Scenariet fremstår derfor som et omstillingsscenarie, hvor reduktion i pres og opbygning af cirkulær kapacitet understøtter hinanden.

B.7 Lav efterspørgsel – Traditionel forsyning

Dette scenarie repræsenterer en situation med markant reduceret byggeaktivitet, hvor nybyggeri fortsat finder sted, men i mindre skala og med større fokus på reel behovsafdækning, renovering og transformation. Forsyningen følger imidlertid stadig en traditionel, lineær logik, hvor materialebehovet dækkes med primære mineralske råstoffer, og hvor genbrug og genanvendelse ikke spiller nogen strukturelt bærende rolle.

Det samlede træk på råstoffer falder væsentligt i dette scenarie. Sammenlignet med de højere efterspørgselsniveauer er presset på indvindingsressourcer, transport og regional forsyning markant lavere. En større del af aktiviteten knytter sig til renovering, ombygning og vedligeholdelse, hvilket ændrer materialebehovets sammensætning: fær-

re bulk-materialer til store nybyggerier og relativt større behov for mere specifikke produkter og løsninger til tilpasning af eksisterende bygninger.

Selv om materialeforbruget reduceres, forbliver materialestrømmene grundlæggende lineære. Primære råstoffer anvendes fortsat til de projekter, der gennemføres, og materialer fra ombygning og delvis nedrivning reintegreres ikke systematisk i nye kredsløb. Dermed realiseres kun en del af ressourcebesparelsen, nemlig den der følger af lavere aktivitet, men ikke den der kunne opnås gennem ændret forsyningsstruktur.

Markedet i dette scenarie kan blive mere specialiseret og projektorienteret. Efterspørgslen efter store standardiserede råstofmængder falder, mens behovet for fleksible leverancer til renoverings- og transformationsprojekter vokser. Visse dele af den primære råstofsektor kan opleve lavere aktivitet eller lukning af mindre rentable indvindingssteder, uden at der nødvendigvis opstår et tilsvarende løft i cirkulære værdikæder.

Scenariet viser, at lavere efterspørgsel i sig selv kan reducere ressourcepresset, men også at en sådan reduktion ikke automatisk medfører et mere systemisk bæredygtigt forsyningssystem.

B.8 Lav efterspørgsel – Lokalt begrænset forsyning

Dette scenarie kombinerer lav byggeaktivitet med begrænsede muligheder for lokal råstofindvinding. Nybyggeri forekommer fortsat, men i mindre omfang, og renovering og transformation fylder relativt mere. Samtidig er forsyningen af primære råstoffer begrænset af arealkonkurrence, reducerede tilladelser og vanskeligere adgang til lokale indvindingsområder.

Det lave aktivitetsniveau dæmper de mest akutte forsyningsproblemer. Når den samlede efterspørgsel er begrænset, vil de lokale restriktioner ofte være lettere at håndtere end i scenarier med højere aktivitet. Der vil dog stadig kunne opstå regionale eller projektspecifikke forsyningsudfordringer, særligt hvis bestemte materialekvaliteter ikke findes lokalt, eller hvis mindre projekter i ressourcefattige områder har svært ved at opnå økonomisk adgang til nødvendige materialer.

Materialestrømmene reduceres i volumen, men bliver potentielt mere fragmenterede. I stedet for store, kontinuerlige strømme af bulk-materialer kan forsyningen i højere grad bestå af mere sporadiske leverancer til renovering, tilpasning og mindre nybyggerier. Hvor lokal indvinding ikke er mulig eller hensigtsmæssig, kan import eller interregional transport stadig være nødvendigt, om end i mere begrænset skala.

Markedet bliver i dette scenarie mindre drevet af total volumen og mere af tilgængelighed, timing og specifikke kvalitetsbehov. Ressourceknaphed kan stadig opstå, men den bliver mere punktvis end systemisk. Samtidig kan de lokale begrænsninger fungere som indirekte støtte til en mere forsigtig ressourceanvendelse, fordi projekter i højere grad må overveje materialevalg, design og tilpasning til det, der reelt er tilgængeligt.

Scenariet beskriver således et relativt lavintensivt system, hvor forsyningsbegrænsningerne ikke forsvinder, men hvor de overordnede risici er mindre på grund af det lavere aktivitetsniveau.

B.9 Lav efterspørgsel – Cirkulær forsyning

Dette scenarie kombinerer lav byggeaktivitet med en cirkulær forsyningsmodel og repræsenterer den mest ressourceeffektive af de opstillede kombinationer. Nybyggeri foregår fortsat, men i mindre skala og med større fokus på behov, kvalitet og tilpasning. Samtidig søges materialebehovet i videst muligt omfang dækket gennem genbrug og genanvendelse af materialer fra den eksisterende bygningsmasse.

Det lave efterspørgselsniveau giver gode forudsætninger for et cirkulært forsyningssystem, fordi mængden af sekundære materialer i højere grad kan matche behovet. Materialer og bygningsdele fra ét projekt kan i højere grad indgå i andre projekter, og behovet for primære råstoffer reduceres væsentligt.

Materialeflows ændrer karakter fra lineære kæder til mere netværksbaserede cirkulære flows. Selektiv demontering, mellemlagring, kvalitetssikring og lokal eller regional matching af materialer bliver centrale funktioner. Direkte genbrug af komponenter får større betydning, fordi tempoet i byggeriet giver bedre mulighed for planlægning og koordinering. Hvor direkte genbrug ikke er muligt, kan materialerne forarbejdes og genanvendes i nye produkter. Scenariet dækker dog kun byggeri, hvorfor den øgede brug af sekundære ressourcer i byggeri potentielt er på bekostning af andre brancher, fx anlæg, hvis ikke disse også følger den reducerede aktivitet.

De økonomiske og institutionelle krav er fortsat betydelige. Scenariet forudsætter, at der findes markeder for brugte og genanvendte byggematerialer, at standarder og dokumentationskrav er tilpasset cirkulær praksis, og at byggeriets aktører har de nødvendige kompetencer. Samtidig vil materialer, der tidligere gik til anlægssektoren som knust beton og tegl, i højere grad blive trukket ind i byggeriets egne kredsløb.

Scenariet fungerer som et idealiseret referencepunkt for, hvordan høj ressourceeffektivitet og systemisk cirkularitet kan se ud under et lavt aktivitetsniveau. Det er ikke

nødvendigvis et sandsynligt endepunkt på kort sigt, men det tydeliggør, hvordan lavere efterspørgsel og cirkulær forsyning gensidigt kan understøtte hinanden.

Bilag C Inventory

Inventory data og hvordan disse indhentes og behandles, er beskrevet i afsnittede om efterspørgsel og forsyning i hovedrapporten. Tabel C-1 - Tabel C-13 nedenfor opsummerer de beregnede og anvendte data i modellen, og er grundlaget for datainput tabellerne (Tabel C-15 - Tabel C-34).

Der er i nogle tilfælde angivet data for alle tre efterspørgselsscenarier (høj, mellem og lav), selvom beregninger og modellering i openLCA primært er foretaget for høj efterspørgsel, med en perspektivering til 2030 for mellem og lav efterspørgsel.

C.1 Beregnede og anvendte data i modellen

C.1.1 Efterspørgsel

Tabel C-1 Fremskreven byggeaktivitet, nybyggeri

Baseret på fremskrivningen for byggeaktivitet fra [10]. Enhed er mio. m^2 bygningsareal. OBS: decimal operator er angivet som '.' og ikke som ',', aht. anvendte operator konvention i LCA programmet.

	Efterspørgsel		
Ar	Høj	Mellem	Lav
2023	6.68	5.94	5.20
2024	6.87	5.94	5.00
2025	7.12	6.03	4.94
2026	7.36	6.13	4.90
2027	7.47	6.12	4.78
2028	7.79	6.34	4.89
2029	7.71	6.15	4.60
2030	7.95	6.30	4.66
2031	8.15	6.41	4.73
2032	8.23	6.40	4.79
2033	8.23	6.31	4.75
2034	8.30	6.31	4.68
2035	8.48	6.42	4.73
2036	8.50	6.36	4.51
2037	8.72	6.52	4.53
2038	8.89	6.61	4.48
2039	8.88	6.54	4.47
2040	8.87	6.47	4.41

Tabel C-2 Renoveringsaktivitet

Baseret på renoveringsaktiviteten fra [11]. Enhed er mio. m^2 bygningsdelsareal. OBS: decimal operator er angivet som '.' og ikke som ',', aht. anvendte operator konvention i LCA programmet.

	Efterspørgsel		
	Høj	Mellem	Lav
Renoveringsaktivitet	1	1.2	1.7
Renoveret bygningsdelsareal	20.52	24.62	34.88

Tabel C-3 Fordelingsnøgle mellem nybyggeri og renovering

Hvor den fremskrevne byggeaktivitet baserer sig på byggede areal af brutto/bygningsareal, [10], og er variabel i fremskrivningen, er renoveringsarealet statisk med en opjustering jf. efterspørgselsscenariet, og samtidig baseres dette på areal af bygningsdele renoveret [11, 12]. Af denne grund er arealet for renovering signifikant større i fordelingen mellem nybyggeri og renoverings areal – dette er dog korrigeret ift. materialeforbrug i selve LCA modellens parametrisering.

	Fordeling					
	Høj efterspørgsel		Mellem efterspørgsel		Lav efterspørgsel	
År	Nybyggeri	Renovering	Nybyggeri	Renovering	Nybyggeri	Renovering
2023	25%	75%	19%	81%	13%	87%
2024	25%	75%	19%	81%	13%	87%
2025	26%	74%	20%	80%	12%	88%
2026	26%	74%	20%	80%	12%	88%
2027	27%	73%	20%	80%	12%	88%
2028	28%	72%	20%	80%	12%	88%
2029	27%	73%	20%	80%	12%	88%
2030	28%	72%	20%	80%	12%	88%
2031	28%	72%	21%	79%	12%	88%
2032	29%	71%	21%	79%	12%	88%
2033	29%	71%	20%	80%	12%	88%
2034	29%	71%	20%	80%	12%	88%
2035	29%	71%	21%	79%	12%	88%
2036	29%	71%	21%	79%	11%	89%
2037	30%	70%	21%	79%	12%	88%
2038	30%	70%	21%	79%	11%	89%
2039	30%	70%	21%	79%	11%	89%
2040	30%	70%	21%	79%	11%	89%

Tabel C-4 Fordeling af bygningstypologier, national opdeling, høj efterspørgsel

Baseret på fremskrivningen for byggeaktivitet fra [10]

	Fordeling					
Ar	Enfamiliehuse	Rækkehuse	Etageboliger	Erhverv	Industri	Div. institutioner
2023	34%	13%	22%	20%	4%	7%
2024	34%	13%	21%	20%	4%	7%
2025	34%	13%	21%	20%	5%	7%
2026	34%	13%	20%	20%	7%	7%
2027	34%	13%	18%	20%	8%	7%
2028	33%	13%	19%	20%	9%	6%
2029	34%	13%	18%	20%	8%	7%
2030	34%	13%	20%	20%	7%	7%
2031	34%	12%	21%	20%	7%	7%
2032	34%	12%	22%	20%	5%	7%
2033	34%	12%	22%	20%	4%	7%
2034	34%	12%	22%	20%	4%	7%
2035	34%	12%	22%	20%	4%	7%
2036	35%	12%	20%	20%	6%	7%
2037	34%	12%	20%	20%	7%	7%
2038	34%	12%	20%	20%	8%	7%
2039	34%	12%	20%	20%	6%	7%
2040	35%	12%	20%	21%	6%	7%

Tabel C-5 Fordeling af bygningstypologier, national opdeling, mellem efterspørgsel

Baseret på fremskrivningen for byggeaktivitet fra [10]

	Fordeling					
År	Enfamiliehuse	Rækkehuse	Etageboliger	Erhverv	Industri	Div. institutioner
2023	35%	13%	22%	20%	3%	6%
2024	35%	13%	22%	20%	3%	6%
2025	35%	13%	22%	20%	3%	6%
2026	35%	13%	21%	20%	5%	6%
2027	35%	13%	20%	20%	6%	6%
2028	34%	12%	20%	19%	8%	6%
2029	36%	12%	20%	20%	6%	6%
2030	35%	12%	22%	20%	5%	6%
2031	35%	12%	24%	20%	4%	6%
2032	35%	12%	26%	20%	2%	6%
2033	36%	12%	26%	20%	0%	6%
2034	36%	12%	26%	20%	0%	6%
2035	36%	11%	27%	20%	0%	6%
2036	36%	11%	24%	20%	2%	6%
2037	36%	11%	25%	20%	3%	6%
2038	35%	11%	24%	20%	4%	6%
2039	36%	11%	25%	20%	2%	6%
2040	37%	11%	25%	20%	1%	6%

Tabel C-6 Fordeling af bygningstypologier, national opdeling, Lav efterspørgsel

Baseret på fremskrivningen for byggeaktivitet fra [10]

	Fordeling					
Ar	Enfamiliehuse	Rækkehuse	Etageboliger	Erhverv	Industri	Div. institutioner
2023	37%	14%	22%	21%	1%	6%
2024	37%	13%	23%	21%	0%	6%
2025	37%	13%	24%	20%	0%	6%
2026	37%	13%	23%	20%	2%	6%
2027	37%	12%	22%	20%	3%	6%
2028	36%	12%	23%	19%	5%	6%
2029	38%	12%	23%	20%	2%	6%
2030	37%	11%	27%	19%	0%	6%
2031	36%	11%	29%	19%	0%	6%
2032	35%	10%	31%	18%	0%	5%
2033	36%	10%	31%	18%	0%	5%
2034	36%	9%	31%	18%	0%	5%
2035	35%	9%	33%	18%	0%	5%
2036	37%	9%	30%	18%	0%	5%
2037	37%	8%	32%	18%	0%	5%
2038	37%	8%	31%	18%	0%	5%
2039	37%	8%	32%	18%	0%	5%
2040	37%	8%	32%	18%	0%	5%

Tabel C-7 Andel iht. bygningstypologi, regional opdeling

Statisk fordeling, baseret på referenceåret 2022

	Region Hovedstaden	Region Sjælland	Region Syddanmark	Region Midtjylland	Region Nordjylland
Enfamiliehuse	19%	40%	36%	31%	44%
Rækkehuse	8%	18%	13%	12%	12%
Etageboliger	43%	18%	18%	27%	14%
Erhverv	17%	13%	22%	20%	16%
Industri	5%	3%	6%	5%	6%
Diverse institutioner	8%	8%	5%	5%	8%

Tabel C-8 Volumen af materialer i nybyggeri

Målt i m^3 materiale/m^2 bygningsareal. OBS: decimal operator er angivet som '.' og ikke som ',', aht. anvendte operator konvention i LCA programmet.

	Enfamiliehuse	Rækkehuse	Etageboliger	Erhverv	Industri	Div. institutioner
Beton	0.2460	0.3528	0.5160	0.4404	0.4439	0.5019
Isolering	0.7304	0.6529	0.5200	0.4109	0.4596	0.5070
Letbeton	0.0655	0.0569	-	-	0.0157	-
Mortel	0.0074	0.0064	0.0029	0.0005	0.0018	0.0019
Mursten	0.0516	0.0448	0.0284	0.0047	0.0123	0.0181
Porebeton	0.0420	0.0780	-	-	-	-
Puds	0.0033	0.0028	-	-	0.0008	-
Teglsten	0.0128	0.0066	0.0006	0.0025	-	0.0008

Tabel C-9 Volumen og mængde af materialer i renoverede bygningsdele

Målt i m^3 eller kg materiale/m^2 renoveret bygningsdelsareal. OBS: decimal operator er angivet som '.' og ikke som ',', aht. anvendte operator konvention i LCA programmet.

		Tagareal	Ydervægsareal	Loftareal	Skillevægsareal	
MATERIALE	**Isolering**	0.200	0.200	0.045	0.095	m^3
	Tegl	0.020	-	-	-	m^3
	Betontagsten	40.76	-	-	-	kg
	Fibercement	12.62	12.62	-	-	kg
	Puds	-	0.014	-	-	m^3

C.1.2 Forsyning

Tabel C-10 Fordeling mellem land-/havindvinding

Sand, grus og Sten

	Havindvinding	Landindvinding
Hele landet	**15%**	**85%**
Region Hovedstaden	75%	25%
Region Sjælland	15%	85%
Region Syddanmark	13%	87%
Region Midtjylland	9%	91%
Region Nordjylland	6%	94%

Tabel C-11 Transportdistancer

Enheden er km

	Havindvinding		Landindvinding
	Skib	Lastbil	Lastbil
Hele landet	85	61	55
Region Hovedstaden	38	15	31
Region Sjælland	19	61	42
Region Syddanmark	180	61	25
Region Midtjylland	105	112	52
Region Nordjylland	93	63	40

Tabel C-12 Fordelingsnøgle mellem genanvendte og jomfrueligt tilslag

For forsyningsscenariet hvor der anvendes genanvendte tilslag af nedknust bygge- og anlægsaffald som erstatning til grove tilslag i betonefterspørgsel. Årligt tilgængelig mængde af genanvendte tilslag: 0.72 mio. tons. Antages statisk over analyseperiode. Behov for tilslag er angivet i mio. tons.

	Fordeling								
	Høj efterspørgsel			Mellem efterspørgsel			Lav efterspørgsel		
Ar	Behov	Genanvendt	Jomfrueligt	Behov	Genanvendt	Jomfrueligt	Behov	Genanvendt	Jomfrueligt
2023	3.14	23%	77%	2.79	26%	74%	2.44	29%	71%
2024	3.23	22%	78%	2.79	26%	74%	2.35	31%	69%
2025	3.35	22%	78%	2.83	25%	75%	2.32	31%	69%
2026	3.46	21%	79%	2.88	25%	75%	2.30	31%	69%
2027	3.51	21%	79%	2.88	25%	75%	2.25	32%	68%
2028	3.66	20%	80%	2.98	24%	76%	2.30	31%	69%
2029	3.62	20%	80%	2.89	25%	75%	2.16	33%	67%
2030	3.74	19%	81%	2.96	24%	76%	2.19	33%	67%
2031	3.83	19%	81%	3.01	24%	76%	2.22	32%	68%
2032	3.87	19%	81%	3.01	24%	76%	2.25	32%	68%
2033	3.86	19%	81%	2.97	24%	76%	2.23	32%	68%
2034	3.90	18%	82%	2.96	24%	76%	2.20	33%	67%
2035	3.98	18%	82%	3.01	24%	76%	2.22	32%	68%
2036	3.99	18%	82%	2.99	24%	76%	2.12	34%	66%
2037	4.10	18%	82%	3.06	24%	76%	2.13	34%	66%
2038	4.17	17%	83%	3.11	23%	77%	2.10	34%	66%
2039	4.17	17%	83%	3.07	23%	77%	2.10	34%	66%
2040	4.17	17%	83%	3.04	24%	76%	2.07	35%	65%

Tabel C-13 Fordelingsnøgle mellem genbrugte og jomfrueligt mursten

For forsyningsscenariet hvor der anvendes genbrugte mursten som erstatning til nye murstenefterspørgsel. Årligt tilgængelig mængde af genbrugte mursten: 0.06 mio. m^3. Antages statisk over analyseperiode. Behov for tilslag er angivet i mio. m^3. OBS: decimal operator er angivet som '.' og ikke som ',', aht. anvendte operator konvention i LCA programmet.

Ar	Fordeling								
	Høj efterspørgsel			Mellem efterspørgsel			Lav efterspørgsel		
	Behov	Genanvendt	Jomfrueligt	**Behov**	Genanvendt	Jomfrueligt	**Behov**	Genanvendt	Jomfrueligt
2023	0.21	28%	72%	0.19	32%	68%	0.17	36%	64%
2024	0.22	27%	73%	0.19	32%	68%	0.16	38%	62%
2025	0.23	26%	74%	0.19	31%	69%	0.16	38%	62%
2026	0.24	26%	74%	0.20	31%	69%	0.16	38%	62%
2027	0.24	25%	75%	0.20	31%	69%	0.15	39%	61%
2028	0.25	24%	76%	0.20	30%	70%	0.16	39%	61%
2029	0.25	24%	76%	0.20	31%	69%	0.15	41%	59%
2030	0.26	24%	76%	0.20	30%	70%	0.15	40%	60%
2031	0.26	23%	77%	0.21	29%	71%	0.15	40%	60%
2032	0.26	23%	77%	0.21	29%	71%	0.15	39%	61%
2033	0.26	23%	77%	0.20	30%	70%	0.15	40%	60%
2034	0.27	23%	77%	0.20	30%	70%	0.15	40%	60%
2035	0.27	22%	78%	0.21	29%	71%	0.15	40%	60%
2036	0.27	22%	78%	0.20	30%	70%	0.14	42%	58%
2037	0.28	22%	78%	0.21	29%	71%	0.15	42%	58%
2038	0.29	21%	79%	0.21	28%	72%	0.14	42%	58%
2039	0.29	21%	79%	0.21	29%	71%	0.14	42%	58%
2040	0.28	21%	79%	0.21	29%	71%	0.14	43%	57%

C.2 Anvendte processer

De anvendte processer/datasæt i openLCA modellen er listet i Tabel C-14. En række af disse datasæt er dog justeret/ændret i baggrundsdata, som beskrevet under tabellen.

Tabel C-14 Inventory data, anvendte processer og datasæt

Proces			Database	Datasæt anvendt	Reference
Flow	**Materiale**	**Brugskontekst**			
TRANSPORT	Land		ecoinvent	transport, freight, lorry, >32 metric ton, diesel, EURO 6	[13]
	Hav		ecoinvent	transport, freight, sea, bulk carrier for dry goods, heavy fuel oil	[14]
INDVINDING AF RÅSTOFFER	Sand	Indvinding til søs	ecoinvent	sand quarry operation, extraction from river bed	[15]
		Indvinding til lands	ecoinvent	gravel and sand quarry operation	[16]
	Sten	Indvinding til søs	ecoinvent	sand quarry operation, extraction from river bed	[15]
		Indvinding til lands, beton sten	ecoinvent	gravel and sand quarry operation	[17]
		Indvinding til lands, til vej	ecoinvent	gravel production, crushed	[18]
	Ler		ecoinvent	clay pit operation	[19]
	Kalksten	Til cement og klinker	ecoinvent	market for limestone, crushed, for mill	[20]
		Til mørtel, og let-/porebeton	ecoinvent	limestone production, crushed, washed	[21]
	Gips			gypsum quarry operation	[22]
KNUSNING AF STEN			ecoinvent	rock crushing	[23]

C.2.1 Justering af baggrundsdata

En række af de anvendte datasæt præsenteret i Tabel C-14, er baseret på globale eller europæiske baggrundsdata. Dette er som udgangspunkt medtaget sådan, med den ene tilpasning at strømleverandøren til den primære proces/datasæt anvendt er justeret til at repræsentere danske strøm.

Dette er en forsimplet justering, men et forsøg på at øge repræsentativiteten til studiet, da der er fokus på dansk indvundne råstoffer.

Justeringen er dog ikke foretaget for hele værdikæden, hvorfor det kun er de primære datasæt input for strøm, der er ændret.

De berørte datasæt er

- sand quarry operation, extraction from river bed
- gravel and sand quarry operation
- rock crushing
- limestone production, crushed, washed
- market for limestone, crushed, for mill
- gypsum quarry operation
- gravel production, crushed

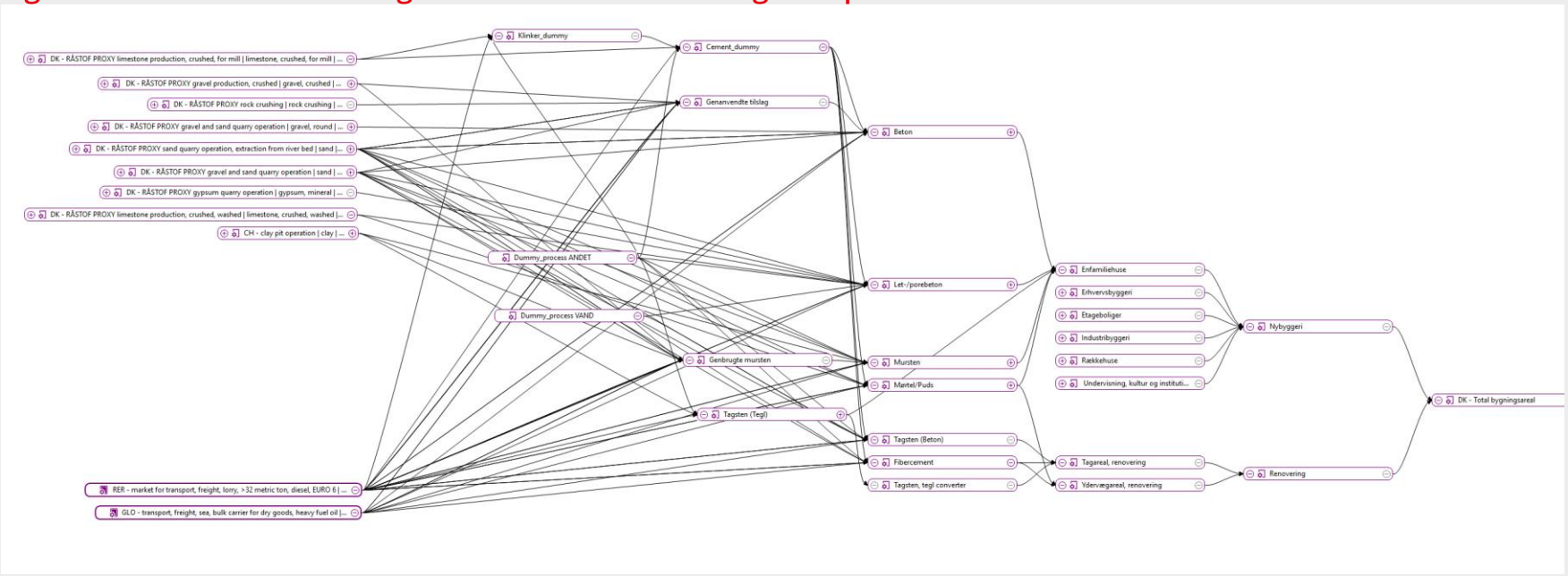
Disse benævnes som 'Råstof proxy' i nedenstående Figur C-1.

C.3 Inputdata anvendt i modellen, iht. parametrisering

Figur C-1 præsenterer en generiske model for CLCA modelleringen i openLCA, som så er styret vha. parametrisering for inputdata vedr. efterspørgsel og forsyning. Modellen beregnes årligt.

Oversigten over de anvendte input data for den parametriserede model er angivet nedenfor i Tabel C-15 - Tabel C-34, opdelt for de enkelte scenarier.

Figur C-1 Generisk model diagram for CLCA modelleringen i openLCA.



Modellen styres vha. parametrisering for inputdata vedr. efterspørgsel og forsyning.

C.3.1 Høj efterspørgsel

Tabel C-15 Datainput for den parametriserede model, Høj efterspørgsel, 2023

OBS: decimal operator er angivet som '.' og ikke som ',', aht. anvendte operator konvention i LCA programmet.

	Traditionel Forsyning	Lokalt begrænset					Cirkulær forsyning		Enhed
		Region Hovedstaden	Region Sjælland	Region Syddanmark	Region Midtjylland	Region Nordjylland	Beton tilslag	Genbrugt mursten	
Totalt byggeri	2.72E+07	6.00E+06	3.29E+06	5.79E+06	9.32E+06	2.79E+06	2.72E+07	2.72E+07	m^2
Andel_nybyggeri	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	%
Andel_renovering	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	%
Enfamiliehuse	34%	19%	40%	36%	31%	44%	34%	34%	%
Rækkehuse	13%	8%	18%	13%	12%	12%	13%	13%	%
Etageboliger	22%	43%	18%	18%	27%	14%	22%	22%	%
Erhvervsbyggeri	20%	17%	13%	22%	20%	16%	20%	20%	%
Industribyggeri	4%	5%	3%	6%	5%	6%	4%	4%	%
Div. Institutioner	7%	8%	8%	5%	5%	8%	7%	7%	%
Andel havindvinding	15%	75%	15%	13%	9%	6%	15%	15%	%
Andel landindvinding	85%	25%	85%	87%	91%	94%	85%	85%	%
Distance med skib, havindvundne råstoffer	85	38	19	180	105	93	85	85	Km
Distance med lastbil, havindvundne råstoffer	61	15	61	61	112	63	61	61	Km
Distance med lastbil, landindvundne råstoffer	55	31	42	25	52	40	55	55	km
Fraktion_genanvendt_tilslag	0%	0%	0%	0%	0%	0%	23%	0%	%
Fraktion_genbrugt_mursten	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	28%	%
Fraktion_jomfrueligt_mursten	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	72%	%
Fraktion_jomfrueligt_tilslag	100%	100%	100%	100%	100%	100%	77%	100%	%

Tabel C-16 Datainput for den parametriserede model, Høj efterspørgsel, 2024

OBS: decimal operator er angivet som '.' og ikke som ',', aht. anvendte operator konvention i LCA programmet.

	Traditionel Forsyning	Lokalt begrænset					Cirkulær forsyning		Enhed
		Region Hovedstaden	Region Sjælland	Region Syddanmark	Region Midtjylland	Region Nordjylland	Beton tilslag	Genbrugt mursten	
Totalt byggeri	2.74E+07	6.04E+06	3.32E+06	5.83E+06	9.39E+06	2.81E+06	2.74E+07	2.74E+07	m^2
Andel_nybyggeri	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	%
Andel_renovering	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	%
Enfamiliehuse	34%	19%	40%	36%	31%	44%	34%	34%	%
Rækkehuse	13%	8%	18%	13%	12%	12%	13%	13%	%
Etageboliger	21%	43%	18%	18%	27%	14%	21%	21%	%
Erhvervsbyggeri	20%	17%	13%	22%	20%	16%	20%	20%	%
Industribyggeri	4%	5%	3%	6%	5%	6%	4%	4%	%
Div. Institutioner		8%	8%	5%	5%	8%			%
Andel havindvinding	15%	75%	15%	13%	9%	6%	15%	15%	%
Andel landindvinding	85%	25%	85%	87%	91%	94%	85%	85%	%
Distance med skib, havindvundne råstoffer	85	38	19	180	105	93	85	85	Km
Distance med lastbil, havindvundne råstoffer	61	15	61	61	112	63	61	61	Km
Distance med lastbil, landindvundne råstoffer	55	31	42	25	52	40	55	55	km
Fraktion_genanvendt_tilslag	0%	0%	0%	0%	0%	0%	22%	0%	%
Fraktion_genbrugt_mursten	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	27%	%
Fraktion_jomfrueligt_mursten	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	73%	%
Fraktion_jomfrueligt_tilslag	100%	100%	100%	100%	100%	100%	78%	100%	%

Tabel C-17 Datainput for den parametriserede model, Høj efterspørgsel, 2025

OBS: decimal operator er angivet som '.' og ikke som ',', aht. anvendte operator konvention i LCA programmet.

	Traditionel Forsyning	Lokalt begrænset					Cirkulær forsyning		Enhed
		Region Hovedstaden	Region Sjælland	Region Syddanmark	Region Midtjylland	Region Nordjylland	Beton tilslag	Genbrugt mursten	
Totalt byggeri	2.76E+07	6.10E+06	3.35E+06	5.89E+06	9.47E+06	2.83E+06	2.76E+07	2.76E+07	m^2
Andel_nybyggeri	26%	26%	26%	26%	26%	26%	26%	26%	%
Andel_renovering	74%	74%	74%	74%	74%	74%	74%	74%	%
Enfamiliehuse	34%	19%	40%	36%	31%	44%	34%	34%	%
Rækkehuse	13%	8%	18%	13%	12%	12%	13%	13%	%
Etageboliger	21%	43%	18%	18%	27%	14%	21%	21%	%
Erhvervsbyggeri	20%	17%	13%	22%	20%	16%	20%	20%	%
Industribyggeri	5%	5%	3%	6%	5%	6%	5%	5%	%
Div. Institutioner	7%	8%	8%	5%	5%	8%	7%	7%	%
Andel havindvinding	15%	75%	15%	13%	9%	6%	15%	15%	%
Andel landindvinding	85%	25%	85%	87%	91%	94%	85%	85%	%
Distance med skib, havindvundne råstoffer	85	38	19	180	105	93	85	85	Km
Distance med lastbil, havindvundne råstoffer	61	15	61	61	112	63	61	61	Km
Distance med lastbil, landindvundne råstoffer	55	31	42	25	52	40	55	55	km
Fraktion_genanvendt_tilslag	0%	0%	0%	0%	0%	0%	22%	0%	%
Fraktion_genbrugt_mursten	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	26%	%
Fraktion_jomfrueligt_mursten	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	74%	%
Fraktion_jomfrueligt_tilslag	100%	100%	100%	100%	100%	100%	78%	100%	%

Tabel C-18 Datainput for den parametriserede model, Høj efterspørgsel, 2026

OBS: decimal operator er angivet som '.' og ikke som ',', aht. anvendte operator konvention i LCA programmet.

	Traditionel Forsyning	Lokalt begrænset					Cirkulær forsyning		Enhed
		Region Hovedstaden	Region Sjælland	Region Syddanmark	Region Midtjylland	Region Nordjylland	Beton tilslag	Genbrugt mursten	
Totalt byggeri	2.79E+07	6.15E+06	3.38E+06	5.94E+06	9.55E+06	2.86E+06	2.79E+07	2.79E+07	m^2
Andel_nybyggeri	26%	26%	26%	26%	26%	26%	26%	26%	%
Andel_renovering	74%	74%	74%	74%	74%	74%	74%	74%	%
Enfamiliehuse	34%	19%	40%	36%	31%	44%	34%	34%	%
Rækkehuse	13%	8%	18%	13%	12%	12%	13%	13%	%
Etageboliger	20%	43%	18%	18%	27%	14%	20%	20%	%
Erhvervsbyggeri	20%	17%	13%	22%	20%	16%	20%	20%	%
Industribyggeri	7%	5%	3%	6%	5%	6%	7%	7%	%
Div. Institutioner	7%	8%	8%	5%	5%	8%	7%	7%	%
Andel havindvinding	15%	75%	15%	13%	9%	6%	15%	15%	%
Andel landindvinding	85%	25%	85%	87%	91%	94%	85%	85%	%
Distance med skib, havindvundne råstoffer	85	38	19	180	105	93	85	85	Km
Distance med lastbil, havindvundne råstoffer	61	15	61	61	112	63	61	61	Km
Distance med lastbil, landindvundne råstoffer	55	31	42	25	52	40	55	55	km
Fraktion_genanvendt_tilslag	0%	0%	0%	0%	0%	0%	21%	0%	%
Fraktion_genbrugt_mursten	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	26%	%
Fraktion_jomfrueligt_mursten	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	74%	%
Fraktion_jomfrueligt_tilslag	100%	100%	100%	100%	100%	100%	79%	100%	%

Tabel C-19 Datainput for den parametriserede model, Høj efterspørgsel, 2027

OBS: decimal operator er angivet som '.' og ikke som ',', aht. anvendte operator konvention i LCA programmet.

	Traditionel Forsyning	Lokalt begrænset					Cirkulær forsyning		Enhed
		Region Hovedstaden	Region Sjælland	Region Syddanmark	Region Midtjylland	Region Nordjylland	Beton tilslag	Genbrugt mursten	
Totalt byggeri	2.80E+07	6.17E+06	3.39E+06	5.96E+06	9.59E+06	2.87E+06	2.80E+07	2.80E+07	m^2
Andel_nybyggeri	27%	27%	27%	27%	27%	27%	27%	27%	%
Andel_renovering	73%	73%	73%	73%	73%	73%	73%	73%	%
Enfamiliehuse	34%	19%	40%	36%	31%	44%	34%	34%	%
Rækkehuse	13%	8%	18%	13%	12%	12%	13%	13%	%
Etageboliger	18%	43%	18%	18%	27%	14%	18%	18%	%
Erhvervsbyggeri	20%	17%	13%	22%	20%	16%	20%	20%	%
Industribyggeri	8%	5%	3%	6%	5%	6%	8%	8%	%
Div. Institutioner	7%	8%	8%	5%	5%	8%	7%	7%	%
Andel havindvinding	15%	75%	15%	13%	9%	6%	15%	15%	%
Andel landindvinding	85%	25%	85%	87%	91%	94%	85%	85%	%
Distance med skib, havindvundne råstoffer	85	38	19	180	105	93	85	85	Km
Distance med lastbil, havindvundne råstoffer	61	15	61	61	112	63	61	61	Km
Distance med lastbil, landindvundne råstoffer	55	31	42	25	52	40	55	55	km
Fraktion_genanvendt_tilslag	0%	0%	0%	0%	0%	0%	21%	0%	%
Fraktion_genbrugt_mursten	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	25%	%
Fraktion_jomfrueligt_mursten	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	75%	%
Fraktion_jomfrueligt_tilslag	100%	100%	100%	100%	100%	100%	79%	100%	%

Tabel C-20 Datainput for den parametriserede model, Høj efterspørgsel, 2028

OBS: decimal operator er angivet som '.' og ikke som ',', aht. anvendte operator konvention i LCA programmet.

	Traditionel Forsyning	Lokalt begrænset					Cirkulær forsyning		Enhed
		Region Hovedstaden	Region Sjælland	Region Syddanmark	Region Midtjylland	Region Nordjylland	Beton tilslag	Genbrugt mursten	
Totalt byggeri	2.83E+07	6.25E+06	3.43E+06	6.03E+06	9.70E+06	2.90E+06	2.83E+07	2.83E+07	m^2
Andel_nybyggeri	28%	28%	28%	28%	28%	28%	28%	28%	%
Andel_renovering	72%	72%	72%	72%	72%	72%	72%	72%	%
Enfamiliehuse	33%	19%	40%	36%	31%	44%	33%	33%	%
Rækkehuse	13%	8%	18%	13%	12%	12%	13%	13%	%
Etageboliger	19%	43%	18%	18%	27%	14%	19%	19%	%
Erhvervsbyggeri	20%	17%	13%	22%	20%	16%	20%	20%	%
Industribyggeri	9%	5%	3%	6%	5%	6%	9%	9%	%
Div. Institutioner	6%	8%	8%	5%	5%	8%	6%	6%	%
Andel havindvinding	15%	75%	15%	13%	9%	6%	15%	15%	%
Andel landindvinding	85%	25%	85%	87%	91%	94%	85%	85%	%
Distance med skib, havindvundne råstoffer	85	38	19	180	105	93	85	85	Km
Distance med lastbil, havindvundne råstoffer	61	15	61	61	112	63	61	61	Km
Distance med lastbil, landindvundne råstoffer	55	31	42	25	52	40	55	55	km
Fraktion_genanvendt_tilslag	0%	0%	0%	0%	0%	0%	20%	0%	%
Fraktion_genbrugt_mursten	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	24%	%
Fraktion_jomfrueligt_mursten	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	76%	%
Fraktion_jomfrueligt_tilslag	100%	100%	100%	100%	100%	100%	80%	100%	%

Tabel C-21 Datainput for den parametriserede model, Høj efterspørgsel, 2029

OBS: decimal operator er angivet som '.' og ikke som ',', aht. anvendte operator konvention i LCA programmet.

	Traditionel Forsyning	Lokalt begrænset					Cirkulær forsyning		Enhed
		Region Hovedstaden	Region Sjælland	Region Syddanmark	Region Midtjylland	Region Nordjylland	Beton tilslag	Genbrugt mursten	
Totalt byggeri	2.82E+07	6.23E+06	3.42E+06	6.01E+06	9.67E+06	2.90E+06	2.82E+07	2.82E+07	m^2
Andel_nybyggeri	27%	27%	27%	27%	27%	27%	27%	27%	%
Andel_renovering	73%	73%	73%	73%	73%	73%	73%	73%	%
Enfamiliehuse	34%	19%	40%	36%	31%	44%	34%	34%	%
Rækkehuse	13%	8%	18%	13%	12%	12%	13%	13%	%
Etageboliger	18%	43%	18%	18%	27%	14%	18%	18%	%
Erhvervsbyggeri	20%	17%	13%	22%	20%	16%	20%	20%	%
Industribyggeri	8%	5%	3%	6%	5%	6%	8%	8%	%
Div. Institutioner	7%	8%	8%	5%	5%	8%	7%	7%	%
Andel havindvinding	15%	75%	15%	13%	9%	6%	15%	15%	%
Andel landindvinding	85%	25%	85%	87%	91%	94%	85%	85%	%
Distance med skib, havindvundne råstoffer	85	38	19	180	105	93	85	85	Km
Distance med lastbil, havindvundne råstoffer	61	15	61	61	112	63	61	61	Km
Distance med lastbil, landindvundne råstoffer	55	31	42	25	52	40	55	55	km
Fraktion_genanvendt_tilslag	0%	0%	0%	0%	0%	0%	20%	0%	%
Fraktion_genbrugt_mursten	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	24%	%
Fraktion_jomfrueligt_mursten	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	76%	%
Fraktion_jomfrueligt_tilslag	100%	100%	100%	100%	100%	100%	80%	100%	%

Tabel C-22 Datainput for den parametriserede model, Høj efterspørgsel, 2030

OBS: decimal operator er angivet som '.' og ikke som ',', aht. anvendte operator konvention i LCA programmet.

	Traditionel Forsyning	Lokalt begrænset					Cirkulær forsyning		Enhed
		Region Hovedstaden	Region Sjælland	Region Syddanmark	Region Midtjylland	Region Nordjylland	Beton tilslag	Genbrugt mursten	
Totalt byggeri	2.85E+07	6.28E+06	3.45E+06	6.06E+06	9.76E+06	2.92E+06	2.85E+07	2.85E+07	m^2
Andel_nybyggeri	28%	28%	28%	28%	28%	28%	28%	28%	%
Andel_renovering	72%	72%	72%	72%	72%	72%	72%	72%	%
Enfamiliehuse	34%	19%	40%	36%	31%	44%	34%	34%	%
Rækkehuse	13%	8%	18%	13%	12%	12%	13%	13%	%
Etageboliger	20%	43%	18%	18%	27%	14%	20%	20%	%
Erhvervsbyggeri	20%	17%	13%	22%	20%	16%	20%	20%	%
Industribyggeri	7%	5%	3%	6%	5%	6%	7%	7%	%
Div. Institutioner	7%	8%	8%	5%	5%	8%	7%	7%	%
Andel havindvinding	15%	75%	15%	13%	9%	6%	15%	15%	%
Andel landindvinding	85%	25%	85%	87%	91%	94%	85%	85%	%
Distance med skib, havindvundne råstoffer	85	38	19	180	105	93	85	85	Km
Distance med lastbil, havindvundne råstoffer	61	15	61	61	112	63	61	61	Km
Distance med lastbil, landindvundne råstoffer	55	31	42	25	52	40	55	55	km
Fraktion_genanvendt_tilslag	0%	0%	0%	0%	0%	0%	19%	0%	%
Fraktion_genbrugt_mursten	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	24%	%
Fraktion_jomfrueligt_mursten	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	76%	%
Fraktion_jomfrueligt_tilslag	100%	100%	100%	100%	100%	100%	81%	100%	%

Tabel C-23 Datainput for den parametriserede model, Høj efterspørgsel, 2031

OBS: decimal operator er angivet som '.' og ikke som ',', aht. anvendte operator konvention i LCA programmet.

	Traditionel Forsyning	Lokalt begrænset					Cirkulær forsyning		Enhed
		Region Hovedstaden	Region Sjælland	Region Syddanmark	Region Midtjylland	Region Nordjylland	Beton tilslag	Genbrugt mursten	
Totalt byggeri	2.87E+07	6.32E+06	3.47E+06	6.11E+06	9.82E+06	2.94E+06	2.87E+07	2.87E+07	m^2
Andel_nybyggeri	28%	28%	28%	28%	28%	28%	28%	28%	%
Andel_renovering	72%	72%	72%	72%	72%	72%	72%	72%	%
Enfamiliehuse	34%	19%	40%	36%	31%	44%	34%	34%	%
Rækkehuse	12%	8%	18%	13%	12%	12%	12%	12%	%
Etageboliger	21%	43%	18%	18%	27%	14%	21%	21%	%
Erhvervsbyggeri	20%	17%	13%	22%	20%	16%	20%	20%	%
Industribyggeri	7%	5%	3%	6%	5%	6%	7%	7%	%
Div. Institutioner	7%	8%	8%	5%	5%	8%	7%	7%	%
Andel havindvinding	15%	75%	15%	13%	9%	6%	15%	15%	%
Andel landindvinding	85%	25%	85%	87%	91%	94%	85%	85%	%
Distance med skib, havindvundne råstoffer	85	38	19	180	105	93	85	85	Km
Distance med lastbil, havindvundne råstoffer	61	15	61	61	112	63	61	61	Km
Distance med lastbil, landindvundne råstoffer	55	31	42	25	52	40	55	55	km
Fraktion_genanvendt_tilslag	0%	0%	0%	0%	0%	0%	19%	0%	%
Fraktion_genbrugt_mursten	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	23%	%
Fraktion_jomfrueligt_mursten	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	77%	%
Fraktion_jomfrueligt_tilslag	100%	100%	100%	100%	100%	100%	81%	100%	%

Tabel C-24 Datainput for den parametriserede model, Høj efterspørgsel, 2032

OBS: decimal operator er angivet som '.' og ikke som ',', aht. anvendte operator konvention i LCA programmet.

	Traditionel Forsyning	Lokalt begrænset					Cirkulær forsyning		Enhed
		Region Hovedstaden	Region Sjælland	Region Syddanmark	Region Midtjylland	Region Nordjylland	Beton tilslag	Genbrugt mursten	
Totalt byggeri	2.87E+07	6.34E+06	3.48E+06	6.12E+06	9.85E+06	2.95E+06	2.87E+07	2.87E+07	m^2
Andel_nybyggeri	29%	29%	29%	29%	29%	29%	29%	29%	%
Andel_renovering	71%	71%	71%	71%	71%	71%	71%	71%	%
Enfamiliehuse	34%	19%	40%	36%	31%	44%	34%	34%	%
Rækkehuse	12%	8%	18%	13%	12%	12%	12%	12%	%
Etageboliger	22%	43%	18%	18%	27%	14%	22%	22%	%
Erhvervsbyggeri	20%	17%	13%	22%	20%	16%	20%	20%	%
Industribyggeri	5%	5%	3%	6%	5%	6%	5%	5%	%
Div. Institutioner	7%	8%	8%	5%	5%	8%	7%	7%	%
Andel havindvinding	15%	75%	15%	13%	9%	6%	15%	15%	%
Andel landindvinding	85%	25%	85%	87%	91%	94%	85%	85%	%
Distance med skib, havindvundne råstoffer	85	38	19	180	105	93	85	85	Km
Distance med lastbil, havindvundne råstoffer	61	15	61	61	112	63	61	61	Km
Distance med lastbil, landindvundne råstoffer	55	31	42	25	52	40	55	55	km
Fraktion_genanvendt_tilslag	0%	0%	0%	0%	0%	0%	19%	0%	%
Fraktion_genbrugt_mursten	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	23%	%
Fraktion_jomfrueligt_mursten	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	77%	%
Fraktion_jomfrueligt_tilslag	100%	100%	100%	100%	100%	100%	81%	100%	%

Tabel C-25 Datainput for den parametriserede model, Høj efterspørgsel, 2033

OBS: decimal operator er angivet som '.' og ikke som ',', aht. anvendte operator konvention i LCA programmet.

	Traditionel Forsyning	Lokalt begrænset					Cirkulær forsyning		Enhed
		Region Hovedstaden	Region Sjælland	Region Syddanmark	Region Midtjylland	Region Nordjylland	Beton tilslag	Genbrugt mursten	
Totalt byggeri	2.87E+07	6.34E+06	3.48E+06	6.12E+06	9.85E+06	2.95E+06	2.87E+07	2.87E+07	m^2
Andel_nybyggeri	29%	29%	29%	29%	29%	29%	29%	29%	%
Andel_renovering	71%	71%	71%	71%	71%	71%	71%	71%	%
Enfamiliehuse	34%	19%	40%	36%	31%	44%	34%	34%	%
Rækkehuse	12%	8%	18%	13%	12%	12%	12%	12%	%
Etageboliger	22%	43%	18%	18%	27%	14%	22%	22%	%
Erhvervsbyggeri	20%	17%	13%	22%	20%	16%	20%	20%	%
Industribyggeri	4%	5%	3%	6%	5%	6%	4%	4%	%
Div. Institutioner	7%	8%	8%	5%	5%	8%	7%	7%	%
Andel havindvinding	15%	75%	15%	13%	9%	6%	15%	15%	%
Andel landindvinding	85%	25%	85%	87%	91%	94%	85%	85%	%
Distance med skib, havindvundne råstoffer	85	38	19	180	105	93	85	85	Km
Distance med lastbil, havindvundne råstoffer	61	15	61	61	112	63	61	61	Km
Distance med lastbil, landindvundne råstoffer	55	31	42	25	52	40	55	55	km
Fraktion_genanvendt_tilslag	0%	0%	0%	0%	0%	0%	19%	0%	%
Fraktion_genbrugt_mursten	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	23%	%
Fraktion_jomfrueligt_mursten	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	77%	%
Fraktion_jomfrueligt_tilslag	100%	100%	100%	100%	100%	100%	81%	100%	%

Tabel C-26 Datainput for den parametriserede model, Høj efterspørgsel, 2034

OBS: decimal operator er angivet som '.' og ikke som ',', aht. anvendte operator konvention i LCA programmet.

	Traditionel Forsyning	Lokalt begrænset					Cirkulær forsyning		Enhed
		Region Hovedstaden	Region Sjælland	Region Syddanmark	Region Midtjylland	Region Nordjylland	Beton tilslag	Genbrugt mursten	
Totalt byggeri	2.88E+07	6.36E+06	3.49E+06	6.14E+06	9.87E+06	2.96E+06	2.88E+07	2.88E+07	m^2
Andel_nybyggeri	29%	29%	29%	29%	29%	29%	29%	29%	%
Andel_renovering	71%	71%	71%	71%	71%	71%	71%	71%	%
Enfamiliehuse	34%	19%	40%	36%	31%	44%	34%	34%	%
Rækkehuse	12%	8%	18%	13%	12%	12%	12%	12%	%
Etageboliger	22%	43%	18%	18%	27%	14%	22%	22%	%
Erhvervsbyggeri	20%	17%	13%	22%	20%	16%	20%	20%	%
Industribyggeri	4%	5%	3%	6%	5%	6%	4%	4%	%
Div. Institutioner	7%	8%	8%	5%	5%	8%	7%	7%	%
Andel havindvinding	15%	75%	15%	13%	9%	6%	15%	15%	%
Andel landindvinding	85%	25%	85%	87%	91%	94%	85%	85%	%
Distance med skib, havindvundne råstoffer	85	38	19	180	105	93	85	85	Km
Distance med lastbil, havindvundne råstoffer	61	15	61	61	112	63	61	61	Km
Distance med lastbil, landindvundne råstoffer	55	31	42	25	52	40	55	55	km
Fraktion_genanvendt_tilslag	0%	0%	0%	0%	0%	0%	18%	0%	%
Fraktion_genbrugt_mursten	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	23%	%
Fraktion_jomfrueligt_mursten	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	77%	%
Fraktion_jomfrueligt_tilslag	100%	100%	100%	100%	100%	100%	82%	100%	%

Tabel C-27 Datainput for den parametriserede model, Høj efterspørgsel, 2035

OBS: decimal operator er angivet som '.' og ikke som ',', aht. anvendte operator konvention i LCA programmet.

	Traditionel Forsyning	Lokalt begrænset					Cirkulær forsyning		Enhed
		Region Hovedstaden	Region Sjælland	Region Syddanmark	Region Midtjylland	Region Nordjylland	Beton tilslag	Genbrugt mursten	
Totalt byggeri	2.90E+07	6.40E+06	3.51E+06	6.18E+06	9.94E+06	2.97E+06	2.90E+07	2.90E+07	m^2
Andel_nybyggeri	29%	29%	29%	29%	29%	29%	29%	29%	%
Andel_renovering	71%	71%	71%	71%	71%	71%	71%	71%	%
Enfamiliehuse	34%	19%	40%	36%	31%	44%	34%	34%	%
Rækkehuse	12%	8%	18%	13%	12%	12%	12%	12%	%
Etageboliger	22%	43%	18%	18%	27%	14%	22%	22%	%
Erhvervsbyggeri	20%	17%	13%	22%	20%	16%	20%	20%	%
Industribyggeri	4%	5%	3%	6%	5%	6%	4%	4%	%
Div. Institutioner	7%	8%	8%	5%	5%	8%	7%	7%	%
Andel havindvinding	15%	75%	15%	13%	9%	6%	15%	15%	%
Andel landindvinding	85%	25%	85%	87%	91%	94%	85%	85%	%
Distance med skib, havindvundne råstoffer	85	38	19	180	105	93	85	85	Km
Distance med lastbil, havindvundne råstoffer	61	15	61	61	112	63	61	61	Km
Distance med lastbil, landindvundne råstoffer	55	31	42	25	52	40	55	55	km
Fraktion_genanvendt_tilslag	0%	0%	0%	0%	0%	0%	18%	0%	%
Fraktion_genbrugt_mursten	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	22%	%
Fraktion_jomfrueligt_mursten	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	78%	%
Fraktion_jomfrueligt_tilslag	100%	100%	100%	100%	100%	100%	82%	100%	%

Tabel C-28 Datainput for den parametriserede model, Høj efterspørgsel, 2036

OBS: decimal operator er angivet som '.' og ikke som ',', aht. anvendte operator konvention i LCA programmet.

	Traditionel Forsyning	Lokalt begrænset					Cirkulær forsyning		Enhed
		Region Hovedstaden	Region Sjælland	Region Syddanmark	Region Midtjylland	Region Nordjylland	Beton tilslag	Genbrugt mursten	
Totalt byggeri	2.90E+07	6.40E+06	3.51E+06	6.18E+06	9.94E+06	2.98E+06	2.90E+07	2.90E+07	m^2
Andel_nybyggeri	29%	29%	29%	29%	29%	29%	29%	29%	%
Andel_renovering	71%	71%	71%	71%	71%	71%	71%	71%	%
Enfamiliehuse	35%	19%	40%	36%	31%	44%	35%	35%	%
Rækkehuse	12%	8%	18%	13%	12%	12%	12%	12%	%
Etageboliger	20%	43%	18%	18%	27%	14%	20%	20%	%
Erhvervsbyggeri	20%	17%	13%	22%	20%	16%	20%	20%	%
Industribyggeri	6%	5%	3%	6%	5%	6%	6%	6%	%
Div. Institutioner	7%	8%	8%	5%	5%	8%	7%	7%	%
Andel havindvinding	15%	75%	15%	13%	9%	6%	15%	15%	%
Andel landindvinding	85%	25%	85%	87%	91%	94%	85%	85%	%
Distance med skib, havindvundne råstoffer	85	38	19	180	105	93	85	85	Km
Distance med lastbil, havindvundne råstoffer	61	15	61	61	112	63	61	61	Km
Distance med lastbil, landindvundne råstoffer	55	31	42	25	52	40	55	55	km
Fraktion_genanvendt_tilslag	0%	0%	0%	0%	0%	0%	18%	0%	%
Fraktion_genbrugt_mursten	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	22%	%
Fraktion_jomfrueligt_mursten	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	78%	%
Fraktion_jomfrueligt_tilslag	100%	100%	100%	100%	100%	100%	82%	100%	%

Tabel C-29 Datainput for den parametriserede model, Høj efterspørgsel, 2037

OBS: decimal operator er angivet som '.' og ikke som ',', aht. anvendte operator konvention i LCA programmet.

	Traditionel Forsyning	Lokalt begrænset					Cirkulær forsyning		Enhed
		Region Hovedstaden	Region Sjælland	Region Syddanmark	Region Midtjylland	Region Nordjylland	Beton tilslag	Genbrugt mursten	
Totalt byggeri	2.92E+07	6.45E+06	3.54E+06	6.23E+06	1.00E+07	3.00E+06	2.92E+07	2.92E+07	m^2
Andel_nybyggeri	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	%
Andel_renovering	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	%
Enfamiliehuse	34%	19%	40%	36%	31%	44%	34%	34%	%
Rækkehuse	12%	8%	18%	13%	12%	12%	12%	12%	%
Etageboliger	20%	43%	18%	18%	27%	14%	20%	20%	%
Erhvervsbyggeri	20%	17%	13%	22%	20%	16%	20%	20%	%
Industribyggeri	7%	5%	3%	6%	5%	6%	7%	7%	%
Div. Institutioner	7%	8%	8%	5%	5%	8%	7%	7%	%
Andel havindvinding	15%	75%	15%	13%	9%	6%	15%	15%	%
Andel landindvinding	85%	25%	85%	87%	91%	94%	85%	85%	%
Distance med skib, havindvundne råstoffer	85	38	19	180	105	93	85	85	Km
Distance med lastbil, havindvundne råstoffer	61	15	61	61	112	63	61	61	Km
Distance med lastbil, landindvundne råstoffer	55	31	42	25	52	40	55	55	km
Fraktion_genanvendt_tilslag	0%	0%	0%	0%	0%	0%	18%	0%	%
Fraktion_genbrugt_mursten	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	22%	%
Fraktion_jomfrueligt_mursten	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	78%	%
Fraktion_jomfrueligt_tilslag	100%	100%	100%	100%	100%	100%	82%	100%	%

Tabel C-30 Datainput for den parametriserede model, Høj efterspørgsel, 2038

OBS: decimal operator er angivet som '.' og ikke som ',', aht. anvendte operator konvention i LCA programmet.

	Traditionel Forsyning	Lokalt begrænset					Cirkulær forsyning		Enhed
		Region Hovedstaden	Region Sjælland	Region Syddanmark	Region Midtjylland	Region Nordjylland	Beton tilslag	Genbrugt mursten	
Totalt byggeri	2.94E+07	6.49E+06	3.56E+06	6.26E+06	1.01E+07	3.02E+06	2.94E+07	2.94E+07	m^2
Andel_nybyggeri	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	%
Andel_renovering	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	%
Enfamiliehuse	34%	19%	40%	36%	31%	44%	34%	34%	%
Rækkehuse	12%	8%	18%	13%	12%	12%	12%	12%	%
Etageboliger	20%	43%	18%	18%	27%	14%	20%	20%	%
Erhvervsbyggeri	20%	17%	13%	22%	20%	16%	20%	20%	%
Industribyggeri	8%	5%	3%	6%	5%	6%	8%	8%	%
Div. Institutioner	7%	8%	8%	5%	5%	8%	7%	7%	%
Andel havindvinding	15%	75%	15%	13%	9%	6%	15%	15%	%
Andel landindvinding	85%	25%	85%	87%	91%	94%	85%	85%	%
Distance med skib, havindvundne råstoffer	85	38	19	180	105	93	85	85	Km
Distance med lastbil, havindvundne råstoffer	61	15	61	61	112	63	61	61	Km
Distance med lastbil, landindvundne råstoffer	55	31	42	25	52	40	55	55	km
Fraktion_genanvendt_tilslag	0%	0%	0%	0%	0%	0%	17%	0%	%
Fraktion_genbrugt_mursten	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	21%	%
Fraktion_jomfrueligt_mursten	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	79%	%
Fraktion_jomfrueligt_tilslag	100%	100%	100%	100%	100%	100%	83%	100%	%

Tabel C-31 Datainput for den parametriserede model, Høj efterspørgsel, 2039

OBS: decimal operator er angivet som '.' og ikke som ',', aht. anvendte operator konvention i LCA programmet.

	Traditionel Forsyning	Lokalt begrænset					Cirkulær forsyning		Enhed
		Region Hovedstaden	Region Sjælland	Region Syddanmark	Region Midtjylland	Region Nordjylland	Beton tilslag	Genbrugt mursten	
Totalt byggeri	2.94E+07	6.49E+06	3.56E+06	6.26E+06	1.01E+07	3.02E+06	2.94E+07	2.94E+07	m^2
Andel_nybyggeri	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	%
Andel_renovering	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	%
Enfamiliehuse	34%	19%	40%	36%	31%	44%	34%	34%	%
Rækkehuse	12%	8%	18%	13%	12%	12%	12%	12%	%
Etageboliger	20%	43%	18%	18%	27%	14%	20%	20%	%
Erhvervsbyggeri	20%	17%	13%	22%	20%	16%	20%	20%	%
Industribyggeri	6%	5%	3%	6%	5%	6%	6%	6%	%
Div. Institutioner	7%	8%	8%	5%	5%	8%	7%	7%	%
Andel havindvinding	15%	75%	15%	13%	9%	6%	15%	15%	%
Andel landindvinding	85%	25%	85%	87%	91%	94%	85%	85%	%
Distance med skib, havindvundne råstoffer	85	38	19	180	105	93	85	85	Km
Distance med lastbil, havindvundne råstoffer	61	15	61	61	112	63	61	61	Km
Distance med lastbil, landindvundne råstoffer	55	31	42	25	52	40	55	55	km
Fraktion_genanvendt_tilslag	0%	0%	0%	0%	0%	0%	17%	0%	%
Fraktion_genbrugt_mursten	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	21%	%
Fraktion_jomfrueligt_mursten	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	79%	%
Fraktion_jomfrueligt_tilslag	100%	100%	100%	100%	100%	100%	83%	100%	%

Tabel C-32 Datainput for den parametriserede model, Høj efterspørgsel, 2040

OBS: decimal operator er angivet som '.' og ikke som ',', aht. anvendte operator konvention i LCA programmet.

	Traditionel Forsyning	Lokalt begrænset					Cirkulær forsyning		Enhed
		Region Hovedstaden	Region Sjælland	Region Syddanmark	Region Midtjylland	Region Nordjylland	Beton tilslag	Genbrugt mursten	
Totalt byggeri	2.94E+07	6.48E+06	3.56E+06	6.26E+06	1.01E+07	3.01E+06	2.94E+07	2.94E+07	m^2
Andel_nybyggeri	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	%
Andel_renovering	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	%
Enfamiliehuse	35%	19%	40%	36%	31%	44%	35%	35%	%
Rækkehuse	12%	8%	18%	13%	12%	12%	12%	12%	%
Etageboliger	20%	43%	18%	18%	27%	14%	20%	20%	%
Erhvervsbyggeri	21%	17%	13%	22%	20%	16%	21%	21%	%
Industribyggeri	6%	5%	3%	6%	5%	6%	6%	6%	%
Div. Institutioner	7%	8%	8%	5%	5%	8%	7%	7%	%
Andel havindvinding	15%	75%	15%	13%	9%	6%	15%	15%	%
Andel landindvinding	85%	25%	85%	87%	91%	94%	85%	85%	%
Distance med skib, havindvundne råstoffer	85	38	19	180	105	93	85	85	Km
Distance med lastbil, havindvundne råstoffer	61	15	61	61	112	63	61	61	Km
Distance med lastbil, landindvundne råstoffer	55	31	42	25	52	40	55	55	km
Fraktion_genanvendt_tilslag	0%	0%	0%	0%	0%	0%	17%	0%	%
Fraktion_genbrugt_mursten	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	21%	%
Fraktion_jomfrueligt_mursten	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	79%	%
Fraktion_jomfrueligt_tilslag	100%	100%	100%	100%	100%	100%	83%	100%	%

C.3.2 Mellem efterspørgsel

Tabel C-33 Datainput for den parametriserede model, Mellem efterspørgsel, 2030

OBS: decimal operator er angivet som '.' og ikke som ',', aht. anvendte operator konvention i LCA programmet.

	Traditionel Forsyning	Lokalt begrænset					Cirkulær forsyning		Enhed
		Region Hovedstaden	Region Sjælland	Region Syddanmark	Region Midtjylland	Region Nordjylland	Beton tilslag	Genbrugt mursten	
Totalt byggeri	3.09E+07	6.82E+06	3.75E+06	6.59E+06	1.06E+07	3.17E+06	3.09E+07	3.09E+07	m^2
Andel_nybyggeri	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	%
Andel_renovering	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	%
Enfamiliehuse	35%	19%	40%	36%	31%	44%	35%	35%	%
Rækkehuse	12%	8%	18%	13%	12%	12%	12%	12%	%
Etageboliger	22%	43%	18%	18%	27%	14%	22%	22%	%
Erhvervsbyggeri	20%	17%	13%	22%	20%	16%	20%	20%	%
Industribyggeri	5%	5%	3%	6%	5%	6%	5%	5%	%
Div. Institutioner	6%	8%	8%	5%	5%	8%	6%	6%	%
Andel havindvinding	15%	75%	15%	13%	9%	6%	15%	15%	%
Andel landindvinding	85%	25%	85%	87%	91%	94%	85%	85%	%
Distance med skib, havindvundne råstoffer	85	38	19	180	105	93	85	85	Km
Distance med lastbil, havindvundne råstoffer	61	15	61	61	112	63	61	61	Km
Distance med lastbil, landindvundne råstoffer	55	31	42	25	52	40	55	55	km
Fraktion_genanvendt_tilslag	0%	0%	0%	0%	0%	0%	24%	0%	%
Fraktion_genbrugt_mursten	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	30%	%
Fraktion_jomfrueligt_mursten	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	70%	%
Fraktion_jomfrueligt_tilslag	100%	100%	100%	100%	100%	100%	76%	100%	%

C.3.3 Lav efterspørgsel

Tabel C-34 Datainput for den parametriserede model, Lav efterspørgsel, 2030

OBS: decimal operator er angivet som '.' og ikke som ',', aht. anvendte operator konvention i LCA programmet.

	Traditionel Forsyning	Lokalt begrænset					Cirkulær forsyning		Enhed
		Region Hovedstaden	Region Sjælland	Region Syddanmark	Region Midtjylland	Region Nordjylland	Beton tilslag	Genbrugt mursten	
Totalt byggeri	3.95E+07	8.72E+06	4.79E+06	8.42E+06	1.35E+07	4.05E+06	3.95E+07	3.95E+07	m^2
Andel_nybyggeri	12%	12%	12%	12%	12%	12%	12%	12%	%
Andel_renovering	88%	88%	88%	88%	88%	88%	88%	88%	%
Enfamiliehuse	37%	19%	40%	36%	31%	44%	37%	37%	%
Rækkehuse	11%	8%	18%	13%	12%	12%	11%	11%	%
Etageboliger	27%	43%	18%	18%	27%	14%	27%	27%	%
Erhvervsbyggeri	19%	17%	13%	22%	20%	16%	19%	19%	%
Industribyggeri	0%	5%	3%	6%	5%	6%	0%	0%	%
Div. Institutioner	6%	8%	8%	5%	5%	8%	6%	6%	%
Andel havindvinding	15%	75%	15%	13%	9%	6%	15%	15%	%
Andel landindvinding	85%	25%	85%	87%	91%	94%	85%	85%	%
Distance med skib, havindvundne råstoffer	85	38	19	180	105	93	85	85	Km
Distance med lastbil, havindvundne råstoffer	61	15	61	61	112	63	61	61	Km
Distance med lastbil, landindvundne råstoffer	55	31	42	25	52	40	55	55	km
Fraktion_genanvendt_tilslag	0%	0%	0%	0%	0%	0%	33%	0%	%
Fraktion_genbrugt_mursten	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	40%	%
Fraktion_jomfrueligt_mursten	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	60%	%
Fraktion_jomfrueligt_tilslag	100%	100%	100%	100%	100%	100%	67%	100%	%

Bilag D Resultattabeller CLCA

D.1 Hovedresultater

Resultattabeller, hvorpå hovedrapportens figurer er baseret, er præsenteret i Tabel D-1 - Tabel D-4 for midpoint kategorierne og Tabel D-5 for endpoint kategorien.

D.1.1 Midpoint

Tabel D-1 Resultatudtræk for udvalgte midpoint kategorier, højt efterspørgselsscenarie med traditionel forsyning

Enheden varierer på tværs af påvirkningskategorier. OBS: decimal operator er angivet som '.' og ikke som ',', aht. anvendte operator konvention i LCA programmet.

	Miljøpåvirkninger			
	Midpoint kategorier			
	Fine particulate matter formation	Global warming	Land use	Mineral resource scarcity
Ar	[kg PM2.5 eq]	[kg CO_2 eq]	[m^2a crop eq]	[kg Cu eq]
2023	1.08E+05	6.35E+07	1.76E+07	1.05E+07
2024	1.02E+05	6.01E+07	1.66E+07	1.02E+07
2025	1.14E+05	6.73E+07	1.87E+07	1.11E+07
2026	1.18E+05	6.95E+07	1.93E+07	1.14E+07
2027	1.19E+05	7.02E+07	1.96E+07	1.15E+07
2028	1.24E+05	7.33E+07	2.05E+07	1.19E+07
2029	1.23E+05	7.22E+07	2.01E+07	1.18E+07
2030	1.27E+05	7.50E+07	2.09E+07	1.22E+07
2031	1.31E+05	7.70E+07	2.15E+07	1.25E+07
2032	1.32E+05	7.77E+07	2.17E+07	1.26E+07
2033	1.32E+05	7.76E+07	2.16E+07	1.26E+07
2034	1.33E+05	7.82E+07	2.18E+07	1.27E+07
2035	1.36E+05	8.01E+07	2.23E+07	1.30E+07
2036	1.35E+05	7.97E+07	2.22E+07	1.30E+07
2037	1.39E+05	8.19E+07	2.29E+07	1.32E+07
2038	1.41E+05	8.34E+07	2.33E+07	1.34E+07
2039	1.41E+05	8.34E+07	2.33E+07	1.35E+07
2040	1.41E+05	8.32E+07	2.32E+07	1.35E+07
SUM (2023-2040)	**2.30E+06**	**1.35E+09**	**3.77E+08**	**2.21E+08**

Tabel D-2 Resultatudtræk for udvalgte midpoint kategorier, højt efterspørgselsscenarie med lokalt begrænset forsyning

Enheden varierer på tværs af påvirkningskategorier. OBS: decimal operator er angivet som '.' og ikke som ',', aht. anvendte operator konvention i LCA programmet.

	Miljøpåvirkninger			
	Midpoint kategorier			
	Fine particulate matter formation	Global warming	Land use	Mineral resource scarcity
Ar	[kg PM2.5 eq]	[kg CO_2 eq]	[m^2a crop eq]	[kg Cu eq]
2023	1.02E+05	5.43E+07	2.41E+07	1.04E+07
2024	1.05E+05	5.58E+07	2.48E+07	1.07E+07
2025	1.09E+05	5.77E+07	2.57E+07	1.10E+07
2026	1.13E+05	5.96E+07	2.65E+07	1.14E+07
2027	1.14E+05	6.05E+07	2.69E+07	1.15E+07
2028	1.19E+05	6.30E+07	2.81E+07	1.20E+07
2029	1.18E+05	6.24E+07	2.78E+07	1.18E+07
2030	1.21E+05	6.43E+07	2.87E+07	1.22E+07
2031	1.24E+05	6.58E+07	2.94E+07	1.25E+07
2032	1.25E+05	6.64E+07	2.96E+07	1.26E+07
2033	1.25E+05	6.64E+07	2.96E+07	1.26E+07
2034	1.26E+05	6.70E+07	2.99E+07	1.27E+07
2035	1.29E+05	6.84E+07	3.06E+07	1.29E+07
2036	1.29E+05	6.85E+07	3.06E+07	1.29E+07
2037	1.33E+05	7.03E+07	3.14E+07	1.32E+07
2038	1.35E+05	7.17E+07	3.20E+07	1.35E+07
2039	1.35E+05	7.17E+07	3.20E+07	1.35E+07
2040	1.35E+05	7.16E+07	3.19E+07	1.35E+07
SUM (2023-2040)	**2.20E+06**	**1.17E+09**	**5.20E+08**	**2.21E+08**

Tabel D-3 Resultatudtræk for udvalgte midpoint kategorier, højt efterspørgselsscenarie med cirkulær, beton

Cirkulær forsyning i form af genanvendte tilslag til beton. Enheden varierer på tværs af påvirkningskategorier. OBS: decimal operator er angivet som '.' og ikke som ',', aht. anvendte operator konvention i LCA programmet.

	Miljøpåvirkninger			
	Midpoint kategorier			
	Fine particulate matter formation	Global warming	Land use	Mineral resource scarcity
Ar	[kg PM2.5 eq]	[kg CO_2 eq]	[m^2a crop eq]	[kg Cu eq]
2023	1.03E+05	6.23E+07	1.61E+07	1.05E+07
2024	9.76E+04	5.91E+07	1.52E+07	1.02E+07
2025	1.09E+05	6.61E+07	1.72E+07	1.11E+07
2026	1.13E+05	6.83E+07	1.79E+07	1.14E+07
2027	1.14E+05	6.91E+07	1.81E+07	1.15E+07
2028	1.19E+05	7.22E+07	1.90E+07	1.19E+07
2029	1.18E+05	7.11E+07	1.86E+07	1.18E+07
2030	1.22E+05	7.38E+07	1.94E+07	1.22E+07
2031	1.26E+05	7.59E+07	2.00E+07	1.25E+07
2032	1.27E+05	7.65E+07	2.02E+07	1.26E+07
2033	1.27E+05	7.64E+07	2.01E+07	1.27E+07
2034	1.28E+05	7.70E+07	2.03E+07	1.28E+07
2035	1.31E+05	7.89E+07	2.08E+07	1.30E+07
2036	1.30E+05	7.86E+07	2.08E+07	1.30E+07
2037	1.34E+05	8.07E+07	2.14E+07	1.33E+07
2038	1.37E+05	8.23E+07	2.18E+07	1.35E+07
2039	1.36E+05	8.22E+07	2.18E+07	1.35E+07
2040	1.36E+05	8.20E+07	2.17E+07	1.35E+07
SUM (2023-2040)	**2.21E+06**	**1.33E+09**	**3.50E+08**	**2.21E+08**

Tabel D-4 Resultatudtræk for udvalgte midpoint kategorier, højt efterspørgselsscenarie med cirkulær, mursten

Cirkulær forsyning i form af genbrugte mursten. Enheden varierer på tværs af påvirkningskategorier. OBS: decimal operator er angivet som '.' og ikke som ',', aht. anvendte operator konvention i LCA programmet.

	Miljøpåvirkninger			
	Midpoint kategorier			
	Fine particulate matter formation	Global warming	Land use	Mineral resource scarcity
Ar	[kg PM2.5 eq]	[kg CO_2 eq]	[m^2a crop eq]	[kg Cu eq]
2023	1.05E+05	6.21E+07	1.77E+07	8.55E+06
2024	9.92E+04	5.88E+07	1.67E+07	8.33E+06
2025	1.11E+05	6.59E+07	1.88E+07	9.12E+06
2026	1.15E+05	6.81E+07	1.94E+07	9.44E+06
2027	1.16E+05	6.89E+07	1.96E+07	9.57E+06
2028	1.21E+05	7.20E+07	2.05E+07	9.99E+06
2029	1.20E+05	7.09E+07	2.02E+07	9.89E+06
2030	1.24E+05	7.36E+07	2.10E+07	1.03E+07
2031	1.28E+05	7.57E+07	2.16E+07	1.05E+07
2032	1.29E+05	7.63E+07	2.17E+07	1.07E+07
2033	1.29E+05	7.62E+07	2.17E+07	1.07E+07
2034	1.30E+05	7.68E+07	2.19E+07	1.08E+07
2035	1.33E+05	7.87E+07	2.24E+07	1.10E+07
2036	1.32E+05	7.84E+07	2.23E+07	1.10E+07
2037	1.36E+05	8.05E+07	2.29E+07	1.13E+07
2038	1.38E+05	8.21E+07	2.34E+07	1.15E+07
2039	1.38E+05	8.20E+07	2.33E+07	1.15E+07
2040	1.38E+05	8.18E+07	2.33E+07	1.15E+07
SUM (2023-2040)	**2.24E+06**	**1.33E+09**	**3.78E+08**	**1.86E+08**

D.1.2 Endpoint

Tabel D-5 Resultatudtræk for udvalgte endpoint kategorier, højt efterspørgselsscenarie med alle forsyningsscenarier

Enheden for endpoint impact kategorien 'Ecosystems quality' er *species.yr.* OBS: decimal operator er angivet som '.' og ikke som ',', aht. anvendte operator konvention i LCA programmet.

	Miljøpåvirkninger			
	Ecosystem quality			
Ar	Traditionel forsyning	Lokalt begrænset	CØ beton	CØ mursten
2023	5.24E-01	5.43E-01	4.85E-01	5.17E-01
2024	4.95E-01	5.58E-01	4.59E-01	4.89E-01
2025	5.56E-01	5.78E-01	5.16E-01	5.49E-01
2026	5.75E-01	5.97E-01	5.35E-01	5.68E-01
2027	5.81E-01	6.06E-01	5.41E-01	5.74E-01
2028	6.07E-01	6.32E-01	5.67E-01	6.00E-01
2029	5.97E-01	6.25E-01	5.58E-01	5.91E-01
2030	6.20E-01	6.44E-01	5.81E-01	6.14E-01
2031	6.38E-01	6.60E-01	5.98E-01	6.31E-01
2032	6.43E-01	6.66E-01	6.03E-01	6.36E-01
2033	6.42E-01	6.66E-01	6.02E-01	6.35E-01
2034	6.47E-01	6.72E-01	6.07E-01	6.40E-01
2035	6.63E-01	6.86E-01	6.23E-01	6.56E-01
2036	6.60E-01	6.87E-01	6.21E-01	6.53E-01
2037	6.78E-01	7.05E-01	6.38E-01	6.71E-01
2038	6.91E-01	7.19E-01	6.51E-01	6.84E-01
2039	6.90E-01	7.19E-01	6.51E-01	6.84E-01
2040	6.89E-01	7.18E-01	6.49E-01	6.82E-01
SUM (2023-2040)	**1.12E+01**	**1.17E+01**	**1.05E+01**	**1.11E+01**

D.2 Massestrømsanalyse

Resultattabeller for massestrømsanalysen, hvorpå hovedrapportens figurer er baseret, er præsenteret i Tabel D-6 - Tabel D-11.

Tabel D-6 Massestrømsanalyse for sand, sten og ler, totaler for nybyggeri og renovering, ved høj efterspørgsel

Angivet i 1000 m^3 bygningsareal

	Råstof		
Ar	Sand	Sten	Ler
2023	1787	1922	360
2024	1831	1971	367
2025	1893	2044	374
2026	1950	2112	379
2027	1972	2136	382
2028	2059	2241	389
2029	2028	2201	390
2030	2099	2285	398
2031	2155	2351	404
2032	2177	2377	409
2033	2172	2369	411
2034	2186	2385	414
2035	2237	2446	419
2036	2229	2435	419
2037	2290	2508	424
2038	2331	2556	427
2039	2327	2550	430
2040	2320	2540	431
SUM (2023-2040)	**38046**	**41428**	**7227**

Tabel D-7 Massestrømsanalyse for sand, sten og ler, opdelt for nybyggeri og renovering, ved høj efterspørgsel

Angivet i 1000 m^3 bygningsareal

	Fordeling					
	Sand		Sten		Ler	
Ar	Nybyggeri	Renovering	Nybyggeri	Renovering	Nybyggeri	Renovering
2023	1661	126	1922	0	226	134
2024	1705	126	1971	0	233	134
2025	1767	126	2044	0	240	134
2026	1824	126	2112	0	245	134
2027	1846	126	2136	0	248	134
2028	1933	126	2241	0	256	134
2029	1902	126	2201	0	256	134
2030	1973	126	2285	0	264	134
2031	2029	126	2351	0	270	134
2032	2051	126	2377	0	275	134
2033	2046	126	2369	0	277	134
2034	2060	126	2385	0	280	134
2035	2111	126	2446	0	285	134
2036	2103	126	2435	0	285	134
2037	2164	126	2508	0	290	134
2038	2205	126	2556	0	293	134
2039	2201	126	2550	0	296	134
2040	2194	126	2540	0	297	134
SUM (2023-2040)	**35777**	**2269**	**41428**	**0**	**4817**	**2410**

Tabel D-8 Massestrømsanalyse for sand, sten og ler, totaler for nybyggeri og renovering, ved mellem efterspørgsel

Angivet i 1000 m^3 bygningsareal

	Råstof		
Ar	Sand	Sten	Ler
2023	1622	1699	366
2024	1618	1693	366
2025	1643	1723	368
2026	1668	1754	369
2027	1661	1744	368
2028	1722	1819	372
2029	1666	1751	369
2030	1714	1809	374
2031	1749	1850	378
2032	1751	1852	380
2033	1725	1821	380
2034	1721	1816	380
2035	1754	1855	383
2036	1729	1824	380
2037	1773	1878	383
2038	1797	1907	384
2039	1777	1883	385
2040	1755	1855	384
SUM (2023-2040)	**30845**	**32534**	**6767**

Tabel D-9 Massestrømsanalyse for sand, sten og ler, opdelt for nybyggeri og renovering, ved mellem efterspørgsel

Angivet i 1000 m^3 bygningsareal

	Fordeling					
	Sand		Sten		Ler	
Ar	Nybyggeri	Renovering	Nybyggeri	Renovering	Nybyggeri	Renovering
2023	1471	151	1699	0	205	161
2024	1467	151	1693	0	205	161
2025	1492	151	1723	0	207	161
2026	1517	151	1754	0	208	161
2027	1509	151	1744	0	207	161
2028	1571	151	1819	0	211	161
2029	1515	151	1751	0	209	161
2030	1563	151	1809	0	214	161
2031	1597	151	1850	0	217	161
2032	1599	151	1852	0	219	161
2033	1574	151	1821	0	219	161
2034	1570	151	1816	0	219	161
2035	1602	151	1855	0	222	161
2036	1577	151	1824	0	219	161
2037	1621	151	1878	0	222	161
2038	1645	151	1907	0	224	161
2039	1626	151	1883	0	224	161
2040	1603	151	1855	0	223	161
SUM (2023-2040)	**28122**	**2723**	**32534**	**0**	**3876**	**2892**

Tabel D-10 Massestrømsanalyse for sand, sten og ler, totaler for nybyggeri og renovering, ved lav efterspørgsel

Angivet i 1000 m^3 bygningsareal

	Råstof		
Ar	Sand	Sten	Ler
2023	1494	1474	411
2024	1444	1416	405
2025	1432	1403	402
2026	1425	1397	399
2027	1389	1355	394
2028	1424	1399	395
2029	1345	1303	389
2030	1370	1335	391
2031	1398	1370	393
2032	1419	1397	394
2033	1411	1388	392
2034	1392	1366	390
2035	1410	1389	391
2036	1343	1308	385
2037	1354	1322	385
2038	1338	1303	384
2039	1340	1306	383
2040	1322	1285	381
SUM (2023-2040)	**25049**	**24518**	**7065**

Tabel D-11 Massestrømsanalyse for sand, sten og ler, opdelt for nybyggeri og renovering, ved lav efterspørgsel

Angivet i 1000 m^3 bygningsareal

	Fordeling					
	Sand		Sten		Ler	
Ar	Nybyggeri	Renovering	Nybyggeri	Renovering	Nybyggeri	Renovering
2023	1280	214	1474	0	183	228
2024	1229	214	1416	0	177	228
2025	1217	214	1403	0	174	228
2026	1210	214	1397	0	171	228
2027	1175	214	1355	0	167	228
2028	1210	214	1399	0	167	228
2029	1130	214	1303	0	162	228
2030	1156	214	1335	0	164	228
2031	1183	214	1370	0	165	228
2032	1205	214	1397	0	166	228
2033	1197	214	1388	0	165	228
2034	1177	214	1366	0	162	228
2035	1196	214	1389	0	163	228
2036	1129	214	1308	0	158	228
2037	1140	214	1322	0	158	228
2038	1124	214	1303	0	156	228
2039	1125	214	1306	0	156	228
2040	1108	214	1285	0	154	228
SUM (2023-2040)	**21192**	**3858**	**24518**	**0**	**2968**	**4097**

D.3 Følsomhedsanalyser

Resultattabeller for følsomhedsanalyserne, hvorpå hovedrapportens figurer og sensitivitetsratio er baseret, er præsenteret i Tabel D-12 - Tabel D-18, opdelt i underafsnit.

D.3.1 Transportafstande af råstoffer

Tabel D-12 Resultatudtræk fra openLCA for udvalgte midpoint impact kategorier til følsomhedsanalyse, transportafstande af råstoffer, høj efterspørgsel, traditionel forsyning, 2030

Enheden varierer på tværs af påvirkningskategorier. OBS: decimal operator er angivet som '.' og ikke som ',', aht. anvendte operator konvention i LCA programmet.

Midpoint kategorier		Miljøpåvirkninger				
		Følsomhedsvariant				
		Reference	LAND transportafstande +50%	LAND transportafstande -50%	HAV transportafstande +50%	HAV transportafstande -50%
Fine particulate matter formation	[kg PM2.5 eq]	1.27E+05	1.48E+05	1.27E+05	1.31E+05	1.23E+05
Global warming	[kg CO_2 eq]	7.50E+07	1.01E+08	7.50E+07	7.86E+07	7.14E+07
Land use	[m^2a crop eq]	2.09E+07	2.27E+07	2.09E+07	2.11E+07	2.07E+07
Mineral resource scarcity	[kg Cu eq]	1.22E+07	1.23E+07	1.22E+07	1.22E+07	1.22E+07

Tabel D-13 Resultatudtræk fra openLCA for udvalgte midpoint impact kategorier til følsomhedsanalyse, transportafstande af råstoffer, høj efterspørgsel, lokalt begrænset forsyning, 2030

Enheden varierer på tværs af påvirkningskategorier. OBS: decimal operator er angivet som '.' og ikke som ',', aht. anvendte operator konvention i LCA programmet.

		Miljøpåvirkninger				
		Følsomhedsvariant				
Midpoint kategorier		Reference	LAND transportafstande +50%	LAND transportafstande -50%	HAV transportafstande +50%	HAV transportafstande -50%
Fine particulate matter formation	[kg PM2.5 eq]	1.21E+05	1.48E+05	1.10E+05	1.26E+05	1.17E+05
Global warming	[kg CO_2 eq]	6.43E+07	1.01E+08	5.05E+07	6.81E+07	6.06E+07
Land use	[m^2a crop eq]	2.87E+07	2.27E+07	2.77E+07	2.89E+07	2.84E+07
Mineral resource scarcity	[kg Cu eq]	1.22E+07	1.23E+07	1.21E+07	1.22E+07	1.22E+07

Tabel D-14 Resultatudtræk fra openLCA for udvalgte midpoint impact kategorier til følsomhedsanalyse, transportafstande af råstoffer, høj efterspørgsel, med cirkulær forsyning i form af genanvendte tilslag til beton, 2030

Enheden varierer på tværs af påvirkningskategorier. OBS: decimal operator er angivet som '.' og ikke som ',', aht. anvendte operator konvention i LCA programmet.

		Miljøpåvirkninger				
		Følsomhedsvariant				
Midpoint kategorier		Reference	LAND transportafstande +50%	LAND transportafstande -50%	HAV transportafstande +50%	HAV transportafstande -50%
Fine particulate matter formation	[kg PM2.5 eq]	1.22E+05	1.48E+05	1.22E+05	1.26E+05	1.19E+05
Global warming	[kg CO_2 eq]	7.38E+07	1.01E+08	7.38E+07	7.71E+07	7.06E+07
Land use	[m^2a crop eq]	1.94E+07	2.27E+07	1.94E+07	1.96E+07	1.92E+07
Mineral resource scarcity	[kg Cu eq]	1.22E+07	1.23E+07	1.22E+07	1.22E+07	1.22E+07

Tabel D-15 Resultatudtræk fra openLCA for udvalgte midpoint impact kategorier til følsomhedsanalyse, transportafstande af råstoffer, høj efterspørgsel, cirkulær forsyning i form af genbrugte mursten, 2030

Enheden varierer på tværs af påvirkningskategorier. OBS: decimal operator er angivet som '.' og ikke som ',', aht. anvendte operator konvention i LCA programmet.

Midpoint kategorier		Miljøpåvirkninger				
		Følsomhedsvariant				
		Reference	LAND transportafstande +50%	LAND transportafstande -50%	HAV transportafstande +50%	HAV transportafstande -50%
Fine particulate matter formation	[kg PM2.5 eq]	1.24E+05	1.48E+05	1.24E+05	1.28E+05	1.20E+05
Global warming	[kg CO_2 eq]	7.36E+07	1.01E+08	7.36E+07	7.73E+07	7.00E+07
Land use	[m^2a crop eq]	2.10E+07	2.27E+07	2.10E+07	2.12E+07	2.07E+07
Mineral resource scarcity	[kg Cu eq]	1.03E+07	1.23E+07	1.03E+07	1.03E+07	1.02E+07

D.3.2 Potentialet for genbrug af mursten i forsyningsscenarie

Tabel D-16 Resultatudtræk fra openLCA for udvalgte midpoint impact kategorier, for følsomhedsanalysen af genbrug af mursten i forsyningsscenarie

Enheden varierer på tværs af påvirkningskategorier. OBS: decimal operator er angivet som '.' og ikke som ',', aht. anvendte operator konvention i LCA programmet.

Midpoint kategorier		Miljøpåvirkninger	
		REFERENCE	Hav/land indvinding
Fine particulate matter formation	[kg PM2.5 eq]	1.24E+05	1.25E+05
Global warming	[kg CO_2 eq]	7.36E+07	7.41E+07
Land use	[m^2a crop eq]	2.10E+07	2.09E+07
Mineral resource scarcity	[kg Cu eq]	1.03E+07	1.10E+07

D.3.3 Fordelingsnøgle mellem land og havindvinding

Tabel D-17 Resultatudtræk fra openLCA for udvalgte midpoint impact kategorier, for følsomhedsanalysen af fordelingsnøgle mellem land- og havindvinding

Enheden varierer på tværs af påvirkningskategorier. OBS: decimal operator er angivet som '.' og ikke som ',', aht. anvendte operator konvention i LCA programmet.

Midpoint kategorier		Forsyningsscenarie	Miljøpåvirkninger	
			REFERENCE	Hav/land indvinding
Fine particulate matter formation	[kg PM2.5 eq]	Traditionel forsyning	1.27E+05	1.58E+05
		Lokalt begrænset	1.21E+05	1.61E+05
		CØ beton	1.22E+05	1.49E+05
		CØ mursten	1.24E+05	1.55E+05
Global warming	[kg CO_2 eq]	Traditionel forsyning	7.50E+07	9.43E+07
		Lokalt begrænset	6.43E+07	9.70E+07
		CØ beton	7.38E+07	9.04E+07
		CØ mursten	7.36E+07	9.30E+07
Land use	[m^2a crop eq]	Traditionel forsyning	2.09E+07	7.27E+07
		Lokalt begrænset	2.87E+07	6.61E+07
		CØ beton	1.94E+07	6.58E+07
		CØ mursten	2.10E+07	7.33E+07
Mineral resource scarcity	[kg Cu eq]	Traditionel forsyning	1.22E+07	1.22E+07
		Lokalt begrænset	1.22E+07	1.22E+07
		CØ beton	1.22E+07	1.21E+07
		CØ mursten	1.03E+07	1.02E+07

D.3.4 ReCiPe værditilgange

Tabel D-18 Resultatudtræk fra openLCA for udvalgte midpoint impact kategorier, for de tre forskellige ReCiPe værditilgange

Enheden varierer på tværs af påvirkningskategorier. OBS: decimal operator er angivet som '.' og ikke som ',', aht. anvendte operator konvention i LCA programmet.

Midpoint kategorier		Forsyningsscenarie	Miljøpåvirkninger		
			LCIA værditilgang		
			ReCiPe (H)	ReCiPe (I)	ReCiPe (E)
Fine particulate matter formation	[kg PM2.5 eq]	Traditionel forsyning	1.27E+05	7.14E+04	1.27E+05
		Lokalt begrænset	1.21E+05	6.66E+04	1.21E+05
		CØ beton	1.22E+05	6.81E+04	1.22E+05
		CØ mursten	1.24E+05	7.02E+04	1.24E+05
Global warming	[kg CO_2 eq]	Traditionel forsyning	7.50E+07	8.68E+07	6.68E+07
		Lokalt begrænset	6.43E+07	7.42E+07	5.74E+07
		CØ beton	7.38E+07	8.54E+07	6.58E+07
		CØ mursten	7.36E+07	8.52E+07	6.55E+07
Land use	[m^2a crop eq]	Traditionel forsyning	2.09E+07	2.09E+07	2.09E+07
		Lokalt begrænset	2.87E+07	2.87E+07	2.87E+07
		CØ beton	1.94E+07	1.94E+07	1.94E+07
		CØ mursten	2.10E+07	2.10E+07	2.10E+07
Mineral resource scarcity	[kg Cu eq]	Traditionel forsyning	1.22E+07	8.22E+06	1.22E+07
		Lokalt begrænset	1.22E+07	8.22E+06	1.22E+07
		CØ beton	1.22E+07	8.24E+06	1.22E+07
		CØ mursten	1.03E+07	7.13E+06	1.03E+07

Bilag E Datakvalitet

Datakvaliteten er vurderet for hhv. forgrunds- og baggrundsdata, se Tabel E-1 og Tabel E-2.

Datakvaliteten er vurderet iht 'Data quality level and criteria of the UN Environment Global Guidance on LCA database development', som angivet i *table E.2* i [24]. Datakvaliteten vurderes i forhold til geografisk, teknologisk og tidsmæssig repræsentativitet. Datakvaliteten vurderes på 3 parametre: geografisk, teknologisk og tidsmæssigt, og kan kategoriseres i 5 'stadier', fra meget god, god, fair, dårlig, meget dårlig.

Tabel E-1 Datakvalitet af anvendte forgrundsdata

Geo= geografisk, Tek=teknologisk, Tid=tidsmæssigt.

Data			Ref.	Repræsentativitet			
				Geo	Tek	Tid**	
Byggeaktivitet, fremskrivning			[10]	Meget god	NA	2022	God
Fordeling af byggeaktivitet	Nationalt		[10]	Meget god	NA	2022	God
	Regionalt		[25]	Meget god	NA	2022	God
Renoveringsaktivitet			[11]	Meget god	NA	2022	God
Materialemængder per bygningsareal			[10]	Meget god	God	2022	God
Materialemængder per renoveringsaktivitet			[11]	Meget god	God	2022	God
Recepter på mineralske byggematerialer	Beton		**[26]**	Meget god	God*	2018	Fair
	Letbeton		**[27]**	God	God*	2021	God
	Porebeton		**[27]**	God	Fair*	2021	God
	Mursten		**[28]**	Meget god	God*	2014	Dårlig
	Tagsten	Tegl	**[29]**	Meget god	God*	2024	Meget god
		Fibercement	**[30]**	God	God*	2019	God
		Cementsten	**[31]**	Meget god	God*	2021	God

	Mørtel		**[32]**	Meget god	God *	2021	God
	Puds		**[32]**	Meget god	Fair*	2021	God
	Cement		**[33]**	God	Fair*	2024	Meget god
	Klinker		**[34]**	Fair	Fair*	2024	Meget god
Transportdistancer, landindvinding	Nationalt		[35]	Meget god	NA	2025	Meget god
	Regionalt	Region Hovedstaden	[36]	Meget god	NA	2020	God
		Region Sjælland	[36]	Meget god	NA	2020	God
		Region Syddanmark	[37]	Meget god	NA	2020	God
		Region Midtjylland	[26]	Meget god	NA	2018	Fair
		Region Nordjylland	[38]	Meget god	NA	2008	Meget dårlig
Transportdistancer, havindvinding	Nationalt		[39]	Meget god	NA	2020	God
	Regionalt	Region Hovedstaden	[39]	Meget god	NA	2020	God
		Region Sjælland	[39]	Meget god	NA	2020	God
		Region Syddanmark	[39]	Meget god	NA	2020	God
		Region Midtjylland	[39]	Meget god	NA	2020	God
		Region Nordjylland	[39]	Meget god	NA	2020	God
Bygge- og anlægsaffaldsmængder	Beton tilslag		[40]	Meget god	NA	2024	Meget god
	Mursten		[41]	Meget god	NA	2016	Fair

NA = 'Not applicable', vurderet ikke relevant.

* Det vurderes at den teknologisk repræsentativitet for recepter på de mineralske byggemateriale max kan vurderes god, da det ikke anvendes i eller skal repræsentere en specifik produktion, men er anvendt generisk. Det er altså anvendelseskonteksten i dette studie der forringer repræsentativitets vurderingen, da studiet ikke tager hensyn til produktionsmæssige specificiteter.

** Den tidsmæssige repræsentation vurderes ud fra tidspunkt på analysen. Det er dog med den indlejrede usikkerhed at repræsentativiteten vil blive mindre og mindre robust i takt med fremskrivningsperioden, da det ikke anvendes dynamiske og/eller prospektive data.

Tabel E-2 Datakvalitet af anvendte baggrundsdata

Geo= geografisk, Tek=teknologisk, Tid=tidsmæssigt. RER= Europa, GLO= Global, RoW=Rest of World, CH= Schweiz,

	Datasæt anvendt	Ref.	Repræsentativitet				
			Geo		Tek	Tid***	
TRANSPORT	transport, freight, lorry, >32 metric ton, diesel, EURO 6	[13]	RER	God	God	2022	Meget god
	transport, freight, sea, bulk carrier for dry goods, heavy fuel oil	[14]	GLO	Fair	Fair	2025	Meget god
INDVINDING AF RÅSTOFFER	sand quarry operation, extraction from river bed	[15]*	RoW**	Meget dårlig	Meget dårlig	2018	Fair
	gravel and sand quarry operation	[16, 17]*	CH	Fair	God	2024	Meget god
	gravel production, crushed	[18]*	CH	Fair	God	2024	Meget god
	clay pit operation	[19]	CH	Fair	God	2016	Fair
	market for limestone, crushed, for mill	[20]*	CH	Fair	God	2024	Meget god
	limestone production, crushed, washed	[21]*	CH	Fair	God	2024	Meget god
	gypsum quarry operation	[22]*	CH	Fair	God	2016	Fair
KNUSNING	rock crushing	[23]*	RER	God	God	2012	Dårlig

*med tilpasset EL data i første procesled
**Baseret på brasilianske data
*** De tidsmæssige reference tages som sidste review dato for datasættet, da det antages at der her er vurderet at data stadig er acceptable

E.1 Perspektivering af havindvindingsdata

Da datakvaliteten for den anvendte havindvindings-proxy (flodindvinding [15]) er vurderet som dårlig, overordnet, og den samtidigt har en betydelig indflydelse på resultaterne i analysen (særligt arealanvendelse), er der foretaget perspektiverende analyser af det anvendte proxydatasæt og kendte branchedata.

Ideelt kunne usikkerheden eller datakvaliteten tryktestes ved dybere analyse af fx karakteriseringsfaktorer for arealanvendelse (land use) i Brasilien holdt op imod Danmark eller Europa. Det er dog begrænset hvilke og hvor mange regionaliserede data, der er tilgængelige. Grundlæggende er det problematisk at bruge brasilianske data for flodindvinding som proxy for dansk eller europæisk havindvinding, fordi de økologiske forhold, artsrigdommen, naturtyperne og påvirkningerne er meget forskellige mellem regionerne. Brasilianske modeller afspejler ofte indgreb i tropiske og ferskvandsprægede økosystemer med høj biodiversitet, mens danske og europæiske forhold typisk vedrører marine økosystemer under andre klimatiske, geografiske og forvaltningsmæssige rammer. Hvis man anvender brasilianske data som erstatning for danske eller europæiske, er der derfor risiko for både at over- eller undervurdere påvirkningerne, fordi regionale forskelle i naturværdi og indvindingspraksis ikke bliver fanget.

Et alternativ kunne være at undersøge andre proxydata som erstatning for flodindvindingsdata i Brasilien. Det har dog ikke været muligt at finde data til en sådan sammenligning i de tilgængelige databaser for nærværende studie.

Der findes dog miljøvaredeklarationer, EPD'er, for den danske råstofbranche, der dækker havindvinding. Selvom dette er en arbitrær perspektiveringsreference, som ikke kan repræsentere hverken de anvendte data i studiet, den anvendte modelleringstilgang eller anvendte LCIA-metode og påvirkningskategorier, er det et bedste bud på en perspektivering.

E.1.1 Perspektivering til branchedata for havindvinding

Da der foreligger en branche-EPD fra Danske Råstoffer for råstoffer indvundet til havs i farvande i og omkring Danmark [42], bruges denne som perspektiveringsreference.

EPD'en er dog et statisk dokument, med afledte resultater, hvorfor den anvendte indvindingsproces i studiets LCA må 'tilpasses' EPD formatet. Dette dækker over:

- anvendelse af en attributiv model (der anvendes systemmodellen "Allocation, cut-off, EN15804" [3], fra databasen ecoinvent [1] v. 3.12 [2])
- anvendelse af LCIA-metoden "EN15804 +A2 (EF 3.1)"
- analyse/sammenligning af påvirkningskategorierne:
    - Global Warming Potential - land use and land use change (GWP-luluc), med enheden kg CO_2 eq., og
    - Potential Soil Quality index (SQP), som er enhedsløs og blot angives i point

Dette afviger signifikant fra den anvendte LCA-metode i råstofstudiet, hvorfor denne perspektivering også skal læses med forsigtighed og forbehold.

Da EPD'ens [42] resultater endvidere er statiske i form af et PDF dokument og uden bidragsanalyse for EPD'ens resultater/påvirkning i de kategorier der fremhæves ovenfor, er sammenligningen forsimplet. Der opstilles 3 datasæt i sammenligningen i Tabel E-3: EPD'ens data, den 'originale' ecoinvent proces for flodindvinding, og den tilpassede flodindvindings-proces, hvor elektricitetsdata er erstattet, som beskrevet i Bilag C Inventory, afsnit C.2.1 Justering af baggrundsdata.

Tabel E-3 Sammenstilling af data for indvinding af sand iht branche-EPD for havindvinding og anvendt proces for flodindvinding i nærværende projekts LCA-studie

Påvirkningskategorier og beregningsmetode afviger signifikant fra LCA'en for råstofstudiet, hvorfor denne perspektivering også skal læses med forsigtighed og forbehold

		sand quarry operation, extraction from river bed | sand | EN15804GD, U – RoW	sand quarry operation, extraction from river bed | sand | EN15804GD, U – DK	Branche EPD, Danske Råstoffer, indvinding til havs
Reference		[15]	Adapteret version af [15] iht beskrivelser i Bilag C , afsnit C.2.1: Justering af baggrundsdata.	[42]
Global Warming Potential - land use and land use change (GWP-luluc) - v3.1	kg CO_2 eq.	7,043E-07	6,997E-07	4,33E-04
Additional - Potential Soil quality index (SQP) - v3.0/3.1	dimensionless (pt)	2,45E+00	2,45E+00	4,58E+00

Fra sammenstillingen i Tabel E-3 ses det, at branchedata i form af en EPD for havindvinding af sand i Danmark, performer *dårligere* end den anvendte proxy fra studiet, baseret på flodindvinding. Ud fra den 'valgte' tilgang til perspektiveringen, kunne det derfor tyde på, at de anvendte proxy-data i råstofstudiet ikke er konservative nok.

Det bør dog også noteres, at perspektiveringen ikke nødvendigvis er repræsentativ for de reelle forskelle/afvigelser i den anvendte proxy kontra reelle branche-data, da sammenligningen i mangel af bedre, afviger metodisk fra hovedstudiets LCA-tilgang i relativ høj grad.

De centrale afvigelser er anvendelsen af en attributiv tilgang til modellering (i stedet for de konsekvens data der er anvendt i råstofprojektet), samt LCIA-metoden EN15804+A2, fremfor den anvendte i studiet, ReCiPe (H). Det første medfører at eventuelle marginale konsekvenser der opstår i den i studiet anvendte proxy proces, ikke fanges i de attributive data. Det sidste medfører, at de anvendte påvirkningskategorier i perspektiveringen ikke repræsenterer arealanvendelse 1:1 som analyseret i studiet, med afledte effekter i påvirkningskategorierne *GWP-luluc* og *Potential Soil quality index*.

I projektets hovedstudie, afsnit 4.1.1, blev det fundet, at flodinvinding var en drivende faktor for påvirkningen af arealanvendelse, hvorimod for de andre påvirkningskategorier (global opvarmning, dannelse af fine partikler og mangel på mineralske råstoffer) i høj grad blev drevet af transport, og sekundært af forbrænding og produktion af den dieselolie, der bruges ifm. indvinding af de forskellige råstoffer i råstofgravene, samt indvinding af ler (som blev karakteriseret i ReCiPe (H).

Anvendelsen af *GWP luluc* som perspektiveringsindikator er derfor ikke nødvendigvis repræsentativ, dels da GWP i projektets LCA ikke var domineret af flodindvindingsprocessen, og dels da *GWP luluc* fokuserer på *udledning af karbon* ifm. omlægning af areal, og ikke *anvendelse* og *omlægning* af areal. Det primære bidrag for indikatoren kommer fra karbondioxid, der udledes fra jord eller biomasselager ifm. produktion af elektricitet.

Anvendelsen af *Potential Soil quality index* som perspektiveringsindikator begrundes i, at der i karakteriseringen af denne indikator inkluderes transformation og besættelse/brug (occupation) af landareal til råstofindvinding. Det har dog ikke indenfor rammerne af nærværende projekt været muligt at vurdere om karakteriseringen af arealanvendelsesbidrag i hhv. EN15804+A2 og ReCiPe (H) LCIA-metoderne er tilnærmelsesvis ækvivalente, da bl.a. opgørelsesenhederne varierer (i EPD-metoden er indikatoren enhedsløs, hvor ReCiPe måler i m^2 afgrøde ækvivalenter).

Selvom den 'valgte' tilgang til perspektiveringen indikerer, at de anvendte proxy-data i råstofstudiet ikke er konservative nok, vurderes det også, at perspektiveringen er så usikker, at der ikke kan udtales noget endeligt konkluderende om repræsentativiteten af den anvendte proxy i råstofstudiets LCA. For at styrke forståelsen af, og viden om, konsekvenserne af den anvendte proxy-proces, bør der derfor udføres yderligere analyser og studier, som desværre ikke har været mulige at indeholde i nærværende projekt. Perspektiveringen er derfor udført vha. de umiddelbart tilgængelige data.

Bilag F Ekstern review

Samlet overblik over tilbagemeldinger fra den eksterne gennemgang med tilhørende besvarelser, herunder angivelse af det rapportafsnit som den enkelte kommentar vedrører. Tabel F-1 præsenterer kommentarer fra runde 1, der dækkede formål og omfang af studiet. Tabel F-2 dækker kommentarer fra runde 2, der dækkede den fulde LCA. Review har dækket selve rapporten samt bilag A.

F.1 Feedback og dertilhørende svar, runde 1: formål og omfang

Tabel F-1 Ekstern review – Feedback og dertilhørende svar, runde 1: formål og omfang

Tilbagemeldinger fra ekstern review sammen med de tilhørende besvarelser, inklusive reference til det relevante rapportafsnit.

Afsnit og sidetal	Sætning eller fokus	Kommentar	Svar
Generelt om følsomhedsanalyser		Hvis der er marginale leverandører I ikke ender med at anvende i projektet, fx import af sand og grus, vil det være brugbart med en følsomhedsanalyse.	Dette inkluderes ikke eksplicit i følsomhedsanalyserne, men undersøges implicit vha. en følsomhedsanalyse for transport distancer. Dette grundes bl.a. at baggrundsdata for indvinding af råstoffer er så generiske i databasen, at der kun foreligger få dataset for indvinding af mineralske råstoffer.
Generelt om cirkularitet		Det er vigtigt at klargøre om affaldsstrømme i det cirkulære scenarie er fuldt udnyttet eller ikke fuldt udnyttet i studiet ift. at vurdere konsekvenser ved genbrug og særligt genanvendelse. Det lader til I har taget højde for det, men det må gerne stå mere eksplicit, hvis det er tilfældet.	Der specificeres i analysen, at affaldsstrømme er så godt som fyldt udnyttet, hvorfor brugen af dette medfører en omprioritering af affaldsstrømmen. Afsnittet om markedsmekanismer for bygge- og anlægsaffald er revideret og specificeret. CØ forsyningen er endvidere specificeret med en

			fordelingsnøgle af hvor meget af den årlige efterspørgsel der forventes imødekommet (i et idealscenarie) hvis affaldsstrømme omlægges til hhv. genbrug af mursten, eller genanvendelse af knust beton som tilslag.
Generelt om lukningen af depot i Køge bugt.		Køge bugt depotet er lukket i ultimo 2025, som vi har hørt på følgegruppemødet. Er der taget højde for dette i analyserne for Region Hovedstaden?	Dette er ikke berørt i analysen, da det anvendte tal og statistikker ikke viser dette udvikling. Emnet diskuteres dog kort i diskussionsafsnittet.
Side 10, afsnit 2.3.1	Om "vil" eller "forventes" er bedste term.	"Forventes" er den rigtige term. Man kan diskutere om det dog står mere klart for branchen at skrive "vil".	Tilpasset, så anvender 'forventes'
Side 13, afsnit 3	Formålet med dette studie er at analysere udvalgte scenarier for efterspørgsel og forsyning af mineralske råstoffer i den danske byggebranche	Og konsekvenserne for klima og/eller andre miljøpåvirkninger?	Justeret i formuleringen, ved at tilføje ", *og de deraf afledte miljø- og klimakonsekvenser*."
Side 13, afsnit 3	Målgruppen beslutningstagere	Denne målgruppe bør konkretiseres mere fx kommuner for udvinding på land og Miljøstyrelsen for marin udvinding, samt andre interessenter i den gruppe - da tilladelser principielt gives og påvirkes her.	Målgruppen er konkretiseret til at omfatte beslutningstager indenfor mineralske ressourcer, herunder interessenter i byggebranchen der anvender mineralske råstoffer, og råstofindvindere til land og søs (regionerne og Miljøministeriet)

Side 13, afsnit 3.1	Funktionel enhed	Er det inkl./ekskl. behov for materialer til forventede vedligehold i perioden? Evt. skriv de typiske moduler på A1-A3, B4, hvis det kan gøres sådan.	Nej, der tages ikke hensyn til generelt vedligehold, kun nybyggeri og renovering. Dette er udspecificeret med en ekstra sætning: *"Der tages ikke hensyn til generelt vedligehold."* Det er fravalgt at anvende de typiske modulangivelser fra 'byggeriets LCA' terminologi i nærværende forbindelse, med der tilføjes en reference hertil under afsnittet om systemgrænser.
Side 13, afsnit 3.1	Funktionel enhed: […] byggeaktiviteter (nybyggeri og renovering) for […]	Man kan overveje om scenarierne skal stå lidt mere udpenslet.	Der er tilføjet en specifikation om basis for scenarierne, sammen med en henvisning til det relevante afsnit.
Side 13, afsnit 3.1	Referenceenhed	Må gerne defineres klarere: Er det samlet efterspørgsel (i ton) over 2023-2040 eller deles det op i efterspørgsel pr. år eller pr. m2.	Dette er specificeret til *"ift. samlet efterspørgsel (i ton) over analyseperioden fra 2023-2040 "*
Side 14, afsnit 3.3	[…] af råstoffer/ressourcer, bearbejdning og transport af disse til produktionssites.	Der kunne refereres til A1-A3 faserne jf., EN15978.	Der tilføjes en reference hertil under afsnittet om systemgrænser.
Side 14, afsnit 3.4	Sensitivitetsanalyser	Bliver det udspecificeret nærmere, når I er længere med projektet?	Følsomhedsanalyserne er beskrevet under afsnit 3.6. Der henvises hertil i nærværende afsnit. Dertil er der tilføjet en kort definition af hhv. usikkerheds og følsomhedsanalyser. Der udføres kun følsomhedsanalyse.

Side 15, afsnit 3.4	Forgrundsdata	Konkretiser gerne forgrundsdata mere fx det bebyggede areal, materialemængder og transport - hvis det er det.	Der suppleres med: *"Forgrundsdata i dette projekt dækker over totale mængder bygget areal, materialemængder per bygget areal, anvendelse af råstoffer i byggematerialerne samt transportdistancer af råstoffer. "*
Side 15, afsnit 3.5	ReCiPe metode	Angiv værditilgang (egalitarian, hierarchical eller andet)	Der anvendes Hierarchist til værditilgang. De andre to underlægges dog som alternativer i en følsomhedsanalyse.
Side 20, afsnit 3.7.2.3	Den cirkulære tilgang medfører væsentlige ændringer i materialestrømme, idet betydelige mængder knust beton og tegl fjernes fra traditionelle affaldsstrømme og reintegreres i bygge- og anlægssektoren. Dog kan dette ske på bekostning af eksisterende materialestrømme, hvor nedknust bygge- og anlægsaffald (primært beton og tegl) i dag anvendes som ubundne bærelag i vejbyggeri.	Hvordan ender konsekvenserne ved genanvendelsesdelen af det cirkulære scenarie? Er der positive/negative konsekvenser?	Dette specificeres senere i de mere kvantitative afsnit, under afsnit 3
Side 22, afsnit 3.7.2.4.1	LCA-beregninger af biogene materialer er forbundet med betydelig kompleksitet [...]	I kan overveje kort at nævne multifunktionaliteten ved træ til tømmer, hvor sidestrømmes markeder også skal indgå i analysen og øger kompleksiteten. Evt. som tredje forhold.	Der er tilføjet et tredje argument for kompleksiteten af LCA for træ. Vi ser ikke samme problematik ift. mineralske råstoffer.

Side 24, afsnit 3.7.3.2	[…] men afhængigheden af import, interregional transport og eventuel marin indvinding øges.	Udføres de i tre som what-if scenarie, så man kan se dem eksplicit, og/eller kombineres de? Specificer gerne her eller tidligere, hvor "lokalt begrænset forsyning" beskrives	Det bliver en kombination. Dette er dog også mere generiske 'hvad forestiller vi os' beskrivelser. Specifikke forhold beskrives i markedsanalyse og dataindsamling
Side 24, afsnit 3.7.3.3	Kombinationen af højt byggevolumen og cirkulær forsyning forudsætter, at en stor del af materialebehovet dækkes via genbrug og genanvendelse […]	Bliver vigtigt at fremhæve forholdet mellem genbrug/genanvendelse, da de sandsynligvis vil have ret forskellig effekt, hvis det er rigtigt at det meste mineralske materiale i Danmark allerede genanvendes i anlægssektoren.	Det deles op i to underscenarier. Beskrives ikke yderligere her, da det er generiske tankespind
Side 26, afsnit 3.7.4	Første underafsnit	Hvis jeg har forstået det rigtigt, så laves der ikke fuld LCA på det der nævnes i resten af afsnittet. Det må gerne stå mere eksplicit i dette afsnit.	Der er tilføjet en specifikation: *"Der udføres dog ikke komplette LCA'er for kombinationerne beskrevet i nedenstående rest af nærværende afsnit. "*
Side 26, afsnit 3.8	Hele afsnittet	Det meste af dette afsnit vil jeg mene er en del af inventory-analysen, da I bestemmer markederne og påvirkede leverandører. Det er nok kun til og med afsnittet "3.8.1 Generelt", der kan kaldes omfangsbeskrivelse.	Størstedelen af afsnittet rykkes ned under afsnit 3, som det nye 3.1. 'Indledning' til nærværende afsnit beholdes under 'formål og omfang'.
Side 30, afsnit 3.8.2.1	Opsummering af afsnit i tabel.	Rigtig god analyse af påvirkede leverandører. Det kunne være godt at have en opsummerende tabel i slutningen af afsnittet, der viser, hvad der er vurderet som påvirket leverandører for de forskellige regioner.	God pointe. Der er tilføjet et afsnit 3.1.5 med en tabel, der opsummerer forventede leverandører for de forskellige materiale fraktioner og regioner

Side 30, afsnit 3.8.2.1	Den marginale leverandør til Region Hovedstaden er således primært Region Sjælland, suppleret af havindvinding og norsk import.	Bliver det dermed et mix af disse eller kun Region Sjælland?	Der tildeles fordelingsnøgle mellem land og hav.
Side 38, afsnit 3.8.4	[…] omlægning af eksportmarkedet til nationalt marked.	Vil det have konsekvenser? Kan evt. indgå i fortolkning.	Der kan muligvis være noget med at indvinding er fra andre geografier, og måske særlig murstensproduktion som ikke modelleres i nærværende analyse. Baggrundsdata kan ikke differentieres. Der tilføjes kort diskussion af dette i diskussionsafsnit
Side 39, afsnit 3.8.5	Affaldsanalyse.	Er konklusionen at al mineralsk affald er "fuldt udnyttet" til genanvendelse? Hvormed efterspørgsel på dette ikke ændrer det store medmindre det er genbrug i stedet for genanvendelse?	Der er foretaget en justering I markedsanalysen og beskrivelse iht. At affaldet er 'fyldt' udnyttet.
Side 40, afsnit 3.8.5	[…] Da danske teglværker forsyner både hjemmemarkedet og eksportmarkeder, vil øget brug af genbrugsmursten reducere behovet for ny teglproduktion og dermed for indvinding af ler. Marginaleffekten af øget brug af genbrugsmursten tilskrives således reduceret dansk teglproduktion baseret på dansk ler.	Man kan sige, der også undgås levering af tegl som genanvendelse til vejfyld, hvilket øger forbruget af jomfrueligt grus og sten. Men den positive konsekvens af undgået ny teglstensproduktion opvejer sandsynligvis væsentligt mere. Det kan overvejes, om det skal tages med/analyseres yderligere.	Beskrivelsen er justeret til at dække 'indvinding af ler', da der ikke modelleres produktion og transport af tegl i nærværende analyse. Dette er diskuteret under afsnit om signifikante udfordringer eller svagheder ved analysen.

F.2 Feedback og dertilhørende svar, runde 2: fuldt studie

Tabel F-2 Ekstern review – Feedback og dertilhørende svar, runde 2: fuldt studie

Tilbagemeldinger fra ekstern review sammen med de tilhørende besvarelser, inklusive reference til det relevante rapportafsnit. Rapport del 2. Ingen kommentarer til Bilag A.

Afsnit og sidetal	Sætning eller fokus	Kommentar	Svar
Generelt		En klar definition på regionale markeder vil være brugbar. Kan måske misforstås, når der både bruges regioner, regionale markeder og lokale markeder.	Der er tilføjet en generel definition og specificering i indledningen for afsnit 3.1.
Generelt	Substitutionseffekter	Rapporten vil drage fordel af et diagram der viser substitutionseffekter for rapporten eller generelt viser de systemiske effekter konceptuelt, som er forskellig fra den typiske ALCA i branchen. Jeg skulle selv lige holde fokus i teksten, så andre vil muligvis have svært ved at forstå det, især når branchen er vant til ALCA. Placering er op til jer.	Der er tilføjet diagrammer/figurer i afsnit 3.2.2.3 om cirkulær forsyning.
Side 32, afsnit 4.4.1		Det er en fair antagelse - bør bemærkes at import er stigende de seneste 3 år, så der bør holdes øje med om det er en midlertidig eller vedvarende tendens. Kan evt. også stå i diskussionen.	Der er tilføjet sætningen: ”Dog har import været stigende de seneste år, så der bør holdes øje med om det er en midlertidig eller vedvarende tendens, ved senere studier.”
Side 38, afsnit 4.1.2.4	[…] men at forsyningen af egnede stenfraktioner bliver den afgørende begrænsning.	Uklart om det indgår i beregninger senere eller om det er en vurderet risiko, der kan opstå på sigt.	Sætningen er revideret til at beskrive et observationspunkt, ”På sigt vil forsyningen af egnede stenfraktioner blive den afgørende begrænsning, hvilket dog ikke medregnes i nærværendes studie.”

Side 50, Figur 15		Et forslag kan være at kalde det materialeintensiteter. Det er dog uklart om det her er mængder pr. m^2 bygning eller mængder per bygning?	Det er valgt at fjerne figuren, da den vurderes til ikke at bidrage betydeligt til forståelsen for data.
Afsnit 5.1.1	Land use og flodindvinding	Interessant og god beskrivelse af årsag. Det lader til der ikke findes en unit proces for havindvinding. En følsomhedsanalyse vil dog stadig være relevant. Her kan muligvis ses på karakteriseringsfaktorer for land use i Brasilien versus DK, hvis data er tilgængelige. Alternativt, vil det være muligt at lave et simpelt "godt bud"-estimat på havindvindings påvirkning på land-use, for at se, hvor meget det rykker sig? Det kan evt. være som et gennemsnitstal over perioden, ift. tallet i tabel 18. Eller en arbitrær variation som sidste mulighed.	Der er lavet et afsnit i bilag E, under datakvalitet, hvor dilemmaet omkring anvendelsen af flodindvinding som proxy diskuteres, samt perspektiveres til andre tilgængelige data (om end disse er i andre formater, end de anvendte ecoinvent data) Derudover er der tilføjet en reference til denne diskussion i hovedrapporten.
Afsnit 5.1.2.	Terminologi ifm. beskrivelse af påvirkning på økosystemkvalitet.	Terminologien er ikke helt korrekt her. Nøjes med at skrive " […] bidrag fra klimaforandringer, forbrug af vand, forsuring og arealanvendelse"	Noteret. Det er tilpasset i teksten.

Afsnit 5.1.2	Resultater for økosystemkvalitet	Økosystemkvalitet er generelt meget usikkert stadigvæk, og tallene er generelt ikke særligt forskellige i jeres studie. Derfor vil jeg anbefale at det beskrives et sted i rapporten. I evt. se på og henvise til tidsskriftartiklen for Impact World+, hvor de viser at land use m.fl. kan variere op til en faktor 10000 ved 95 konfidensinterval. Jeg er ikke bekendt med lignende analyse for ReCiPe.	Der er tilføjet en kort beskrivelse af usikkerhederne, i direkte relation til resultatvisningen.
Afsnit 6.3.3, Figur 25	Land use	For land use er der vel igen udfordringer ved processen. Det er værd at nævne igen her.	Dette er specificeret i teksten.
Konklusion	Land- og søtransport, klimapåvirkning	I dette afsnit beskriv gerne også kort konklusionen af land- vs. søtransport baseret på jeres følsomhedsanalyser, altså hvordan mere af den ene eller den anden type forventeligt kan influere klimapåvirkningen.	Der er tilføjet en kort beskrivelse i forlængelse af afsnittet.

Referencer i bilag

[1] G. Wernet, C. Bauer, B. Steubing, J. Reinhard, E. Moreno-Ruiz, and B. Weidema, "The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology," *The International Journal of Life Cycle Assessment,* vol. 21, no. 9, pp. 1218-1230, 2016, doi: 10.1007/s11367-016-1087-8.

[2] ecoinvent. "ecoinvent Version 3.12." https://ecoinvent.org/ecoinvent-v3-12/#new-updated-data (accessed Feb 6th, 2026).

[3] ecoinvent. "System Models." https://support.ecoinvent.org/system-models#Substitution_Consequential_LongTerm (accessed Feb 6th, 2026).

[4] M. A. J. Huijbregts *et al.*, "ReCiPe2016: a harmonised life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level," *The International Journal of Life Cycle Assessment,* vol. 22, no. 2, pp. 138-147, 2017/02/01 2017, doi: 10.1007/s11367-016-1246-y.

[5] L. Schumacher. "ReCiPe." Pré Sustainability. https://pre-sustainability.com/articles/recipe/ (accessed 12. Februar, 2026).

[6] European Commision, "Environmental Footprint reference packages," ed, 2022.

[7] European Commision, "Environmental Footprint reference packages EN15804," ed, 2023.

[8] United Nations. "The Paris Agreement." https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement (accessed 01/04, 2026).

[9] Stockholm Resilience Center. "Planetary boundaries." https://www.stockholmresilience.org/research/planetary-boundaries.html (accessed 31/03, 2026).

[10] L. B. Lindgren, N. D. Svane, and S. E. Maagaard, "Scenarier for fremtidens behov for biobaserede byggematerialer," Artelia, Denmark, 2025. [Online]. Available: https://realdania.dk/viden-og-laering/vidensbibliotek/publikationer/faglige-publikationer/scenarier-for-fremtidens-behov-for-biobaserede-byggematerialer

[11] A. M. Lund, R. K. Zimmermann, J. Kragh, J. Rose, S. Aggerholm, and H. Birgisdottir. *Beregningsark til Bygningsrenovering_2022_09_28*, Institut for Byggeri, By og Miljø (BUILD). [Online]. Available: https://vbn.aau.dk/da/publications/klimap%C3%A5virkning-fra-renovering-muligheder-for-udformning-af-gr%C3%A6ns/

[12] A. M. Lund, R. K. Zimmermann, J. Kragh, J. Rose, S. Aggerholm, and H. Birgisdottir, "Klimapåvirkning fra renovering: Muligheder for udformning af grænseværdier til LCA for renovering," Institut for Byggeri, By og Miljø (BUILD), 2022. [Online]. Available: https://vbn.aau.dk/da/publications/klimap%C3%A5virkning-fra-renovering-muligheder-for-udformning-af-gr%C3%A6ns/

[13] ecoinvent. *transport, freight, lorry, >32 metric ton, diesel, EURO 6*, ecoinvent. [Online]. Available:

https://ecoquery.ecoinvent.org/3.12/consequential/dataset/11457/documentation
[14] P. Notten. *transport, freight, sea, bulk carrier for dry goods, heavy fuel oil*, ecoinvent. [Online]. Available: https://ecoquery.ecoinvent.org/3.12/consequential/dataset/20256/documentation
[15] G. Moraga. *sand quarry operation, extraction from river bed*, ecoinvent. [Online]. Available: https://ecoquery.ecoinvent.org/3.12/consequential/dataset/20537/documentation
[16] D. Kellenberger. *gravel and sand quarry operation, sand*, ecoinvent. [Online]. Available: https://ecoquery.ecoinvent.org/3.12/consequential/dataset/2703/documentation
[17] D. Kellenberger. *gravel and sand quarry operation, gravel round*, ecoinvent. [Online]. Available: https://ecoquery.ecoinvent.org/3.12/consequential/dataset/9017/documentation
[18] F. Werner. *gravel production, crushed*, ecoinvent. [Online]. Available: https://ecoquery.ecoinvent.org/3.12/consequential/dataset/4118/documentation
[19] D. Kellenberger. *clay pit operation*, ecoinvent. [Online]. Available: https://ecoquery.ecoinvent.org/3.12/consequential/dataset/478/documentation
[20] T. Levova. *market for limestone, crushed, for mill*, ecoinvent. [Online]. Available: https://ecoquery.ecoinvent.org/3.12/consequential/dataset/14760/documentation
[21] ecoinvent. *limestone production, crushed, washed*, ecoinvent. [Online]. Available: https://ecoquery.ecoinvent.org/3.12/consequential/dataset/8729/documentation
[22] H.-J. Althaus. *gypsum quarry operation*, ecoinvent. [Online]. Available: https://ecoquery.ecoinvent.org/3.12/consequential/dataset/5293/documentation
[23] D. Kellenberger. *Rock crushing*, ecoinvent. [Online]. Available: https://ecoquery.ecoinvent.org/3.12/consequential/dataset/5781/documentation
[24] *EN 15804:2012+A2:2019 - Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products*, European Committee for Standardization, 2019.
[25] Danmarks Statistik, "BYGV11: Den samlede byggeaktivitet (ikke korrigeret for forsinkelser) efter område, byggefase, anvendelse og bygherreforhold," ed, 2022.

[26] G. Stenstrop, L. Kristiansen, and L. G. Ernst, "Bedre råstoffer til beton," 2018. [Online]. Available: https://www.ru.rm.dk/siteassets/01-klima-og-miljo/rastoffer/publikationer/bedre-rastoffer-til-beton_2018.pdf
[27] H+H Deutschland GmbH. MD-23056-EN [Online] Available: https://www.epddanmark.dk/media/10vdfzkx/md-23056-en.pdf
[28] Kalk- og Teglværksforeningen af 1893. MD-14004-DA, UDLØBET [Online] Available: https://www.epddanmark.dk/media/kw2kmo1p/md-danske-tegl-14004-da.pdf
[29] Randers Tegl A/S. MD-25091-EN_rev1 [Online] Available: https://www.epddanmark.dk/media/0ilnqfqd/md-25091-en_rev1.pdf
[30] Swisspearl Danmark Holding A/S. MD-20045-EN_rev5, UDLØBET [Online] Available: https://www.epddanmark.dk/media/ezvhn1hj/md-20045-en_rev5.pdf
[31] Ikast Betonvarefabrik A/S. MD-22037-DA [Online] Available: https://www.epddanmark.dk/media/py0l53y1/md-22037-da.pdf
[32] Wewers Mørtel A/S. MD-23052-DA_rev1 [Online] Available: https://www.epddanmark.dk/media/1fnnzgou/md-23052-da_rev1.pdf
[33] Aalborg Portland A/S and Cementir Holding. EPD-IES-0020908, Aalborg BASIS® cement [Online] Available: https://www.aalborgportland.dk/wp-content/uploads/2025/08/EPD-Aalborg-Portland-BASIS-2025-v4.pdf
[34] T. Wolf. "The Chemistry of Clinker." Carbon Re(R). https://carbonre.com/the-chemistry-of-clinker/ (accessed.
[35] L. Konstantyner. "Betydningen af råfstofmangel frem mod 2040." Dansk Industri,. https://www.danskindustri.dk/arkiv/analyser/2025/11/betydningen-af-rafstofmangel-frem-mod-2040/ (accessed.
[36] COWI, "Analyse af transportstrømme af råstoffer i Region Hovedstaden og Region Sjælland," 2023. [Online]. Available: https://app-rsjdxp-cms-prod-001.azurewebsites.net/media/4jmfkprr/analyse-af-20-01-2023-af-transportstroemme-af-raastoffer-i-region-hovedstaden-og-region-sjaelland.pdf
[37] COWI, "Transportanalyse i Region Syddanmark," 2022. [Online]. Available: https://regionsyddanmark.dk/media/wlefcnjs/transportstr%C3%B8mme-af-r%C3%A5stoffer-i-region-syddanmark_april-2022.pdf
[38] C. Hejlesen and M. Larsen, "Råstofforsyning i Danmark – Sand, grus og sten," in "Rapport 163," Vejdirektoratet, Vejteknisk Institut,, 2008.
[39] COWI, "Transportanalyse af marine råstoffer," 2022. [Online]. Available: https://backend.miljoeogressourcer.dk/media/materialer/55/Transportanalyse_af_marine_r__stoffer_final_FINAL-ua.pdf
[40] E. K. Lauritzen and K. Kellermann. (2024) Genanvendelse af beton som tilslag i ny beton. Available: https://byg-erfa.dk/genanvendelse-af-beton-tilslag-ny-beton
[41] J. Jordal-Jørgensen and J. K. Pedersen, "Samfundsøkonomisk analyse af genbrug af mursten," Miljøstyrelsen, 2016, vol. Miljøprojekt nr. 1904. [Online]. Available: https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2016/11/978-87-93529-42-7.pdf

[42] Danske Råstoffer. MD-24167-DA_rev1 [Online] Available: https://www.epddanmark.dk/media/1ekp2sjc/md-24167-da_rev1.pdf