TEKNOLOGISK INSTITUT



Ressourceindikator for byggeri

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

TEKNOLOGISK INSTITUT

Ressourceindikator for byggeri

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 Fruergaard Astrup

Sagsansvarlig

Thilde Fruergaard Astrup

Byggeri og Anlæg

18. september 2026

Projektpartner

wsp

TEKNOLOGISK INSTITUT

Indhold

1 Sammenfatning 4
2 Introduktion 6
2.1 Formål 6
3 Indledende overvejelser om ressourceindikatorer 8
3.1 Hvad skal indikatoren benyttes til? 8
4 Eksisterende og potentielle indikatorer for ressourcer 10
4.1 Absolutte ressourcegrænser 10
4.2 Materialestrømme og massebalance 12
4.3 Cirkularitetsindikatorer 13
4.4 Ressourceproduktivitet 16
4.5 Ressourceindikatorer anvendt i LCA 16
5 Hvor anvender man indikatorer? 18
5.1 Handlingsplan for cirkulær økonomi 18
5.2 EU's Taksonomiforordning 18
5.3 CSRD 19
6 Diskussion af forskellige muligheder for en "ressourceindikator" 20
6.1 Beregning af ressourceforbrug på byggeriniveau 24
6.2 Ressourcerammer for byggeri 29
7 Referencer 31
Bilag A: Datagrundlag for ressourceforbrug 34
Bilag A.1 – Data for BOFA 34
Bilag A.2 – Data for Viggohaven 37

1 Sammenfatning

Denne rapport er udarbejdet som en del af projektet *"Konsekvenser og handlingsrum for byggeriet ved mangel på mineralske råstoffer"*. Rapporten belyser eksisterende og potentielle tilgange til at opgøre ressourceforbrug og ressourceeffektivitet med særligt fokus på byggeriet. Formålet er at skabe et fagligt overblik over relevante ressourceindikatorer, deres styrker og begrænsninger samt deres mulige anvendelse i en dansk byggesammenhæng.

Byggebranchen er en af de mest ressourceintensive sektorer i samfundet og står for et betydeligt forbrug af mineralske råstoffer, især sand, grus, sten, ler og kalksten. I dag er der sat et loft for nybyggeris klimapåvirkning gennem klimakravene i bygningsreglementet. Klimapåvirkning siger dog ikke i sig selv noget entydigt om, hvor mange råstoffer et byggeri kræver, hvilke typer råstoffer der anvendes, eller om materialerne kommer fra primære (jomfruelige), sekundære eller fornybare kilder. Hvis byggeriets ressourceforbrug skal kunne monitoreres, sammenlignes og eventuelt reguleres, er der derfor behov for særskilte ressourceindikatorer.

Rapporten viser, at en ressourceindikator kan udformes på flere måder afhængigt af, hvad indikatoren skal bruges til. Indikatoren kan fx måle den samlede mængde mineralske råstoffer i et byggeri, opdele råstofforbruget på materialetyper som sand, sten, ler og kalksten, beskrive materialefodaftryk i et livscyklusperspektiv, opgøre andelen af sekundære eller fornybare materialer eller vurdere byggeriets cirkularitet. Der findes dermed ikke én oplagt indikator, der kan dække alle relevante aspekter. Valget afhænger blandt andet af, om formålet er at sammenligne byggerier, følge udviklingen i branchen, understøtte cirkulær økonomi eller danne grundlag for fremtidige grænseværdier.

Gennemgangen viser samtidig, at eksisterende LCA-baserede ressourceindikatorer kun i begrænset omfang er egnede til at belyse forbruget af de mineralske råstoffer, der er centrale i dansk byggeri. I mange karakteriseringsmetoder indgår sand, grus og sten slet ikke eller kun delvist, og resultaterne afspejler derfor ikke nødvendigvis det fysiske træk på de råstoffer, som i praksis fylder mest i byggeriet.

Rapporten diskuterer på den baggrund forskellige muligheder for en ressourceindikator på bygningsniveau og viser gennem to caseberegninger, at der kan være markante forskelle i råstofforbrug mellem konkrete byggerier. Resultaterne peger på at materialevalg, konstruktionsprincipper og graden af tunge mineralske materialer

har stor betydning for ressourceforbruget. De illustrerer også, at en ressourceindikator kan fungere som et relevant supplement til klimakravene, fordi et lavere materialeforbrug i mange tilfælde også kan understøtte en lavere klimapåvirkning.

Endelig peger rapporten på, at såkaldte ressourcerammer kan være et muligt næste skridt. Ressourcerammer kunne eksempelvis formuleres som grænser for samlet materialeforbrug pr. m^2, delrammer for jomfruelige mineralske råstoffer eller krav til andelen af sekundære og/eller fornybare materialer. En sådan tilgang vil dog kræve et stærkere datagrundlag, flere cases og en nærmere afklaring af, hvilke særlige forhold der bør indgå i vurderingen.

Samlet set konkluderer rapporten, at en ressourceindikator for byggeri er både relevant og nødvendig, hvis byggeriets afhængighed af mineralske råstoffer skal synliggøres og reduceres. De eksisterende værktøjer og datakilder kan allerede i dag danne grundlag for simple opgørelser, men der er behov for videre metodeudvikling, bedre datatilgængelighed og bredere erfaringsgrundlag, før en fælles indikator eller egentlig grænseværdi kan fastlægges.

2 Introduktion

Byggebranchen er en af de mest ressourceintensive sektorer i samfundet og står for et betydeligt forbrug af råstoffer, en stor affaldsgenerering og væsentlige miljøpåvirkninger gennem hele bygningens livscyklus. I takt med at klima- og ressourceudfordringer fylder mere i både regulering, forskning og praksis, er der opstået et stigende behov for ikke alene at kunne måle byggeriets klimapåvirkning, men også dets forbrug af materialer og naturressourcer. Særligt forbruget af mineralske råstoffer som sand, sten og grus er centralt, da disse materialer udgør en stor del af byggeriets massegrundlag og samtidig er under stigende pres som følge af høj efterspørgsel, lokale knapheder og miljømæssige hensyn ved indvinding.

I dag er klimapåvirkning den mest udbredte indikator for grøn omstilling i byggeriet, blandt andet som følge af lovkrav om livscyklusvurderinger og grænseværdier for nybyggeris CO_2-udledning. Disse opgørelser giver vigtig viden om drivhusgasemissioner, men de siger ikke i sig selv noget entydigt om, hvor mange ressourcer et byggeri forbruger, hvilke typer råstoffer der anvendes, eller hvordan materialerne indgår i kredsløb gennem genbrug, genanvendelse eller affaldsbehandling. Hvis byggeriets ressourceforbrug skal kunne monitoreres, sammenlignes og eventuelt reguleres, er der derfor behov for særskilte ressourceindikatorer.

Rapporten indgår i projektet *Konsekvenser og handlingsrum for byggeriet ved mangel på mineralske råstoffer*, som gennemføres i samarbejde mellem Teknologisk Institut og WSP Danmark med støtte fra Grundejernes Investeringsfond og den filantropiske forening Realdania. Projektet undersøger konsekvenserne af fremtidig mangel på mineralske råstoffer 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.

2.1 Formål

Denne rapport belyser eksisterende tilgange til at opgøre ressourceforbrug og ressourceeffektivitet med særligt fokus på byggeriet. Formålet er at skabe overblik over relevante indikatorer, deres styrker og begrænsninger samt deres anvendelighed i en dansk byggesammenhæng. Rapporten omfatter både indikatorer, der bygger på absolutte grænser, materialestrømme, cirkularitet, ressourceproduktivitet og livscyklusvurdering. Samtidig diskuteres det, hvilke hensyn der er afgørende ved

udvikling eller valg af en ressourceindikator, herunder om indikatoren skal kunne anvendes til sammenligning mellem byggerier, monitorering over tid, vurdering af cirkularitet eller som grundlag for fremtidige grænseværdier.

Denne delrapport skal ses som et fagligt input til det videre arbejde med at udvikle mere ressourceeffektive og robuste løsninger i byggeriet.

3 Indledende overvejelser om ressourceindikatorer

Den mest udbredte indikator i forhold til miljøpåvirkninger knyttet til byggeri er i dag måling af klimapåvirkning, som beregnes og opgøres på både materiale- og bygningsniveau vha. indikatorer for global opvarmning, målt i CO_2-ækv[1].

Siden 1. januar 2023 har det været obligatorisk at beregne klimapåvirkningen for nybyggeri omfattet af klimakravene i bygningsreglementet, hvor der er fastsat grænser for, hvor meget CO_2 et byggeri må udlede over en 50-årig periode.

Forbruget af råstoffer indgår indirekte som beregningsgrundlag for CO_2-indikatoren for et byggeri, idet CO_2-emissioner forbundet med at indvinde, transportere og oparbejde råstoffer opgøres for de enkelte byggematerialer. Man kan dog ikke ud fra CO_2-indikatoren se, hvor mange råstoffer byggeriet har krævet.

Det vil altså kræve en separat indikator at opgøre ressourceforbrug eller ressourcestrømme for et byggeri.

En ressourceindikator for byggeriet kan designes på mange måder, afhængigt af hvad man vil måle eller styre efter. De fremhævede tilgange i denne rapport er inddelt i:

- Absolutte ressourcegrænser
- Materialestrømme og massebalance
- Cirkularitetsindikatorer
- Ressourceproduktivitet
- Ressourceindikatorer anvendt i LCA

3.1 Hvad skal indikatoren benyttes til?

Det kan diskuteres, hvilken form for indikator der er mest relevant, da det afhænger af formålet med indikatoren.

- Skal den bruges til at sammenligne to byggerier, eller skal den bruges til kontinuerlig monitorering af en udvikling?
- Skal den måle den samlede mængde af (mineralske) råstoffer i et byggeri, eller skal indikatoren også tage højde for tilgængeligheden af råstoffet?
- Skal den måle det direkte forbrug af råstoffer i byggeriet, eller også råstoffer anvendt opstrøms eller nedstrøms i værdikæden?

[1] CO_2-ækv. er en måleenhed, der bruges til at udtrykke den samlede klimapåvirkning af forskellige drivhusgasser i én fælles værdi. De forskellige drivhusgasser (fx metan, lattergas, HFC-gasser) har forskellige opvarmningseffekter, og ved hjælp af «karakteriseringsfaktorer» omregnes deres relative bidrag til global opvarmning til CO_2-ækv.

- Skal den måle andelen af sekundære ressourcer i byggeriet, og/eller også de biogene ressourcer?
- Skal indikatoren kunne bruges til at vurdere, hvor cirkulært byggeriet er?

4 Eksisterende og potentielle indikatorer for ressourcer

Dette kapitel giver en oversigt over eksisterende og potentielle indikatorer, der kan anvendes til at belyse ressourceforbrug i byggeriet. Kapitlet spænder fra overordnede tilgange som absolutte ressourcegrænser og materialestrømme til mere specifikke indikatorer for cirkularitet, ressourceproduktivitet og livscyklusbaseret ressourceforbrug. Formålet er at skabe et samlet overblik over relevante metoder og værktøjer, som kan understøtte vurdering, sammenligning og reduktion af byggeriets ressourceforbrug.

4.1 Absolutte ressourcegrænser

Ved brug af absolutte ressourcegrænser fastlægges der et maksimalt ressourceforbrug tilladt, fx målt i kg pr. m² byggeri – på samme måde som det kendes fra klimakravene i bygningsreglementet i dag.

4.1.1 Kort om absolutte grænser

Der findes forskellige tilgange til fastsættelse af absolutte grænser, fx politiske eller tilgange der tager højde for fx økosystemets fysiske bæreevne. Et eksempel på en politisk fastsat grænse er Parisaftalen, der definerer den overordnede ramme for den globale klimapolitik. Aftalen fastsætter et mål om at holde den gennemsnitlige globale opvarmning godt under 2 °C og tilstræbe at begrænse den til 1,5 °C over førindustrielt niveau. Det er i dag et temperaturmål på maks.1,5 °C, der reelt fungerer som det globale pejlemærke. Selve beregningen af, hvor meget CO_2 der fortsat kan udledes inden for dette mål, følger dog ikke af aftaleteksten. Den bygger på klimavidenskabelige vurderinger, særligt fra IPCC[2], som estimerer det resterende globale CO_2-budget. Dette budget er ikke en politisk fastsat størrelse, men et videnskabeligt skøn, som er forbundet med usikkerhed og afhænger af den ønskede sandsynlighed for at holde temperaturstigningen under 1,5 °C.

Det mest udbredte eksempel på grænser, der tager højde for økosystemets fysiske bæreevne, er de planetære grænser. De planetære grænser er et koncept, der definerer de kritiske grænser for ni områder relateret til jordens økosystem. Eksempler på områder er klimaforandringer, biodiversitet og arealanvendelse. Grænserne bør ikke overskrides, hvis vi skal opretholde en bæredygtig planet, men syv af de planetære grænser er allerede overskredet ifølge den seneste opgørelse fra 2025 [1]. De

[2] Intergovernmental Panel on Climate Change

planetære grænser som koncept blev udviklet af Stockholm Resilience Centre i 2009, og opdateres løbende.

Byggeriet er en af de sektorer i Danmark – og på verdensplan – der har det største forbrug af ressourcer, bidrager mest til klimapåvirkningen og genererer mest affald. Ressourceforbrug er ikke en del af de ni områder, men vil ofte være den underliggende årsag til, at grænserne påvirkes og overskrides. Derfor er der stort behov for at reducere byggeriets forbrug af ressourcer.

4.1.2 Initiativer der anvender absolutte grænser

4.1.2.1 DGNB-udmærkelsen 'Planet'

DGNB-udmærkelsen "Planet" kan opnås sammen med en DGNB-certificering. Byggeriet skal overholde en række minimumskrav (også ofte omtalt som "knockout" krav) for at opnå 'Planet'-udmærkelsen. I den første version af udmærkelsen, som indgår i 2023-manualen, var det kun muligt at opstille mål for fire ud af de ni planetære grænser. I den anden version af udmærkelsen, som indgår i 2025-manualen for renovering og nybyggeri, har det stadig kun været muligt at opstille mål for fire planetære grænser, men der er tilføjet krav til ressourcer [2, 3].

For at opnå 'Planet'-udmærkelsen opstilles der i 2025-manualen et minimumskrav til pointscoren indenfor følgende over-kategorier: Global opvarmning (5 indikatorer), biodiversitet (2 indikatorer), land og vand (3 indikatorer), miljøfarlige og sundhedsskadelige stoffer (2 indikatorer) og cirkulære ressourcer (5 indikatorer).

De 5 indikatorer for "cirkulære ressourcer", er følgende:

- Ingen nedrivning
    - Der må ikke være foretaget en nedrivning forud for nybyggeri – eller også skal "Bevar eller forklar"-princippet benyttes, dvs. en eventuel nedrivning skal kunne forsvares ressource- og/eller CO_2-mæssigt.
- Ressourcekortlægning:
    - Ved renovering: der skal være foretaget en ressourcekortlægning af bygningen forud for renoveringen.
    - Ved nybyggeri med nedrivning inden byggeri: der skal være foretaget en ressourcekortlægning af bygningen, der nedrives, og muligheder for opkøb af genbrugsmaterialer skal vurderes.
    - Ved nybyggeri uden nedrivning inden der bygges: muligheder for opkøb af genbrugsmaterialer skal vurderes.

- Materialeoprindelse:
    - Mindst 50 % af bygningen skal bestå af sekundære råmaterialer eller materialer fra fornybare, certificerede kilder.
- Bygge- og nedrivningsaffald:
    - Mindst 90 % (vægtprocent) af ikke-forurenet bygge- og nedrivningsaffald, der genereres på byggepladsen, skal forberedes med henblik på genbrug eller genanvendes.
- Fremtidig cirkularitet:
    - Der er arbejdet med fremtidig cirkularitet af de byggematerialer, der anvendes i byggeriet, fx mulighed for adskillelse og indhold af kemi

4.1.2.2 Reduction Roadmap

Reduction Roadmap [4] arbejder for at sætte forskningsbaserede og absolutte klimamål specifikt for byggebranchen. Arbejdet tager udgangspunkt i de planetære grænser og omsætter disse til konkrete grænseværdier for udledning af drivhusgasser fra byggeri i Danmark. Målet er at sikre, at byggeriets klimabelastning falder hurtigt nok til at leve op til Paris-aftalens temperaturmål om max. 1,5 °C global opvarmning.

Fokus ligger på opgørelse og reduktion af CO_2-udledning pr. kvadratmeter byggeri, hvilket giver mulighed for at dele det samlede klimabudget op på enkelte byggeprojekter og sektorniveau. De anvendte grænser er baseret på internationale rammer for, hvor meget udledning der globalt kan tillades, hvis Parisaftalens mål skal overholdes. Disse grænseværdier er lavere end de nuværende krav i Bygningsreglementet.

Der findes ikke et tilsvarende mål for ressourceforbrug, hvilket gør det vanskeligt at lave et "Reduction Roadmap" for forbrug af mineralske råstoffer. Det vil kræve en målsætning om, hvor mange ressourcer vi årligt må indvinde/forbruge – opgjort enten globalt, regionalt eller nationalt.

4.2 Materialestrømme og massebalance

Kortlægning og kvantificering af ind- og udgående materialestrømme, herunder affald, genbrug og genanvendelse, spiller en stadig større rolle i analyser af ressourceforbrug både på samfundsniveau og i byggeriet. Materialestrømsanalyser gør det muligt at identificere hvilke ressourcer, der tilføres et system, hvordan de omsættes, og hvilke strømme der forlader systemet igen. Derved udgør de et centralt redskab i vurderinger af ressourceeffektivitet, affaldshåndtering og cirkulær økonomi.

4.2.1 Danmark samlede ressourceforbrug

Danmarks samlede ressourceforbrug opgøres gennem det nationale materialestrømsregnskab som Domestic Material Consumption (DMC). DMC beregnes som den indenlandske indvinding af råstoffer plus import af varer minus eksport af varer og angives i ton. Indikatoren udtrykker dermed den samlede mængde materialer, der står til rådighed for produktion og forbrug i Danmark.

DMC omfatter blandt andet biomasse, fossile brændsler, metaller og ikke-metalliske mineraler som sand og grus [5]. Opgørelsen anvendes til at følge udviklingen i det danske ressourceforbrug over tid og til at belyse, hvordan økonomisk aktivitet påvirker naturressourcerne både i Danmark og i de lande, hvorfra råvarer og produkter importeres [6].

4.2.2 Level(s): Ressourceeffektivitet og cirkulære materialelivscykler

Level(s), som er EU's fælles rammeværktøj for bæredygtigt byggeri, beskæftiger sig med en lang række indikatorer til måling af bæredygtighedstiltag i bygningers livscyklus [7]. Ét af de 6 overordnede makromål er indikatorer for ressourceeffektivitet og cirkulære materialer livscyklusser. Dette dækker over:

- Mængdefortegnelse (Bill of Quantities), materialer og levetider
- Bygge- og nedrivningsaffald og materialer
- Design med henblik på tilpasningsevne og renovering
- Design med henblik på dekonstruktion, genbrug og genbrug

4.2.3 Materiale-/bygningspas

Et materialepas er en samlet oversigt over vigtige oplysninger om et bestemt byggemateriale, for eksempel dets indhold af kemiske stoffer, tekniske egenskaber og oplysninger om miljøforhold. Et bygningspas er dokumentation for, hvilke materialer og produkter der er anvendt i en bestemt bygning.

Formålet med materiale- og bygningspas er at gøre det lettere at finde og genbruge materialer, forebygge farligt byggeaffald og understøtte bedre drift og vedligeholdelse gennem bygningens levetid. De oplysninger, der opgøres, handler typisk om materialernes type, mængde, placering og eventuelle særlige forhold som indhold af farlige stoffer [8, 9].

4.3 Cirkularitetsindikatorer

Der er udviklet en lang række indikatorer, hvis formål er måle på cirkularitet og cirkulær økonomi. Det er forskelligt, om de er rettet mod målinger på nationalt niveau

eller virksomheds- eller produktniveau. I rapporten "Monitorering af cirkulær økonomi" [10] udarbejdet af PlanMiljø (nu Norion Consult) for Erhvervsstyrelsen gennemgås en lang række indikatorer, der kan anvendes til vurdere cirkulær økonomi. Teknologisk Institut har i det interne notat "Cirkulære indikatorer"[3] samlet og gennemgået de indikatorer, der vurderes mest relevante for byggeriet. Notatet er udarbejdet som led i instituttets arbejde med bæredygtige byggematerialer. Med afsæt i dette notat gennemgås i nedenstående udvalgte indikatorer for cirkularitet.

4.3.1 Circularity Metric

Circulartity Metric anvendes som indikator af Circle Economy Foundation, som har beregnet cirkularitetsniveauer for en række lande og regioner, og også på globalt niveau. Beregningerne rapporteres i de såkaldte Circularity Gap Reports. I august 2023 blev den første Circularity Gap Report Denmark [11] lanceret, som viste, at Danmarks økonomi kun er 4 % cirkulær. Cirkularitet (eller the *Circularity Metric*) beregnes som andelen af sekundære råstoffer set i forhold til den totale mængde af råstoffer anvendt.

Circularity Metric er en livscyklusbaseret indikator baseret på *Raw Material Comsumption* (RMC), dvs. indikatoren er forbrugsbaseret og omfatter dermed også påvirkninger og forbrug uden for Danmarks grænser. Materialestrømme kvantificeres og beskrives ved hjælp af material flow accounting og Input-Output-analyser, og der benyttes globale databaser som EXIOBASE [12], IRP [13] og Eurostat med nationale eller regionale data (affalds- og emissionsdata) [14, 15].

Byggebranchen er den sektor i Danmark med det største materialefodaftryk (RMC). I 2023 udgjorde byggebranchen 31 % af det total materialefodaftryk i Danmark [11].

4.3.2 CMUR (EU's Circularity Material Use Rate)

CMUR [16] er en indikator, der anvendes på EU-niveau til at estimere andelen af materialer, der stammer fra sekundære råstoffer. CMUR kan beregnes på landeniveau eller delt op på fire materialegrupper: biomasse, metaller, ikke-metalliske mineraler og fossil energi. I modsætning til *Circularity Metric*, som måler et lands bestræbelser og kapacitet til at producere sekundære råstoffer fra genanvendte materialer, måler *CMUR* et lands bestræbelser på at indsamle affald til genanvendelse.

[3] Teknologisk Institut (2023): Cirkulære indikatorer. Internt notat.

4.3.3 Building circularity tool

Building circularity tool tilbydes af virksomheden OneClick LCA som et værktøj til at beregne et cirkularitetsindeks på bygningsniveau [17]. Det kan også bruges på materialeniveau. I indikatoren indgår faktorer som oprindelsen af materialer anvendt i byggeriet (jomfruelige eller sekundære) og den forventede affaldsbehandling af materialerne, når bygningen når sin endte levetid. Det kræver en licens at anvende værktøjet.

4.3.4 Material Circularity Indicator (MCI)

MCI er en indikator udviklet af Ellen McArthur Foundation [18]. Det er gratis at benytte beregningsværktøjet, som kan downloades på hjemmesiden thinkstep-anz.com [19]. Værktøjet kan bruges til at beregne, hvor cirkulært et produkt eller en service er, og det måler, hvor godt produktet undgår brug af ikke-fornybare ressourcer og undgår produktion af affald, der ikke kan nyttiggøres.

4.3.5 Metode til beregning af materialefodaftryk og cirkularitet på virksomhedsniveau

Metoden er udviklet af Rambøll i samarbejde med Teknologisk Institut og IDA, og finansieret af Industriens Fond [20]. Metoden bygger på EU's Raw Material Footprint (RME – Raw Material Equivalents) [21] og Circular Material Use Rate (CMUR), og anvender data om økonomisk aktivitet, indkøb eller specifikke materialebehov. Ved hjælp af input-output-tabeller konverteres disse data til forbrugsbaserede materialeækvivalenter. Cirkulariteten beregnes ud fra en vurdering af materialernes håndtering ved endt levetid. Materialefodaftrykket omfatter direkte såvel som indirekte forbrug, dvs. den mængde råmaterialer, der er nødvendige for at producere fx de varer, som en virksomhed selv producerer.

Efterfølgende er metoden benyttet til at udvikle et Excel-baseret værktøj til beregning af virksomheders materialefodaftryk. Beregneren er udviklet i projektet Klimaklar Produktionsvirksomhed [22] med støtte fra Industriens Fond.

4.3.6 Cirkularitetsindeks

Cirkularitetsindekset er en måleenhed introduceret af DGNB Danmark, der viser, hvor godt en bygning lever op til principperne for cirkulær økonomi [23]. Indekset udregnes ud fra data om materialernes oprindelse (fx hvor meget der er genbrugt eller genanvendt), hvor let bygningen kan skilles ad, indhold af problematiske stoffer, samt

muligheder for genbrug og genanvendelse af materialer, når bygningen engang skal rives ned.

Cirkularitetsindekset giver én samlet score – mellem 0 og 1 – som gør det muligt at sammenligne og vurdere, hvor cirkulær en bygning er. Indekset bruges blandt andet i bæredygtighedscertificeringen DGNB, introduceret i den nyeste manual fra 2025, og kan bruges til at planlægge og dokumentere cirkulære tiltag i byggeriet.

4.4 Ressourceproduktivitet

Der kan argumenteres for, at ressourceproduktivitet er det centrale aspekt i en række af de ovenstående initiativer, fx de forskellige metoder for cirkularitets måling.

Ressourceproduktivitet måler således output pr. enhed ressourceinput, fx bruttonationalprodukt per ton anvendte materialer i byggeriet eller bygningens nytteværdi per kg materiale.

Ressourceproduktivitet beskriver, hvor effektivt et samfund eller en virksomhed udnytter sine materialer og ressourcer til at skabe værdi. Det måles ofte som forholdet mellem økonomisk output (for eksempel BNP) og forbruget af materialer (fx råstoffer, energi eller vand) [24, 25]. Jo højere ressourceproduktivitet, desto mere værdi skabes for hver enhed ressource, der bruges. Ressourceproduktivitet kan bruges til at følge udviklingen i, om samfundet bliver bedre til at udnytte sine ressourcer og om velstand og velfærd kan opleves med mindre forbrug af materialer.

4.5 Ressourceindikatorer anvendt i LCA

Ved udførelse af en livscyklusvurdering (LCA) anvendes der i dag en række udvalgte indikatorer/påvirkningskategorier, herunder den mest kendte, global opvarmning. Metoderne og værktøjerne bag disse beregninger favner dog betydeligt bredere end de alment kendte og anvendte indikatorer.

Ved LCA på bygningsniveau, anvendes der i dag oftest programmet LCAbyg [26]. Selvom klimakravene i bygningsreglementet kun sætter grænser for udledning af CO_2, er det muligt også at få opgørelser for 8 andre miljøpåvirkningskategorier [27]: Ozonlagsnedbrydning, Fotokemisk ozondannelse, Forsuring, Næringssaltsbelastning, Primærenergiforbrug, Forbrug af sekundære brændsler, samt Udtømning af abiotiske ressourcer – både grundstoffer og fossile brændsler.

Abiotiske ressourcer i LCA refererer til de ikke-levende (dvs. ikke-biologiske) naturressourcer, som indvindes og forbruges gennem menneskelig aktivitet. Eksempler på abiotiske ressourcer er metaller, mineraler, sand, grus, sten, ler, olie, gas og kul. I

LCA-sammenhæng opgøres forbruget af abiotiske ressourcer typisk som en miljøindikator, ofte kaldet "abiotisk ressourceforbrug" eller "abiotisk ressourceudtømning" (abiotic resource depletion). Denne indikator viser, hvor meget af verdens begrænsede råstoffer, der forbruges gennem en given produktionskæde – og bruges til at illustrere risikoen for udtømning af disse ressourcer over tid.

Abiotiske ressourcer står i modsætning til biotiske ressourcer, der dækker levende eller biologiske ressourcer som træ, planter og dyr. For at opgøre *anvendelsen* af disse ressourcer er der behov for at anvende nogle af de andre tilgængelige miljøpåvirkningskategorier. På bygningsniveau kunne det fx være kategorien PERT, som dækker over forbrug af vedvarende primære energiressourcer brugt som både energi og råmaterialer.

I miljøvaredeklarationer (EPD) på byggematerialer, deles indikatorerne op i en lang række ressourceforbrugskategorier, som er mere specifikke, fx "Forbrug af vedvarende primære energiressourcer anvendt som råmaterialer" (PERM) [28].

Der findes således allerede ressourceindikatorer i livscyklusdata anvendt på både bygnings- og materialeniveau, men der mangler erfaring med at anvende disse i branchen, samt en form for reference/grænseværdi at holde eventuelle beregninger op imod.

Mineralske råstoffer karakteriseres dog sjældent i forskellige LCIA-metoder indenfor LCA. Det betyder, at de ikke omsættes til et miljøpåvirkningsbidrag i beregningen og dermed reelt ikke indgår i LCA-resultatet. Der kan således være væsentlige materialemængder i systemet, som registreres i opgørelsen, men som ikke afspejles i den endelige miljøvurdering.

Forskellige LCIA-metoder inkluderer udvalgte mineralske råstoffer. Fx karakteriserer ReCiPe [29] blandt andet ler, basalt, kalksten i ressourceindikatoren (målt i Cu-eq./kg), mens centrale råstoffer som sand, sten og grus ikke indgår. En anden LCIA-metode, Ecological Scarcity 2021 [30] karakteriserer grus (målt i UBP/kg), mens en tredje, EF 3.1 samt EN15804 tilpasningen [31, 32], bl.a. karakteriserer perlit, gips, granit, ler, bentonit, og basalt (målt i Sb-eq/kg). En fjerde metode, Cumulative Exergy Demand [33], karakteriserer fx ler, basalt, granit, grus, gips, og sand (målt i MJ-eq/kg). Dog ikke ud fra råstoffernes knaphed, men i stedet i forhold til deres kemisk/fysiske kvalitet og bindingsenergi. Der er ingen karakteriseringsmetoder på nuværende tidspunkt, der karakteriserer alle relevante mineralske råstoffer.

5 Hvor anvender man indikatorer?

Nedenstående skal ikke betragtes som en fyldestgørende oversigt over, hvor der anvendes indikatorer, men som et indblik i nogle af de steder, hvor der rapporteres på basis af indikatorer.

5.1 Handlingsplan for cirkulær økonomi

I Handlingsplan for cirkulær økonomi [34], som er den nationale plan for forebyggelse og håndtering af affald 2020-2032, fremgår det, at Regeringen vil benytte en række indikatorer til at følge udviklingen i forhold til de visioner og målsætninger, der fremgår af planen. Der er tale om nationale indikatorer.

For byggesektoren er det målsætningen at reducere miljøbelastningen fra byggeri og nedrivning. Som indikatorer benyttes:

- mængden af indvundne råstoffer (1000 m^3)
- andelen af byggeri, der er certificeret med svanemærket, DGNB, LEED eller BREEAM
- andelen af bygge- og anlægsaffald, der forberedes med henblik på genbrug eller genanvendelse
- andelen af bygge- og anlægsaffald, der forberedes med henblik på genbrug, genanvendelse eller bruges til anden endelig materialenyttiggørelse

5.2 EU's Taksonomiforordning

Taksonomiforordningen [35] er EU's fælles klassificeringssystem, der definerer, hvornår en økonomisk aktivitet, kan betegnes som miljømæssigt bæredygtig. Formålet med forordningen er at guide virksomheder og investorer mod bæredygtige investeringer.

Forordningen er opbygget omkring seks miljømål, hvor især miljømål 4 - omstilling til en cirkulær økonomi – er relevant for ressourceforbrug i byggeri.

Taksonomiforordningen anvender i dag ikke én samlet tværgående indikator for ressourceforbrug i byggeriet. Ressourceforhold indgår derimod indirekte gennem de tekniske screeningskriterier for de relevante byggeaktiviteter, særligt under miljømålet "omstilling til en cirkulær økonomi". I praksis retter kravene sig mod forhold som reduktion af jomfruelige råstoffer gennem brug af genbrugte eller genanvendte affaldsmaterialer, håndtering af bygge- og nedrivningsaffald, design for adskillelse, digital sporing og dokumentation, begrænsning af spild i byggeprocessen samt minimering af miljøfarlige stoffer i de anvendte byggematerialer.

For byggeriet betyder det, at taksonomien allerede i dag indeholder elementer, der kan understøtte udviklingen af ressourceindikatorer, men ikke i form at ét fælles nøgletal. I stedet bygger reguleringen på flere delkrav og dokumentationspunkter, som tilsammen belyser bygningers ressourceprofil. Dette gælder især for aktiviteter som nybyggeri og renovering, hvor cirkularitet og materialeanvendelse får stigende betydning.

Der er ikke aktuelt vedtaget en fælles, obligatorisk ressourceindikator for byggeri i taksonomien. Udviklingen peger dog i retning af mere systematisk anvendelse af materialedata, livscyklusvurderinger og cirkulære kriterier. Taksonomien kan derfor ses som en relevant ramme for fremtidig operationalisering af ressourceindikatorer, men ikke som en ordning, der allerede i dag fastlægger én entydig indikator for ressourceforbrug i byggeriet.

5.3 CSRD

CSRD [36] (Corporate Sustainability Reporting Directive) er EU's direktiv om bæredygtighedsrapportering. Direktivet forpligter større virksomheder til at rapportere mere systematisk om deres væsentligste påvirkninger, risici og muligheder inden for bl.a. klima, miljø og ressourceforbrug.

CSRD indeholder krav, der kan omfatte ressourceforbrug og cirkulær økonomi, især gennem ESRS E5: Resource Use and Circular Economy. For bygge- og ejendomsvirksomheder kan dette omfatte oplysninger om bl.a. materialeforbrug, brug af sekundære råvarer, affaldsstrømme og cirkulære tiltag på tværs af byggerier.

CSRD indeholder dog ikke en særskilt, fælles ressourceindikator for byggeri. Rapporteringen er virksomhedsbaseret og afhænger af, hvad der vurderes som væsentligt. Der finder heller ikke aktuelt en vedtaget byggespecifik CSRD-standard med en samlet indikator for ressourceforbrug i byggeri.

CSRD kan derfor ses som en ramme, der understøtter rapportering om ressourcer, men ikke som et regelsæt, der i dag fastlægger én entydig ressourceindikator for byggeriet.

6 Diskussion af forskellige muligheder for en "ressourceindikator"

I nedenstående Tabel 1 beskrives forskellige muligheder for en "ressourceindikator" på bygningsniveau. Disse er baseret på de indledende præsentationer af Eksisterende og potentielle indikatorer for ressourcer.

Tabel 1 Muligheder for en "ressourceindikator" på bygningsniveau.

Nr.	Indikator	Enhed	Fordele	Ulemper
1	Den samlede mængde af mineralske råstoffer i et byggeri	Ton eller ton/m^2	Det er forholdsvist simpelt at lave denne opgørelse, hvis der på forhånd er lavet en LCA af byggeriet. På nuværende tidspunkt kræver det dog en manuel gennemgang af LCA'ens input for at kunne skelne mellem mineralske og ikke-mineralske råstoffer. Man skal også være opmærksom på, at mængde-oplysninger er knyttet til materialer, fx mørtel eller beton, så det kræver yderligere bearbejdning af data – fx ved anvendelse af EPD'er - at identificere mængden af sand, grus, ler, etc.	Da der kun fokuseres på at opgøre den totale mængde råstoffer i byggeriet, kan man ikke bruge indikatoren til at få indsigt i, hvilke typer af råstoffer der er anvendt.
2	Den samlede mængde af mineralske råstoffer i et byggeri fordelt på typer (fx grus, sand, ler, sten) (Reelt ikke en samlet indikator, men én indikator pr. materialetype)	Ton råstof eller ton råstof/m^2	Giver flere oplysninger end 1), som kan være brugbare, hvis man vil vise typen af råstoffer brugt i byggeriet.	Kræver flere oplysninger end 1) og også her er det en forudsætning, at der er lavet en LCA for at kunne lave opgørelsen. LCA'en vil skulle kombineres med oplysninger fra EPD'er – i hvert fald hvis det er LCAbyg, der anvendes til LCA'en – for at kunne få det ønskede detaljeniveau. Fx hvor meget grus og kalk, der er indeholdt i beton.
3	Den samlede mængde af mineralske råstoffer i et byggeri udtrykt ved en "ressourceenhed", der	Kg Sb-eq/m^2	Kendt fra LCA'er og EPD'er, hvor man typisk opgør udtømning af abiotiske ressourcer i form af fossile brændsler og udtømning af	I dag indgår de mineralske råstoffer som sand, jord og grus som udgangspunkt ikke i opgørelsen af abiotiske ressourcer [31, 32].

			tager højde for tilgængelighed og forbrug af råstoffer	abiotiske ressourcer i form af grundstoffer som metaller og mineraler. Det er således en indikator, der omregner materialeforbrug til risikoen for udtømning af ikke-fornybare naturressourcer. Da indikatoren tager højde for produktionsmængder såvel som den opgjorte/estimerede reserve, giver den indirekte et billede af alvorligheden af forbruget af de forskellige råstoffer.	Det skyldes, at fokus hovedsageligt er på metaller pga. deres begrænsede udbredelse sammenlignet med fx sand. Dette betyder også, at enheden, der regnes med (Sb – Antimon), er relativt svær at relatere til/forstå for ikke-eksperter i bl.a. LCA og karakteriseringsmetoder. Anvendelsen af en ressourceenhed for mineralske råstoffer vil kræve udarbejdelse af nye data i form af "karakteriserings-faktorer". Se også afsnit 4.5 der diskuterer karakterisering af mineralske råstoffer i LCA. Historisk er der meget ringe sammenhæng mellem beregnet forsyningshorisont (depletion rate) og faktisk tømning af ressourcen [37].
4	Materialefodaftryk	Ton RME eller ton RME/m^2	Metode, der kunne bygge på EU's "raw material footprint" (RME, Raw Material Equivalent). Materialefodaftrykket omfatter direkte såvel som indirekte forbrug i forhold til et byggeri, og resultatet er en forbrugsbaseret materialeækvivalent. Med opgørelse af materialefodaftrykket sikrer man en opgørelse af hele materialeforbruget i kæden for byggeriet:	På nuværende tidspunkt findes der ikke umiddelbart et værktøj til at lave denne opgørelse på bygningsniveau. Metoden kræver data fra eksterne databaser, som kombineres med data om det konkrete byggeri.

			indvinding, transport, energiforbrug, hjælpestoffer, affald etc.	
5	Materialeoprindelse	Fx % af bygningen, der består af sekundære og/eller fornybare ressourcer	Fordelen ved denne indikator er, at den giver oplysninger om, hvor stor en andel af bygningen, der består af sekundære råstoffer (fx genbrugsmaterialer) og/eller fornybar ressourcer som fx træ og anden biomasse.	Da enheden for indikatoren er en %-andel, giver den ikke oplysninger om mængden eller typen af råstoffer anvendt i bygningen.
6	Cirkularitet på bygningsniveau	Cirkularitets-faktor, fx %	Det kan være en fordel at anvende en faktor for cirkularitet, hvis man ønsker at opgøre, hvor cirkulært et byggeri er, fx hvor stor andelen af sekundære råstoffer er i forhold til de primære råstoffer, evt. kombineret med vurderinger af bygningens affaldsfase.	Som for 5) giver indikatoren ikke oplysninger om mængden eller typen af råstoffer anvendt i bygningen.

6.1 Beregning af ressourceforbrug på byggeriniveau

I det følgende vises med udgangspunkt i to forskellige etagebyggerier, hvordan forbruget af mineralske råstoffer er for disse byggerier, og hvordan forbruget fordeler sig på forskellige typer råstoffer.

6.1.1 Beskrivelse af byggerier

Byggerierne, der anvendes som udgangspunkt for beregningen, er fundet i VBCKs casebibliotek[4], som indeholder en samling af LCA-beregninger og data for konkrete byggerier. Casebiblioteket blev oprettet i forbindelse med, at der for nybyggeri blev indført klimakrav i bygningsreglementet. De to byggerier blev opført, før klimakravene trådte i kraft, og LCA-beregningerne kan derfor afvige i metode og resultat, herunder med hensyn til fuldstændighed af de inkluderede bygningsdele, arealberegning eller datagrundlag.

BOFA

BOFA (casenr.: EB-03) er et etageboligbyggeri i fire etager med et etageareal på 903 m^2 og et referenceareal[5] af tilsvarende størrelse. Byggeriet er opført i 2022 og har en samlet klimapåvirkning på 10,7 kg CO_2-ækv./m^2/år.

Viggohaven

Viggohaven (casenr.: EB-07) er et etageboligbyggeri med et etageareal på 3964 m^2 og et referenceareal på 4287,5 m^2. Byggeriet er opført i 2023 og har en samlet klimapåvirkning på 6,3 kg CO_2-ækv./m^2/år.

6.1.2 Beskrivelse af metodemæssig tilgang

I VCBKs casebibliotek finder man LCAbyg-filer, tegningsmateriale, mm. for samtlige omfattede cases i biblioteket. LCA-beregningerne omfatter LCA-modulerne A1-A3, B4, B6, C3-C4 og D.

For at opgøre forbruget af mineralske råstoffer i de to byggerier er der i første omgang foretaget mængdeudtræk fra de respektive LCAbyg-filer. Alle byggevarerne er derefter kategoriseret efter overordnede mineralskbaserede materialetyper, fx beton, mursten og isolering. Endeligt er forbruget af mineralske råstoffer bestemt ved at koble

[4] VCBKs casebibliotek: https://www.sbst.dk/byggeri/baeredygtigt-byggeri/videncenter-for-bygningers-klimapaavirkning/casebibliotek

[5] Referencearealet er det beregnede etageareal, som bygningens samlede klimabelastning divideres med for at dokumentere overholdelse af Bygningsreglementets (BR18) grænseværdier for CO_2-udledning.

mængder med recepter for de forskellige materialetyper. Data og referencer ses i Bilag A.1 – Data for BOFA og Bilag A.2 – Data for Viggohaven.

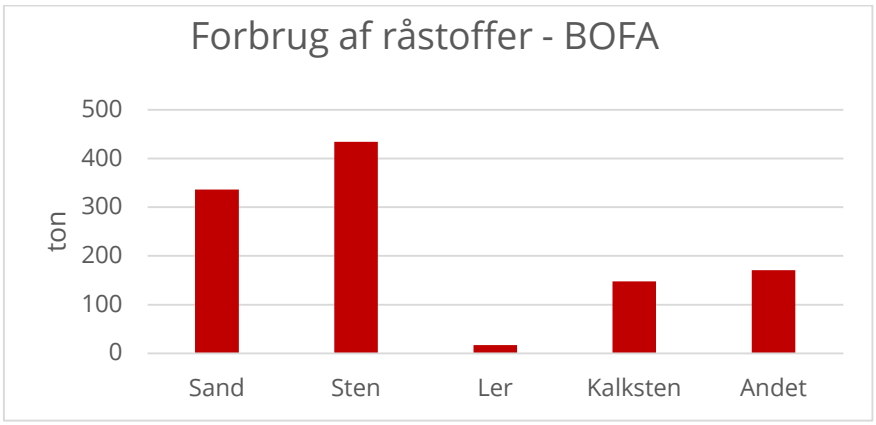
6.1.3 Resultater

Mængden og typen af fire udvalgte mineralske råstoffer anvendt i de to byggerier fremgår af henholdsvis Tabel 2 og Figur 1 (BOFA) og Tabel 3 og Figur 2 (Viggohaven). De fire valgte råstoffer afspejler råstoffer, der som udgangspunkt indvindes i Danmark, og er centrale mineralske råstoffer i dansk byggeri. Råstoffet "Andet" repræsenterer alle de øvrige råstoffer anvendt i byggeriet, primære såvel som sekundære. Dermed afspejler "Total" den totale mængde råstoffer anvendt i de respektive byggerier, mineralske som ikke-mineralske.

BOFA

Tabel 2 Mængde og fordeling af råstoffer i byggeriet BOFA. Enhed: mængde angives i ton, og fordeling i vægtprocent (%).

Råstof	Mængde (ton)	Fordeling (%)
Sand	337	30,4
Sten	434	39,3
Ler	17	1,5
Kalksten	148	13,3
Andet	170	15,4
Total	**1.106**	**100**



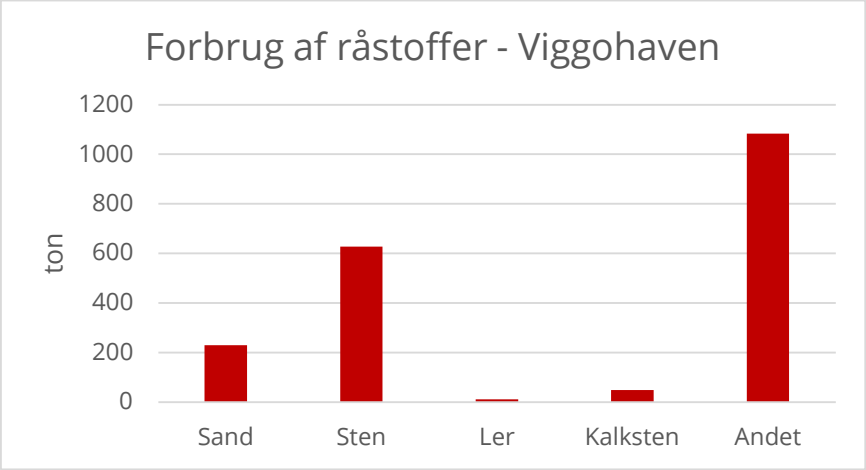
Figur 1 Mængde og fordeling af råstoffer i byggeriet BOFA. Enhed: ton.

Det fremgår af Tabel 2 og Figur 1, at for BOFA er det sand og sten, der er de dominerende råstoffer i byggeriet, idet de samlet set udgør næsten 70 % af de anvendte råstoffer. Det skal bemærkes, at en mindre andel af sten (knap 3 vægt-%) udgøres af sten, der anvendes i isoleringsmateriale (stenuld). Stenuld fremstilles hovedsageligt af vulkanske bjergarter, som importeres fra udlandet, og derfor er disse sten ikke betydende i forhold til den danske indvinding.

Viggohaven

Tabel 3 Mængde og fordeling af råstoffer i byggeriet Viggohaven. Enhed: mængde angives i ton, og fordeling i vægtprocent (%).

Råstof	Mængde (ton)	Fordeling (%)
Sand	229	11,5
Sten	627	31,4
Ler	11	0,6
Kalksten	49	2,4
Andet	1.083	54,2
Total	**1.999**	**100**



Figur 2 Mængde og fordeling af råstoffer i byggeriet Viggohaven. Enhed: ton.

Det fremgår af Tabel 3 og Figur 2, at i forhold til de mineralske råstoffer, er det for Viggohaven sten, der er det dominerende råstof. Omkring 12 % af disse sten anvendes i produktion af mineraluld (stenuld), og indvindes derfor ikke i Danmark.

Over halvdelen af råstofferne anvendt i byggeriet tilhører kategorien "Andet". Udtrækket fra LCAbyg viser, at omkring 25 % (vægt-procent) af byggevarerne i det samlede byggeri er gipsbaserede råstoffer i form af brandhæmmende gipsplader, og ca. 13 % (vægt-procent) består af træ. I byggeriet BOFA udgør træbaserede byggevarer kun omkring 2 % (vægt-procent) af det samlede byggeri.

Sammenligning

I Tabel 4 vises mængden af råstoffer anvendt i de to byggerier i enheden kg/m^2, idet vægten af de enkelte råstoffer er divideret med byggeriernes respektive referencearealer. Det fremgår af tabellen, at BOFAs råstofforbrug pr. m^2 er højere end Viggohavens. En årsag hertil er formentlig, at en højere andel af materialerne anvendt i Viggohaven er træbaserede sammenlignet med materialerne anvendt i BOFA, hvilket gør Viggohaven til et lettere byggeri.

Det har ikke inden for dette projekts rammer været muligt at foretage en analyse af, om der er andre årsager til forskellen mellem de to byggerier.

Tabel 4 Sammenligning af råstoffer anvendt i de to byggerier. Enhed: kg/m^2.

Råstof	Enhed	BOFA	Viggohaven
Sand	Kg/m^2	373	53
Sten	Kg/m^2	481	146
Ler	Kg/m^2	19	3
Kalksten	Kg/m^2	163	11
Andet	Kg/m^2	189	253
Total	**Kg/m^2**	**1.225**	**466**

Tabel 5 sammenligner de to byggerier over en betragtningsperiode på 50 år. Det ændrer ikke på den relative forskel mellem de to byggerier, men viser resultaterne i en enhed, der er sammenlignelig med den, der anvendes for byggeriers klimapåvirkning (kg CO_2-ækv./m^2/år).

Tabel 5 Sammenligning af råstoffer anvendt i de to byggerier. Enhed: kg/m^2/år.

Råstof	Enhed	BOFA	Viggohaven
Sand	Kg/m^2/år	7,5	1,1
Sten	Kg/m^2/år	9,6	2,9
Ler	Kg/m^2/år	0,4	0,1
Kalksten	Kg/m^2/år	3,3	0,2
Andet	Kg/m^2/år	3,8	5,1
Total	**Kg/m^2/år**	**24,5**	**9,3**

Som nævnt i 6.1.1 har BOFA en samlet klimapåvirkning på 10,7 kg CO_2-ækv./m^2/år, mens Viggohavens klimapåvirkning ligger på 6,3 kg CO_2-ækv./m^2/år. En væsentlig del af forklaringen på denne forskel skal findes i designet af de to byggerier, herunder vægten og typen af de materialer, der indgår i byggerierne.

Opsamling

De markante forskelle i råstoftræk mellem BOFA og Viggohaven understreger, at byggebranchen i dag designer med vidt forskellige ressourceaftryk pr. kvadratmeter. Mens BOFA trækker tungt på de jomfruelige, danske mineralske råstoffer,

demonstrerer Viggohaven, at et skifte mod biogene materialer og lette konstruktioner potentielt kan reducere det samlede mineralske råstoftræk med ca. 60 %. Det skal dog pointeres, at denne konklusion kun er baseret på to cases, og at de to cases ikke er undersøgt til bunds. Der kan være særlige forhold, der medfører et øget materialeforbrug, fx dårlige jordbundsforhold eller lignende, som ikke har været mulige at afdække i dette projekt. For at styrke konklusionens robusthed bør flere byggerier indgå i undersøgelsen.

Alt andet lige rejser forskellen i de to cases imidlertid et centralt og aktuelt spørgsmål: Hvordan kan bygningsreglementet og branchens aktører systematisk motiveres til at vælge de ressourcelette løsninger? Hvor de nuværende klimakrav alene regulerer udledningen af drivhusgasser, er der et voksende behov for også at forholde sig til det fysiske træk på begrænsede naturressourcer. Det er i dette spændingsfelt, at idéen om ressourcerammer og brug af ressourceindikatorer for byggeri opstår.

6.2 Ressourcerammer for byggeri

Der findes endnu ikke faste, generelle *ressourcerammer* for, hvor meget og hvilke typer materialer der må bruges i byggeriet.

En mulighed kunne være at indføre tydelige rammer for materialeforbrug — såkaldte ressourcerammer — i byggeprojekter. Disse rammer kunne for eksempel sætte grænser for det samlede forbrug af materialer, begrænse forbruget af ikke-fornybare ressourcer som metaller og mineraler, og samtidig motivere til at anvende flere genanvendte eller fornybare materialer. Rammerne kunne formuleres som "højst X kilo materialer per kvadratmeter bygning" eller "mindst Y procent af materialerne skal være genbrugte eller fornybare" – dette ses allerede delvist implementeret i fx DGNB Planet udmærkelsen.

Hvis vi holder resultaterne fra de to case-byggerier op mod tankegangen om en ressourceramme, bliver det tydeligt, hvilken effekt en sådan regulering ville have:

- BOFA har med et samlet råstofforbrug på 1.225 kg/m^2 et næste tre gange så højt materialeforbrug som Viggohaven, der lander på 466 kg/m^2 (se Tabel 4). Havde man opstillet en overordnet ressourceramme på eksempelvis 800 kg/m^2, ville BOFA-projektet have været tvunget til at optimere sit design, fx ved at reducere mængde af beton i dæk og vægge, eller substituere tunge materialer med lettere alternativer.
- Kigger man specifikt på de fire mineralske råstoffer (sand, sten, ler og kalksten) bruger BOFA samlet 1.036 kg/m^2, mens Viggohaven bruger 214 kg/m^2. En

specifik delramme for råstofgravsafhængige materialer kunne være et styringsværktøj til at begrænse indvindingen.

Hvis man arbejder med sådanne ressourcerammer, vil det kunne give større gennemsigtighed og styrke muligheden for at sammenligne og styre ressourceforbruget på tværs af projekter. Det kan også gøre det lettere for både bygherrer, rådgivere og myndigheder at prioritere løsninger, der fremmer et mere ansvarligt forbrug af naturens ressourcer.

Hvis der er tale om udvikling af reelle grænseværdier, kunne man evt. starte med at sætte en ramme på samme måde, som man gjorde med klimakravet for CO_2-udledning (GWP). Man kunne for eksempel begynde med en grænseværdi valgt ud fra erfaringstal fra eksisterende byggerier.

Her viser de to cases dog også en vigtig synergi: Viggohaven, som har det laveste råstofforbrug, har også den laveste klimapåvirkning, men det tunge byggeri også belaster klimaet mest. En ressourceramme vil således i mange tilfælde fungere som en naturlig rygstøtte for klimakravene, fordi reduktion af materialemængder (især beton og tegl) næsten altid fører til en lavere CO_2-udledning. Ved løbende at indsamle data og justere grænseværdierne i takt med, at branchen får mere viden og erfaring, kan ressourcerammer blive det næste naturlige skridt mod et mere ressourceoptimeret byggeri.

7 Referencer

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

[2] Rådet for Bæredygtigt Byggeri. "DGNB Planet." https://rfbb.dk/dgnb-udmaerkelse/dgnb-planet (accessed 31/03, 2026).

[3] Rådet for Bæredygtigt Byggeri, "DGNB Manual for renovering og nybyggeri 2025," 2025. [Online]. Available: https://rfbb.dk/publikation/dgnb-renovering-og-nybyggeri-2025-manual

[4] Reduction Roadmap. "Reduction Roadmap." https://reductionroadmap.dk/ (accessed 31/03, 2026).

[5] Miljøstyrelsen, "Danmarks samlede ressourceforbrug," ed, 2024.

[6] M. S. Christiansen, "Materialestrømsregnskab," Danmark Statistik,, 2023. [Online]. Available: https://www.dst.dk/da/Statistik/dokumentation/statistikdokumentation/materialestroemsregnskab

[7] European Commision. "A quick introduction to Level(s)." https://green-forum.ec.europa.eu/green-business/levels/quick-introduction-levels_en (accessed 31/03, 2026).

[8] Materialpass. "Hvad er et materialepas?" https://materialpass.org/ (accessed 31/03, 2026).

[9] K. H. Smith, S. C. Andersen, and T. F. Astrup, "Analyse af Bygnings- og Materialepas," Teknologisk Institut, 2019. Accessed: 31/03/2026. [Online]. Available: https://www.teknologisk.dk/ydelser/bygge-og-anlaegsaffald/bygnings-og-materialepas/34248,6

[10] PlanMiljø, "Monitorering af cirkulær økonomi," 2020. [Online]. Available: https://erhvervsstyrelsen.dk/sites/default/files/2020-12/Rapport%20-%20C%C3%98%20Monitorering%2017.01.20_ENDELIG%20FINAL-a_1.pdf

[11] A. Keys, A. B. Sutherland, J. R. Glutting, and M. Murdie, "The Circularity Gap Report, Denmark," Circle Economy,, 2023. [Online]. Available: https://www.circularity-gap.world/denmark

[12] exiobase. "Welcome to EXIOBASE." https://exiobase.eu/ (accessed 31/03, 2026).

[13] International Resource Panel. "Global Material Flows Database." UN Environment Programme. https://www.resourcepanel.org/global-material-flows-database (accessed 31/03, 2026).

[14] Eurostat. "Waste - Overview." https://ec.europa.eu/eurostat/web/waste/overview (accessed 31/03, 2026).

[15] Eurostat. "Climate change - Overview." https://ec.europa.eu/eurostat/web/climate-change (accessed 31/03, 2026).

[16] Circularity Metrics Lab. "Circular Material Use Rate." European Environment Agency. https://www.eea.europa.eu/en/circularity/thematic-metrics/materialsandwaste/circular-material-use-rate (accessed 31/03, 2026).

[17] OneClick LCA. "Building Circularity." https://help.oneclicklca.com/en/articles/275737-building-circularity (accessed 31/03, 2026).
[18] Ellen MacArthur Foundation. "Material Circularity Indicator (MCI)." https://www.ellenmacarthurfoundation.org/material-circularity-indicator (accessed 31/03, 2026).
[19] thinkstep anz. "Material Circularity Indicator (MCI) calculator." https://www.thinkstep-anz.com/services/circular-economy/material-circularity-indicator-mci-calculator/ (accessed 31/03, 2026).
[20] Rambøll and Teknologisk Institut, "Materialefodaftryk og cirkularitet i virksomheder," Industriens Fond, 2024.
[21] Eurostat, "Handbook for estimating raw material equivalents - of imports and exports and RME based indicators on the country level – based on Eurostat's EU RME model ", 2025. [Online]. Available: https://ec.europa.eu/eurostat/documents/1798247/6874172/Handbook-country-RME-tool
[22] Dansk Industri. "Klimaklar." https://www.danskindustri.dk/klimaklar-produktionsvirksomhed/ (accessed 31/03, 2026).
[23] Rådet for Bæredygtigt Byggeri. "Cirkulær Økonomi." https://rfbb.dk/tema/cirkul%C3%A6r-%C3%B8konomi (accessed 31/03, 2026).
[24] OECD. "Resource efficiency and circular economy." https://www.oecd.org/en/topics/resource-efficiency-and-circular-economy.html (accessed 31/03, 2026).
[25] Miljøstyrelsen. "Ressourceproduktivitet: Værdien af vores ressourceforbrug." https://miljotilstand.dk/produktion-forbrug-og-affald/ressourceproduktivitet-vaerdien-af-vores-ressourceforbrug (accessed 31/03, 2026).
[26] LCAbyg. "LCAbyg." https://www.lcabyg.dk/da/ (accessed 31/03, 2026).
[27] LCAbyg, "Miljøpåvirkningskategorier," in *LCAbyg guide*, 2023.
[28] EPD Danmark and BUILD, "Hvordan læses og bruges en miljøvaredeklaration (EPD)? - For byggevarer og anlægsprodukter ", 2021. [Online]. Available: https://www.epddanmark.dk/media/nxvppn4v/epddanmark_guide4.pdf
[29] 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.
[30] Federal Offcie for the Environment, "Topic Economy and Consumption," 2021. [Online]. Available: https://www.bafu.admin.ch/en/economy-consumption.
[31] European Commision, "Environmental Footprint reference packages," ed, 2022.
[32] European Commision, "Environmental Footprint reference packages EN15804," ed, 2023.
[33] M. E. Bösch, S. Hellweg, M. A. J. Huijbregts, and R. Frischknecht, "Applying cumulative exergy demand (CExD) indicators to the ecoinvent database," *The*

International Journal of Life Cycle Assessment, vol. 12, no. 3, pp. 181-190, 2007/05/01 2007, doi: 10.1065/lca2006.11.282.

[34] Miljøministeriet, "Handlingsplan for cirkulær økonomi: National plan for forebyggelse og håndtering af affald 2020-2032," 2021. [Online]. Available: https://mim.dk/media/s0rpgnej/handlingsplan-for-cirkulaer-oekonomi.pdf

[35] European Commision. "Implementing and delegated acts - Taxonomy Regulation." https://finance.ec.europa.eu/regulation-and-supervision/financial-services-legislation/implementing-and-delegated-acts/taxonomy-regulation_en (accessed 15/04, 2026).

[36] European Commision. "Implementing and delegated acts - CSRD." https://finance.ec.europa.eu/regulation-and-supervision/financial-services-legislation/implementing-and-delegated-acts/corporate-sustainability-reporting-directive_en (accessed 15/04, 2026).

[37] European Commision, "Critical raw materials for the EU - Report of the Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials," European Commision,, 2010. [Online]. Available: https://ec.europa.eu/docsroom/documents/5662/attachments/1/translations

Bilag A: Datagrundlag for ressourceforbrug

Bilag A.1 – Data for BOFA

Tabel A-1. De mineralskbaserede byggematerialer anvendt i etagebyggeriet BOFA. Enhed: kg. Mængderne er baseret på udtræk fra LCAbyg-filen for BOFA.

Materiale	Enhed	Mængde
Beton	kg	691.450
Letbeton	kg	15.191
Mursten	kg	18.036
Tagsten - tegl	kg	1.940
Tagsten - fibercement	kg	0
Tagsten - cementsten	kg	0
Isolering (stenuld)	kg	12.340
Mørtel	kg	301
Cement	kg	81.480
Klinker	kg	0
Huldækelement	kg	182.638
I alt	**kg**	**1.003.375**

Tabel A-2. Råstoffordeling i udvalgte mineralske byggematerialer. Enhed: vægtprocent (%). Tallene er baseret på EPD'er, og den er identisk med tabel 10 i rapporten "Miljø- og ressourcekonsekvenser ved brug og mangel af mineralske råstoffer". Der henvises til denne rapport for yderligere detaljer om kilderne. Data for huldækelement stammer fra EPD fra CRH Concrete A/S (https://www.epddanmark.dk/media/11cogm14/md-21065-da.pdf)

	Beton	Letbeton	Mursten	Tagsten Tegl	Tagsten Fibercement	Tagsten Cementsten	Isolering (stenuld)	Mørtel	Cement	Klinker	Huldæk-element
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Sand	40	41	16		17	72		87			27,7
Sten	50						97				41,8
Ler			84	100							
Kalksten		9						6	13	81	
Cement	10	16			62	20		7			14
Genanvendt tilslag		1									11,3
Klinker									85		
Gips		1									
Vand		31				7					3,85
Andet		1			21	1	3		2	19	1,3006
Total	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**

Tabel A-3. Mineralske råstoffer anvendt i byggeriet BOFA (beregnet). Enhed: kg.

	Beton	Letbeton	Mursten	Tagsten Tegl	Tagsten Fibercement	Tagsten Cementsten	Isolering (stenuld)	Mørtel	Cement	Klinker	Huldæk-element	**I alt**
	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	**kg**
Sand	276580	6228	2886	0	0	0	0	262	0	0	50591	**336546**
Sten	345725	0	0	0	0	0	11970	0	0	0	76343	**434037**
Ler	0	0	15150	1940	0	0	0	0	0	0	0	**17090**
Kalksten	0	1367	0	0	0	0	0	18	10592	0	0	**11978**
Cement	69145	2430	0	0	0	0	0	21	0	0	25569	**97166**
Genanvendt tilslag	0	152	0	0	0	0	0	0	0	0	20638	**20790**
Klinker	0	0	0	0	0	0	0	0	69258	0	0	**69258**
Gips	0	152	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**152**
Vand	0	4709	0	0	0	0	0	0	0	0	7032	**11741**
Andet	0	152	0	0	0	0	370	0	1630	0	2375	**4527**
Total	**691450**	**15191**	**18036**	**1940**	**0**	**0**	**12340**	**301**	**81480**	**0**	**182548**	**1003285**

Bilag A.2 – Data for Viggohaven

Tabel A-4. De mineralskbaserede byggematerialer anvendt i etagebyggeriet Viggohaven. Enhed: kg. Mængderne er baseret på udtræk fra LCAbyg-filen for Viggohaven.

Materiale	Enhed	Mængde
Beton	kg	564.528
Letbeton	kg	0
Mursten	kg	4.660
Tagsten - tegl	kg	7.256
Tagsten - fibercement	kg	0
Tagsten - cementsten	kg	0
Isolering (stenuld)	kg	77.917
Mørtel	kg	2.004
Cement	kg	2.540
Klinker	kg	0
Huldækelement	kg	0
Sand	kg	1.013
Sten	kg	269.035
I alt	**kg**	**928.953**

Tabel A-5. Råstoffordeling i udvalgte mineralske byggematerialer. Enhed: vægtprocent (%). Tallene er baseret på EPD'er, og den er identisk med tabel 10 i rapporten "Miljø- og ressourcekonsekvenser ved brug og mangel af mineralske råstoffer". Der henvises til denne rapport for yderligere detaljer om kilderne. Data for huldækelement stammer fra EPD fra CRH Concrete A/S (https://www.epddanmark.dk/media/11cogm14/md-21065-da.pdf)

	Beton	Letbeton	Mursten	Tagsten Tegl	Tagsten Fibercement	Tagsten Cementsten	Isolering (stenuld)	Mørtel	Cement	Klinker	Huldæk-element
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Sand	40	41	16		17	72		87			27,7
Sten	50						97				41,8
Ler			84	100							
Kalksten		9						6	13	81	
Cement	10	16			62	20		7			14
Genanvendt tilslag		1									11,3
Klinker									85		
Gips		1									
Vand		31				7					3,85
Andet		1			21	1	3		2	19	1,3006
Total	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**

Tabel A-6. Mineralske råstoffer anvendt i byggeriet Viggohaven (beregnet). Enhed: kg.

	Beton	Letbeton	Mursten	Tagsten Tegl	Tagsten Fibercement	Tagsten Cementsten	Isolering (stenuld)	Mørtel	Cement	Klinker	Huld æk-element	Sand	Sten	**I alt**
	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	**kg**
Sand	225811	0	746	0	0	0	0	1743	0	0	0	1013	0	**229313**
Sten	282264	0	0	0	0	0	75580	0	0	0	0	0	269035	**626879**
Ler	0	0	3915	7256	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**11171**
Kalksten	0	0	0	0	0	0	0	120	330	0	0	0	0	**450**
Cement	56453	0	0	0	0	0	0	140	0	0	0	0	0	**56593**
Genanvendt tilslag	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**
Klinker	0	0	0	0	0	0	0	0	2159	0	0	0	0	**2159**
Gips	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**
Vand	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**
Andet	0	0	0	0	0	0	2338	0	51	0	0	0	0	**2388**
Total	**564528**	**0**	**4660**	**7256**	**0**	**0**	**77917**	**2004**	**2540**	**0**	**0**	**1013**	**269035**	**928953**