



Klimavenligt byggeri og LCA

Analyse af udvalgte landes tilgange til klimavenligt byggeri, LCA og samfundsøkonomi



TEKNOLOGISK
INSTITUT



**TEKNOLOGISK
INSTITUT**

Klimavenligt byggeri og LCA

Analyse af udvalgte landes tilgange til klimavenligt byggeri, LCA og samfunds-
økonomi

Rekvirent:

Bolig- og Planstyrelsen
Center for Byggeri og Bolig
Carsten Niebuhrs Gade 43
1577 København V

Udarbejdet af:

Teknologisk Institut
Gregersensvej 4
2630 Taastrup
Byggeri og Anlæg

Stefania Butera, Asger Alexander Wendt Karl, Thilde Fruergaard Astrup (Teknologisk Institut)
Christine Collin, Nana Lin Rasmussen, Jakob Rosenberg Nielsen, Lise Hvid Horup Sørensen (Rambøll)

Kvalitetssikring:

Projektleder: Thilde Fruergaard Astrup, tlf. 7220 1285, thas@teknologisk.dk
Kvalitetsansvarlig: Henrik Fred Larsen, tlf. 7220 3674, hfl@teknologisk.dk

Versionsnr.: 1

15. april 2021

Resultater af Institutts opgaveløsning beskrevet i denne rapport, herunder fx vurderinger, analyser og udbedringsforslag, må kun anvendes eller gengives i sin helhed, og må alene anvendes i denne sag. Institutts navn eller logo eller medarbejderens navn må ikke bruges i markedsføringsøjemed, medmindre der foreligger en forudgående, skriftlig tilladelse hertil fra Teknologisk Institut, Direktionssekretariatet.



Indhold

1. Forord	5
2. Sammenfatning	6
3. Baggrund og formål	10
3.1. Baggrund.....	10
3.2. Formål.....	10
4. Metode	12
5. Klimavenligt byggeri i Danmark og andre lande	13
5.1. Danmark	15
5.2. Finland	16
5.3. Norge	16
5.4. Sverige	17
5.5. Storbritannien.....	17
5.6. Frankrig.....	18
5.7. Tyskland	19
5.8. Holland.....	20
5.9. Level(s).....	21
5.10. Opsamling	22
6. LCA af bygninger – lovmæssige krav og erfaringer i udvalgte lande	24
6.1. Danmark	24
6.2. Norge	24
6.3. Sverige	26
6.4. Finland	26
6.5. Storbritannien.....	27
6.6. Frankrig.....	28
6.7. Tyskland	30
6.8. Holland.....	30
6.9. Level(s).....	31
6.10. Opsamling	32



7. LCA af bygninger – gennemgang af kritiske parametre i udvalgte lande	34
7.1. Betragtningstid og inkluderede livscyklusmoduler.....	34
7.2. Levetid	39
7.3. Miljøpåvirkningskategorier.....	40
7.4. Grænseværdier, referenceværdier, overholdelse og verifikation	44
7.5. Andre metodiske valg	49
7.6. Datakilder og kvalitet.....	55
7.7. Energiforbrug i driftsfasen	58
7.8. Miljøvaredeklarationer (EPD'er).....	60
7.9. Omkostninger forbundet med at udføre en bygnings-LCA.....	63
7.10. Opsamling	66
8. Klimavenligt byggeri – opsamling af ny viden	68
8.1. Introduktion.....	68
8.2. Metode	68
8.3. Optimerede byggematerialer	69
8.4. Optimerede byggemetoder	75
8.5. Cirkulær økonomi	77
8.6. Opsamling	81
9. Samfundsøkonomiske konsekvenser ved klimavenligt byggeri	82
9.1. Metodisk tilgang	82
9.2. Fastlæggelse af normalt byggeri og klimavenligt byggeri.....	88
9.3. Resultater.....	94
9.4. Følsomhedsanalyse.....	101
9.5. Renoveringspotentialer	107
9.6. Opsamling	108
10. Referenceliste	109
11. Bilag	119



1. Forord

Denne rapport er udarbejdet af Teknologisk Institut og Rambøll for Bolig- og Planstyrelsen, som har ønsket at få belyst udvalgte landes erfaringer med klimavenligt byggeri, herunder de samfundsøkonomiske konsekvenser forbundet hermed samt de pågældende landes tilgange til livscyklusvurderinger af bygninger. Projektet er en del af udmøntningen af den grønne klimapulje.

Rapporten er lavet på baggrund af litteraturstudier, interviews med mere end 30 nøglepersoner fra otte forskellige lande samt viden hos Teknologisk Instituts og Rambølls specialister inden for LCA, byggematerialer, klimavenligt byggeri og samfundsøkonomi.

Rapporten er udarbejdet i perioden september 2020 – december 2020 og opdateret april 2021 for at afspejle indholdet i den politiske aftale om National strategi for bæredygtigt byggeri, som blev indgået marts 2021. Aftalen indebærer blandt andet, at der fra 2023 indføres grænseværdier for nybyggeris CO₂-aftryk i Danmark. Andre landes eventuelle udvikling inden for området er ikke omfattet af opdateringen.



2. Sammenfatning

Formålet med denne rapport er at belyse udvalgte landes erfaringer med klimavenligt byggeri samt landenes tilgange til livscyklusvurderinger (LCA) af bygninger. Formålet er desuden at indhente viden om udviklingen inden for klimavenligt byggeri samt vurdere de samfundsøkonomiske konsekvenser forbundet med at bygge mere klimavenligt.

Rapporten er lavet på baggrund af litteraturstudier og interviews med mere end 30 nøglepersoner fra otte forskellige lande. Landene, som indgår i rapporten er: Danmark, Finland, Norge, Sverige, Storbritannien, Frankrig, Tyskland og Holland, samt Level(s) i EU.

Fra et dansk perspektiv indeholder rapporten ny viden i form af informationer og data indsamlet gennem litteraturstudier og interviews med aktører i andre lande, og herefter bearbejdet og præsenteret i rapporten. Også resultaterne af den samfundsøkonomiske vurdering repræsenterer ny viden, da analysen, der udføres i denne rapport, ikke tidligere er udført.

Klimavenligt byggeri i Danmark og andre lande

Rapporten viser, at der er valgt forskellige tilgange til at fremme klimavenligt byggeri i de undersøgte lande, men der er også en række områder, som er sammenlignelige. Overordnet set anvendes der enten lovgivning (dvs. krav) eller frivillige bæredygtighedsordninger, og kravene kan gælde enten på nationalt eller lokalt niveau, eller udelukkende være rettet mod offentlige byggerier. Særligt Holland er langt fremme reguleringsmæssigt, idet man her har fastsat national regulering for en lang række parametre, der skal fremme klimavenligt byggeri, herunder fastsat krav om, at der skal udføres en LCA af bygningen, inden der kan gives en byggetilladelse. Holland har ligeledes som det eneste af de undersøgte lande indført en grænseværdi, som bygningen skal overholde.

I Danmark, Sverige, Finland og Frankrig er der potentielt lovgivning på vej, som skal fremme klimavenligt byggeri. I Danmark i form af den frivillige bæredygtighedsklasse, som efter en to-årig testperiode (afsluttes medio 2022) forventes implementeret i bygningsreglementet fra januar 2023, og dermed bliver til reelle krav. Det er dog allerede politisk besluttet, at det fra 2023 vil være obligatorisk at udføre LCA i forbindelse med nybyggeri, og at bygninger større end 1000 m² skal overholde en fastlagt grænseværdi for CO₂-udledninger. Fra 2025 vil alt nybyggeri være omfattet af en grænseværdi for CO₂-udledninger. I Sverige, Finland og Frankrig forventes national lovgivning at træde i kraft i henholdsvis 2022, 2025 (senest) og 2021. I alle landene forventes det, at der vil blive stillet krav om udførelse af LCA af bygningen.

I Norge er der endnu ikke national lovgivning på vej, men mange af de parametre, som er inkluderet i den danske frivillige bæredygtighedsklasse, er omfattet af det norske bygningsreglement. Det gælder dog ikke udførelse af LCA af bygninger, men offentlige byggerier og byggerier i mange større kommuner er omfattet af et sådan krav.



I hverken Tyskland eller Storbritannien er der lovgivning på vej for klimavenligt byggeri, og der er på nuværende tidspunkt heller ikke planer om at indføre krav om udførelse af bygnings-LCA'er. I Tyskland er der dog krav om udførelse af en LCA for føderale bygninger, og i Storbritannien er der tilsvarende krav for visse bygninger opført i London.

Level(s) er lanceret af Europakommissionen, som en fælles europæisk ramme for måling og rapportering af bæredygtighed ved nybyggeri og gennemgribende renovering af boliger og kontorer. Level(s) stiller ingen krav og kan ikke stå alene uden brug af eksisterende standarder. Det er en frivillig dokumentationsmetode for at få italesat og kortlagt bygningernes bæredygtighedsprofil.

LCA af bygninger – kritiske parametre

Rapporten gennemgår en lang række parametre, som kan have indflydelse på resultaterne af en bygnings-LCA. Følgende parametre er undersøgt for de udvalgte lande: betragtningsperiode, inkluderede livscyklusmoduler, levetider, miljøpåvirkningskategorier, referenceværdier og overholdelse, andre metodiske valg, datakilder og kvalitet, energiforbrug i driftsfasen og anvendelse af miljøvaredeklarationer. Endeligt er også omkostninger forbundet med at udføre en bygnings-LCA i de udvalgte lande opgjort.

Overordnet set, er der ingen af landene, der udfører LCA på præcis den samme måde, hvilket betyder, at det er vanskeligt at sammenligne resultater på tværs af lande. Særligt når resultaterne (her GWP) præsenteres i kg CO₂-ækv./m²/år, er det af stor betydning, at det varierer fra land til land, hvordan gulvarealet opgøres. Selvom man fx i de nordiske lande alle benytter det areal, der følger af reglerne for energirammeberegningerne, er der foretaget lokale tilpasninger, så det reelt ikke er de samme arealer, der benyttes.

Det har også stor betydning, hvilke livscyklusmoduler, der er omfattet af LCA'en. Rapporten viser, at A1-A4 indgår i beregningen i alle lande, og i de fleste lande er også A5, B4, B6, C3-C4 og D typisk omfattet. En undtagelse er Sverige, hvor der i den kommende lovgivning kun stilles krav om at inkludere livscyklusmodulerne A1-A5. Der tages således højde for brugs- eller bortskaffelsesfasen, eller det næste produktsystem. Der er dog planer om fra 2027 at inkludere flere livscyklusmoduler.

Betragtningsperioden, er en af de parametre, hvor der er størst ensartethed på tværs af landene. De fleste lande anvender en betragtningsperiode på enten 50 eller 60 år, hvor Holland er det eneste land, der skiller sig lidt ud med en betragtningsperiode på 75 år for boligbyggeri. I Sverige er der ikke defineret en betragtningsperiode, da man kun medtager A1-A5 i LCA'en.

I forhold til valg af datakilder er EPD'er i samtlige lande det foretrukne valg. I det omfang der benyttes generiske data, anvendes der i Danmark, Norge og Tyskland databasen Ökobaudat. I de resterende lande benyttes nationale databaser.



I forhold til sanktioner, hvis en bygning ikke overholder den fastsatte grænseværdi, er tilgangen landene imellem forskellig. Det skyldes formentlig især, at det reelt kun er i Holland, der er fastsat en grænseværdi. På nuværende tidspunkt er der i Holland ikke krav om verifikation, når byggeriet står færdigt, men fra 2021 forventes ny lovgivning at træde i kraft, og herefter vil bygninger, der ikke efterlever kravene blive sanktioneret med bøder. I Norge kan manglende overholdelse resultere i økonomiske sanktioner, og det samme er forventningen i Sverige, når den planlagte lovgivning vedtages. I Finland og Frankrig forventes der også indført sanktioner, men det er endnu ikke afklaret i hvilken form Danmark vil kræve om udførelse af LCA følge byggelovens nuværende regler om lovliggørelse og sanktioner på samme vis, som de øvrige krav i bygningsrelementet. I Storbritannien benytter man kun referenceværdier, og derfor er der ikke indført sanktioner. Heller ikke BNB-systemet i Tyskland benytter sanktioner.

LCA af bygninger - eksempler

Som del af projektet er der udarbejdet et case-katalog, der indeholder en samling af ti eksempler på LCA'er af bygninger. Eksemplerne stammer fra fem af de lande, der indgår i undersøgelsen: Danmark, Finland, Norge, Sverige og Storbritannien. Case-kataloget er ikke en del af denne rapport, men er en selvstændig publikation.

De udvalgte cases er valgt på baggrund af, at byggerierne har haft særlige bæredygtighedstiltag samt en lav miljøpåvirkning påvist ved en LCA-beregning. Alle de udvalgte cases har opnået en bæredygtigheds-certificering, enten DGNB, BREEAM, LEED eller Miljöbyggnad.

For hver case bliver resultaterne af LCA-beregningen gennemgået på tre niveauer: livscyklusmoduler, bygningsdele og materialer. For enkelte cases har det ikke været muligt at fremskaffe al data fra LCA-beregningen, og i disse tilfælde præsenteres resultaterne kun på livscyklusmodulniveau. LCA-resultaterne i de forskellige cases kan ikke sammenlignes på tværs af landene, grundet forskelle i det metodiske beregningsgrundlag.

Klimavenligt byggeri – opsamling af ny viden

I projektet er der blevet undersøgt ny viden, forskning og udvikling vedr. løsninger til byggeri med lav klimabelastning i Danmark samt andre europæiske lande. Tre type tiltag er blevet undersøgt, nemlig optimerede byggematerialer, optimerede byggemetoder og cirkulær økonomi. Vedr. byggematerialer er det primære fokus at optimere energi- og materialeforbrug under produktion af fx beton, træ og tegl. Optimerede byggemetoder varierer bredt fra nye anvendelser for traditionelle materialer, brug af præfabrikerede løsninger, modul-byggeri mhp. Design for Disassembly, eller nye design-koncepter, ligesom det svenske "Form follows availability". Hvad angår cirkulær økonomi kan det nævnes, at der ikke findes en entydig definition af dette begreb, og den cirkulære økonomi kan derfor tolkes og bøjes på mange forskellige måder.

Samfundsøkonomiske konsekvenser af klimavenligt byggeri

Slutteligt i projektet er de samfundsøkonomiske konsekvenser ved klimavenligt byggeri belyst. I analysen undersøges forskellen mellem at opføre nybyggeri som værende et normalt- og klimavenligt ud fra to parametre, hhv. klimapåvirkningen samt bygge- og driftsomkostningerne. På nuværende tidspunkt eksisterer der ikke konkrete cases eller studier, som eksplicit undersøger de samfundsøkonomiske konsekvenser ved et klimavenligt byggeri.



Der findes ikke klare definitioner på et normalt- og klimavenligt byggeri. I analysen defineres et klimavenligt byggeri baseret på klimaindikatoren Global Warming Potential (GWP), som er en af indikatorerne i livscyklusvurderinger. Til at definere normalt- og klimavenligt byggeri anvendes 75 cases fra henholdsvis SBI 2020:04 og Rambøll. Der er begrænset data til rådighed for bygge- og driftsomkostninger for henholdsvis normalt og klimavenligt byggeri, og det er på baggrund af den eksisterende viden ikke muligt at fastlægge disse. I analysen undersøges derfor fem scenarier, hvor bygge- og driftsomkostninger for klimavenligt byggeri er hhv. lavere, ens og højere end et normalt byggeri.

I analysen undersøges konsekvenserne ved klimavenligt byggeri for tre forskellige byggerityper; typehuse, etagebyggeri og kontorbyggeri. Generelt viser resultaterne på tværs af de tre byggerityper, at når det antages, at bygge- og driftsomkostningerne er lavere eller ens ved at bygge klimavenligt sammenlignet med normalt byggeri, vil der forekomme en samfundsøkonomisk gevinst. Omvendt, når det dyrere at bygge klimavenligt, viser resultaterne, at der er et samfundsøkonomisk tab – selvom der forekommer en positiv klimaeffekt. Samme mønster gør sig gældende, hvis der anvendes en højere prisfastsætning på CO₂ svarende til Klimarådets anbefalinger til en CO₂-afgift (1.500 kr. pr ton). Ligeledes viser analysen, at hvis kravene til klimavenligt byggeri gøres strengere (svarende til en lavere CO₂-udledning pr. år), er der stadig et samfundsøkonomisk tab, hvis bygge- og driftsomkostningerne for klimavenligt byggeri er 2 pct. dyrere end normalt byggeri.



3. Baggrund og formål

3.1. Baggrund

I 2019 blev der indgået en politisk aftale om en deludmøntning af den grønne klimapulje, hvor et af initiativerne var rettet mod fremme af grønt byggeri. Blandt andet blev der afsat penge til analyser, der skal understøtte udviklingen af et grønnere byggeri i Danmark. Formålet er i første omgang at få et bedre vidensgrundlag – og at øge den fælles viden i branchen om mulighederne for at gøre byggeriet mere klimavenligt. Dette projekt er en del af dette initiativ, som har til formål at samle viden om, understøtte læring omkring samt muliggøre opskalering af byggeri med en lav klimabelastning, så alle byggeriets parter har mulighed for at omsætte den nyeste viden, forskning og innovation til praksis.

Denne rapport anskueliggør otte forskellige lande, samt Level(s) i EU, tilgang til klimavenligt byggeri inden for forskellige områder, men med et hovedfokus på livscyklusvurderinger (LCA).

Udover den politiske aftale om en deludmøntning af den grønne klimapulje, lancerede boligministeren d. 29. maj 2020 den frivillige bæredygtighedsklasse, hvis overordnede formål er at opbygge solide erfaringer med det bæredygtige byggeri, som på sigt kan omsættes til konkrete krav i bygningsreglementet. Den frivillige bæredygtighedsklasse har fokus på byggematerialer, opførelse, vedligeholdelse, drift, indeklima samt potentialet for genbrug og genanvendelse. Bæredygtighedsklassen har i alt ni konkrete krav, hvoraf det ene krav er udførelse af en LCA af byggeriet både ved ansøgning om byggetilladelse og ved færdigmelding af et byggeri. Denne rapport tager udgangspunkt i den frivillige bæredygtighedsklasses krav til byggeriet, når klimavenligt byggeri undersøges på tværs af de forskellige lande.

Kravene i den frivillige bæredygtighedsklasse skal nu testes i en toårig periode, og resultaterne fra denne testperiode skal være med til at afklare, hvordan fremtidens bæredygtige byggeri skal reguleres i bygningsreglementet. Målsætningen er på sigt at indføre krav til bæredygtighed i bygningsreglementet på et velafprøvet og dokumenteret grundlag og med bred inddragelse af byggebranchen.

3.2. Formål

I forbindelse med afprøvningen af den frivillige bæredygtighedsklasse skal denne rapport indsamle viden om og indsigt i værdien af klimavenligt byggeri vha. andre landes erfaringer, som skal være med til at skabe et kvalificeret og robust grundlag for de kommende lovkrav i bygningsreglementet.

Formålet med denne analyse er at skabe et dybdegående vidensgrundlag om andre udvalgte landes erfaringer med klimavenligt byggeri, herunder bl.a. lovgivning herom samt certificeringsordninger, den overordnede tilgang til livscyklusvurdering af bygninger, eksempler på nyere byggerier med lav klimabelastning, ny viden og tendenser vedrørende klimavenligt byggeri, samt en analyse af de samfundsøkonomiske konsekvenser ved at



**TEKNOLOGISK
INSTITUT**

bygge klimavenligt sammenlignet med traditionelt byggeri. Analysen tager udgangspunkt i otte lande samt Level(s) i EU.

Resultaterne af analysen kan på den korte bane styrke anvendelsen af den frivillige bæredygtighedsklasse, og på den lange bane understøtte indførelsen af konkrete lovkrav om bæredygtigt byggeri.



4. Metode

Projektet har bestået af fem delopgaver:

- Delopgave 1: Hvilke parametre fremmer klimavenligt byggeri i Danmark og andre lande?
- Delopgave 2: LCA af bygninger - lovmæssige krav, erfaringer og kritiske parametre
- Delopgave 3: Klimavenligt byggeri – udarbejdelse af cases fra udvalgte lande
- Delopgave 4: Klimavenligt byggeri – beskrivelse af ny viden og forskning
- Delopgave 5: Samfundsøkonomiske konsekvenser ved klimavenligt byggeri

Landene som indgår i denne rapport er: Danmark, Finland, Norge, Sverige, Storbritannien, Frankrig, Tyskland og Holland, samt Level(s) i EU.

Delopgaverne 1, 2 og 4 (beskrevet i afsnit 5-8) er primært baseret på litteraturstudier suppleret med interviews af udvalgte nøglepersoner inden for LCA, lovgivning, EPD'er, byggematerialer samt cirkulær økonomi i byggeriet. Delopgave 5 (beskrevet i afsnit 9) er baseret på et desk studie, som den samfundsøkonomiske analyse er taget udgangspunkt i.

Til delopgave 1 og 2 er relevante rapporter, dokumenter, manualer og lovgivning blevet undersøgt med det formål at belyse de parametre, der indgår i undersøgelsen, så meget som muligt. Herefter har det været muligt at målrette yderligere spørgsmål til eksperter fra de forskellige lande, hvor de uafklarede punkter er blevet opklaret gennem interviews og/eller spørgeskemaer.

Delopgave 3 (særsomt casekatalog) er baseret på viden, som Rambøll har opsamlet gennem sit arbejde som projekterende eller bygherrerådgiver. Der er indsamlet i alt 10 cases fra fem af de undersøgte lande: Danmark, Finland, Norge, Sverige og Storbritannien. Der er blevet udsendt spørgeskemaer til Rambøll-kollegaer fra Finland, Sverige, Norge og Storbritannien omkring projektet samt indsamlet LCA-resultater, som er blevet opstillet og præsenteret i det særskilte casekatalog.

Til delopgave 4 er der blevet gennemført interviews med eksperter fra Teknologisk Institut samt Videnscenter for Cirkulær Økonomi i Byggeriet (VCØB). Disse interviews har omhandlet igangværende projekter, hvori der ligger et fokus på klimavenligt byggeri, eller på reduktionen af klimabelastninger som fx CO₂-udledning. Der afdækkes desuden nyligt afsluttede projekter, som har haft et lignende fokus, for at undersøge den nyeste udvikling inden for de respektive områder.

Delopgave 5 baseres dels på en desk studie af danske og udenlandske analyser af de samfundsøkonomiske konsekvenser ved klimavenligt byggeri, og dels på en dybdegående samfundsøkonomisk analyse.

I bilag 1 ses en liste over alle eksperterne fra de forskellige lande, som er blevet interviewet og/eller har besvaret spørgeskemaer til delopgave 1-4.

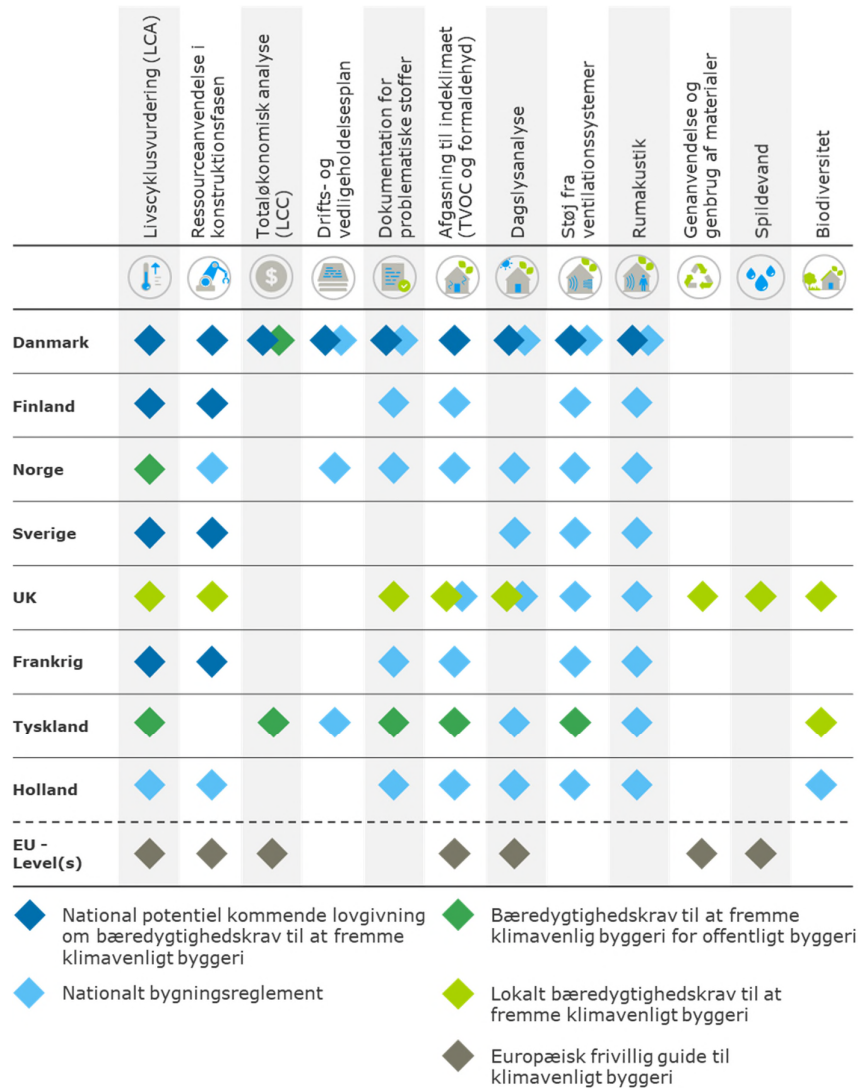


5. Klimavenligt byggeri i Danmark og andre lande

Det er undersøgt, hvilke parametre, der fremmer klimavenligt byggeri i de undersøgte lande. Der er blevet udsendt spørgeskemaer til eksperter fra de forskellige lande for at indsamle data. Der er udsendt spørgeskemaer til fageksperter, der arbejder med LCA og/eller til embedsfolk, der har bidraget med inputs til de nationale lovgivninger.

I denne sammenhæng er det klimavenlige byggeri defineret bredt, dvs. der er undersøgt en række andre parametre ud over klima. De opstillede parametre er valgt med udgangspunkt i den danske frivillige bæredygtighedsklasse (FBK) og enkelte ekstra parametre såsom spildevand og biodiversitet. Der skelnes mellem krav og henvisninger i det nationale bygningsreglement, potentiel kommende national lovgivning om bæredygtighedskrav til at fremme klimavenligt byggeri (fx den frivillige bæredygtighedsklasse i Danmark), lokale bæredygtighedskrav til at fremme klimavenligt byggeri og krav til offentlige byggerier. Herudover er Level(s) med som en europæiske frivillig guide til klimavenligt byggeri. Lokale bæredygtighedskrav er stillet af GLA i London (beskrives i afsnit 5.5) eller lokale myndigheder/kommuner der stiller krav til brug af certificeringsordninger, såsom DGNB og BREEAM, som skal overholdes i et lokalt område, der bygges i. Statsbygg i Norge er et eksempel på bæredygtighedskrav for offentlige byggerier. Disse typer bæredygtighedskrav er medtaget i undersøgelsen, da der i Storbritannien og Norge ikke findes nogle nationale bæredygtighedskrav til byggerier.

Figur 1 viser et samlet overblik over krav til klimavenligt byggeri i de forskellige lande, som i det nedenstående gennemgås særskilt for de enkelte lande. Som det fremgår af figuren, fremmes klimavenligt/bæredygtigt byggeri i de udvalgte lande gennem en række forskellige parametre, enten som reel lovgivning eller indirekte via frivillige bæredygtighedsordninger. Den mørkeblå farve repræsenterer evt. kommende lovgivninger, som på nuværende tidspunkt er frivillige at anvende og testes i Danmark, Sverige og Finland, eller politisk besluttet at indføre, som i Frankrig, hvor det er fastsat til at blive indført i 2021.



Figur 1 - Parametre, der stilles krav til for klimavenligt byggeri, opdelt i national potentiel kommende lovgivning, nationalt bygningsreglement, bæredygtighedskrav for offentlige bygninger, lokale bæredygtighedskrav samt en EU frivillig guide. Det skal nævnes, at BMB i Holland allerede er trådt i kraft, hvorfor bæredygtighedskravene kun er illustreret som nationalt bygningsreglement. I Danmark vil det fra 2023 være obligatorisk at udføre en LCA i forbindelse med nybyggeri.



5.1. Danmark

Danmark introducerede i maj 2020 den frivillige bæredygtighedsklasse, som en vejledning, der supplerer kravene i bygningsreglementet, med henblik på at gøre byggeriet mere bæredygtigt. Bygningsreglementet indeholder i forvejen bestemmelser og krav til tilgængelighed, indeklima, holdbarhed, sikkerhed og energi, som direkte eller indirekte falder under kategorien bæredygtighed. Den frivillige bæredygtighedsklasse udvider kravene med ni frivillige krav: livscyklusvurdering, ressourceanvendelse på byggepladsen, totaløkonomisk analyse, drifts- og vedligeholdelsesplan, dokumentation af problematiske stoffer, afgangninger til indeklimaet, detaljeret eftervisning af dagslysniveauet, støj fra ventilationssystemer i boliger, og rumakustik i boliger.

Den frivillige bæredygtighedsklasse forventes at overgå til en obligatorisk del af bygningsreglementet i januar 2023, efter en toårig testperiode er gennemført (midt 2022). Denne testperiode skal bruges til opsætning og definering af kravene, baseret på erfaringer og test-cases som løber i disse to år. Det er dog allerede besluttet at indføre krav om LCA, jf. nedenstående.

Kravet om udførelse af LCA og rapportering af miljøpåvirkninger er todelt, dels skal en tidlig indledende LCA udføres i designfasen af byggeprojektet og foreligge ved ansøgning om byggetilladelse. Herefter skal en endelig LCA udføres ved færdigmelding. Derudover skal transport, energiforbrug, vandforbrug og byggeaffald dokumenteres, og disse skal indgå i den endelige bygnings-LCA. Ved byggeaffald skelnes mellem spild af byggevarer og byggeaffald, og begge skal dokumenteres. I marts 2021 blev det politisk besluttet, at krav om LCA ved nybyggeri skal indgå i bygningsreglementet fra 2023 med en grænseværdi for CO₂-udledninger for bygninger større end 1000 m². For bygninger mindre end 1000 m² vil der de to første år kun være krav om udførelse af LCA. Fra 2025 vil alt nybyggeri være omfattet af en grænseværdi for CO₂-udledninger (Aftaleparter, 2021).

Den totaløkonomiske del af den frivillige bæredygtighedsklasse, som skal være gennemført ved færdigmelding af byggeriet, skal afdække mindst tre væsentlige parametre af bygningen. De væsentlige valg træffes af bygherren og kan gælde fx det bærende system eller facaden, afhængigt af hvad der vurderes at have væsentlig betydning for totaløkonomien.

Der skal etableres en plan for drift og vedligehold af indeklimaet, der understøtter brugernes behov, samt sikrer et lavt energiforbrug. Der skelnes mellem opvarmning og udluftning, og der skelnes mellem vinter- og sommerhalvår. Desuden skal afgangninger til indeklimaet dokumenteres ved målinger, og der stilles konkrete krav til afgangning af formaldehyd, samt TVOC (Total Volatile Organic Compounds) med grænseværdier for afgangningsniveauet.

Der stilles krav til en mere detaljeret dokumentation af dagslysniveauet, som skal beregnes ved en timebaseret simuleringsmetode, hvorved der eftervises tilstrækkeligt dagslys i arbejdsrum og beboelsesrum. Ligeledes opstilles krav med grænseværdier for støj fra ventilationssystemer, samt efterklangstiden i opholdsrum i boliger.



5.2. Finland

I Finland arbejder man på at gøre bygninger mere klimavenlige, blandt andet ved at Miljøministeriet i 2017 indførte en køreplan for at minimere bygningers CO₂-udledninger. Man er nu i gang med at forberede en ny lovgivning, kaldet Climate Declaration, som forventes at træde i kraft senest i 2025 (Kuittinen, 2020).

I Finland vil der i den kommende Climate Declaration blive stillet krav om at udføre en bygnings-LCA for nye bygninger i senest 2025 med mulighed for, at det allerede bliver i 2023 eller 2024 (Heikkinen & Rantanen, 2020; Kuittinen, 2020). I LCA-beregningen vil ressourceanvendelse i konstruktionsfasen skulle dokumenteres, da der er krav om at dokumentere livscyklusmodulerne A1-5 (Kuittinen, 2020). I forhold til en LCC-beregning (beregning af totaløkonomi), stilles der ikke krav til dette i den kommende Climate Declaration, men det finske bygningsreglement skal snart opdateres, hvor life cycle thinking vil blive taget i betragtning i en grad, der stadig er uafklaret (Heikkinen & Rantanen, 2020).

Drifts- og vedligeholdelsesplaner er ikke et krav i det finske bygningsreglement, men det er normal byggeskik, at disse medfølger nybyggeri. Der er dog regulering omkring manualer for systemer og vedligeholdelse, som skal afleveres, når bygningen er færdig (Heikkinen & Rantanen, 2020). Det finske bygningsreglement følger EU's lovgivning og direktiver omkring problematiske stoffer, og der findes grænseværdier for TVOC og formaldehyd i boliger (Heikkinen & Rantanen, 2020). Udførelse af en dagslysanalyse er ikke et krav i det finske bygningsreglement, men der er et krav omkring andelen af vinduesareal ift. gulvareal sammen med afstand til nærmeste bygning (Heikkinen & Rantanen, 2020). Støj fra ventilationssystemer samt rumakustik er reguleret i det finske bygningsreglement med tilladt middel- og maksimumniveau (Heikkinen & Rantanen, 2020).

Hverken genanvendelse og genbrug af materialer eller spildevand er parametre, der stilles krav til i det finske bygningsreglement eller som et national bæredygtighedskrav, og det er heller ikke parametre, der har været tale om at indføre. Biodiversitet er på samme måde heller ikke et nationalt bæredygtighedskrav eller et krav i det finske bygningsreglement, men det kan stilles som krav af lokale myndigheder (Heikkinen & Rantanen, 2020).

5.3. Norge

Norge har udviklet en standard (NS 3720:2018, 2018) til beregning af udledning af drivhusgasser for bygninger, og mange projekter stiller krav til LCA, men der er endnu ikke en konkret lovgivning vedrørende klimavenligt byggeri. I stedet er mange af de parametre, som er inkluderet af den danske frivillige bæredygtighedsklasse, omfattet af det norske bygningsreglement TEK17 (DIBK, 2017).

I TEK17 stilles der krav til opgørelse af ressourceforbrug på byggepladsen, men kun for energiforbruget. Der er ikke krav til opgørelse af transport eller vandforbrug. Der er krav om affaldssortering. Lovgivningen gælder både nyt byggeri og renoveringsprojekter. Fra 2022 forventes det, at det ikke længere er tilladt at bruge olie til opvarmning af bygninger.



Der stilles ingen krav til LCC, hverken i NS 3720 eller i TEK17.

Til vedligehold af bygningen stilles krav til en detaljeret plan for brug og drift, hvor det er obligatorisk at beskrive opvarmning af rum i vintermånederne, ventilation og udluftning i vintermånederne og sommermånederne, og at beskrive udluftning i boligbyggeri. Der reguleres i forhold til farlige kemikalier i produkterne, hvor mængder og typer styres af TEK17. Ligeledes stilles krav til, at produkter i byggeri skal afgive lav eller ingen forurening til indeklimaet. Der er ingen krav om test, så afgangning fra produkter reguleres indirekte via krav om indhold til farlige stoffer i produkter.

Der er forskellige krav til dagslysberegninger, afhængigt af om bygningen er en bolig eller anden type. For boliger er der to beregningsmuligheder, en detaljeret og en forsimplet. For andet byggeri skal bevises en gennemsnitlig dagslysfaktor på >2 %. Der stilles også krav til støj og vibrationer, hvor der er oprettet en række lydklasser, som de forskellige byggerier kan opnå. Der er minimumskrav til at opleve lydklasse C i NS 8175, men der skelnes ikke mellem vibrationer af forskellig type, og kravet gælder ikke kun ventilationssystemer, men bygningsinstallationer overordnet.

5.4. Sverige

I Sverige findes der en kommende national lovgivning indeholdende bæredygtighedskrav for at fremme klimavenligt byggeri, som træder i kraft i 2022. Her stilles der krav om at udføre en LCA, hvor ressourceanvendelser i konstruktionsfasen i form af transport til og fra byggepladsen, energiforbrug samt mængden af byggeaffald skal dokumenteres og medregnes i LCA'en. Dette vil blive dokumenteret ud fra generiske data, som vil blive inkorporeret i den nationale database, som er under udvikling. Det er i Sverige ikke et krav, at der skal rapporteres på vandforbrug på byggepladsen.

Udover LCA-kravet er der ikke krav om andre konkrete bæredygtighedstiltag, som fx LCC eller drift- og vedligeholdelsesplaner, som der stilles krav til i den danske frivillige bæredygtighedsklasse. I det svenske bygningsreglement findes der krav til dagslys, støj fra ventilationssystemer samt rumakustik. Sverige arbejder ikke i samme retning som Danmark med yderligere bæredygtighedstiltag i en frivillig bæredygtighedsklasse. Hvis kravene til dagslys, støj fra ventilationssystemer samt rumakustik skal strammes, vil det formentligt ske i det nationale bygningsreglement. Ellers er det i den frivillige certificeringsordning Miljöbyggnad, der stilles yderligere krav til disse parametre (Boverket, 2018; Einarsson & Engström, 2020b).

5.5. Storbritannien

I Storbritannien findes der ingen national lovgivning med fokus på klimavenligt byggeri, og der er på nuværende tidspunkt heller ingen lovgivning på vej. I april 2020 udkom the Greater London Authority (GLA), som har fokus på CO₂-opgørelseser i et livscyklusperspektiv. GLA omfatter kun London, og er således et lokalt initiativ. I GLA er der krav om at udføre en LCA, hvor ressourceanvendelse i konstruktionsfasen også skal medtages og



dokumenteres. Dette omfatter både transport, energi- og vandforbrug samt spild af byggevarer på byggepladsen. Andelen af spild vurderes ud fra producenternes specifikationer, f.eks. i EPD'er (Farnetani, 2020; Greater London Authority, 2020d; Voukia, 2020). Herudover har GLA udgivet en guideline 'Circular Economy Statement' i marts 2020, hvor der er anbefalinger om en genanvendelsesprocent på min 20 % i anvendte materialer til specifikke bygningsdele (Greater London Authority, 2020a). Der er ift. parametrene problematiske stoffer, spildevand samt biodiversitet (i form af fx grønne tage) ikke krav i det nationale bygningsreglement eller nationale bæredygtighedskrav i Storbritannien. Der findes dog lokale bæredygtighedskrav, hvor lokale myndigheder stiller krav om at efterleve en BREEAM certificering, hvor disse parametre indgår (Farnetani, 2020). Bygningsreglementet i Storbritannien stiller krav til parametrene dagslys og afgangning til indeklimaet (TVOC), som også er parametre, der stilles krav til i certificeringsordningen BREEAM (bre, 2018a; Farnetani, 2020; HM Government, 2013).

5.6. Frankrig

I Frankrig vil der i juli 2021 udkomme en national lovgivning, *RE2020*, som har fokus på energi- og miljøregulering for nye bygninger (Nibel & Chevalier, 2020). Der er i denne nationale lovgivning både krav om at udføre en LCA-beregning for bygningen samt andre klimavenlige bæredygtighedstiltag. Der stilles krav om at dokumentere transport, energi- og vandforbrug samt mængden af byggeaffald fra byggepladsen, som skal estimeres ud fra de anvendte EPD'er. Det er på nuværende tidspunkt ikke på tale at indføre krav om en LCC-beregning i RE2020, da der i forbindelse med E+C- Eksperimentet (testfase til RE2020) ikke var mange projekter, der indberettede oplysninger om omkostninger, selvom dette blev efterspurgt. Drift- og vedligeholdelsesplaner er ikke et krav i den kommende RE2020, men der er krav om energiberegninger for bygningen, hvor der er beskrivelser om antagelser omkring opvarmning af rum om vinteren, ventilationsstrategi og udluftning om vinteren og sommeren, brug af solafskærmning, kølingsstrategi af rum samt brug af elektrisk belysning.

For energiberegningen er der i Frankrig krav om at aflevere en sammenfatning af disse parametre i en rapport, benævnt *RSET*. Hverken dokumentation af problematiske stoffer eller afgangning til indeklimaet i form af formaldehyd og TVOC er et krav i RE2020. Der findes for begge parametre særskilte reguleringer, der skal overholdes. I 2013 blev det lovkrav at dokumentere niveauet af afgangning til indeklimaet i form af et mærkningssystem fra A-C og en lovgivning "ELAN" begyndte at stille krav til IAQ (indoor air quality) i 2018. Denne er dog stadigvæk under udvikling. Der er planer om en anden fase af RE2020, hvor der vil blive stillet krav til bæredygtighedsparametrene: indeklima (IAQ), cirkulær økonomi, vand mm., som skal være i tråd med lovgivningen ELAN (Nibel & Chevalier, 2020). Ligesom for dokumentation af problematiske stoffer og afgangning til indeklimaet, findes der en særskilt regulering for akustik, der stiller krav til akustik i boliger samt støj fra ventilationssystemer. Disse parametre er der ingen krav til i RE2020 (Nibel & Chevalier, 2020).

I Frankrig findes der en frivillig certificeringsordning kaldet *HQS*, hvor der stilles krav til bæredygtighedstiltag omkring afgangning til indeklimaet i form af formaldehyd og TVOC (IAQ), dagslys, biodiversitet og akustik. Her er kravene strengere for akustik end den særskilte regulering (France GBC, 2020; Nibel & Chevalier, 2020). Ligesom i Sverige og i Storbritannien er det i de frivillige bæredygtighedscertificeringsordninger, der er fokus på og



krav til yderligere bæredygtighedstiltag, som der ellers stilles krav til i den danske frivillige bæredygtighedsordning.

5.7. Tyskland

I Tyskland er der endnu ikke nogen generel national lovgivning, som stiller krav til udførelsen af bygnings-LCA'er. Der er derimod en lovgivning specifikt for føderale bygninger: her skal BNB systemet (Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen), som dækker vurderinger af bæredygtighed i byggerier (BMI, 2013), følges. Som del af dette system stilles krav til udarbejdelse af LCA'er. Systemet gælder specifikt for føderale bygninger, men nogle af de tyske delstater har valgt at følge disse krav, i forbindelse med deres øvrige offentlige byggerier (Kerz, 2020).

Retningslinjer for dette system varetages af "Federal Institute for Research on Building, Urban Affairs and Spatial Development" (BBSR), hvori der tildeles hhv. bronze, sølv eller guld, vurderet ud fra økonomisk kvalitet, social kvalitet, teknisk kvalitet, proceskvalitet og miljømæssig kvalitet (BBSR, 2017b). I denne opgørelse vægtes økonomisk-, social-, teknisk-, og miljømæssigkvalitet til hver 22,5% af scoren, mens proceskvalitet vægtes til 10%. Både LCA og LCC er derfor obligatoriske komponenter af BNB systemet.

Der er på nuværende tidspunkt ikke oprettet konkrete grænseværdier, der stilles dog fra ministeriet (Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat) krav til, at føderale bygninger skal opnå minimum sølv – 65% i den samlede vurdering. Herved er der indirekte krav til grænser at overholde (Kerz, 2020). Der er igangværende diskussioner vedrørende inklusion af LCA i det tyske bygningsreglement, ved næste mulige integration. Her er tale om revideringen af lovgivningen om energiforbrug i bygninger "Gebäude-Energie-Gesetz" (GEG), som vil komme i 2025 (BMI, 2020a).

Der eksisterer lovgivning specifikt for energieffektivt byggeri i form af "Energieeinsparverordnung" (EnEV), som stiller krav til nyt byggeri og renoveringer. Denne lovgivning blev introduceret i 2007 og revideret i hhv. 2009 og 2013 (EnEV, 2014). Ifølge EnEV skal nye byggeprojekter, og renoveringer indeholde detaljerede beskrivelser af scenarier for brug og vedligehold af bygningen. Herunder opvarmning af rum i vintermåneder, kølebehov året rundt, ventilation og udluftning året rundt, beskrivelser af solpaneler, samt en belyningsplan (Kerz, 2020).

BNB systemet stiller krav til fuld dokumentation af byggematerialer, som obligatorisk del af vurderingen og for at opnå sølv mærkat. Dette opnås ved brugen af sikkerhedsdatablad, tekniske datablade og produkt-specifikke EPD'er. For nogle aspekter bruges private mærkninger som FSC (Forest Stewardship Council) eller PEFC (Programme for the Endorsement of Forest Certification), i det omfang de findes og er relevante (Kerz, 2020). BNB stiller direkte krav i forhold till afgasninger til indeklimaet, ved et kriterium som bl.a. omfatter TVOC'er og formaldehyd. Her er der obligatoriske krav til luftkvalitetsmålinger, som er et "knock-out criteria" hvis disse ikke overholdes (Kerz, 2020).



BNB systemet stiller minimumskrav til dokumentation af dagslys, gennem brugen af dagslysanalyser. Disse minimumskrav er baseret på krav fra "Arbeitsstätten Richtlinie" (ASR), som er lovgivning vedrørende helbred og sikkerhed ved arbejdspladsen, herunder dagslysanalyser (BAuA, 2011). BNB systemets laveste kvalitetsgrad for dagslysanalyser matcher dette minimumskrav, der gives bedre score i certificeringen, ved dokumentation af bedre dagslyskvalitet (Kerz, 2020). Ligeledes indgår støj fra ventilationssystemer og akustisk komfort i BNB systemet, selvom der ikke er krav til disse i bygningsreglementet.

I Tyskland er der oprettet en strategi for biodiversitet (Küchler-Krischun & Walter, 2011), og reguleringen af denne foregår på regionalt niveau, hvor hver delstat individuelt styrer strategien. Det medvirker, at byggerier på "barmarker", dvs. områder uden eksisterende bygninger, ofte skal kompensere med hhv. grønne tage eller grønne facader (Kerz, 2020).

5.8. Holland

I Holland er der som del af bygningsreglementet (Building Decree, 2012) krav om, at der skal udføres en LCA af bygningen, inden der gives byggetilladelse. Denne LCA skal overholde grænseværdier, som er fastlagt i lovgivningen. Grænseværdien er opgjort i €/m², som beregnes efter alle miljøkategorierne er vægtet vha. skyggeværdier (shadow prices). Ligger resultaterne fra LCA'en over disse værdier, gives der ikke byggetilladelse. Bygnings-LCA'en skal afdække et vugge-til-grav perspektiv, hvor alle livscyklusmoduler er inkluderet, herunder også transport til byggeplads, energiforbrug til konstruktionsfase, vandforbrug, samt byggeaffald fra byggeplads. I Holland er der i LCA beregningsmetoden BMB opstillet faste spildprocenter for byggevarer, som antages at være tabt og ende som byggeaffald. Disse spildprocenter er defineret som hhv. 3 % for præfabrikerede materialer (fx betonelementer), 5 % for in-situ tilpassede materialer (fx mursten), og 15 % for hjælpematerialer (fx maling). Kravene om at udarbejde en LCA gælder for nyt byggeri, dvs. renoveringer er ikke omfattet (SBK - Building Quality Foundation, 2020).

I det hollandske bygningsreglement stilles der ikke krav om, at der skal udføres LCC-beregninger. Der er dog en national metode, som fastlægger fremgangsmåden, hvis en LCC udføres. Det er frivilligt at udarbejde LCC'en (Leeuwen, 2020).

Farlige stoffer og andre problematiske materialer/kemikalier rapporteres, såfremt de er omfattet af "REACH"¹ (kandidatlisten for Substances of Very High Concern, SVHC). I LCA'en skal der også medregnes toksicitets-kategorier, hvor afgangninger af fx formaldehyd eller VOC'er til indeklimaet medregnes.

Der er krav om dagslysanalyser, men ikke så strenge som i de frivillige certificeringsordninger, som ofte følges i stedet. De fleste bygninger opfylder i stedet højere frivillige krav, som fx certificering ved BREEAM eller andet

¹ Europa-Parlamentets og Rådets forordning (EF) nr. 1907/2006 af 18. december 2006 om registrering, vurdering og godkendelse af samt begrænsninger for kemikalier.



(Leeuwen, 2020). Lovgivningen forventes opdateret næste år, og i den forbindelse forventes også strengere krav til dagslysanalyser. Ligeledes stilles krav til støj fra ventilationssystemer og akustik i boliger, men disse er ikke så strenge, hvorfor de fleste bygninger også her følger frivillige ordninger, hvor der er strengere krav.

Der stilles ikke krav til mængden af genanvendte eller genbrugte byggematerialer, men der er en metode under udvikling, som skal kvantificere cirkulariteten af byggeriet (Ewijk, 2020). Denne forventes at blive introduceret i starten af 2021, efterfulgt af grænseværdier for denne kategori – dog ikke før 2023. Der stilles ikke krav i lovgivningen til dokumentation af spildevand eller vandforbrug, men det dokumenteres alligevel ofte. Det samme gælder inklusion af biodiversitet, som ofte er del af projekterne, men ikke eksisterer som lovkrav endnu (Leeuwen, 2020).

5.9. Level(s)

Level(s) er lanceret af Europakommissionen, som en fælles europæisk ramme for måling og rapportering af bæredygtighed ved nybyggeri og gennemgribende renovering af boliger og kontorer. Level(s) stiller ingen krav og kan ikke stå alene uden brug af eksisterende standarder. Det er en frivillig dokumentationsmetode for at få italesat og kortlagt bygningernes bæredygtighedsprofil og evt. sorte huller (Birgisdottir et al., 2019).

Level(s) er opbygget af makro-objekter, kerneindikatorer og livscyklusværktøjer, som berører de tre overordnede temaer: i) ressourcebrug og miljøpræstation, ii) sundhed og komfort, iii) omkostninger, værdi og risiko. Hver indikator har 3 niveauer for rapporteringskrav (Level 1, 2 og 3). Niveaue er frivilligt og giver derfor brugeren mulighed for at vælge hvor avanceret rapporteringen og vurderingen af bygnings bæredygtighed skal være (Dodd & Donatello, 2020).

Level(s) centrale bæredygtighedsindikatorer, som måles og rapporteres er CO₂, materialer, vand, sundhed og komfort samt klimapåvirkninger under hensyntagen til livscyklusomkostninger og værdivurderinger (European Commission, 2020b). Level(s) kerneindikator LCA har fokus på klimaindikatoren GWP (Global Warming Potential), dog hvis det er muligt anbefales en rapportering af alle miljøindikatorer for alle livscyklusmoduler (Dodd, Donatello, & Cordella, 2020b). En af flere kerneindikatorer i Level(s), der anvendes i den fulde LCA, er primær energiforbrug til elektricitet, opvarmning, varmt brugsvand samt køling (Dodd, Donatello, & Cordella, 2020a). Udover energi er der fokus på bygningsdele og materialer. De mængder, der skal anvendes til byggeriet, skal beregnes og dokumenteres (Dodd, Donatello, & Cordella, 2020c), på samme måde som byggeaffald fra produktionen skal det (Dodd, Donatello, & Cordella, 2020d). Der stilles ingen krav til genbrugte materialer i byggeriet, men at der er fokus på design for adskillelse, så materialerne lettere kan genanvendes efter brug (Dodd, Donatello, & Cordella, 2020f). Der skal måles på det samlede vandforbrug, med fokus på hvordan drikkevandsforbruget kan minimeres med energieffektive apparater, regnvandsopsamling og/eller genbrug af gråt vand (Dodd, Donatello, & Cordella, 2020g).



Den cirkulære økonomi spiller ind ved, at byggerierne skal designes fleksible, så de kan adaptere til fremtidigt brug (Dodd, Donatello, & Cordella, 2020e), og at der udføres en totaløkonomisk beregning for anskaffelse, vedligehold, driftsforbrug, udskiftning og nedtagning ved endt levetid (Dodd, Donatello, & Cordella, 2020j). For indeklimaet skal ventilationsraten måles og dokumenteres (Dodd, Donatello, & Cordella, 2020h) samt timer uden for temperaturgrænsen (18 °C og 27 °C) (Dodd, Donatello, & Cordella, 2020i). Totale mængder VOC og formaldehyd for materialer og i indeluften er frivilligt at dokumentere (Dodd, Donatello, & Cordella, 2020h). Dagslys kan beregnes og dokumenteres ved brug af to forskellige målestandarder: Spatial Daylight Autonomy (SDA) og dagslysfaktor (DA). Dagslyset skal overholde det nødvendige behov, som følger det pågældende lands nationale regulering (Dodd, Donatello, McLean, et al., 2020). Drifts- og vedligeholdelsesplaner, akustik og biodiversitet stilles der ingen krav eller anbefalinger til.

5.10. Opsamling

Gennemgangen af de otte lande samt Level(s) viser, at metoden til at fremme klimavenligt byggeri er forskellig landene imellem, men der er også en række områder, som er sammenlignelige. Overordnet set anvendes der enten lovgivning (dvs. krav) eller frivillige bæredygtighedsordninger, og kravene kan både gælde nationalt, lokalt eller offentlige byggerier. Særligt Holland er langt fremme, idet man her har fastsat national regulering for en lang række parametre, der skal fremme klimavenligt byggeri, herunder fastsat krav om, at der skal udføres en LCA af bygningen, inden der kan gives en byggetilladelse. Holland har ligeledes som det eneste af de undersøgte lande på nuværende tidspunkt indført en grænseværdi, som bygningen skal overholde.

I Danmark, Sverige, Finland og Frankrig er der potentielt lovgivning på vej, som skal fremme klimavenligt byggeri. I Danmark i form af den frivillige bæredygtighedsklasse, som efter en to-årig testperiode (afsluttet medio 2022) forventes implementeret i bygningsreglementet i januar 2023, og dermed bliver til krav. Det er dog allerede politisk besluttet, at det fra 2023 vil være obligatorisk at udføre LCA i forbindelse med nybyggeri, og at bygninger større end 1000 m² skal overholde en fastlagt grænseværdi for CO₂-udledninger. Fra 2025 vil alt nybyggeri være omfattet af en grænseværdi for CO₂-udledninger (Aftaleparter, 2021).

I Sverige, Finland og Frankrig forventes national lovgivning at træde i kraft i henholdsvis 2022, 2025 (senest) og 2021. I landene forventes det, at der vil blive stillet krav om udførelse af LCA af bygningen.

I Norge er der endnu ikke national lovgivning på vej, men mange af de parametre, som er inkluderet i den danske frivillige bæredygtighedsklasse, er omfattet af det norske bygningsreglement. Det gælder dog ikke udførelse af LCA af bygninger, men offentlige byggerier og byggerier i mange større kommuner er omfattet af et sådan krav.

I hverken Tyskland eller Storbritannien er der lovgivning på vej for klimavenligt byggeri, og der er på nuværende tidspunkt heller ikke planer om at indføre krav om udførelse af bygnings-LCA'er. I Tyskland er der dog krav om udførelse af en LCA for føderale bygninger, og i Storbritannien er der tilsvarende krav for visse bygninger opført i London.



For en detaljeret oversigt over de forskellige parametre undersøgt for de forskellige lande henvises til Figur 1.

I næste kapitel (kapitel 6) følger en mere detaljeret gennemgang af lovmæssige krav og erfaringer med LCA af bygninger i de udvalgte lande.



6. LCA af bygninger – lovmæssige krav og erfaringer i udvalgte lande

6.1. Danmark

Bygningsreglementet 2018 eller BR18 indeholder ikke specifikke krav for bygnings-LCA. Imidlertid har Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen (nu Bolig- og Planstyrelsen) i maj 2020 introduceret en frivillig bæredygtighedsklasse, der bliver testet på alle bygningstyper, i forbindelse med både nybyggeri og større renoveringer. Klassen er nu i en 2-årig testfase, og det er forventningen, at kravene bliver indført i bygningsreglementet i starten af 2023, efter at testfasen er afsluttet. Den frivillige bæredygtighedsklasse indeholder ni krav, som alle må opfyldes for, at bæredygtighedsklassen kan tildeles en bygning. Et af disse krav indebærer, at der udføres en tidlig LCA i projektfasen (når der ansøges om byggetilladelse) og en endelig LCA, når byggearbejdet er afsluttet (ved færdigmelding). Det blev i marts 2021 politisk besluttet, at kravet om udførelse af LCA vil indgå i bygningsreglementet fra 2023. Yderligere blev det besluttet, at der fra 2023 stilles krav om overholdelse af en grænseværdi for udledning af CO₂ for bygninger større end 1000 m². En grænseværdi for bygninger mindre end 1000 m² vil indgå i bygningsreglementet fra 2025 (Aftaleparter, 2021).

Den frivillige bæredygtighedsklasse indeholder detaljerede retningslinjer for metode og centrale antagelser, fx at LCA skal udføres i henhold til EN15978, EN15804 og relevante produktkategoriregler (PCRs). Det anbefales at bruge det gratis værktøj LCAbyg (udarbejdet af BUILD, AAU (Birgisdottir & Rasmussen, 2019), dog kan tilsvarende LCA-software anvendes, forudsat at den samme metode, data fra Ökobaudat og krav følges.

Mens anvendelsen af den frivillige bæredygtighedsklasse hidtil nødvendigvis har været begrænset pga. sin meget nylige introduktion, så har DGNB-certificering spillet en relativ stor rolle i forbindelse med bygnings-LCA i de seneste otte år, hvor 90 bygninger er blevet certificeret (Green Building Council Denmark, 2020a)². Her er LCA et af 40 kriterier, men det er ikke obligatorisk at udføre en LCA. LCA'en har dog en relativt stor vægt i forhold til den endelige score på henholdsvis 7,9 % og 5,6 % for miljøpåvirkninger og energiforbrug (DK-GBC, 2016). Den LCA, der udføres i forbindelse med DGNB, skal indeholde mindst tre "alternativer" for udvalgte bygningsdele. Den kommende version af DGNB (DK-GBC, 2020), som forventes at blive introduceret i slutningen af 2020, vil indeholde et krav til både en tidlig og en endelig LCA, og yderligere LCA-point tildeles hele bygningen eller specifikke bygningsdele gennem LCA. LCA'en under DGNB-certificering kan udføres med fx LCAbyg (som bl.a. blev udviklet til dette formål).

6.2. Norge

I Norge er der ikke noget specifikt krav til bygnings-LCA i den nationale lovgivning. Imidlertid stiller mange ejere af offentlige bygninger krav til det, hovedsageligt Statsbygg (ejer af offentlige bygninger) og store kommuner (fx Oslo, Trondheim, Stavanger). Statsbygg og de nævnte kommuner stiller krav til, at alle byggerier får lavet

² Der er fx kun 25 bygninger i Danmark, som er certificeret iht. BREEAM (<https://www.greenbooklive.com/search/scheme.jsp?id=202>).



byggnings-LCA'er. Oven i dette har adskillige projekter og initiativer fremmet brugen af byggnings-LCA, fx Future Build, ZEB og ZEN (beskrevet i flere detaljer nedenfor).

Future Build er et samarbejde mellem 10 partnere, blandt andre flere kommuner, Kommunal- og moderniseringsdepartementet, den norske statslige Husbanken, Enova (den norske energifond), det nationale kontor for bygningsteknologi og administration, Green Building Alliance og Norske arkitekters landsforbund. Det har kørt fra 2010 til 2020, og målet er at gennemføre en række pilotprojekter (både nye bygninger og renoveringer). Det skal reducere drivhusgasemissioner fra transport, energi og materialeforbrug med mindst 50 %, og det involverer arkitektur af høj kvalitet (*Future Build*, 2016). Pilotprojekterne skal inspirere og ændre praksis i både den private og den offentlige sektor.

Zero Emission Buildings programmet, eller ZEB, var ledet af en blanding af SINTEF (stiftning for industriel og teknisk forskning) og NTNU (Norwegian university of science and technology) med partnere fra byggebranchen. Projektet løb fra 2011 til 2016 og havde til formål at udvikle konkurrencedygtige produkter og løsninger til eksisterende og nye bygninger, der ville føre til markedsindtrængning af bygninger uden drivhusgasemissioner relateret til deres produktion, drift og nedrivning (Research Center on Zero Emission Buildings, 2011). *Zero Emission Neighbor-Hood* programmet, eller ZEN, er efterfølgeren til ZEB, blev oprettet i 2017 og kører stadig (Research Center on Zero Emission Neighborhoods (ZEN) in Smart Cities, 2017). Det sigter mod at skabe løsninger til fremtidens nulemissionsbygninger og bydele ved at udvikle ni testområder («pilotprojekter») spredt over hele Norge.

Statsbygg, det norske direktorat for offentligt byggeri og ejendomme, er den statslige instans, der administrerer den offentlige ejendomsportefølje. Statsbygg stiller specifikke krav til bæredygtigheden af sine bygninger, især et minimum antal EPD'er, der skal opnås for alle byggeprojekter udført af Statsbygg. Dette krav har bidraget væsentligt til fremme og udbredelse af EPD'er i landet i de sidste 15 år, til det punkt, hvor EPD'er nu er meget udbredte i Norge. Statsbygg retter derfor i øjeblikket opmærksomheden mod a) EPD'er for produkter, der hidtil har fået lidt fokus (fx. tekniske installationer og opvarmning, ventilation og aircondition, HVAC) og b) specifikke krav til CO₂-fodaftryk i projektkontrakter. Dette vil typisk betyde, at der kræves en tidlig og en endelig LCA, ofte med flere opdateringer. Statsbygg kræver brug af LCA-værktøjet One Click LCA, der er udviklet af det finske firma Bionova Ltd.

Endelig er certificeringsordningen BREEAM-NO ret udbredt i Norge og har hidtil ført til mere end 300 certificerede bygninger siden introduktionen i 2012 (Norwegian Green Building Council, 2020), og den indeholder et krav om byggnings-LCA. Dette består typisk af en tidlig og en endelig LCA. BREEAM kræver udvikling af et referencebyggningsdesign, der fungerer som baseline i forhold til at vurdere den endelige miljøpræstation. Ofte udføres den tidlige LCA kun på referencebygningen for at få en reference for CO₂, og derefter udføres den reelle LCA til slut. Den norske version af BREEAM (BREEAM-NO) anbefaler brug af One Click LCA (Bionova Ltd, 2020b), men andre værktøjer er tilladt (Bøe, 2020). Ekstra point gives dog til brugen af One Click LCA, hvilket gør det de facto til den mest udbredte software, der bruges til formålet.



6.3. Sverige

I Sverige er Boverket den nationale myndighed, der offentliggør regler og retningslinjer for bygninger og byggeri (Boverket, 2019b). Boverket arbejder i øjeblikket på en kommende regulering, *Klimatdeklarationen*, hvor det bliver obligatorisk for bygherrer og investorer at gennemføre en LCA for nye bygninger fra den 1. januar 2022, som er den første fase af lovgivningen. En anden fase af lovgivningen er planlagt til at blive udviklet inden 2027, hvor strammere krav til LCA vil blive indført, og grænseværdier muligvis blive indført (Boverket, 2020; Finansdepartementet, 2020; Palm, 2020; Rydberg, 2020). I samarbejde med Miljøministeriet i Finland udvikler Boverket også en åben generisk LCA-database, som forventes færdigudviklet inden januar 2021. Denne generiske database skal bruges til bygnings-LCA'er (Boverket, 2020; Swedish Life Cycle Center, 2020).

Udover den kommende *Klimatdeklaration* er de frivillige certificeringsordninger for bygninger, Miljöbyggnad 3.1 og BREEAM-SE allerede i brug i Sverige. Miljöbyggnad 3.1 er meget almindelig i Sverige, og den fungerer med tre niveauer af certificeringer; bronze, sølv og guld, hvor forskellige krav til livscyklusmoduler og EPD'er i LCA opstår. Denne certificering kan anvendes til nybyggeri, renovering og bygninger i brug (Sweden Green Building Council, 2020b). BREEAM-SE er en international certificeringsordning tilpasset svenske regler og standarder for nybyggeri, hvor der ikke er noget reelt krav om at gennemføre en LCA, da certificeringen kan nås ved at opnå flere point i de andre kriterier (Palm, 2020). Hvis der gennemføres en LCA, tildeles flere point, hvis et vugge-til-grav perspektiv er vurderet i forhold til det obligatoriske vugge til port-perspektiv (bre, 2016b). Den nyeste certificeringsordning er NollCO₂ version 1.0, som blev lanceret d. 22. september 2020 under World Green Building Week, og kan bruges som en tilføjelse til de eksisterende ordninger som Miljöbyggnad, BREEAM-SE, LEED og Svanen (miljømærke). NollCO₂ er kun rettet mod nybyggeri (Sweden Green Building Council, 2020a, 2020c) (Sweden Green Building Council, 2020e). NollCO₂ er udviklet som en del af The European Green Deal, hvor målet er, at EU skal være klimaneutralt i 2050. Det er et certificeringssystem, hvor en klimapåvirkning på nul for en bygning, nås gennem hele bygningens livscyklus (Sweden Green Building Council, 2020d). Selvom alle tre certificeringsordninger er udviklet af det svenske Green Building Council (SGBC), opstår der forskellige krav til gennemførelse af LCA. Hvad angår LCA-værktøjer, der anvendes i Sverige, er One Click LCA den mest anvendte (Palm, 2020), men Byggsektorns miljøberäkningsverktyg (BM-verktyget) er et kommende værktøj udviklet af det svenske miljøinstitut (IVL). BM-verktyget er frit tilgængeligt i øjeblikket, men kan muligvis licenseres senere (Palm, 2020).

I Sverige har mere end 425 bygninger opnået en LEED-certificering (US Green Building Council, 2020), mens omkring 155 bygninger har gennemgået BREEAM-SE-certificering til nybyggeri, og omkring 650 bygninger er certificeret i henhold til I Drift ordningen (bre, 2020). Mere end 1500 bygninger har opnået en Miljöbyggnad-certificering (Sweden Green Building Council, 2020e).

6.4. Finland

I Finland indførte Miljøministeriet en køreplan for at minimere CO₂-udledning fra bygninger i 2017 og har siden forberedt en ny lovgivning, som forventes at blive lanceret senest i 2025 (men muligvis allerede i 2023), kaldet



Climate Declaration (Kuittinen, 2020). Selvom den stadig er i en planlægnings- og testfase, kan den allerede bruges, og anses af professionelle for at være de bedst tilgængelige retningslinjer for klimavenlige bygninger i Finland (Heikkinen, 2020). I den første fase kan lovgivningen kun bruges på nybyggeri og ikke renovering. Efter en planlagt anden pilotrunde vil resultater fra testfasen være tilgængelige, og der planlægges fastsættelse af grænseværdier for CO₂-udledninger i lovgivningen, senest i 2025 og muligvis allerede i 2023 eller 2024. I starten vil grænseværdierne for udledning af CO₂-ækvivalenter sandsynligvis være relativt nemme at overholde, da Miljøministeriet over tid vil indsamle flere data fra faktiske projekter og derved kunne stramme lovgivningen på et bedre grundlag (Heikkinen, 2020).

Med hensyn til certificeringsordninger bruger Finland det frivillige certificeringssystem RTS, der er udviklet af Building Information Foundation, og været i brug siden 2017, samt BREEAM og LEED, som er internationale standarder. For Klimadeklarationen og RTS er det obligatorisk at gennemføre en LCA, mens der for BREEAM og LEED kan opnås en certificering uden, afhængigt af projektets ambitionsniveau. Til udførelse af LCA'er er One Click LCA det mest anvendte LCA-værktøj i Finland og kræves i henhold til Climate deklaration og RTS. I Finland har mere end 350 bygninger opnået en LEED-certificering (U.S. Green Building Council, 2020), og næsten 100 bygninger har gennemgået BREEAM-certificering til nybyggeri, og omkring 250 bygninger er blevet certificeret under I Drift ordningen (bre, 2020). RTS-certificeringen er stadig meget ny og har endnu ikke tildelt nogen certificeringer, men mere end 100 projekter er registreret som igangværende i certificeringsværktøjet (Heikkinen, 2020).

6.5. Storbritannien

I Storbritannien findes der ingen nuværende eller planlagt fremtidig national lovgivning, der stiller krav til udførelsen af livscyklusvurderinger i forbindelse med opførelse af en ny bygning. Der findes dog lokale lovgivninger, der stiller krav til dette. I London findes *The London Plan*, som er en strategisk plan for London og de tilhørende 32 byområder. *The London Plan* er udarbejdet af Londons borgmester i overensstemmelse med *Greater London Authority Act 1999* og indeholder en beskrivelse om en målsætning til at minimere udledningen af drivhusgasser (Policy S12) (Greater London Authority, 2017, 2020c, 2020b). I april 2020 udgav GLA (Greater London Authority) en guide til, hvordan en fuld livscyklusvurdering skal udføres i overensstemmelse med Policy S12 i the London Plan (WLC GLA-guiden). Det er et krav at følge guiden og udføre en fuld LCA for alle nye bygningsansøgninger, der har over 150 boligenheder med et bestemt etageareal afhængig af placering i London-området (Greater London Authority, 2020d; Voukia, 2020). Denne guide er på nuværende tidspunkt et udkast, som efter en evaluering vil resultere i en endelig guide i sommeren 2021. Den endelige guide vil dog være i overensstemmelse med metoden i udkastet fra april 2020, som er trådt i kraft (Greater London Authority, 2020d; Mayor of London, 2020; Voukia, 2020).

Ifølge GLA-guiden for udførelse af en fuld livscyklusvurdering skal LCA-værktøjet, der benyttes til at udføre LCA'en, anvende en softwarepakke, der dækker hele afgrænsningen angivet i standarden BS EN 15978 samt den britiske standard RICS PS for *Whole life carbon assessment for the built environment*. Disse LCA-værktøjer kan



bl.a. være One Click LCA, som er det mest benyttede LCA-værktøj i Storbritannien, eToolLCD, IES VE, Tally og Sturgis Carbon Calculator (Greater London Authority, 2020d; Voukia, 2020) (Papakosta & Sturgis, 2017).

Det er et krav at indsende en tidlig LCA før den endelige ansøgning (pre-application), i forbindelse med design-konceptstadiet samt en endelig LCA ved aflevering af bygning, som skal afleveres senest 3 måneder herefter (Greater London Authority, 2020d; Voukia, 2020).

Den nye WLC GLA-guide anses for at være på forkant med LCA-udførelse generelt. Guiden har fået støtte fra både eksperter, NGO'er og interessenter fra industrien, der alle har støttet op om initiativet. Det forventes, at med indførelsen af et lokalt krav til udførelse af LCA'er, vil LCA'er få en indflydelse på, hvordan der bygges; prioritering af materialer med en lav GWP, større fokus på brugen af genbrugsmaterialer, fremme brugen af lokalt producerede materialer samt opfordre til at genanvende eksisterende konstruktioner (Voukia, 2020).

Ud over GLA, så udføres der bygnings-LCA i overensstemmelse med BREEAM UK New Construction 2018 i Storbritannien. Dette er en frivillig bæredygtighedscertificering, hvor der kan opnås flere point for at udføre en LCA. BREEAM er meget udbredt i Storbritannien, hvor der for nybyg er over 11.800 certificerede bygninger, og for bygninger i brug er der 285 certificerede bygninger (bre, 2020). Udover BREEAM, så er certificeringsordningen LEED benyttet i Storbritannien, dog ikke i samme grad som BREEAM, da der kun er knap 200 LEED-certificerede bygninger i Storbritannien (U.S. Green Building Council, 2020).

6.6. Frankrig

I Frankrig vil der i juli 2021 komme national regulering, hvor der stilles krav til udførelse af bygnings-LCA. Da reguleringen stadigvæk er under udarbejdelse, er det ikke alle parametre omkring LCA, der endnu er helt fastlagt (Nibel & Chevalier, 2020). Denne nationale regulering hedder *RE2020*, og den erstatter den tidligere *RT2012*, som kun havde fokus på termisk regulering, dvs. bygningens varmekonsum. *RE2020* stiller højere krav end den termiske regulering *RT2012*, da den også fokuserer på klima ved at betragte hele bygningens livscyklus i en LCA. Ideen med den nye regulering er at skabe bygninger, der er energipositive (Bepos på fransk) og har et lavt CO₂-fodaftryk. Kravet vedr. klima, der kommer til at indgå i *RE2020*, sker som følge af Frankrigs klimaforpligtelser, hvor der i 2015 blev fastsat et mål om at reducere drivhusgasemissionerne med 40 % inden 2030 (Keeplanet, 2020; Legrand, 2020; Ministère Transition Écologique Cohésion des Territoires, 2019c; Nibel & Chevalier, 2020). *RE2020* vil i første fase i 2021 være gældende for nye boliger, kontorbygninger samt skoler (Nibel & Chevalier, 2020). *RE2020* er udviklet af ministeriet, der har ansvaret for miljømæssig omlægning og konstruktioner (Ministère Transition Écologique Cohésion des Territoires) med teknisk support fra CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment) og interessenter, der er eksperter på området (Nibel & Chevalier, 2020; Piton, 2020)

Der vil være en anden fase af *RE2020*, hvor der vil blive stillet krav til andre bæredygtighedsparametre; indeklima (IAQ), cirkulær økonomi samt vandforbrug, som nævnt tidligere. Herudover vil den komme til at gælde for flere bygningstyper: hoteller, butikker, universiteter, logistikbygninger mm. (Nibel & Chevalier, 2020).



Som forberedelse til klimadelen af RE2020 udkom i slutningen af 2016 *E+C- Eksperimentet*, der introducerede udførelsen af bygnings-LCA med referenceværdier for GWP. E+C- Eksperimentet indeholder mere end 1000 casestudier og kan anses som en testfase for RE2020. Det indeholder metoder rettet mod byggesektoren for at nedbringe drivhusgasudledningen og have en positiv energiproduktion i løbet af bygningens levetid (Ministères Transition Écologique Cohésion des Territoires, 2019a; Nibel & Chevalier, 2020; Piton, 2020).

I RE2020 er metoden for udførelsen af LCA beskrevet, men der er ikke et bestemt LCA-værktøj, der skal benyttes hertil. Det er muligt både at benytte et separat LCA-værktøj eller et beregningsværktøj, der kobler både energi- og CO₂-beregninger. Under E+C- Eksperimentet er der ni værktøjer, der er blevet godkendt af Regeringen i Frankrig. Det kan bl.a. være OneClick LCA eller ELODIE, som er udviklet af CSTB og er et udbredt LCA-værktøj blandt LCA-eksperter (Ministères Transition Écologique Cohésion des Territoires, 2019b; Nibel & Chevalier, 2020) (Piton, 2020).

Testfasen, som blev introduceret i 2016 med E+C- Eksperimentet, har været godt taget imod af industrien, og har været med til at sætte skub i brugen af LCA og viden inden for området. Der ses en generel tendens til, at LCA bliver mere og mere accepteret blandt de forskellige aktører inden for branchen, og LCA er i en vis grad med til at præge måden, man bygger på i Frankrig; brug af beton med lavere GWP-udledning, stigning i brug af træbaserede byggematerialer mm. (Nibel & Chevalier, 2020). En udfordring omkring LCA, som bliver nævnt af CSTB er, at der er en mangel på dokumentation i form af EPD'er samt en fyldestgørende udførelse af LCA blandt aktørerne. Dette skal ses i sammenhæng med den manglende viden og erfaring med LCA i branchen. E+C- Eksperimentet har dog været med til at forberede branchen på den kommende RE2020 regulering, hvor det bliver et krav at udføre en LCA for nye bygninger (Nibel & Chevalier, 2020).

Det vil formentligt blive et krav i RE2020, at der skal indleveres en tidlig LCA i forbindelse med byggetilladelsen. Denne tidlige LCA skal opdateres og afleveres som "as built" ved aflevering af bygningen, hvor grænseværdier for GWP fastsat i RE2020 skal overholdes. RE2020 vil kun være gældende for nye bygninger. For bygningsrenoveringer findes der en særskilt energiregulering fra 2007. Her er der på nuværende tidspunkt ikke planer om at indføre miljøkrav, hvor der skal udføres en bygnings-LCA (Nibel & Chevalier, 2020) (Piton, 2020).

Udover den kommende RE2020 regulering, hvor det bliver et lovkrav at udføre en bygnings-LCA for nye bygninger, så findes der også en fransk frivillig certificeringsordning, *HQE*, hvor der skal udføres bygnings-LCA (Nibel & Chevalier, 2020). I 2015 var der 1.170 registrerede HQE-certificerede bygninger, som i 2016 var steget til 1.274 (Green Soluce & France GBC, 2016). Udover HQE benyttes certificeringsordningerne LEED og BREEAM også i Frankrig (Green Soluce & France GBC, 2016). For BREEAM er der knap 2.000 certificerede bygninger for nybyg og knap 1.100 certificerede bygninger for bygninger i brug (bre, 2020). LEED er knap så benyttet i som BREEAM, hvor der er knap 150 certificerede bygninger (U.S. Green Building Council, 2020).



6.7. Tyskland

I Tyskland er der endnu ingen lovgivning vedrørende LCA for byggeri, og det er heller ikke del af bygningsreglementet. I stedet er der udviklet et system til vurdering af bæredygtighed af byggeri: BNB (Bewertungssystem für Nachhaltiges Bauen) som blev indført i 2009. I dette system vurderes bl.a. miljøbelastninger ved LCA, som indgår i den samlede vægtning af bygningen, som tildeles hhv. bronze-, sølv- eller guldmærkat.

BNB systemet blev indført som obligatorisk del af byggetilladelse, specifikt for føderale byggeprojekter i 2011. For at opnå en byggetilladelse, skal føderale bygninger som minimum opnå et sølvmærkat i BNB. Sølvmærkatet kræver som minimum en samlet score på 65%, LCA'en kan udgøre op til 22,5% af denne samlede vurdering. Der er således et indirekte krav til udarbejdelsen af bygnings-LCA'er, samt de resultater der findes på baggrund af denne, da resultaterne af LCA'en spiller en væsentlig rolle i den samlede score.

Selvom der på nationalt niveau ikke stilles krav til udførelse af bygnings-LCA'er, er der nogle delstater, som stiller regionale krav, hvor man har valgt også at følge BNB systemet, og ligeledes kræve et minimum af sølvmærkat.

Der er igangværende diskussioner vedrørende en bredere implementering af BNB systemet, og udvidelse af kravene til alle bygninger i Tyskland - både private og offentlige. Men det er en længere proces, som kun er i de indledende faser. Den næste mulige dato for implementering af sådan et krav ligger i 2025, hvor kravet vil kunne integreres i lovgivningen, via revisionen af lovgivningen om energiforbrug i bygninger "GEG" (Gebäude-Energie-Gesetz).

6.8. Holland

Som del af det hollandske bygningsreglement, stilles der krav om, at der for ethvert byggeri udarbejdes en LCA, som skal afdække hele bygningens levetid, og inkludere alle livscyklusmoduler. Ved "Nationale Milieu Database" fremlægges kravene til bygnings-LCA'er, som skal udføres i henhold til BMB "Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken" (Metoden til vurdering af miljøpræstationer) (SBK - Building Quality Foundation, 2020).

Metoden for bygnings-LCA'en varetages af en fond, kaldet "Stichting Bouwkwaliiteit", som består af en kombination af regering og industri, fordelt ca. 80/20 (SBK, 2020). Fonden er primært styret af industrien, og er ikke stærkt repræsenteret af akademiske institutioner.

Lovgivningen blev introduceret i en testfase i 2010, hvorefter den i 2012 blev obligatorisk. Her blev det et krav, at en LCA skulle udføres som del af ansøgning om byggetilladelse. Der var på det tidspunkt endnu ingen grænseværdier for miljøpåvirkningskategorierne, det var tilstrækkeligt blot at have udført LCA-beregningen. I 2016 indførtes grænseværdier i lovgivningen, igen som en testfase, hvorefter de i 2018 blev fastlagt og obligatoriske at overholde. De indledende grænseværdier var baseret på gennemsnitsværdier fra byggebranchen, og skulle



være gældende for nye bygninger. Justeringer, forbedringer, nye moduler, og nye grænseværdier introduceres i systemet hver 6. måned, uden først at gennemgå en testfase, men med seks måneders varsel. Disse ændringer testes på relevante projekter, før de implementeres, men de testes ikke "offentligt", først efter de er tilføjet.

Udviklingen af denne lovgivning har været en proces, der er forløbet over mange år, og strækker sig tilbage til 1990'erne, hvor industrien går i gang med at udvikle de første EPD'er.

6.9. Level(s)

Level(s) er udviklet af Europa-Kommissionen, som startede udviklingen i 2015, hvorefter den første beta-version blev publiceret i 2017. I perioden 2017-2019 blev Level(s) indikatorerne testet på over 130 projekter i EU-lande. Denne testfase endte med en spørgeundersøgelse fra juni til september 2019. Til sammen danner disse faser baggrund for Level(s)'s endelige udgivelse i 2020 (European Commission, 2020a).

Level(s) er et frivilligt værktøj til rapportering af en bygningsbæredygtighed. Level(s) består af makro-objekter, et sæt kerneindikatorer og fælles metrikker til måling af bygningers bæredygtighed over deres livscyklus. Makro-objekter og kerneindikatorerne dækker på forskelligvis miljømæssige, sociale og økonomiske aspekter af bæredygtigt byggeri (Birgisdottir et al., 2019).

Der stilles ikke krav til, at alle nævnte makro-objekter og dertilhørende kerneobjekter skal udføres og dokumenteres. Ligeledes stilles der heller ikke krav til rapporteringsniveauet af LCA og hvilke livscyklusstadier, som skal være inkluderet. Der opfordres til rapportering af alle livscyklusfaser for at få et fuldstændigt billede af byggeriets miljøpåvirkninger. Level(s) er opbygget således, at brugerne kan starte med at lære om de forskellige trin, som er nødvendige for at gennemføre en livscyklus GWP-vurdering, og senere hen kan vælge at udføre en fuld livscyklusvurdering for de resterende miljøindikatorer.

Under kerneindikator 1.2 kortlægges bygningens totale GWP i enheden kg CO₂-ækvivalenter for alle livscyklusstadier: Produktion (A), Brug (B), End of life (C) og Genanvendelse og genbrug (D). Det er kun GWP, som skal rapporteres under denne indikator, men det kan være tilvalg at rapportere på alle ni miljøindikatorer, ved at følge samme metode. En hel livscyklusvurdering fra vugge til grav er defineret efter EN15978 – fra produktionen af byggematerialerne, bygningerne i brugsfasen til deres endte levetid og den efterfølgende nedrivning og genvinding af byggematerialerne (A1-5, B1-6, C1-4 og D). For at udføre en hel livscyklusvurdering kan der anvendes LCA software tools, som skal beregne jf. kravene stillet i EN15978. Anvendte databaser for generiske data og EPD'er skal være i overensstemmelse med krav stillet i EN15804 (Dodd & Donatello, 2020).

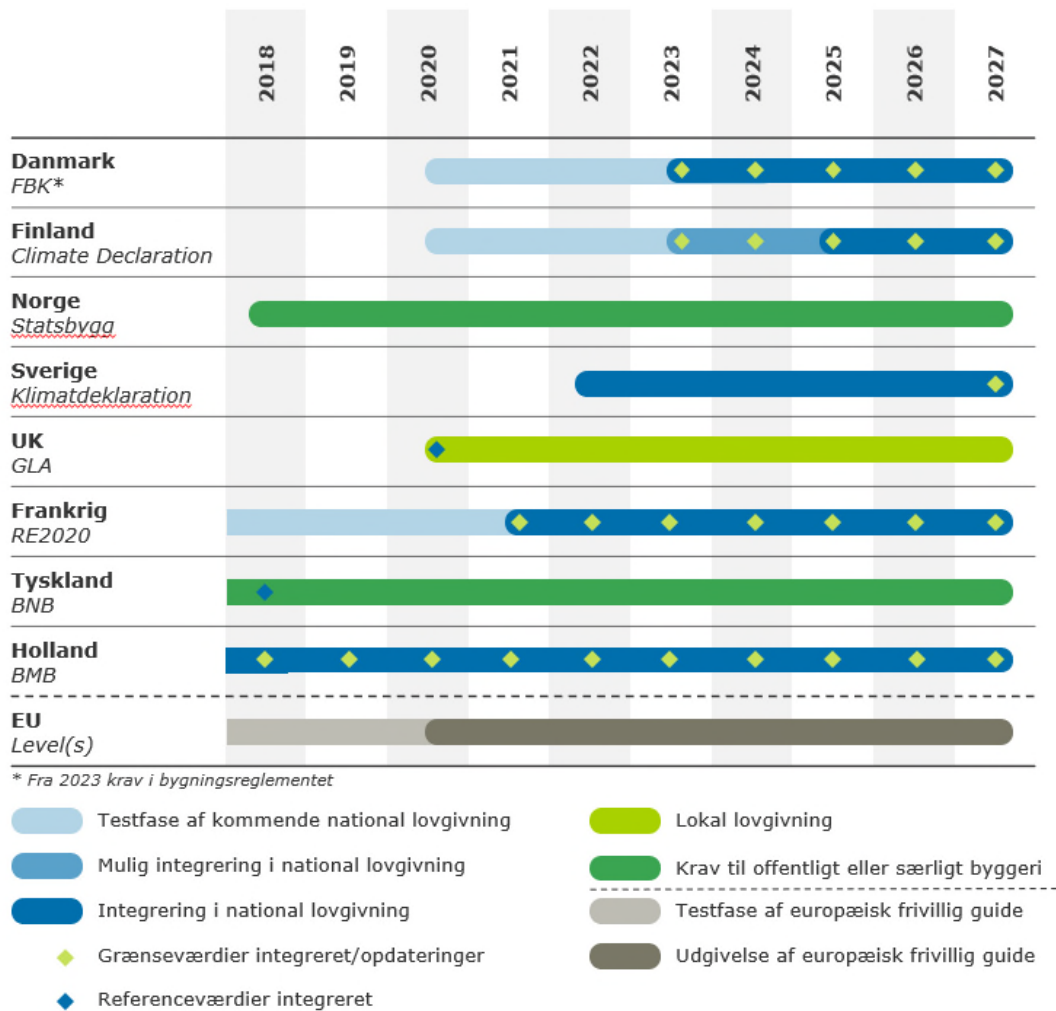


6.10. Opsamling

Nedenstående Figur 2 indeholder en opsamling over indføring af lovmæssige krav til bygnings-LCA i de otte undersøgte lande samt EU i form af Level(s), som er en frivillig ordning. Som det fremgår af figuren, er der potentielt national lovgivning om krav til bygnings-LCA på vej i Danmark, Finland, Sverige og Frankrig. I Holland har man allerede et sådan krav, og det samme gælder i Norge og Tyskland men kun for offentlige byggerier. I Storbritannien gælder kravet kun lokalt (for visse bygninger i London).

Indførelse/opdateringer af henholdsvis referenceværdier og grænseværdier er markeret for de enkelte lande, hvor der er informationer herom. I Danmark indføres grænseværdier fra 2023 for nybyggeri større end 1000 m², hvorimod bygninger mindre end 1000 m² kun skal dokumentere en LCA-beregning af byggeriet. En grænseværdi for nybyggeri mindre end 1000 m² vil indgå i bygningsreglementet fra 2025. I Finland er det illustreret, at grænseværdierne skal indføres samtidig med, at lovgivningen træder i kraft (senest 2025), hvorefter de løbende opdateres i takt med indhentning af mere data. I Sverige vil der muligvis blive indført grænseværdier i en anden fase i 2027, hvor der i Storbritannien blev indført to intervaller af referenceværdier med indførelsen i 2020. I Frankrig vil de introducerede grænseværdier løbende blive strammet frem mod 2030. Grænseværdierne blev i Holland krævet fra 2018, som løbende opdateres hver 6. måned med en seks måneders testfase.

I kapitel 7.4 gennemgås det i detaljer, hvordan grænseværdier og referenceværdier anvendes eller tænkes anvendt i fremtiden.



Figur 2 - Oversigt over indførelse af krav til bygnings-LCA'er i de undersøgte lande. Krav er inddelt i national lovgivning, lokal lovgivning, krav til offentligt byggeri samt en europæisk frivillig guide. I Danmark er det i 2023 og 2024 kun bygninger større end 1000 m², der er omfattet af en grænseværdi. Fra 2025 vil alt nybyggeri blive omfattet.



7. LCA af bygninger – gennemgang af kritiske parametre i udvalgte lande

7.1. Betragtningstidsperiode og inkluderede livscyklusmoduler

Betragtningstidsperioden er et udtryk for det antal år, bygningen analyseres for i en LCA. Bygningens faktiske levetid kan således være både kortere eller længere end den anvendte betragtningstidsperiode (fx bliver den gennemsnitlige levetid for danske bygninger anset for at være 70 år (Østergaard et al., 2018)). Jo længere betragtningstidsperiode, jo mindre vægt lægges der på de påvirkninger, der opstår i anlægsfasen, og der lægges større vægt på påvirkninger, der opstår i bygningens brugsfase, herunder udskiftning af materialer og energiforbrug under drift.

Ved udførelse af LCA opdeles bygningens livscyklus i en række faser, som er defineret af bl.a. standarden EN 15978. Livscyklusmodulerne er beskrevet i Tabel 1. Produktionsfasen består af udvinding af råstoffer (A1), transport til fremstillingssted, fx fabrikken (A2) og selve fremstilling af de enkelte byggevarer/-materialer (A3). Under konstruktionsfasen bliver byggevarerne/-materialerne transporteret videre til byggeplads (A4) og installeret i selve bygningen (A5). Den efterfølgende fase, brugsfasen, består af ibrugtagning (B1), vedligehold (B2), evt. reparation (B3) og udskiftning (B4) af visse byggevarer, renovering (B5) samt energi- og vandforbrug ifm. bygningsdrift (B6, B7). I den norske standard NS 3720 er en ekstra fase (B8) blevet introduceret, svarende til transport i driftsfase (nærmere beskrevet i det følgende). Når bygningen har nået endt levetid, begynder bortskaffelsesfasen, som består af nedrivningen (C1), transport af affaldsstrømmene til affaldsbehandlingssted(er) (C2), og så selve affaldsbehandlingen (C3) og/eller deponering (C4). Evt. miljøgevinster eller belastninger ifm. genbrug/genanvendelse/materialenyttiggørelse af de bortskaffede materialer rapporteres separat i det næste produktsystem (fase D).



Table 1 - Faser og moduler angivet i standarden for EPD'er på byggevarer, EN 15804.

Produktionsfase			Konstruktionsfase		Brugsfase							Bortskaffelsesfase				Næste produkt-system
Udvinning af råstoffer	Transport til fremstilling	Material fremstilling	Transport til byggeplads	Installation	Ibrugtagning	Vedligehold	Reparation	Udskiftning	Renovering	Energiforbrug til opvarmning og bygningens drift	Vandforbrug	Nedrivning	Transport til affaldsbehandling	Affaldsbehandling	Deponering	Genbrugs-/genanvendelses-/el. genvindingspotentiale
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D

I **Danmark** er både den frivillige bæredygtighedsklasse og DGNB-certificeringsordningen baseret på en betragtningsperiode på 50 år uden mulighed for brugerdefinerede betragtningsperioder. Med hensyn til DGNB blev det på tidspunktet for introduktionen i Danmark besluttet at bruge den samme betragtningsperiode, som blev brugt til DGNB Tyskland og internationalt, dvs. 50 år. I en efterfølgende opdatering af DGNB blev det valgt at bruge to betragtningsperioder parallelt: 50 år for alle bygningstyper og 80 år for kontorer, 100 år for skoler, daginstitutioner og hospitaler og 120 år for boliger (i tråd med SBi 2013: 30, Aagaard et al., 2013). Resultaterne fra de to parallelle beregninger vægtes derefter. I den kommende opdatering af de danske DGNB-manualer, der forventes i slutningen af 2020, forventes betragtningsperioden at være begrænset til 50 år.

Der er flere årsager til valget af en betragtningsperiode på 50 år i Danmark for både den frivillige bæredygtighedsklasse og DGNB: på den ene side stammer den fra de økonomiske afskrivningsperioder for byggeinvesteringer (Zimmermann et al., 2020b), som i totaløkonomiske vurderinger er fastlagt til 50 år, og det anses være irrelevant at kalkulere med længere afskrivningstider (Aagaard et al., 2013). På den anden side blev det valgt til at afspejle almindelig international praksis, som overvejende bruger 50 år (Frischknecht et al., 2019; Röck, Saade, et al., 2020), inklusive det tyske DGNB og den europæiske ordning Level(s). En tredje vigtig årsag var imidlertid også ønsket om at lægge mere fokus på "aktuelle påvirkninger" (dvs. materialer og konstruktionsfase) og mindre på påvirkninger, der sker flere årtier ude i fremtiden (dvs. udskiftning af materialer), hvor reduktionsmålet for udledning af drivhusgasser skal nås inden for en relativt kort tidsramme (Birgisdóttir, 2020). En længere betragtningsperiode vælges normalt for at afspejle forventninger til bygningers virkelige levetid (Aagaard et al., 2013; Zimmermann et al., 2020b).



Den danske frivillige bæredygtighedsklasse kræver, at følgende livscyklusmoduler er omfattet af LCA: A1-A5, B4, B6, C3-C4, D; DGNB-certificeringen kræver modulerne A1-A3, B4, B6, C3-C4, mens den kommende DGNB 2020-version tilføjer moduler A4-A5 som valgfri (giver ekstra point).

I **Norge** sætter den norske standard for bygnings-LCA (NS 3720) en betragtningsperiode på 60 år (hvor alle livscyklusmoduler er dækket bortset fra B7). Praksis i Norge er således i overensstemmelse med både BREEAM-NO og Statsbygg, der anbefaler den samme betragtningsperiode på 60 år, og det samme sæt livscyklusmoduler. Mens brugere har lov til at definere en anden betragtningsperiode, hvis det er relevant (kræver et overbevisende argument), er dette ikke almindelig praksis, og hvis en anden betragtningsperiode vælges, vil der ofte blive kørt en parallel beregning med en betragtningsperiode på 60 år (Bingh, 2020; Bøe, 2020). NS 3720-standard har introduceret et ekstra modul, B8 (Operationel transport), som også foreskrives af BREEAM-NO (og af Statsbygg, når det skønnes relevant): bygningens placering har vist sig at være en kritisk parameter i Norge (Bøe, 2020).

I **Sverige** har den kommende lovgivning, *Klimatdeklaration*, kun et krav om at inkludere livscyklusstadierne A1-A5, hvilket er grunden til, at der ikke er inkluderet nogen betragtningsperiode i LCA (Finansdepartementet, 2020). Det samme gælder for *Miljöbyggnad*, hvor kun livscyklusmodulerne A1-A3 eller A1-A4 (afhængigt af certificeringsniveauet) er obligatoriske i den første fase af lovgivningen i 2022 (Sweden Green Building Council, 2020b). I anden fase i 2027 er planen at have et krav om at gennemføre en komplet LCA også inklusive livscyklusmodulerne B2, B4, B6 og C1-4 (Palm, 2020). For BREEAM-SE og NollCO2 anvendes en betragtningsperiode på henholdsvis 60 år og 50 år i LCA. For BREEAM-SE er livscyklusmodulerne A1-A4 minimumskravet til gennemførelse af en LCA, men hvis modulerne B1-B7, C1-C4 og D også er inkluderet, kan der opnås ekstra point fra LCA-beregningen (bre, 2016b).

En lignende situation findes i **Finland**, hvor betragtningsperioder på både 50 og 60 år findes afhængigt af ordningen: mens den kommende lovgivning (Klimadeklaration) foreskriver en betragtningsperiode på 50 år (dækker faserne A1-5, B3-4, B6, C1-4, D), fastsætter både BREEAM og LEED en betragtningsperiode på 60 år. Derudover tillader Klimadeklarationen at have en brugerdefineret betragtningsperiode på mere end 50 år (Heikkinen, 2020).

RTS kræver, at modulerne A1-5, B1-4, B6, C1-4 er inkluderet, mens BREEAM kun har A1-3 som obligatorisk krav (A4, B1-7, C1-4 er valgfri, og giver ekstra point, hvis inkluderet). Obligatoriske livscyklusmoduler i LEED er A1-4, B1-5, C1-4.

I **Storbritannien** er der i GLA krav til at betragtningsperioden regnes for 60 år, også selvom den forventede levetid for den specifikke bygning er mere end 60 år. Der anvendes en tilsvarende betragtningsperiode i BREEAM Storbritannien og LEED (Greater London Authority, 2020d; Voukia, 2020).



Da det er en fuld livscyklusanalyse, der stilles krav om i GLA, skal der rapporteres på livscyklusmodulerne A1-3 (produktfasen), A4-5 (konstruktionsfasen), B1-7 (brugsfasen), C1-4 (endtlivstid), samt D (potentiale for genbrug og genanvendelse ude for systemgrænsen) (Greater London Authority, 2020d). Kravene til en fuld livscyklusanalyse er i overensstemmelse med Policy SI2 i the London Plan, og følger BS EN 15978 samt RICS PS for metoden til LCA'en (British Standards Institution, 2011; Papakosta & Sturgis, 2017). En udfordring for dem, som udfører LCA'er er, at der i Storbritannien er meget data tilgængelig for produktfasen (A1-5), mens der er begrænset data tilgængeligt for B1-4 samt C1-4, hvorfor designteams har svært ved at finde projektspecifikt data på vedligeholdelsesscenarier, reparationsrater samt emissioner fra affaldshåndtering. Derfor benyttes der default værdier fra RICS PS og forskellige LCA-værktøjer (Papakosta & Sturgis, 2017; Voukia, 2020).

I **Frankrig** anvendes der i forhold til RE2020 en betragtningsperiode på 50 år. Det vil ikke være tilladt at afvige fra denne, da formålet er at kunne sammenligne resultater for forskellige bygninger. Den fastsatte betragtningsperiode på 50 år er en politisk beslutning (Nibel & Chevalier, 2020) (Piton, 2020). I RE2020 skal hele bygningens levetid tages med i betragtning. Det er kun livscyklusmodul B5 (Renovering), der på nuværende tidspunkt er planlagt til ikke at skulle indgå som et krav, men kravene er endnu ikke endeligt fastlagt (Nibel & Chevalier, 2020; Piton, 2020). Det vil være et krav at inkludere livscyklusmodul D, men miljøpåvirkningen fra livscyklusmodul D vil højst sandsynlig ikke indgå i grænseværdien for GWP (Nibel & Chevalier, 2020).

I **Tyskland** anvendes i BNB systemet en betragtningsperiode på 50 år, som gælder uanset bygningstypen, for at sikre sammenlignelighed på tværs af alle projekter. Det er ikke muligt at regne med en alternativ betragtningsperiode. Betragtningsperioden er fastlagt på baggrund af en politisk beslutning, som blev truffet i 2008 ved et round table bestående af repræsentanter fra handel, industri, arkitekter, ingeniører, relevante bygnings autoriteter og videnskaben (BBSR, 2001). Denne samling af repræsentanter fra byggesektoren er en rådgivende bestyrelse til det føderale bygningsministerium BMI (Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat).

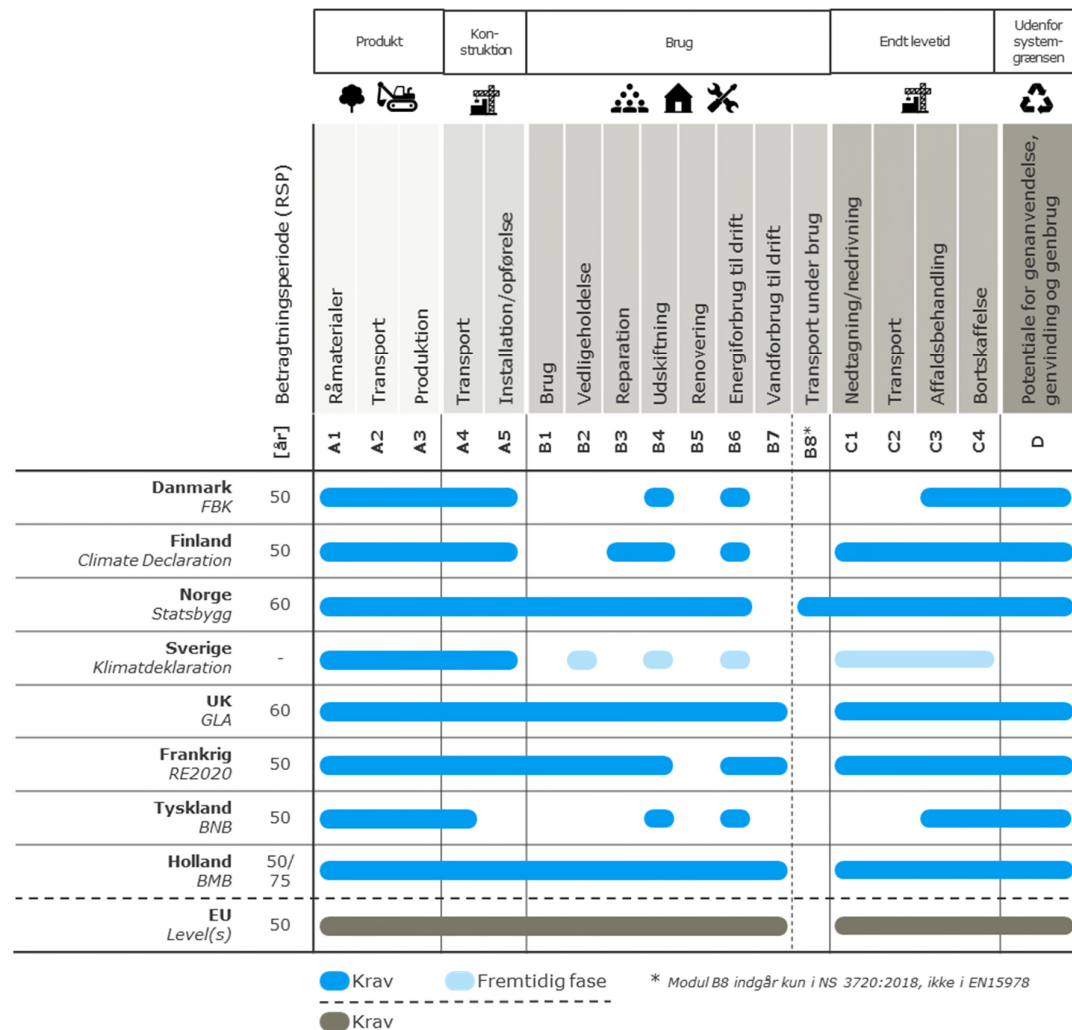
Der stilles krav til dokumentation af livscyklusmodulerne A1-A4, B4, B6, C3-C4 samt D (Kerz, 2020).

Ifølge beregningsmetoden BMB, der ligger til grund for lovgivningen i **Holland**, regnes med to forskellige betragtningsperioder: 75 år for boligbyggeri og 50 år for industrielt- eller funktionsbyggeri (SBK - Building Quality Foundation, 2020). Disse levetider er fastlagt af Stichting Bouwkwiteit, som også fastlægger resten af LCA-metoden (SBK, 2020). Det er ikke tilladt for brugeren at anvende andre betragtningsperioder. I Holland stilles krav til inklusion af samtlige livscyklusmoduler.-

Analyser i **Level(s)** skal foretages med en betragtningsperiode på 50 år, men kan dog afviges. Forekommer eventuelle afvigelser fra betragtningsperioden skal det tydeligt angives og begrundes. For nybyggeri er systemgrænsen omfattet af alle livscyklusfaser, dvs. A1-5, B1-7, C1-4 og D. For større renoveringer af den eksisterende bygningsmasse skal systemgrænsen omfatte alle de livscyklusfaser, som vedrører en forlængelse af bygningens levetid. I praksis betyder dette B1 og fremefter, da stadierne vedrørende den oprindelige produktion (A1-3) og konstruktion (A4-5) allerede har fundet sted (Dodd, Donatello, & Cordella, 2020b).



– Betragtningstperiode og omfattede livscyklusmoduler for de undersøgte lovgivninger (nationale og lokale) og krav til offentlige bygninger i de undersøgte lande samt den frivillige guide i form af Level(s) i EU. Figur 3 giver et sammendrag af betragtningstperioderne og inkluderede livscyklusmoduler i de lande, der er inkluderet i denne undersøgelse.



Figur 3 – Betragtningstperiode og omfattede livscyklusmoduler for de undersøgte lovgivninger (nationale og lokale) og krav til offentlige bygninger i de undersøgte lande samt den frivillige guide i form af Level(s) i EU.



7.2. Levetid

Levetiden (eller den tekniske levetid), der er defineret for byggematerialer og komponenter, har betydning for de overordnede bygnings-LCA-resultater, da den dikterer antallet af udskiftninger, der kræves for det givne materiale/komponent i løbet af betragtningsperioden.

I **Danmark** er levetiden for byggematerialer og/eller komponenter baseret på en rapport fra BUILD (tidligere SBi) fra 2013 (Aagaard et al., 2013; Zimmermann et al., 2020). Denne rapport danner grundlaget for de anvendte levetider i bygnings-LCA, både i den frivillige bæredygtighedsklasse og i DGNB-certificeringsordning (Green Building Council Denmark, 2016, 2020b). I Danmark anvendes levetid-værdier, der findes i EPD'er, typisk ikke, da SBi-værdierne for levetid generelt er længere og bredt accepteret (Collin, 2020). I den nyeste DGNB 2020 manual henvises der til at levetider for vinduer, ydervægge og tag skal bestemmes ved brug af levetider.dk (Green Building Council Denmark, 2020b; *Levetider.Dk*, n.d.).

I den frivillige bæredygtighedsklasse er levetid-værdier faste, hvilket betyder, at brugermodificeret levetid af bygningskomponenter ikke er tilladt. Dette er muligt i DGNB-beregninger, hvis ændringen er tilstrækkeligt begrundet, og der er dokumentation for eller der foreligger en erklæring fra producenten.

I **Norge** er den levetid, der anvendes i LCA-beregningerne, taget fra de repræsentative EPD'er (baseret på EN 15804), hvor levetiden, som udgangspunkt, er bestemt ud fra harmoniserede europæiske standarder. Afvigelser fra denne tilgang, bl.a. brug af komplementære Product Category Rules (PCR'er), er beskrevet i EN 15804. Levetiderne kan altså bestemmes på en række forskellige måder.

Der findes en mulighed for brugermodificeret levetider af specifikke byggematerialer og/eller komponenter, hvis LCA-udøveren finder det relevant, men det er kun muligt med korrekte argumenter og dokumentation (Bingh, 2020). Den samme metode anvendes i One Click LCA-værktøjet, hvor levetiderne er baseret på værdier, der findes i EPD'er, og med mulighed for bruger-modificeret levetider, hvis behovet skulle opstå.

I **Sverige** er levetiden ikke relevant for Klimat-deklaration og Miljöbyggnad, da begge ordninger kun erklærer byggefasen. For BREEAM SE er metoden først at kontrollere levetiden i EPD. Hvis denne ikke er tilgængelig, eller hvis levetiden ikke rapporteres, skal byggeproduktdeklarationen (BPD), en fælles svensk form for rapportering af miljøoplysninger, kontrolleres. Hvis en levetid ikke er tilgængelig der, skal leverandøren/entreprenøren eller bygningsingeniøren kontaktes for en estimering (Palm, 2020).

I **Finland** er klimadeklarationen baseret på brugen af One Click LCA, som har foruddefinerede levetid-værdier for forskellige bygningskonstruktioner afhængigt af de anvendte byggematerialer (Heikkinen, 2020).

I **Storbritannien** bestemmes referencelevetiden for bygningsdele og materialer til brug i LCA'en ud fra en database *Building Cost Information Service* (RICS, 2018; Voukia, 2020). Hvis den nødvendige data for bygningsdeles levetider ikke er tilgængelig i denne database, skal der benyttes data fra RICS PS, hvor der findes en tabel



med forventede levetider for bestemte bygningsdele. Ellers kan levetider på garantiperioder benyttes for udskiftninger af større systemer i bygningen, som fx vinduer, facadebeklædning og tekniske installationer (Papakosta & Sturgis, 2017; Voukia, 2020).

I **Frankrig** benyttes som default referencelevetiden for bygningsdele og materialer, der er opgivet i EPD'er (Nibel & Chevalier, 2020; Piton, 2020). Det er dog tilladt at bruge en estimeret levetid, hvis den er lavere end den opgivet i EPD'en (Nibel & Chevalier, 2020).

I **Tyskland** defineres referencelevetiderne for bygningsdele af BBSR, ved samme procedure som for betragtningsperioden. Der er oprettet et round table for referencelevetider, hvor bestyrelsen i samarbejde definerer levetiden for alle bygningsdele. Disse levetider skal følges i alle LCA'er der udføres i systemet (BBSR, 2017a).

I **Holland** er levetiden for bygningsdele fastlagt af den EPD, der anvendes i LCA'en. Der må kun anvendes EPD'er eller værdier fra den nationale generiske database, og der stilles krav til, at disse inkluderer den tekniske levetid. Derfor er EPD'er, som ikke dækker alle livscyklusmoduler, ikke tilladt. Det samme gælder EPD'er, hvor den tekniske levetid ikke fremgår.

Specifikke levetider for bygningsdele og -elementer estimeres i **Level(s)** henhold til faktormetoden i ISO 15686-8. Specifikke standarder vedrørende bygningsdele er også godkendt, fx EN 15459. Ved mangel på specifikke levetider dokumenteret af producenter eller leverandører, kan generiske levetider anvendes. Generiske levetider kan enten findes i et LCA-software, fra et bygningsomkostningsværktøj eller interne estimater, der anvendes til bygningsadministration. Alternativt skal standardlevetider for bygningsdele og bygningsdele findes i Level(s) indikator 1.2 for GWP (Dodd, Donatello, & Cordella, 2020b).

7.3. Miljøpåvirkningskategorier

På tværs af alle undersøgte lande og analyserede ordninger er det påvirkningskategorien global opvarmning (GWP), der får mest opmærksomhed. Andre påvirkningskategorier kan imidlertid typisk inkluderes som obligatoriske eller frivillige (fx nedbrydning af ozon (ODP), fotokemisk ozondannelse (POCP), forsuring (AP), nærings-saltsbelastning (EP), abiotisk ressourceudtømming (ADP), primærenergi (PE)). Vægtning udføres almindeligvis ikke, men anvendes i den danske DGNB. Figur 4 illustrerer de forskellige påvirkningskategorier, der er inkluderet i nationale og lokale lovgivninger i de undersøgte lande: Danmark, Finland, Norge, Sverige, Frankrig, Tyskland, Holland og Storbritannien; samt Level(s) i EU, som ikke er lovgivning, men en frivillig ordning.

Det fremgår af Figur 4, at påvirkningskategorien GWP, er den eneste påvirkningskategori, som samtlige certificeringsordninger og potentielt kommende lovgivninger stiller krav om skal indgå i LCA-beregningerne.

I **Danmark**, anvendes for DGNB-DK en vægtning af påvirkningskategorierne, og GWP har det højeste bidrag på 40 % til den samlede score, mens de andre påvirkningskategorier bidrager med 10-15 % hver. I den frivillige



bæredygtighedsklasse skal de forskellige påvirkningskategorier ikke vægtes, og foreløbigt er der ingen konkrete planer om at indføre dette (Trafik- Bygge- og Boligstyrelsen, 2020).

I **Finland** har den kommende lovgivning, Klimat-deklarationen, kun et krav til rapportering af bygningens GWP, hvilket også er tilfældet for RTS-certificering. På lang sigt bør RTS-certificeringsordningen imidlertid omfatte flere påvirkningskategorier (Heikkinen, 2020). LEED-certificeringsordningen, der anvendes i Finland, kræver, at GWP rapporteres sammen med to valgfrie andre påvirkningskategorier (U.S. Green Building Council, 2017). For BREEAM, BREEAM-NO og BREEAM-SE er det muligt at få ekstra point for LCA'en, hvis yderligere to påvirkningskategorier er inkluderet (Bøe, 2020; bre, 2016b).

I **Sverige** stiller både den kommende lovgivning, Klimat-deklaration og de to nationale certificeringsordninger, der er udviklet af Sweden Green Building Council, NollCO2 og Miljöbyggnad, kun krav om GWP (Finansdepartementet, 2020; Sweden Green Building Council, 2020c, 2020b).

I **Norge** følger Statsbygg den norske standard NS 3720: 2018, i hvilken den primære indikator er GWP; andre indikatorer kan kræves af Statsbygg i andre dele af bæredygtighedsvurderingen, men ikke som et specifikt krav til LCA (Bingh, 2020).

I **Holland** opererer LCA-lovgivningen også med vægtning af påvirkningskategorierne med henblik på at kunne præsentere resultaterne som én samlet værdi. Ifølge kravene i lovgivningen skal de syv påvirkningskategorier fra EN15804:2012 dokumenteres. Derudover stilles krav om dokumentation af fire toksicitetskategorier fra regningsmetoden CML. Det forventes, at der næste år laves en opdatering, således at de dokumenterede påvirkningskategorier i stedet følger den reviderede standard EN15804:2012+A2:2019, som er baseret på PEF (Product Environmental Footprint), hvor der i stedet skal dokumenteres i alt 19 kategorier.

I **Storbritannien**, er det ifølge WLC GLA-guiden, miljøpåvirkningskategorien, GWP, der stilles krav om at skulle rapporteres for den fulde livscyklusanalyse af bygningen (Greater London Authority, 2020d; Voukia, 2020).

I **Frankrig** udføres for RE2020 en bygnings-LCA i henhold til EN15978, hvorfor alle påvirkningskategorierne skal beregnes. Det er dog kun for miljøpåvirkningskategorien GWP, at RE2020 sætter en grænseværdi, som skal overholdes, og det er her fokus i reguleringen ligger (Nibel & Chevalier, 2020; Piton, 2020).

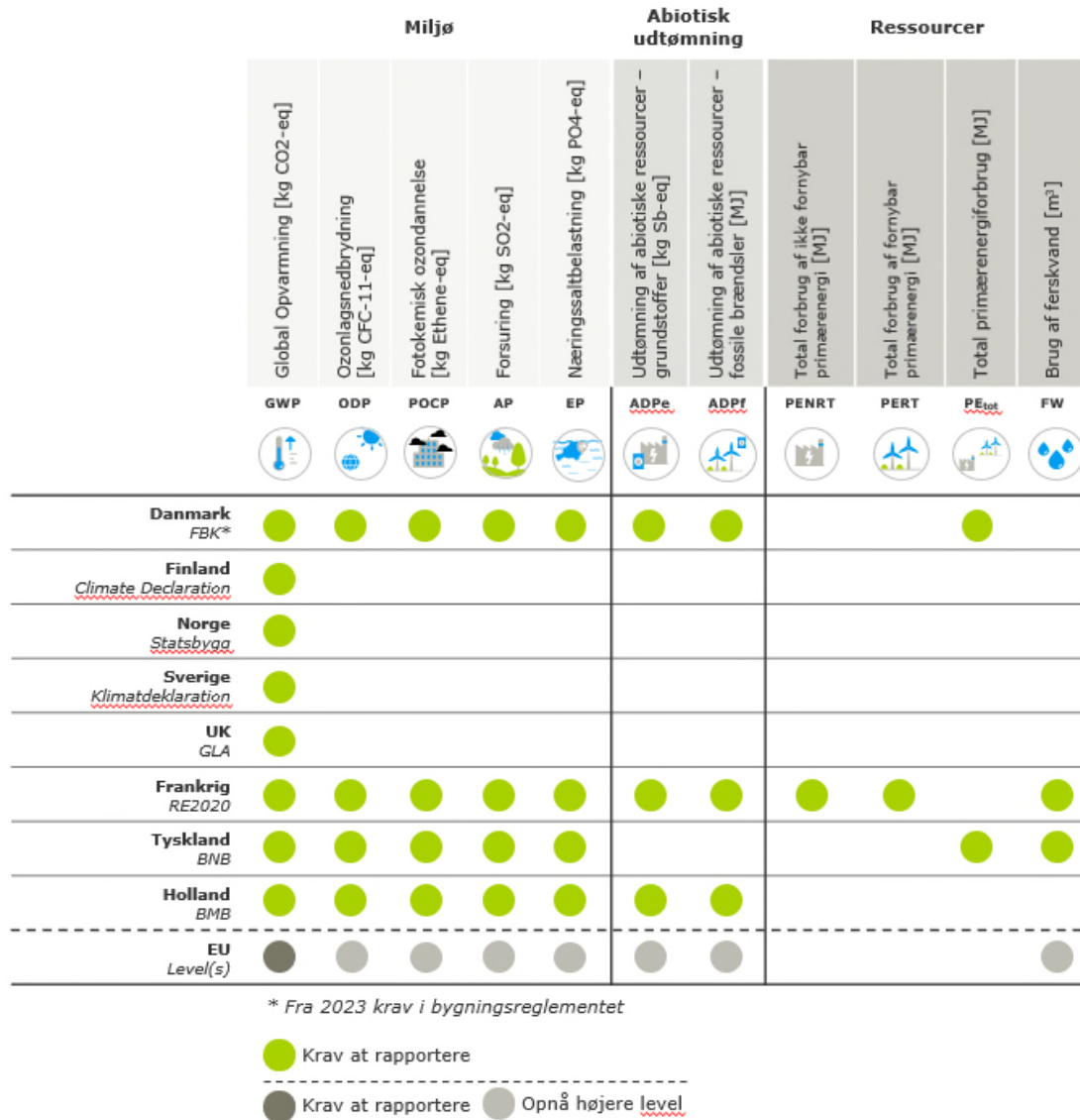
I **Tyskland** stilles krav til rapportering i BNB systemet, der følger de globale indikatorer fra DIN EN 15804. Kravet gælder dokumentation af GWP, AP, ODP, POCP og EP opgjort pr m² bruttoareal pr år. Ydermere stilles der i BNB kriterie 1.2.1 krav til dokumentation af forbrug af primærenergi, med fokus på reduktion i forbrug af ikke fornybare energikilder, erstattet af grønne energikilder (BMI, 2013).

Level(s) kerneindikator 1.2 guider til rapportering af GWP for alle livscyklusstadierne, det er dog anbefalet, hvis muligt, at udføre en fuld livscyklusvurdering på de ni miljøindikatorer, som kerneindikator 1.2 ligeledes guider



til. Dog stiller Level(s) ikke krav til at nogle af miljøindikatorerne er rapporteret og dokumenteret (Dodd, Donatello, & Cordella, 2020b).

Figur 4 viser hvilke påvirkningskategorier, der er krav til at rapportere i de forskellige lande. Som det ses af figuren, er der i de nordiske lande, samt for GLA i Storbritannien, en tendens til, at det kun er GWP, som skal rapporteres. Danmark skiller sig dog ud fra mængden, da der er krav til flere miljøpåvirkningskategorier samt abiotisk udtømmning af ressourcer, på samme måde, som det gør sig gældende for Frankrig og Holland. Frankrig har krav til flere kategorier vedr. ressourcer. For Level(s) opnås der et højere niveau, hvis der rapporteres på andre påvirkningskategorier ud over GWP.



Figur 4 - De forskellige påvirkningskategorier, der skal dokumenteres i LCA-beregningen i de forskellige landes (kommende) reguleringer for bygnings-LCA. Det skal nævnes, at der i Frankrig kun indføres grænseværdier for GWP, selvom det kræves, at flere påvirkningskategorier skal beregnes. I Holland er der en samlet grænseværdi for alle påvirkningskategorierne. I Tyskland kan LCA-resultaterne udgøre op til 22,5% af den påkrævede score på 60%.



7.4. Grænseværdier, referenceværdier, overholdelse og verifikation

Forskellige lande, ordninger og lovgivninger kan basere deres krav til bygnings-LCA på forskellige konceptuelle tilgange med hensyn til overholdelse eller opnåelse af point i certificeringer. For eksempel kan det mest basale krav simpelthen være, at der udføres en LCA uden yderligere bestemmelser eller betingelser for selve bygnings ydeevne. En anden tilgang kan være, at en bygning kan anvende referenceværdier, fastsat i lovgivning, som en målestok til at vurdere sit byggeri op imod, uden dog et krav om at overholde referenceværdier. Eller en bygning skal leve op til en bestemt referenceværdi for at opnå et vist antal point i en certificeringsordning, eller at stigende point tildeles med stigende ydeevne over en bestemt tærskel. Endelig kan en tilgang være, at en reel grænseværdi fastsat i lovgivningen skal overholdes, for at bygningen kan opnå byggetilladelse, eller byggeprojektet på anden vis bliver sanktioneret.

Reference- og grænseværdier kan være baseret på enten interne baselineværdier eller eksterne benchmarkværdier som beskrevet nedenfor.

Benchmark-metoden indebærer sammenligning af LCA-resultaterne med en eksternt fastsat grænse- eller referenceværdi.

Baseline-metoden kræver på den anden side definering af et sæt referenceværdier, baseret på et baseline-scenarie af en referencebygning, hvorfra der optimeres i de tidlige bygningsdesignfaser. Dette scenarie og de tilknyttede referenceværdier er således projektspecifikke og internt bestemt. Når det endelige design er færdigt, og den endelige LCA udføres, skal LCA-resultaterne sammenlignes med den oprindeligt beregnede baseline for at opnå point. Dette er den metode, der anvendes i både certificeringsordninger som fx DGNB, LEED og BRE-EAM, samt i nogle af lovgivningerne som fx BNB i Tyskland. One Click LCA, som bl.a. benyttes af Statsbygg i Norge, har en integreret funktion til at definere referencebygninger baseret på bygningens type, størrelse og højde.

I den **danske** frivillige bæredygtighedsklasse indebærer kravet om LCA, at der udføres en tidlig og en endelig LCA. Kravet indføres i bygningsreglementet fra 2023 på samme vis som bygningsreglementets øvrige tekniske krav (Aftaleparter, 2021). Der vil kun blive stillet krav om en endelig LCA. I forbindelse med færdigmelding af byggeriet indebærer kravet, at der vedlægges en endelig LCA-beregning, som dokumenterer den samlede klimapåvirkning af den opførte bygning. Kommunen foretager stikprøvekontrol i 10 % af alle byggesager, dog med undtagelse af enfamiliehuse, dobbelthuse og rækkehuse (jf. § 46 i bygningsreglementet). Stikprøvekontrollen har til formål at kontrollere selve dokumentationen, og dermed om bygningsreglementet er overholdt. Hvis kommunen bliver opmærksom på, at en færdig bygning overskrider CO₂-grænseværdien knyttet til LCA-kravet, skal kommunen søge forholdet lovliggjort ved at give ejeren et påbud om at bringe forholdet i orden. Den danske frivillige bæredygtighedsklasse indeholder hverken reference- eller grænseværdier. I marts 2021 blev det politisk besluttet, at der fra 2023 skal stilles krav om udførelse af LCA for alt nybyggeri. Yderligere blev



det besluttet, at der fra 2023 vil indgå en grænseværdi for bygninger større end 1000 m². For bygninger mindre end 1000 m² vil der indgå en grænseværdi fra 2025. Grænseværdien for bygninger større end 1000 m² skal i 2023 svare til 12 kg CO₂-ækv./m²/år. Grænseværdier for år 2025, 2027 og 2029, fastlægges herefter ud fra opbygget viden og data. Yderligere skal der arbejdes med en frivillig CO₂-klasse med mere ambitiøse grænseværdier (8 kg CO₂-ækv./m²/år i 2023, 7 kg CO₂-ækv./m²/år i 2025, 6 kg CO₂-ækv./m²/år i 2027 og 5 kg CO₂-ækv./m²/år i 2029) (Aftaleparter, 2021).

DGNB kræver ikke direkte, at der udarbejdes en LCA, men i praksis udføres der altid en LCA. Resultaterne sammenlignes med en referenceværdi, som er baseret på BR15 og beregninger foretaget af BUILD AAU. Både tredjepartsverifikation og vurdering af LCA-resultater udføres af BUILD AAU. Hvis kriterierne til, hvordan LCA'en skal udføres, ikke er opfyldt, tildes der ingen point vedrørende LCA (Collin, 2020).

I **Norge** kræver både Statsbygg og BREEAM-NO oprettelse af en "reference" bygning, som er en forenklet model af projektbygningen, for hvilken LCA-resultater beregnes ved hjælp af generiske værdier for materialerne (efter baseline-metoden beskrevet ovenfor). Denne referencebygning fungerer som en del af den tidlige LCA og fastlægger baseline for bygningen. De faktiske krav består i dokumentation af forbedret miljøpræstation for bygningen i den endelige LCA, sammenlignet med den tidlige baseline LCA, gennem fx forbedrede materialevalg, designvalg og andre faktorer, der kan påvirke LCA-beregningerne. Selvom der endnu ikke er nogen faktiske grænseværdier at overholde, er der stadig en slags referenceværdi at overholde gennem reference-bygningsberegningens metode. Det er ambitionen at kunne etablere grænseværdier i fremtiden (Bingh, 2020).

Med hensyn til BREEAM-NO-certificering skal LCA-resultaterne verificeres af bre Global, og manglende overholdelse af grænseværdien for reduktion, sammenlignet med referencebygningen, vil resultere i en lavere certificeringsscore (Norwegian Green Building Council, 2016b).

Statsbygg-projekter verificeres også internt af Statsbygg-eksperter for at sikre overholdelse af de fastsatte krav til reduktioner, sammenlignet med referencebygningen, udført efter bygninger er opført for at sikre nøjagtigheden af LCA og overholdelse af de rapporterede referenceværdier. Manglende overholdelse af beregningerne af LCA kan resultere i økonomiske sanktioner, men dette har dog hidtil ikke været nødvendigt (Bingh, 2020).

RTS-certificeringen i **Finland** kræver, at LCA-resultater sammenlignes med en ekstern grænseværdi, som endnu ikke er defineret. Tredjepartsverifikation af LCA udføres af RTS-revisorer, der er uddannede eksperter, der er autoriseret af Building Information Foundation RTS. I LEED skal bygningen opnå en reduktion på 10 % sammenlignet med en baseline-bygning. Desuden kan ingen af de (minimum) tre analyserede påvirkningskategorier stige mere end 5 % sammenlignet med baseline-bygningen (U.S. Green Building Council, 2017). LCA er tredjeparts-verificeret af USGBC. I den kommende lovgivning forventes det, at overholdelse vil være baseret på en benchmark-tilgang, dvs. at der indføres reelle grænseværdier, og at der indføres sanktioner for manglende overholdelse. Det er stadig usikkert, om der kræves en verifikation af LCA (Heikkinen, 2020).



I **Sverige** er Boverket meget opsat på at understrege, at det vigtigste punkt i indførelsen af LCA-krav er at lære. Der vil således ikke være krav om at nå en bestemt referenceværdi for LCA i den første fase af Klimatdeklarationen i 2022. I denne fase udføres kun stikprøvekontrol på bygnings-LCA, og denne verifikation udføres af Boverket. I anden fase (i 2027) kan der indføres grænseværdier, i hvilket tilfælde alle LCA'er kontrolleres af en tredjepartsverifikator. Den egentlige indførelse af grænseværdier vil dog være en politisk beslutning. I tilfælde af manglende overholdelse af LCA-kravene vil gebyrer blive givet som en sanktion. Det er muligt, at disse sanktionsgebyrer, som i værste fald kan være op til 500.000 SEK, allerede vil blive indført i 2022, men en endelig beslutning herom afventer stadig (Einarsson & Engström, 2020a).

For NollCO₂- og Miljöbyggnad-certificeringer kræves også en verifikation af LCA'en for at opnå den endelige bygningscertificering. I Miljöbyggnad er LCA tredjepartsverificeret, og den egentlige certificering skal baseres på projektmateriale, der skal verificeres højst tre år efter idriftsættelse af bygningen. I NollCO₂ bruges forskellige baseline-bygninger til at beregne en grænseværdi, der skal bruges i det specifikke projekt. Fra disse basisværdier beregnes en projektspecifik grænseværdi for livscyklusmodulerne A1-3. Denne beregning udføres i SGBCs "NollCO₂ Baseline"-værktøj. Grænseværdien indikerer, at baselinen for bygningen uden kælder skal reduceres med 30 % (Sweden Green Building Council, 2020d). I Miljöbyggnad er der ingen grænseværdier, der skal nås for at opnå certificeringen, men for at opnå en guldcertificering skal klimapåvirkningen fra A1-4 være 10 % lavere sammenlignet med sølvniveauet (Palm, 2020; Sweden Green Building Council, 2020b).

BREEAM-SE kræver også en verifikation af LCA, hvor beregningerne og dokumentationen sendes til en BREEAM-assessor for at blive verificeret. Efter at byggeriet er afsluttet, foretages en opfølgning af LCA for at vurdere, om input i form af materialer og mængder stadig er gyldige (Palm, 2020).

Tidligere var det et krav i BREEAM-SE, at den endelige LCA skulle forbedres i forhold til den tidlige LCA. I dag er nok blot at udføre LCA-beregningen, hvor der ikke er nogle referenceværdier, der skal overholdes. For at få BREEAM-SE-certificering er LCA-kravet imidlertid ikke strengt obligatorisk, dvs. der er ikke noget faktisk krav om at gennemføre en LCA. Hvis der ikke gennemføres en LCA, er det blot nødvendigt at opnå flere point i nogle af de andre kriterier (Palm, 2020).

I **Storbritannien** skal LCA'en, der afleveres i forbindelse med designkonceptstadiet, indeholde estimerede GWP-værdier for hver livscyklusmodul, som vil være baseline-værdier for udviklingen til den endelige LCA. Baseline-værdierne skal baseres på baggrund af standardværdier fra RICS PS for bygningsdele (antagelser om materialer og den procentvise andel af genanvendt materiale) samt levetider af bygningsdele til forskellige bygningskonstruktioner (Papakosta & Sturgis, 2017) eller bygningsantagelser på baggrund af valg fra designstadiet (Greater London Authority, 2020d). Baseline-værdierne skal bruges til at sammenligne med de referenceværdier, som WLC GLA-guiden har sat. Hvis projektet har højere GWP-udledninger end referenceværdierne, skal der laves strategier for, hvordan man kan nedbringe GWP-udledningerne. Referenceværdierne i WLC GLA-guiden findes for forskellige bygningstyper; kontorer, butikker, undervisning og lejligheder/hoteller. De er baseret på tidligere projekter, som er udført af Cundall og Target Zero, som er blevet krydstjekket med data fra



Etool, OneClick LCA og Hilson Moran. Det er planen, at de skal opdateres løbende, når mere data er blevet indsamlet af GLA, hvorved de bliver mere præcise og omfattende. Der findes to niveauer af referenceværdier, hvor det ene niveau er fastsat på baggrund af tidligere projekter, og det andet niveau, som er mere ambitiøst, har et 40 % lavere GWP-interval end niveau 1.

Referenceværdierne er opdelt i grupper for livscyklusmodul A1-5 og B-C (eksklusiv B6 og B7), hvor man kan se en procentvis fordeling mellem bygningsdele. Referenceværdierne skal ses som vejledende, og det er ikke et krav, at projektet skal ligge indenfor de angivne intervaller. Hvis projektet ligger udenfor intervallerne, skal det dog undersøges, hvordan de kan nedbringes (Greater London Authority, 2020d; Voukia, 2020).

I Storbritannien vil der for LCA'er udført iht. GLA WLC-guiden ikke forekomme en formel verificering af LCA'en, men der vil blive udført granskninger af GLA på parametrene: fuldstændighed, teknisk kvalitet (baseline, værktøj og metode), reduktion af GWP (er der foretaget aktive designvalg) samt ambitionsniveau (i forhold til GLA WLC's referenceværdier) (Greater London Authority, 2020d; Voukia, 2020).

I **Frankrig**, vil der i den kommende lovgivning RE2020 højst sandsynlig ikke forekomme en verificering af LCA'en, men dette er ikke fastlagt endnu (Nibel & Chevalier, 2020; Piton, 2020). I forbindelse med testfasen *E+C- Experiment* for RE2020 skulle der være en verificeringsproces for at opnå et E+C- label for bygningen. Personen, der står for verificeringen, er blevet godkendt af den franske regering (Ministères Transition Écologique Cohésion des Territoires, 2019a; Nibel & Chevalier, 2020).

Der vil i 2021, når RE2020 træder i kraft, være grænseværdier for GWP, som skal overholdes (Nibel & Chevalier, 2020; Piton, 2020). De introducerede grænseværdier vil være gældende for boliger, kontorer samt skoler og efter et år vil der blive publiceret nye grænseværdier for andre typer bygninger. De introducerede grænseværdier i 2021 vil frem mod 2030 gradvist blive strammet (Piton, 2020).

Grænseværdierne vil blive sat for både materialerne og energien i LCA'en, og de er baseret på E+C- Eksperimentets data. E+C- Eksperimentets data er blevet modificeret og tilpasset til RE2020, hvor grænseværdierne vil være gældende for hele bygningens levetid på 50 år og ikke inddelt på livscyklusmoduler, som i Storbritannien. Det skal dog nævnes, at grænseværdierne ikke kommer til at være svære at opnå, så der er plads til i fremtiden at introducere certificering med karbon-labels der stiller strengere krav til grænseværdier for GWP. Her vil der med stor sandsynlighed skulle forekomme en verificeringsproces for at opnå certificering med karbon-label, på samme måde som i E+C- Eksperimentet (Nibel & Chevalier, 2020). Hvis grænseværdien ikke overholdes, eller hvis LCA'en ikke er udført i overensstemmelse med kravene i RE2020, er det på nuværende tidspunkt ikke besluttet, om der skal være konsekvenser, og hvad de i så fald skal være (Nibel & Chevalier, 2020).

På nuværende tidspunkt er det ikke besluttet, hvilken metode der skal benyttes for at regne GWP, men ministeriet foreslår at indføre en dynamisk metode, der tager højde for, at drivhusgasser, der udledes nu, er mere skadelige for klimaet, end drivhusgasser, der udledes i fremtiden. Hvis den dynamiske metode bliver indført, så



vil der blive benyttet en koefficient til GWP for at tage højde for, at drivhusgasser udledes på forskellige tidspunkter i bygningens levetid (Nibel & Chevalier, 2020).

I **Tyskland** skal LCA-beregninger for bygninger, der udføres med henblik på at blive certificeret efter BNB systemet, ikke verificeres eller kontrolleres ved en uafhængig LCA-ekspert. I stedet foretages stikprøvekontrol af fremsendte byggeprojekter, som udføres af godkendte eksperter fra BBSR.

Der findes ikke specifikke grænseværdier, som LCA-beregningen skal overholde, for at opnå det påkrævede sølvmærkat i BNB ordningen. I stedet indgår LCA-resultaterne i den overordnede vurdering, som skal opnå minimum 65 % på BNBs skala for at opnå sølv. LCA-beregningerne omfatter 10 kategorier, og udgør 22,5% af den samlede vurdering. Således har LCA-beregningerne en relativ stor betydning. De 10 kategorier vægtes forskelligt, hvor kategorier som ODP, POCP, AP, EP og biodiversitet hver repræsenterer 1,25% af de 22,5%. Arealanvendelse og vandforbrug vægtes hver med 2,5%, og den højeste vægtning findes for GWP, forbrug af primær energi og risici for lokalmiljøet, som hver vægtes med 3,75%.

Kravene der stilles indenfor de kategorier, som dækkes af BNB systemet, er baseret på en kombination af bygningsreglement, diverse lovgivninger, samt gennemsnitlige konstruktionsdata. Fx skal bygningen overholde kravene for energiprformance fra bygningsreglementet, og opfylde kravene i lovgivningen omkring energieffektivitet, specifikt med henblik på forbrug af primær energi (EnEV, 2014).

Referenceværdierne i LCA og LCC-komponenterne af BNB systemet, er baseret på BNBs eget system, som er opbygget omkring en reference-bygningsmodel. Nye bygningers miljø- og økonomiprformance sammenlignes med denne, hvorfra der tildeles point på skalaen bronze/sølv/guld. Der er på nuværende tidspunkt ikke etableret sanktioner for byggeprojekter, som ikke overholder kravene i BNB systemet (Kerz, 2020).

I **Holland** er der i lovgivningen siden 2018 defineret, hvilke grænseværdier nye byggerier skal overholde, når der laves LCA-beregninger som del af ansøgningen om byggetilladelse. Disse værdier beregnes efter metoden fastlagt ved fonden Stichting Bouwwerk, som varetager beregningsmetoden for bygnings-LCA'er (SBK, 2020), og beregninger skal verificeres af uvildig tredjepart, som er forhåndsgodkendt af fonden.

Grænseværdierne beregnes vægtet, således at hver miljøpåvirkningskategori ganges med en forudbestemt faktor, hvorved alle resultaterne kan omregnes til én enkelt værdi, som skal være repræsentativ for hele bygningen.

Disse beregninger skal udføres som del af en tidlig LCA, hvor resultaterne beregnes ved designfasen, men der er ikke tale om en forsimplet LCA. Der er på nuværende tidspunkt ikke nogen krav om test efter byggeriet er færdigt, men fra næste år stilles der i bygningsreglementet krav til færdigt byggeri, og det forventes, at LCA-lovgivningen følger med. Når den nye lovgivning er trådt i kraft, vil bygninger der ved den sene LCA ikke efterlever kravene, blive sanktioneret med bøder.



I **Level(s)** findes ingen referencecases, baseline eller benchmark. Ved udarbejdelse af en LCA er en tredjeparts-verificering og validering af nationale myndigheder anbefalet, for at undersøge i hvor høj grad beregningsreglerne jf. EN15978/15804 er fulgt, hvordan datakvaliteten er taget i betragtning samt rapportens gennemsigthed ift. datakilder og antagelser. En verificering er dog ikke et krav (Dodd, Donatello, & Cordella, 2020b).

7.5. Andre metodiske valg

På tværs af de udvalgte lande forekommer forskellige metodiske LCA-relaterede valg, som det er vigtigt at være opmærksom på, når man sammenligner tilgange og resultater mellem lande.

En række parametre er blevet undersøgt gennem litteraturstudier og interviews, og nogle af dem er præsenteret i dette afsnit baseret på deres overordnede relevans. Dette afsnit skal således ikke ses som en udtømmende rapportering af det udførte arbejde, men snarere som en kort præsentation af nogle få særligt interessante parametre: enhed til rapportering af resultater, metode til kvantificering af brutto gulvareal, tilgang til biogent kulstof, inkludering af betons karbonisering, inkludering af overskydende vedvarende energi, inkludering af læske af kølemidler og inkludering af byggepladsaffald.

Enhed til rapportering af LCA-resultater

Flere af de undersøgte ordninger og lovgivninger i især **Danmark og Finland** anvender $\text{kg CO}_2\text{-ækv./m}^2/\text{år}$ som den foretrukne enhed til rapportering af LCA-resultater ($\text{CO}_2\text{ækv}$ er valgt med henblik på eksemplificering i tilfælde af GWP-påvirkninger). LEED (brugt i Finland) bruger dog $\text{kg CO}_2\text{-ækv./m}^2$. I **Norges** Statsbygg rapporteres resultaterne både i $\text{kg CO}_2\text{ækv}$ over bygningens levetid såvel som af det bebyggede areal i $\text{kg CO}_2\text{-ækv./m}^2$. Nogle gange rapporteres det også i $\text{kg CO}_2\text{-ækv./m}^2/\text{år}$. Alle undersøgte ordninger og kommende lovgivning i **Sverige** bruger $\text{kg CO}_2\text{ækv./m}^2$. I **Storbritannien** anvendes enheden $\text{kg CO}_2\text{-ækv./m}^2$ GIA (indvendigt etageareal), som miljøpåvirkningskategorien GWP rapporteres i henhold til WLC GLA-guiden, (Greater London Authority, 2020d; Voukia, 2020). I **Frankrig** vil enheden, som miljøpåvirkningskategorierne skal rapporteres i, formegentlig blive pr. m^2 , enten pr. år eller for hele betragtningsperioden på 50 år, hvilket for GWP vil være enten $\text{kg CO}_2\text{-ækv./m}^2$ eller $\text{kg CO}_2\text{-ækv./m}^2/\text{år}$. Dette er ikke helst fastlagt på nuværende tidspunkt (Nibel & Chevalier, 2020; Piton, 2020). I **Tyskland** rapporteres resultaterne i hver miljøpåvirkningskategori separat, opgjort i relevant enhed pr. m^2 pr. år (Kerz, 2020). I **Holland** rapporteres der én enkelt værdi, bestående af de dokumenterede kategorier, vægtet og opsummeret til en samlet score. Denne rapporteres i €/m^2 fordelt efter bruttoareal, dvs. gulvarealet inklusive vægge. **Level(s)** rapporterer miljøpåvirkningskategorien GWP i $\text{kg CO}_2\text{-ækvivalenter pr. m}^2$ nyttigt internt gulvareal over en referenceperiode på 50 år (Dodd, Donatello, & Cordella, 2020b).

Metode til kvantificering af brutto gulvareal

En væsentlig faktor, man skal være opmærksom på, når man sammenligner bygnings-LCA'er på tværs af lande, er beregningsmetoden for brutto gulvareal, som påvirker resultaterne meget, når disse præsenteres i $\text{kg CO}_2\text{-ækv./m}^2/\text{år}$. I de **nordiske lande** omfattet af denne undersøgelse følger dette de energiberegninger, der kræves ved regulering, men lokale tilpasninger af den europæiske standard kan forekomme. Både **Norge og Danmark** refererer til ICS 91.010.30. I den **danske** frivillige bæredygtighedsklasse skal påvirkninger fra driftsenergi (B6,



evt. D) referere til det opvarmede areal, mens materialernes påvirkninger (A, B4, C, evt. D) skal referere til etagearealet. Etagearealet og det opvarmede areal skal beregnes efter BR18 og SBI-anvisning 213. I **Norge** referer både NS 3720 (CO₂-beregninger af bygninger) og NS 3700 (kriterier for passivhus og lavenergibygninger) til NS 3940 (areal og volumenberegninger af bygninger). I **Finland** er udgangspunktet det opvarmede areal, mens det i **Sverige** er bruttoetagearealet.

I **Storbritannien** er det ikke bruttoetagearealet, som benyttes i rapporteringen af LCA'en, men det indvendige etageareal (GIA). Dette areal er anderledes end i Danmark. GIA er arealet af bygningen målt til den indvendige kant af vægge, dvs. kun det brugbare gulvareal ekskl. vægge (Voukia, 2020). Herved bliver klimapåvirkningen GWP fordelt ud over et mindre areal til sammenligning med hvis det var pr. bruttoetageareal, hvor ydervægge og indvendige vægge også medregnes. Denne forskel skal man have for øje, hvis man vil sammenligne resultaterne af cases på tværs af lande. Bygningsarealet, der skal benyttes i den **franske** lovgivning RE2020 for LCA-beregningen, vil afhænge af bygningstypen. De endelige detaljer omkring, hvordan de forskellige arealer bliver defineret er ikke fastlagt, men det vil formegentlig være netto brugbart areal for kontorbygninger og skoler, hvor det for boliger vil være beboelsesareal (Nibel & Chevalier, 2020) (Piton, 2020). Netto brugbart areal til kontorer og skoler vil blive defineret nærmere i RE2020 guiden, hvor beboelsesarealet for boliger ikke inkluderer arealet af ydervægge og indervægge. Frankrigs udregning af arealer til brug i LCA'en tydeliggør, at en europæiske harmonisering er en nødvendighed for at kunne sammenligne på tværs af landene (Nibel & Chevalier, 2020). I **Tyskland** udføres beregningen af gulvarealer efter standarden DIN 277 (DIN 277, 2005), hvor arealet til LCA beregningen er bruttoarealet, som omfatter hele grundarealet af byggeriet. I **Holland** er alle beregninger af gulvarealer, som skal indgå i udregningerne af LCA-resultaterne, baseret på brutto gulvarealer inklusive vægge. I **Level(s)** er der refereret til nyttigt internt gulvareal (Dodd, Donatello, & Cordella, 2020b). Det står ikke nærmere beskrevet, hvad dette udtryk dækker over, og det har ikke været muligt at finde yderligere oplysninger om det.

Tilgang til biogent kulstof

Der skelnes i LCA'er og i mange opgørelser, fx EU's opgørelser af landenes udledning af drivhusgasser, imellem fossilt og biogent kulstof. Fossilt kulstof stammer fra afbrænding af fossile brændsler, hvorimod biogent kulstof er fremstillet på basis af biomasse. Fossilt CO₂ tæller med, når EU-landene opgør deres udledning af drivhusgasser – det gør biogent CO₂ ikke. Det CO₂, som træer optager, mens de vokser, benævnes lagret biogent kulstof/CO₂, og indgår i LCA'er med et negativt fortegn, da det er CO₂, som er fjernet fra atmosfæren. Når træet nedbrydes, fx i forbindelse med forbrænding, udledes en tilsvarende mængde CO₂ igen.

Udover fossilt og biogent CO₂ opgøres i visse sammenhænge de CO₂-udledninger, der er forbundet med arealanvendelse, ændringer i arealanvendelse og skovbrug (LULUC). Hermed medregnes ændringer i kulstofindholdet i jord og biomasse som følge af ændret arealanvendelse. Når FN beregner landenes udledninger af drivhusgasser, inkluderes denne mekanisme.

Lagring af biogent kulstof er inkluderet, men ikke rapporteret separat i det **danske** DGNB-system, på grund af den anvendte database (Ökobau.dat). Det samme er tilfældet for den danske frivillige bæredygtighedsklasse,



men det er planlagt at blive rapporteret separat, når EN15804+A2 er fuldstændig implementeret. Muligheden for, at det biogene kulstof (GWP-BIO) og arealanvendelse og ændring af arealanvendelse (GWP-LULUC) rapporteres separat afhænger af datatilgængelighed fra Ökobaudat: når 15804+A2 er fuldstændig implementeret, vil det blive muligt at rapportere dem separat, og det vil også blive muligt i LCAByg. I den **finske** Klimadeklaration er biogent kulstoflagring inkluderet i beregningen, men GWP-BIO og GWP-LULUC rapporteres ikke særskilt (endnu), da data ikke er erklæret separat. I den **norske** standard NS 3720 er den biogene lagring af kulstof inkluderet og rapporteret separat (både GWP-BIO og GWP-LULUC), mens kun GWP-BIO i BREEAM-NO er inkluderet og rapporteret separat. I **Holland** rapporteres lagring af biogent kulstof ikke på nuværende tidspunkt, da det ikke er en del af lovgivningen, og det optræder hverken i udregninger eller de LCA-værktøjer, der benyttes til udregningerne. Ved næste års opdatering, hvor systemet skal følge den reviderede EN15804+A2, vil lagring af biogent kulstof blive inkluderet. I **Storbritannien** skal biogent kulstof, for det træ der indgår i bygningen, medregnes i LCA'en i overensstemmelse med RICS PS. Det biogene kulstof skal indgå i den totale GWP for livscyklusmodulerne A1-3, samtidig med at det skal identificeres og rapporteres separat (GWP-BIO). Der er ikke et krav til at GWP-LULUC skal rapporteres (Greater London Authority, 2020d; Voukia, 2020). I **Frankrig** indgår biogent kulstof i LCA-beregningen i RE2020, men det vil ikke blive rapporteret separat i resultaterne som GWP-BIO, da det ikke er et krav endnu for EPD'er. På samme måde vil GWP-LULUC heller ikke blive rapporteret, da det heller ikke er et krav for EPD'er endnu (Nibel & Chevalier, 2020; Piton, 2020). I **Tyskland** rapporteres lagring af biogent kulstof ikke i nuværende projekter, men ved overgangen til DIN EN 15804+A2 skal det inkluderes. Dette skift vil udføres i 2021 (Kerz, 2020). Ved valg om at udføre en fuld livscyklusvurdering i **Level(s)**, er biogent kulstof en af påvirkningskategorierne som indgår i resultaterne i overensstemmelse med EN15804 og EN15978, og skal rapporteres separat som GWP-BIO (Dodd, Donatello, & Cordella, 2020b).

Karbonatisering af beton

I **Danmark** tages der i bygnings-LCA ikke højde for karbonatisering af beton under brugsfasen, da den nuværende metode i både DGNB og den frivillige bæredygtighedsklasse ikke inkluderer B1, hvor karbonatisering af beton ifølge PCR'en for beton og betonelementer (EN 16757) vil blive rapporteret. Der tages heller ikke højde for karbonatisering ved endt levetid, da det mest typiske affaldsscenario (anvendelse som vejfyld) ikke medfører nogen væsentlig karbonatisering. I **Finlands** Klimadeklaration indgår karbonatisering af beton i modul B1 i overensstemmelse med EN16757 bilag BB. Den norske standard NS 3720 tager ligeledes højde for karbonatisering. I BREEAM-NO rapporteres karbonatisering ikke (men det diskuteres pt.), og i den **svenske** Klimat-deklaration er det heller ikke inkluderet. I **Storbritannien** er der i WLC GLA-guiden ingen reference til at inkludere karbonatisering af beton, der indgår i LCA'en. Men ifølge RICS PS, så kan data fra EPD'er benyttes til at rapportere karbonatisering af beton i livscyklusfaserne B1 og/eller C3/C4, hvis scenarierne stemmer overens med det projektspecifikke data. Ellers skal data for karbonatisering tilpasses projektet eller udelades helt (Greater London Authority, 2020d; Papakosta & Sturgis, 2017; Voukia, 2020). I **Frankrig** er karbonatisering af beton allerede inkluderet i EPD'erne, hvorfor det også indgår i LCA-beregningen, da EPD'er er den datakilde, der skal prioriteres højest (Nibel & Chevalier, 2020). Karbonatisering af beton indgår således i LCA-beregningen, hvis der benyttes EPD'er, men det rapporteres ikke separat i resultaterne (Nibel & Chevalier, 2020; Piton, 2020). I **Tyskland** rapporteres det negative CO₂-bidrag fra karbonatisering ikke, hverken separat, og heller ikke i de overordnede resultater, da B1 ikke indgår i analysen. I **Holland** rapporteres karbonatisering af beton ikke separat i bygnings-



LCA, men de må regnes med i produkt-LCA'erne og i de EPD'er, der indgår i den nationale miljødatabase "Nationale Milieu Database". Her skal udregningerne følge PCR'en (Product Category rules) for beton, hvor fremgangsmåden er beskrevet. Det negative bidrag til GWP må således godt regnes med. I **Level(s)** er karbonatisering ikke beskrevet eller specificeret i manualen.

Håndtering af overskydende vedvarende energi

Produktion af vedvarende energi fra fx solpaneler installeret på bygninger er mere og mere almindelige i moderne bygninger, der sigter mod klimaneutralitet. I forhold til dette tillader de fleste ordninger og lovgivninger i **Danmark, Norge, Finland og Sverige** modellering af overskydende vedvarende energi, der afsættes til elnettet. Eneste undtagelser er den norske standard NS 3720 og svenske Miljöbyggnad (hvor dette ikke ville være relevant, da kun modul A1-A3 er inkluderet). I **Storbritannien** skal overskudsproduktion af fornybar energi ifølge WLC GLA-guiden ikke rapporteres (Greater London Authority, 2020d; Voukia, 2020). I **Frankrig** vil eksporteret overskudsproduktion af energi blive rapporteret separat, men det vil ikke indgå i det samlede resultat (Piton, 2020). Ud over fornybar energi vil det muligvis også være ikke-fornybar energi, i form af kraftvarmeproduktion, som skal rapporteres (Nibel & Chevalier, 2020). I **Tyskland** skal overskydende vedvarende energi, der leveres til el-nettet, rapporteres separat, og indgå i de samlede resultater (Kerz, 2020). I **Holland** skal overskydende vedvarende energiproduktion ifølge lovgivningen ikke rapporteres. I **Level(s)** skal det kortlægges, hvor meget af den fornybare energi som produceres, bruges (stadie B6) og eksporteres. Den fornybare energi, der eksporteres, skal rapporteres i stadie D (Dodd, Donatello, & Cordella, 2020b).

Lækage af kølemiddel

Få regulerings- eller certificeringssystemer tager højde for lækage af kølemidler som en del af LCA'en, men nogle systemer stiller krav specifikt til dokumentation af kølemidler i forbindelse med andre kriterier, for at tage højde for disse emissioner, fx DGNB, BREEAM-NO, BREEAM international, BREEAM-SE og LEED. For BREEAM International og BREEAM-SE er det muligt at opnå 1-2 ekstra kreditter, hvis "Direct Effect Life Cycle CO₂-eq emissions" (DELCO) i Pol 01-kriterierne beregnes. I beregningen for DELCO tages der højde for en årlig lækage af kølemidler ved anvendelse af gennemsnitlige lækageværdier for forskellige HVAC-systemer (BRE, 2016a; Sweden Green Building Council, 2017). Også i LEED International certificering er det muligt at opnå ekstra kreditter i forskellige kriterier for inkludering af lækage af kølemidler. Her bør der antages en gennemsnitlig lækage på 2% og et kølemiddeltab på 10%, ved endt levetid af alle typer VVS-udstyr (U.S. Green Building Council, 2017). I DGNB indregnes CO₂-emissionerne fra lækage af kølemidler i en separat kredit, ved at stille krav til de specifikke kølemidler, der anvendes, fx at det skal have en GWP-faktor på mindre end 150 kg CO₂ækv. Det fremgår ikke af DGNB manualen, om enheden er pr. kg eller pr. liter kølemiddel. I Storbritannien skal LCA'en ifølge WLC GLA-guiden gøre rede for lækage af kølemiddel i livscyklusmodul B1. Data hertil skal ifølge RICS PS stilles til rådighed af MEP-konsulenten (Greater London Authority, 2020d; Papakosta & Sturgis, 2017; Voukia, 2020). I **Frankrig** skal lækage af kølemiddel indgå i LCA-beregningen (Nibel & Chevalier, 2020; Piton, 2020). I **Tyskland** indgår lækage af kølemiddel ikke i den nuværende version af BNB systemet. Der er dog foretaget en opdatering af LCA-værktøjet eLCA, som er det tilknyttede LCA-værktøj udviklet af BBSR, som muliggør denne beregning. Det forventes derfor at emissionen af kølemiddel, vil blive integreret i bygnings-LCA metoden ved næste opdatering af denne (Kerz, 2020). I **Holland** indgår lækage af kølemiddel normalt i bygnings-LCA'en, men



omfanget skal defineres af LCA-konsulenten og verifikatoren, når det ikke fremgår af produktets PCR. Herved sikres at alle overholder det.

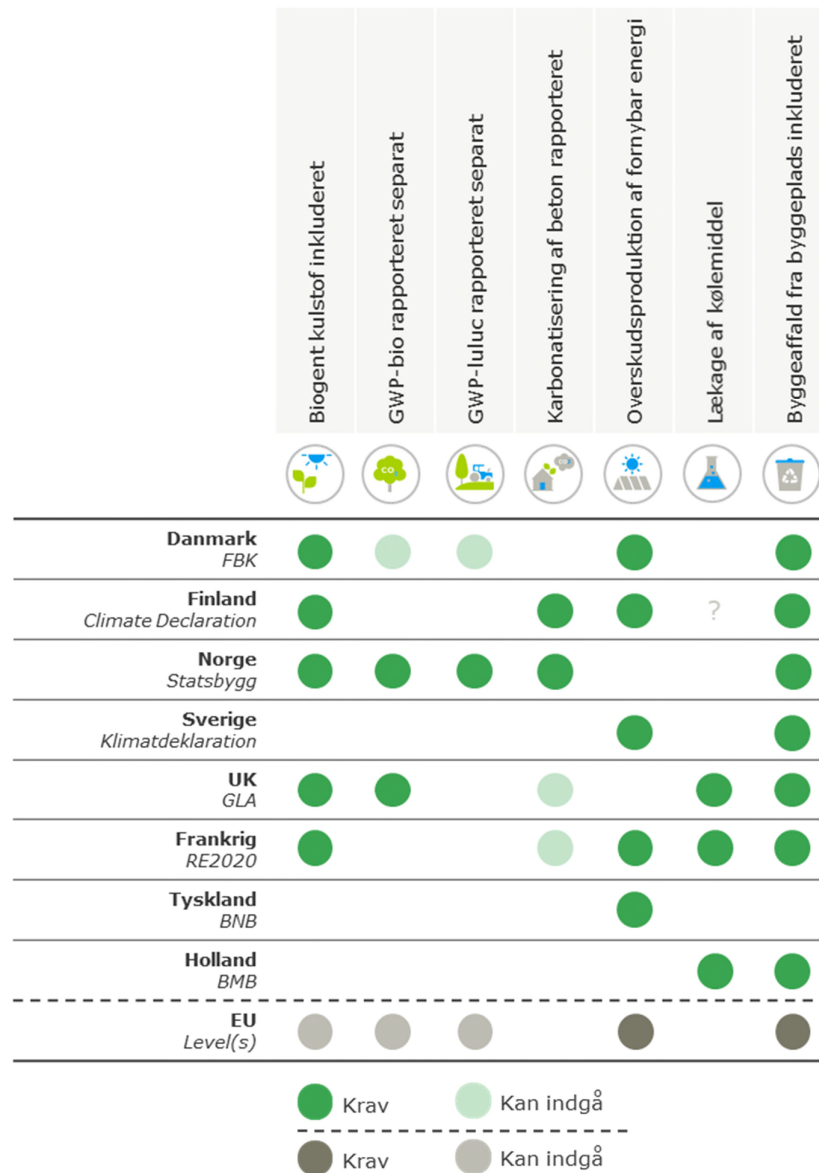
Der er i **Level(s)** ikke stillet krav til at lækage af kølemiddel skal inkluderes i LCA'en.

Affald og spild på byggeplads

Der skelnes i det følgende mellem henholdsvis byggeaffald og spild på byggepladsen. Med byggeaffald menes affald, der genereres i løbet af byggeperioden. Det kan være i form af emballageaffald, madaffald, opgravet jord, etc. Med spild menes nye byggevarer, der bliver til spild, enten fordi de går i stykker i løbet af byggerperioden, byggevarer, der er i overskud, etc.

Med hensyn til inkludering af spild på byggepladsen foreskriver den **danske** frivillige bæredygtighedsklasse en generisk spildprocent på 10 %, der skal bruges for alle byggematerialer i mangel på specifikke data (Trafik-Bygge- og Boligstyrelsen, 2020). Det samme skøn skal også bruges i DGNB-DK 2020, hvis livscyklusmodulerne A4 og A5 er inkluderet (Collin, 2020). I **Norge** er spild også inkluderet i NS 3720 og BREEAM-NO, hvor mængden ofte er baseret på generiske værdier fra One Click LCA. I **Sverige** vil Boverket udvikle en klimadatabase med generelle antagelser, så det bliver muligt at beregne spild fra byggepladsen (Einarsson & Engström, 2020a). I **Storbritannien** skal spild fra byggematerialer fra byggepladsen inkluderes i LCA'en for GLA. Hvis der ikke findes projektspecifik information for andelen af byggeaffald, så skal der ifølge RICS PS benyttes nogle standardantagelser omkring spild for byggematerialer i henhold til *WRAP net waste tool reference*. Disse affaldsrater skal benyttes frem for det oplyste i EPD'er, da disse normalt afviger meget fra det specifikke projekt og WRAP (Papakosta & Sturgis, 2017; Voukia, 2020). I Storbritannien er affaldsraterne normalt baseret på standardværdier fra One Click LCA, der er baseret på WRAP (Voukia, 2020). I **Frankrig** skal andelen af byggeaffald fra byggepladsen indgå i LCA-beregningen, og data fra EPD'en benyttes (Nibel & Chevalier, 2020)(Piton, 2020). I **Tyskland** indgår affald og spild på byggepladsen ikke i BNB systemet, da det vurderes, at der stadig er mangel på robuste data på disse punkter (Kerz, 2020). I **Holland** er det ifølge lovgivningen obligatorisk at medregne spild og affald på byggepladsen. Det er kun tilladt at afvige fra dette krav, såfremt det retfærdiggøres med begrundelser. I **Level(s)** skal man under indikator 2.2, som omhandler bygge- og nedrivningsaffald, for level 2 og 3 estimere og måle den samlede mængde affald, som genereres ved byggeri, renovering og nedrivning i kg. Senere normaliseres værdien til nyttigt internt etageareal kg/m². Mængden af affald er opdelt i hovedtyperne af byggeaffald i henhold til den europæiske liste over affald (EAK-listen på dansk). I relation til den fulde livscyklusvurdering baseret på stadie A til D jf. EN 15978, er denne kerneindikator fokuseret på stadie A5 (Dodd, Donatello, & Cordella, 2020d).

I Figur 5 illustreres syv forskellige parametre, der er relevante for udførelse af bygnings-LCA, for de analyserede certificeringsordninger og lovgivninger i de forskellige lande samt Level(s) i EU. Figuren viser, at de metodiske valg af inkluderet biogent kulstoflagring, karbonatisering, overskydende vedvarende energi, lækage af kølemiddel og byggepladsaffald inkluderet er dem, der mest sandsynligt vil forekomme på tværs af mange af certificeringsordninger og lovgivninger i de undersøgte lande.



Figur 5 - Syv forskellige metodiske valg i forhold til LCA-beregninger, som indgår i de nationale og lokale lovgivninger på tværs af de forskellige lande samt Level(s) i EU. Et spørgsmålstegn indikerer, at det ikke har været muligt at finde svar på dette, hvor et blankt felt indikerer, at der ikke er krav om denne indikator for det pågældende land. Med byggeaffald kan der både være tale om spild af byggevarer eller andet affald, der opstår i løbet af byggeperioden.



7.6. Datakilder og kvalitet

Især i de tidlige designfaser er de nødvendige beregninger i bygnings-LCA afhængige af eksisterende data, både vedrørende materialevalg, produktion og forbrug af elektricitet og opvarmning, samt forskellige andre processer.

Det er således nødvendigt at evaluere datakilder og deres iboende kvalitet, da der kan være betydelige variationer i kilderne, fx for materialer; forskellene kan være væsentlige ikke kun mellem generiske data vs. produktspecifikke EPD'er, men også mellem de databaser, der anvendes i de forskellige lande analyseret i nuværende projekt.

I **Danmark og Norge** er den almindeligt anvendte database til generiske data den tyske Ökobaudat-database (Bøe, 2020; Collin, 2020), som er udviklet af det tyske indenrigsministerium med støtte fra den tyske byggematerialebranche (<https://www.oekobaudat.de/da.html>). Denne generiske database bruges i den nye danske frivillige bæredygtighedsklasse, i DGNB 2016 & 2020, LCAbyg og One Click LCA. One Click LCA inkluderer også processer fra den britiske database IMPACT (Bionova Ltd, 2020; bre, 2018b). Da Ökobaudat er baseret på materialeproduktionsdata fra Tyskland, mens IMPACT er baseret på materialeproduktion fra Storbritannien, er brugen af EPD'er at foretrække og tilskyndes i alle de ovennævnte systemer. I forskellige certificeringsordninger anvendes straffaktorer rettet mod datakvalitet. Disse vedrører ikke kun EPD'er mod generiske data, men også forskellige EPD-typer mod hinanden (fx branche- vs. produktspecifikke EPD'er) med faldende straffaktorer som data bliver mere specifikke (Green Building Council Denmark, 2016; Norwegian Green Building Council, 2016b).

I **Sverige** er Boverket (i samarbejde med det finske miljøministerium) i færd med at udvikle en åben database til beregning af LCA. Databasen vil støtte den kommende Klimatdeklaration, hvor udarbejdelse af LCA'er til nye bygninger bliver obligatorisk. Databasen forventes udgivet i januar 2021 (Boverket, 2020). I regi af Klimatdeklaration er der ikke noget krav om at anvende EPD'er til LCA, men Boverket anbefaler at bruge så produktspecifikke data som muligt. Den generelle tendens i Sverige er, at data fra EPD'er typisk har en lavere miljøpåvirkning sammenlignet med generiske data (f.eks. IVL BM's generiske database eller Ökobaudat), hvilket giver et andet incitament til brug af EPD'er, når de er tilgængelige (Finansdepartementet, 2020; Palm, 2020). I Miljöbyggnad varierer kravet til datakvalitet afhængigt af certificeringsniveauet. For bronzeniveau er der ikke noget krav til EPD'er, mens der kræves mindst 50% og 70% EPD'er for henholdsvis sølv- og guldniveauet (Palm, 2020; Sweden Green Building Council, 2020b). I NollCO₂-tillægscertificeringen kræves også EPD'er, hvis de er tilgængelige. Udover One Click LCA, som er meget udbredt i Sverige, har det svenske miljøinstitut (IVL) udviklet et LCA-værktøj kaldet Byggsektorns miljöberäkningsverktyg (BM-verktyget), som indeholder data fra IVLs generiske database, IVL Miljödatas Bygg (Boverket, 2019c, 2019a). Selvom BM-verktyget, som er gratis, kan bruges til at gennemføre LCA'er til Miljöbyggnad, er One Click LCA mere udbredt (Palm, 2020).

I BREEAM (både BREEAM International i Finland og BREEAM-SE i Sverige) tildeles der en ekstra kredit, hvis EPD'er anvendes til mindst fem produkter i LCA til nybyggeri, men det er ikke et krav for gennemførelse af LCA'en. Generiske databaser kan således anvendes (bre, 2016a; Sweden Green Building Council, 2017).



I **Finland** planlægges den kommende generiske database (udviklet i samarbejde med Sverige) at blive brugt til at gennemføre LCA'er i klimadeklarationen fra 2025, og forventes at spille en væsentlig rolle for datakvaliteten, da et meget lille antal EPD'er er tilgængelige i Finland (Heikkinen, 2020).

I **Storbritannien** skal de data, der benyttes ved udførelsen af LCA i henhold til WLC GLA-guiden, stemme overens med standarden RICS PS 'Whole life carbon assessment for the built environment' (Papakosta & Sturgis, 2017). Det betyder, at der skal benyttes EPD'er, hvis de er tilgængelige for de forskellige materialer, der indgår i bygningen. Hvis der ikke findes EPD på det specifikke produkt, så må der benyttes en EPD for et produkt eller system, som minder om det konkrete produkt. Som en tredje mulighed, må generiske data for materialer fra Bath ICE Databasen benyttes. Der benyttes ikke en straffaktor for generiske data, hvis EPD'er ikke er tilgængelige. For mekaniske installationer, elektriske installationer samt VVS kan det være svært at finde EPD'er, hvorfor GWP herfor regnes ud fra producentens datablad og den opgivet materialetype, med en vægt for produktet, der er minimum 95% af den samlede oplyste vægt (Greater London Authority, 2020d; Papakosta & Sturgis, 2017; Voukia, 2020).

I **Frankrig** vil det datagrundlag, der er tilladt at benytte i LCA'en, blive beskrevet i RE2020 når den bliver gjort til lovkrav i juli 2021. Indtil videre er planen at det både er tilladt at benytte EPD'er og generiske data (Nibel & Chevalier, 2020). Offentligt tilgængelige franske databaser indeholder både generiske og specifikke data i form af EPD'er, som kan benyttes i LCA-beregningen der udføres iht. RE2020. Projektspecifikke EPD'er skal prioriteres højest, som data der benyttes i LCA'en. Herefter kan andre EPD'er, der er tilsvarende til det materiale, der benyttes i projektet, anvendes, og til sidst generiske data. Den franske database INIES indeholder mere end 2.000 verificerede EPD'er, som kan benyttes (Nibel & Chevalier, 2020). I mangel af EDP'er vil det franske ministerium sørge for generiske data (Nibel & Chevalier, 2020; Piton, 2020). I forbindelse med E+C- Eksperimentet var der brug for generiske datasæt, hvorfor der blev oprettet generiske data for konstruktioner og byggevarer. I september 2020 er der over 1.300 generiske datasæt ("Donnée environnementale par défaut" or "DED" = default miljødata) som er dedikeret til RE2020. Disse generiske datasæt er inkorporeret i den franske database INIES, og defineret som default data. I praksis vil der komme flere og flere EPD'er på markedet over tiden, hvorfor de generiske datasæt vil blive mindre og mindre benyttet (Nibel & Chevalier, 2020).

I E+C- Eksperimentet var der en straffaktor for brug af generiske data, men dette er der blevet stillet spørgsmålstegn ved for RE2020 (Nibel & Chevalier, 2020). Der vil formentligt ikke indgå en straffaktor for generiske data i RE2020, da generiske default data i forvejen har en højere miljøpåvirkning sammenlignet med EPD'er (Piton, 2020). Dette er dog ikke endeligt besluttet endnu, og hvis der kommer til at indgå en straffaktor, så vil den højst sandsynlig være lavere end i E+C- Eksperimentet (Nibel & Chevalier, 2020).

I **Tyskland** har BMI (Bundesministerium es Innern, für Bau und Herimat) udviklet platformen Ökobaudat, der har til formål at stille miljødata til rådighed, til udførelse af bygnings-LCA'er (BMI, 2020b). Ökobaudat indehol-



der en stor database med miljødata, som omfatter data for byggematerialer, transportprocesser, byggeprocesser, energiproduktion og affaldshåndtering. Databasen er baseret på DIN EN 15804, og indeholder ca. 900 datasæt, der afdækker både generiske processer og producent-specifikke data i form af EPD'er.

Ökobaudat er udformet til at levere data til hele livscyklussen af en bygning, og skal kunne indgå i diverse bygnings-LCA-værktøjer, som fx det af BBSR udviklede LCA-værktøj eLCA, som er det værktøj der anvendes i udformningen af LCA'er til BNB systemet (Kerz, 2020). Ökobaudat anvendes i høj grad udenfor Tysklands grænser, og indgår i mange forskellige LCA beregningssystemer og certificeringsordninger (Brockmann, 2020).

Den nuværende udgave af Ökobaudat følger standarden EN15804+A1, men det forventes, at Ökobaudat opdateres til den reviderede standard EN15804+A2 i løbet af næste år. Da Ökobaudat danner datagrundlaget for LCA'erne, der udføres til BNB, vil denne opdatering have mange følgevirkninger, og mange krav og/eller procedurer vil følge samme opdatering (Brockmann, 2020).

Der er i **Holland** udviklet en generisk database, kaldet Nationale Milieu Database (NMD - Nationale Milieu Database, 2020), som ligger til grund for alle bygnings-LCA'er, der udføres. Denne database er udviklet og varetaget af fonden Stichting Bouwkwaliiteit (SBK, 2020), og er baseret på referenceværdier fra Ecoinvent databasen, samt EPD'er der overholder de krav, der stilles. Det er ikke muligt at anvende en anden database, da denne er tæt forbundet med lovgivningen.

EPD'er, der inkluderes i denne database, skal følge nogle stringente krav, for at sikre at de er udformet efter samme vilkår, og overholder samme retningslinjer. Det er påkrævet, at EPD'en dækker fra vugge-til-grav, og inkluderer alle livscyklusmoduler. Derudover er der krav om, at alle inkluderede EPD'er er udformet på baggrund af generiske data fra Ecoinvent, og ikke andre databaser. Det er derfor ikke muligt at inkludere en EPD, hvor den anvendte generiske database er fx GaBi eller andet, og det er heller ikke tilladt at bruge EPD'er, der blander processer fra mere end én database fx Ecoinvent og GaBi sammen. Denne beslutning er truffet for at sikre sammenligneligheden mellem data, da det kan være signifikante forskelle i miljøpåvirkninger, afhængigt af den anvendte baggrundsdatabase.

Ved udførelse af en LCA ifm. den europæiske ordning **Level(s)** skal dataindsamling og -behandling følge vejledningen i EN ISO 14044:2006. Datakvaliteten til beregning af en livscyklus består af to niveauer; data fra forgrundsprocesser og fra baggrundsprocesser. Forgrundsprocesser, data af højest kvalitet, påvirker direkte resultaterne (f.eks. det faktiske indhold af beton i en bjælke). Baggrundsprocesser vil sige det, der er knyttet til, og indlejret bag forgrundsprocesserne (eks. produktion og levering af cement). Kvantificering af data fra forgrunds- og baggrundprocesser kan være en kombination af primære og sekundære data. Primære data er sted-specifik information baseret på direkte måling. Sekundære data er data fra teknisk litteratur og kan være specifikke undersøgelser eller LCA-databaser. Level(s) har et præferencehierarki til prioritering af data. De bedste data at anvende, er fra produktspecifikke EPD'er, for så mange materialer som muligt. Hvor det ikke er muligt at anvende produktspecifikke EPD'er, anbefales dernæst EPD'er for et produkt eller system, som minder om det faktiske produkt. Sidst i rækken er generiske data.



Level(s) er en fælles europæisk ramme, som ikke refererer til en overordnet eller specifik database for brug af generisk data og EPD'er. Der henvises i stedet til de forskellige landes generiske databaser og EPD'er, som alle skal være i overensstemmelse med de generelle principper udtrykt i EN 15804 (Dodd, Donatello, & Cordella, 2020b).

7.7. Energiforbrug i driftsfasen

Energiforbruget i driftsfasen er en kritisk bidrager til bygningens samlede miljøperformance, og de valgte data til produktion af elektricitet og varme har således afgørende betydning for resultatet. Under bygningens betragtningsperiode varierer produktionsmikset af elektricitet og varme år for år, og et scenarie for den forventede dekarbonisering af elnettet og varmekilderne, som følge af større andel af vedvarende energikilder er nødvendigt for at modellere disse ændringer.

I **Danmark** er dette scenarie skitseret af en undersøgelse foretaget af COWI (COWI, 2020), der har til formål at kvantificere de forventede miljøpåvirkninger af 1 kWh el / varme indtil 2040. Denne undersøgelse danner grundlaget for energiforbrugsscenariet i den frivillige bæredygtighedsklasse samt DGNB-certificering.

I **Norge** er dekarboniseringsscenariet skitseret i standarden for metoder til drivhusgasberegninger for bygninger baseret på det beregnede produktionsmikset i 2015 og forventet produktionsmikset i 2050, hvor det estimerede produktionsmikset i 2050 er baseret på værdier fra Eurostat, EEA, SCB /den svenske statistiske myndighed) og EU's Roadmap 2050 (NS EN 3720: 2018). Denne metode inkluderer et produktionsmikset for det norske scenario for 2015 og 2050, samt et generelt europæisk scenario for EU28 og Norge for 2015 og 2020. Ud over det scenarie, der er skitseret i standarden NS 3720, udvikles yderligere dekarboniseringsscenarioer for Norge af Bio-nova i One Click LCA, der tager højde for de geografiske variationer, der kan forekomme i el- og varmeproduktionsmikset (Bøe, 2020).

I den kommende klimadeklaration i **Finland** skal emissionerne ifm. energiforbruget i driftsfasen beregnes ved hjælp af standardiserede emissionsfaktorer for forskellige energikilder. Brugen af faktorerne tager højde for, at emissionerne forventes at falde i fremtiden i overensstemmelse med Finlands nationale energi- og klimastrategi (Kuittinen, 2019).

I **Sverige** har NollCO₂-certificeringen et dekarboniseringsscenario, der er baseret på en interpolation fra de nuværende emissioner til det svenske nationale klimaneutralitetsmål i 2045 og for andre EU-lande i 2050 (Sweden Green Building Council, 2020d). Energiforbruget under driftsfasen er ikke relevant i Miljöbyggnad, hvor fase B6 ikke er omfattet. Der er således ikke defineret noget dekarboniseringsscenario for denne certificeringsordning. For BREEAM-SE er der heller ikke defineret noget dekarboniseringsscenario, der skal bruges i LCA, hvor energiforbruget i driftsfasen inkluderes. Desuden tager Klimat-deklaration ikke højde for anvendelsesfasen i den kommende afprøvningsfase i 2022, hvorfor der ikke er defineret noget dekarboniseringsscenario. I den næste fase af Klimat-deklaration er det ikke blevet besluttet endnu, om et dekarboniseringsscenario skal medtages, hvis flere livscyklusfaser vil blive inkluderet i 2027.



I **Storbritannien** skal driftsenergien til livscyklusmodul B6 i WLC GLA-guiden være i overensstemmelse med energiberegningen, som skal afspejle estimerede tal fra SAP (SAP 2012, The Government's Standard Assessment Procedure for the Energy rating of Dwellings) og CIBSE TM54 (TM54: Evaluating Operational Energy Performance of Buildings at the Design Stage) for hhv. bolig og ikke-bolig (Voukia, 2020).

Der skal afleveres to energiscenarier for LCA'en, der afleveres i forbindelse med designkonceptstadiet og LCA'en, der afleveres i forbindelse med aflevering af bygningen. I det første scenarie skal driftsenergien afspejle det gældende britiske nationale elektricitetsmiks, hvor det andet scenarie skal afspejle den forventede dekarbonisering af elektricitetsmikset over de næste 60 år ud fra scenariet 'slow progression' (NationalgridESO, 2020). Det er scenariet med det gældende nationale elektricitetsmiks, som skal benyttes, når der sammenlignes med benchmark-værdier fra WLC GLA-guiden (Mayor of London, 2020; Voukia, 2020). Produkter, der er produceret i Storbritannien, skal bruge data, der er i overensstemmelse med GLA's Energy Assessment Guidance, mens produkter der er produceret uden for Storbritannien skal have energidata svarende til det pågældende land, hvori det er produceret (Mayor of London, 2020; Voukia, 2020).

I **Frankrig** er det ministeriet, der bestemmer, hvilke GWP-værdier for energien i driftsfasen der benyttes i LCA'en. Disse er ikke offentliggjort endnu. RE2020 vil dog have faste GWP-værdier, der repræsenterer klimapåvirkningen fra de nutidige energiscenarier i Frankrig. Der vil ikke være et energiscenarie med en dekarbonisering af energien, som kan benyttes i LCA-beregningen (Nibel & Chevalier, 2020; Piton, 2020).

I **Tyskland** har der været en række forskellige lovgivninger, der har med energiforbrug i bygninger at gøre. Herunder EnEV 2014 (Energieeinsparverordnung), som har til formål at reducere energiforbruget i drift af bygninger, og at facilitere de energi-politiske målsætninger der er etableret fra regeringens side, blandt andet målet om at nå en klimaneutral boligmasse i 2050. Der er også lovgivningen EnEG (Energieeinsparungsgeesetz), som har rødder tilbage i 1976, med ambitionen om at forbedre det tyske energiforbrug, specifikt i forbindelse med import af energi fra andre lande. Den nye lovgivning GEG 2020 (Gebäude Energie Gesetz) skal erstatte både EnEV og EnEG, og i stedet samle alle lovmæssige krav i en overordnet enhed. Der regnes dog stadig ikke med energifremskrivningsscenarier, hvorfor alle nuværende LCA'er beregnes med et statisk energiscenarie (Kerz, 2020).

I **Holland** er energiforbruget i driftsfasen typisk ekskluderet fra LCA'en, og indgår derfor ikke i beregningerne eller i overholdelse af grænseværdierne. Dette skyldes, at der i forvejen er specifikke indikatorer og krav som del af lovgivningen, der vedrører energiforbrug i bygninger, og som er obligatorisk for alle bygninger. Det har været vurderet at dette er nok, og derfor ikke behøves dokumenteret i LCA'en. Denne beslutning er dog under revision. Det er således heller ikke muligt på nuværende tidspunkt at inkludere et fremskrivningsscenarie for energinettet, da dette som de andre krav har været uden for scope.



I **Level(s)** omfatter bygningens primære energibehov i brugsfasen energi til opvarmning, køling, ventilation, varmbrugsvand, belysning og andre tekniske installationer. Måleenheden for det samlede primære energibehov i brugsfasen er kilowatt timer pr. kvadratmeter pr. år. [kWh/m²/år]. Til beregningen anvendes det totale nyttige etageareal. Beregningsmetoden for det primære energibehov skal følge de nationale eller regionale beregningsmetoder, som er fastlagt efter, hvor bygningen er beliggende. Anvendes der andre beregningsmetoder, skal de være i overensstemmelse med EN ISO 52000-1 serien (Dodd, Donatello, & Cordella, 2020a).

7.8. Miljøvaredeklarationer (EPD'er)

Miljøvaredeklarationer (EPD'er) er en væsentlig del af de analyserede ordninger, standarder og lovgivninger, enten som en måde at opnå kreditter i en certificeringsordning på, som kernen i bygnings-LCA'er eller som krav fra bygherrer (fx Statsbygg i Norge).

EPD'er er en grundlæggende del af bygnings-LCA'er, da de erstatter generiske data og dermed afhjælper nogle af usikkerhederne i disse. Derfor krediteres brugen af EPD'er højt i de forskellige certificeringsordninger (Bøe, 2020; Green Building Council Denmark, 2016; Norwegian Green Building Council, 2016a). Implementeringen af EPD'er i godkendte LCA-værktøjer medvirker til en øget efterspørgsel efter EPD'er, da de fungerer som datagrundlaget for materialerne i bygnings-LCA'er, og producenter, som ikke har en EPD, vises ikke som valgmuligheder i værktøjerne.

I **Danmark** er interessen for EPD'er relativt ny og hovedsagelig relateret til indførelsen af DGNB, som anbefalet bygningscertificeringsordning i 2012. Med hensyn til bygningers bæredygtighed har fokus i Danmark i mange år primært været på energiklassen, fremfor på den iboende miljøpåvirkning af byggematerialer. Der har således været relativt lidt opmærksomhed på EPD'er. Danske producenter af byggevarer har ofte besluttet at offentliggøre deres EPD'er i andre lande, fx Sverige og Norge, hvor det faktisk var efterspørgsel efter dem (S. C. Andersen, 2020).

I både DGNB og den frivillige bæredygtighedsklasse anbefales EPD'er som den foretrukne kilde til miljødata på produktniveau. I DGNB-DK 2020-ordningen gives der en straffaktor (1,3) ved brug af generiske data i stedet for EPD'er, men også en mindre straffaktor (1,1) ved brug af branche-EPD'er i stedet for produkt-specifikke EPD'er. Fx skal miljøperformance for byggeprodukter dokumenteret med generiske datasæt ganges med en faktor på 1,3. Dette har været et stærkt incitament til udvikling af EPD'er, og den nationale EPD-programoperatør, EPD Danmark, har for nylig oplevet en stigning i antallet af offentliggjorte EPD'er (fra 38 i 2019 til mere end 70 forventet inden udgangen af 2020, herunder i alt mere end 200 datasæt, dvs. inklusive produktvariationer). Danske EPD'er udgives både på engelsk og på dansk og findes pt. kun i pdf-format, dvs. data skal importeres manuelt til relevante LCA-software, fx LCAByg. Et projekt er dog pt. i gang med det formål at udvikle en løsning til digitalisering af EPD'er fra EPD Danmark og dermed gøre dem direkte compatible med LCAByg. Projektet forventes afsluttet i slutningen af 2021. I Danmark varierer prisen for udvikling af en EPD bredt mellem 75.000 DKK og 300.000 DKK afhængigt af omfanget, kompleksiteten osv. (S. C. Andersen, 2020; Collin, 2020).



I **Norge** har Statsbygg de sidste 15 år krævet EPD'er for de produkter, der indgår i deres bygninger. Kravet er gradvist blevet udvidet til at dække flere aspekter af bygningen, hvor det nuværende trin er inkludering af tekniske installationer, hvilket giver et incitament til at udvikle flere EPD'er inden for dette område (Bingh, 2020; Nemitek, 2020). Statsbygg har i stigende grad prioriteret bæredygtighed gennem deres krav til EPD'er. Udover Statsbygg har nogle af de største kommuner i Norge også etableret lignende EPD-krav. Dette omfatter Oslo, Trondheim og Stavanger (Marton, 2020).

Mere end 900 EPD'er er udgivet af EPD Norge, den nationale programoperatør, herunder 665 specifikt for byggevarer (EPD Norge, 2020). EPD Norge har udviklet en digital platform: EPD-Norge Digi (digi.epd-norge.no), hvor 587 af deres offentliggjorte EPD'er er søgbare og kan downloades i enten .xml- eller .csv-format for lettere integration i One Click LCA, og hermed i Statsbygg beregninger og BREEAM-NO certificeringer.

I **Sverige** har man tidligere ikke brugt EPD'er proaktivt som et værktøj til produktudvikling og optimering. Producenterne har primært fokuseret på blot at have en EPD, fremfor at minimere den faktiske miljøbelastning af det deklarerede produkt gennem udviklingen af EPD'en. Dette kan sandsynligvis forklares med princippet i de forskellige certificeringssystemer, der belønner *brugen* af EPD'er, men ikke nødvendigvis deres *miljøperformance*. Dette forventes dog at ændre sig til et mere præstationsbaseret fokus i fremtiden (Palm, 2020). Efter spørgslen efter EPD'er i byggeprojekter stammer hovedsageligt fra kundernes efterspørgsel, da det er et krav i certificeringsordningerne at bruge produkter med EPD'er når disse er til rådighed. For eksempel kræves der i Miljöbyggnad et minimum antal EPD'er for at opnå sølv- og guldcertificering.

Sverige har haft et EPD-system siden 1998, og lokale certificeringssystemer for bæredygtige byggeri, ligesom Miljöbyggnad, er blevet introduceret siden 2009 (Palm, 2020). Indenfor få år efter deres introduktion er de svenske certificeringsordninger begyndt at stille krav til LCA og senere til EPD'er. Derudover giver andre typer certificeringer, fx Byggarubedömningen, point for EPD'er, selvom de tidligere udelukkende havde fokus på kemisk indhold og farlige stoffer. Dette har bidraget til en betydelig udbredning af EPD'er i Sverige, sammen med en mere "strukturel" faktor: Sverige har haft en historik om at bruge EPD'er i andre industrier, bl.a. stålsektoren og træ-/papirmasse-/papir-sektoren, hvilket betyder, at EPD-infrastrukturen allerede var på plads. Alle disse faktorer har bidraget til en betydelig udbredelse af EPD'er. Selvom Sverige ikke har en national programoperatør, anvendes Environdec (det internationale EPD-system) og EPD Norge i vid udstrækning. EPD'er udgives generelt på engelsk. Environdec har i øjeblikket udgivet mere end 750 EPD'er (Anderson, 2020a). Mens EPD'er hovedsageligt stilles til rådighed i PDF, er der for nylig indført et digitalt format mod et ekstra gebyr (Palm, 2020).

I Sverige har man oplevet, at produkter modelleret med egne EPD'er generelt præsterer bedre, end når de modelleres med generiske data, hvilket giver producenterne et incitament til at investere i en EPD for deres produkter.



I **Finland** lancerede Building Information Foundation RTS sr det første nationale EPD-program i 1998 med opdateringer i 2004 og igen i 2016 (Sariola et al., 2019). EPD'erne i det nuværende program er godkendt af en arbejdsgruppe fra PT18 RT EPD-komiteén for Building Information Foundation RTS sr. EPD'er udarbejdet i henhold til EN15804 + A1 godkendes indtil juni 2022. Fra august 2022 godkender PT18 kun EPD'er, der er udarbejdet i henhold til EN15804+A2 (EN15804: 2019) (Rakennustieto, 2020). RTS EPD-databasen indeholder i øjeblikket 79 EPD'er. Finland og Sverige udvikler i øjeblikket også en fælles generisk database, der forventes udgivet i 2021, og som skal bruges, hvis EPD'er ikke er tilgængelige (Kuittinen et al., 2020). Alle bygningscertificeringsordninger, der anvendes i Finland, giver ekstra kreditter for brug af EPD'er, hvilket har været og stadig er et incitament for producenter til at udvikle EPD'er.

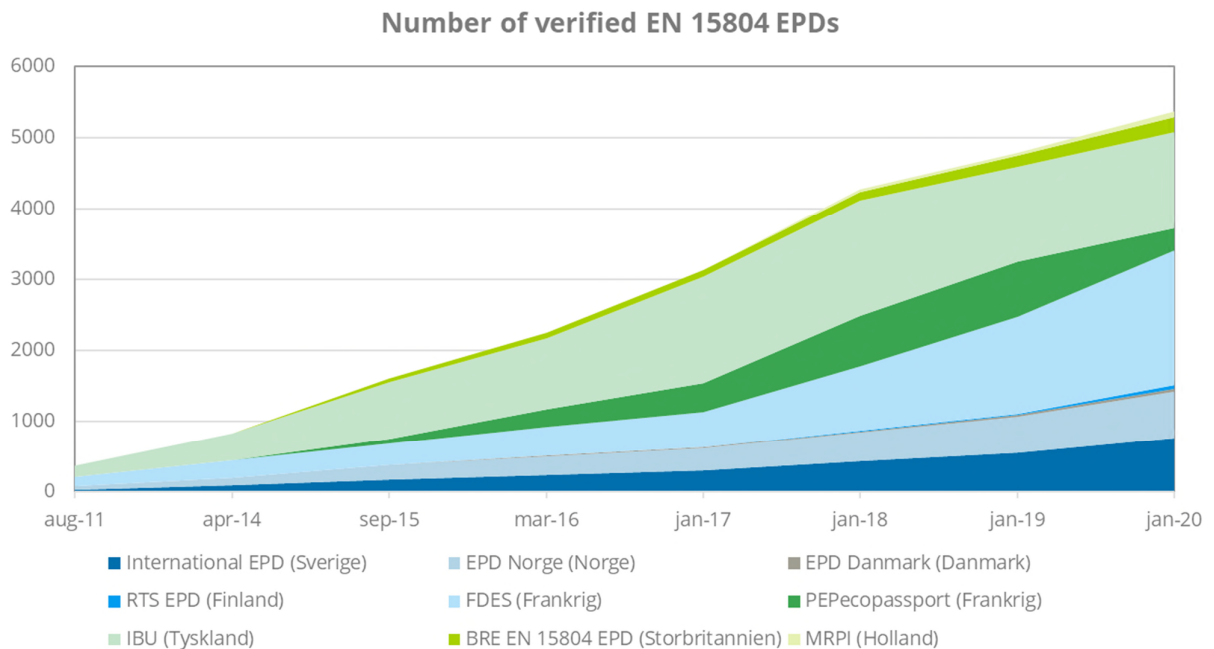
EPD programoperatør i **Storbritannien** er bre UK (Anderson, 2020b; Voukia, 2020). Det har ikke været muligt at skaffe flere oplysninger om anvendelsen af EPD'er i Storbritannien.

I **Frankrig** findes der både en national EPD programoperatør for byggevarer, som hedder INIES, og en for udstyr (fx elektrisk udstyr og HVAC-systemer), som hedder PEP ecopassport (Nibel & Chevalier, 2020; Piton, 2020). I Frankrig er EPD'er først blevet 3. parts verificeret siden 2018 og der afholdes årlige møder for at promovere den franske INIES database, herunder specifikke EPD'er, specifikke PEP ecopassport datasæt samt generiske data (Nibel & Chevalier, 2020). Antallet af EPD'er i Frankrig er steget markant siden 2005, hvor der var under 100, og det forventes, at der i 2020 vil være over 2.000 publicerede EPD'er (INIES, 2020). Det, at miljøpåvirkningerne er lavere i EPD'erne sammenlignet med generiske data, er med til at promovere brugen af EPD'er i LCA-beregninger (Piton, 2020).

Tyskland har for nuværende tre EPD programoperatører, som opererer uafhængigt af hinanden, og som alle tre varetager publicering af tredjepartsverificerede EPD'er efter EN15804. Den største af disse er IBU (Institut Bauen und Umwelt e.V.), efterfulgt af først Rosenheim og herefter Kiwa Berlin. Alle tre programoperatører i Tyskland er medlemmer af ECO Platform, som er den europæiske paraplyorganisation for EPD programoperatører, som har til formål at udvide EPD'ers rækkevidde på tværs af markeder (eco-platform.org, 2013).

I **Holland** varetager Fonden Stichting Bouwkwaliiteit (SBK, 2020) den nationale database Nationale Milieu Database (NMD - Nationale Milieu Database, 2020) samt metoden for bygnings-LCA-beregninger, mens fonden Milieu Relevante Product Informatie er den nationale EPD-programoperatør (MRPI - Milieu Relevante Product Informatie, 2020). MRPI publicerede EPD'er efter deres egen MRPI-standard, som i 2012 blev erstattet af EN15804, hvorved fremgangsmåden blev harmoniseret i stil med resten af Europa. Da der i NMD gives en straf på 30% på generiske data, har der i lang tid været interesse for udformningen af EPD'er, hvorfor MRPI-databasen har mange forskellige publicerede EPD'er.

Figur 6 skaber overblik over udviklingen i antal EPD'er for ni programoperatører, som opererer i de undersøgte lande (EPD Danmark, International EPD (Environdec), EPD Norge, RTS EPD, FDES, IBU, PEPecopassport, bre UK, MRPI) baseret på data fra Anderson, 2020a.



Figur 6 – Udvikling i antal EPD'er i de undersøgte lande. Tilpasset fra Anderson, 2020a.

7.9. Omkostninger forbundet med at udføre en bygnings-LCA

Omkostningerne forbundet med at gennemføre en bygnings-LCA afhænger meget af projekttype, -størrelse, -kompleksitet samt af certificerings- eller lovkrav. For eksempel påvirkes omkostningerne af, om kravet består af flere LCA'er gennemført i projektets forskellige designfaser eller kun en enkelt LCA ved det endelige design. Tilsvarende kræver yderligere LCA-undersøgelser, fokuseret på vurdering af specifikke bygningselementer, materialer eller optimering af et specifikt design, også mere tid. Derfor skal de indsamlede prisniveauer betragtes som præget af et højt usikkerhedsniveau. Imidlertid er det gennem markedstendenser i branchen, ligesom certificeringsordninger der kræver LCA, muligt at samle grove estimater for gennemførelse af LCA'er til forskellige ordninger og på tværs af lande. LCA-udøvere i forskellige lande blev bedt om at estimere LCA-omkostningerne for et "model-projekt" svarende til et kontorbyggeri på 10.000 m² inkl. al dataindsamling og med et certificeringsniveau, der svarer til den bedste klasse. Omkostningerne ved en LCA afhænger naturligvis af det specifikke projekt, detaljeringniveau og andre projektrelaterede forhold og datatilgængeligheden. Det forventes, at prisen på en LCA vil falde en vis grad, efterhånden som industrien tilpasser sig og får mere erfaring, men også at LCA'erne bliver mere nøjagtige og af højere kvalitet.

Alle analyserede markeder er stadig tilbøjelige til store afvigelser i omkostningsestimater for den samme type projekt.



I **Danmark** er arbejdsbyrden for at udføre en tidlig LCA i forbindelse med DGNB-certificering kvantificeret til at være i intervallet 50-60 timer, svarende til <1% af de samlede byggeomkostninger (svarende til 45.000-55.000 DKK). Den endelige LCA vil tværtimod kræve i størrelsesordenen af 100 timer (svarende til 95.000 DKK), hvilket også typisk vil forblive under 1% af de samlede byggeomkostninger (Collin, 2020). I Danmark er antallet af timer brugt på en LCA faldet markant de sidste par år, og kvaliteten er samtidigt steget, med mere nøjagtige og detaljerede LCA'er i dag (Collin, 2020).

I en opgørelse af LCA-budgetter i forbindelse med støtte til afprøvning af den frivillige bæredygtighedsklasse estimeres prisen for at imødekomme LCA-kravene i den frivillige bæredygtighedsklasse. I opgørelsen vurderes prisen for den tidlige LCA at ligge mellem 30.000-60.000 DKK, og dermed ligger den i samme interval som priserne for LCA ved DGNB-certificeringer.

I **Sverige** vurderes en endelig LCA ift. projektmodellen at koste mellem 70.000-300.000 SEK (svarende til 50.000-215.000 DKK), mens tidlige LCA'er estimeres at koste omkring 60.000 SEK (svarende til 43.000 DKK). En endelig LCA på tværs af de forskellige certificeringsordninger i Sverige kan skønnes stil at koste 100 timer (Palm, 2020).

I **Norge** kan LCA-kredit for en BREEAM-NO-certificering koste i intervallet 60.000-70.000 NOK (svarende til 41.000-48.000 DKK) afhængigt af omfanget og kompleksiteten af BIM-modellen, hvor de opnåelige kreditter varierer mellem 7-10 i Mat 01 calculator (Bøe, 2020). En fuld BREEAM-NO-certificering af et projekt, der sigter mod en høj score, vil tegne sig for omkostninger i området <2% af de samlede byggeomkostninger, men dette dækker dog hele certificeringsprocessen og ikke kun LCA-delen (Bøe, 2020).

I **Finland** anslås en tidlig LCA at svare til 20 timer og en endelig LCA til 50 timer (Heikkinen, 2020) (svarende til henholdsvis 25.000 og 65.000 DKK). For LCA'er udført med et værktøj som One Click LCA er der ekstraomkostninger for licenser svarende til omkring 7.500 DKK. De store afvigelser skyldes muligvis variationer i metoder og detaljeringsgraden, og niveau af ekspertise og erfaring.

I **Storbritannien** er det estimerede timeforbrug for at udføre en tidlig LCA ca. 30-40 timer med en pris på ca. £4.000-£7.000 (33.000-58.000 DKK). En endelig LCA er estimeret til ca. at tage 50-60 timer med en pris på ca. £7.000-£8.000 (58.000-66.000 DKK). Dette kan variere afhængig af projektets størrelse, datatilgængelighed samt formål (GLA eller BREEAM-UK). Som regel vil det være billigere at udføre en LCA i forbindelse med en BREEAM-UK certificering, da der er lavere krav til LCA'en ift. bygningsdele og livscyklusmoduler (Voukia, 2020).

I **Frankrig** er prisen for en LCA meget afhængig af projektets kompleksitet og størrelse samt udøverens erfaring. For et etageboligbyggeri vil det koste mellem €2.000-€6.000 (15.000-45.000 DKK) for en uges arbejde med indhentning af data og selve LCA-beregningen (Nibel & Chevalier, 2020).

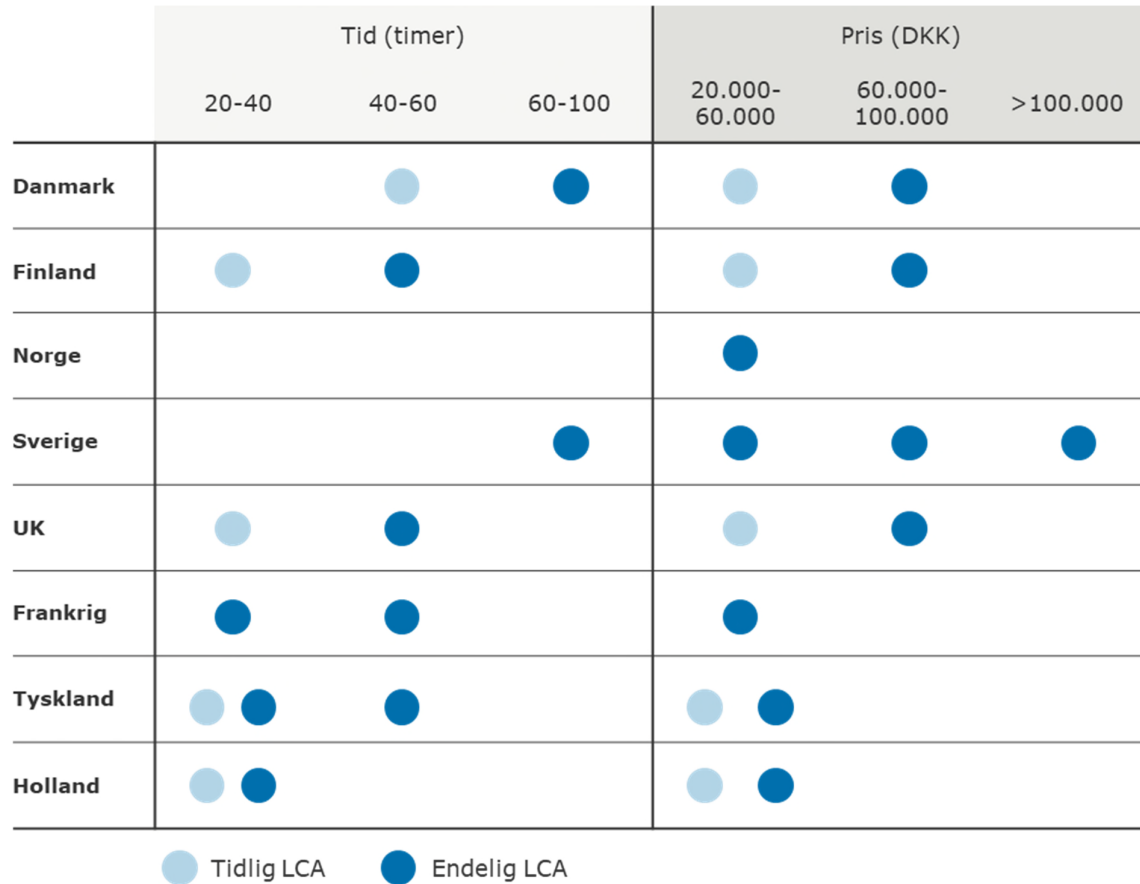


I **Tyskland** varierer prisen for LCA'er også afhængigt af kompleksiteten af byggeriet, og af konstruktionsenhederne. Her vil en tidlig LCA forventes at kunne udarbejdes på 15-20 timer, og koste i omegnen af €2.000 (15.000 DKK), mens en fuld LCA forøger dette til 25-50 timer og prisen til €3.000-€7.000 (22.500-52.500 DKK), afhængigt af kompleksiteten. Det forventes at omkostningerne til LCA'en for en omfattende bygning kan nedbringes til et niveau modsvarende en mere simpel bygning, via brugen af digitale brugerflader. Her kan løsninger som BIM2eLCA eller EnEV2eLCA, som er import-formater til eLCA-værktøjet, forventes at halvere omkostningerne af LCA'en (Kerz, 2020).

I **Holland** opdeles arbejdet i et LCA-dossier, som koster i omegnen af €5.000 (37.000 DKK), samt verifikation heraf, som koster omkring €2.000 (15.000 DKK). Et LCA-dossier omfatter 5-10 produkter, og typisk inkluderes et vist antal produktvariationer heri. Der udvikles online LCA-værktøjer, hvor disse LCA-dossier kan holdes online, således at opdateringer kan udføres hurtigt og til reducerede omkostninger. Et indledende bygnings-LCA-dossier koster omtrent det samme som et endelig.

Priserne synes at være på et tilsvarende niveau i Danmark og Sverige, mens de er lidt lavere i Finland, Storbritannien, Tyskland og Holland. Priserne er betydeligt lavere i Norge og Frankrig, muligvis på grund af den udbredte anvendelse af bygnings-LCA i disse lande.

Figur 7 nedenfor illustrerer, hvordan omkostningerne ved at gennemføre en LCA varierer i de undersøgte lande for de forskellige certificeringsordninger og lovgivninger.



Figur 7 - Illustration af omkostningerne i form af tid (timer) og pris (DKK) ifm. tidlig og endelig bygnings-LCA i de undersøgte lande. Det skal pointeres, at tid og pris illustreret i denne figur indeholder usikkerheder, da disse parametre kan variere meget fra projekt til projekt.

7.10. Opsamling

I dette kapitel er der blevet undersøgt en lang række parametre, som kan være kritiske for resultaterne af en bygnings-LCA. Følgende parametre er undersøgt for de udvalgte lande: betragtningsperiode, inkluderede livscyklusmoduler, levetider, miljøpåvirkningskategorier, referenceværdier og overholdelse, andre metodiske valg, datakilder og kvalitet, energiforbrug i driftsfasen og anvendelse af miljøvaredeklarationer. Endeligt er også omkostninger forbundet med at udføre en bygnings-LCA i de udvalgte lande opgjort.



Der er løbende igennem kapitel 7 samlet op på de undersøgte parametre, og der henvises til Figur 3 (betragtningensperiode og livscyklusmoduler), Figur 4 (miljøpåvirkningskategorier), Figur 5 (metodiske valg), Figur 6 (udvikling i antal EPD'er) og Figur 7 (økonomiske omkostninger) for et detaljeret overblik over forskellene mellem de udvalgte lande.

Overordnet set, er der ingen af landene, der udfører LCA på præcis den samme måde, hvilket betyder, at det er vanskeligt at sammenligne resultater på tværs af lande. Særligt når resultaterne (her GWP) præsenteres i kg CO₂-ækv./m²/år, er det af stor betydning, at det varierer fra land til land, hvordan brutto gulvarealet opgøres. Selvom man fx i de nordiske lande alle benytter det areal, der følger af reglerne for energirammeberegningerne, er der foretaget lokale tilpasninger, så det reelt ikke er de samme arealer, der benyttes.

Det har også stor betydning, hvilke livscyklusmoduler, der er omfattet af LCA'en. A1-A4 er altid med, og i de fleste lande er også A5, B4, B6, C3-C4 og D typisk omfattet. En undtagelse er Sverige, hvor der i den kommende lovgivning kun stilles krav om at inkludere livscyklusmodulerne A1-A5. Der tages således hverken højde for brugs- eller bortskaffelsesfasen, eller det næste produksystem. Der er dog planer om fra 2027 at inkludere flere livscyklusmoduler.

Betragtningensperioden, er en af de parametre, hvor der er størst ensartethed på tværs af landene. De fleste lande anvender en betragtningensperiode på enten 50 eller 60 år, hvor Holland er det eneste land, der skiller sig lidt ud med en betragtningensperiode på 75 år for boligbyggeri. I Sverige er der ikke defineret en betragtningensperiode, da man kun medtager A1-A5 i LCA'en.

I forhold til valg af datakilder er EPD'er i samtlige lande det foretrukne valg. I det omfang der benyttes generiske data, anvendes der i Danmark, Norge og Tyskland databasen Ökobaudat. I de resterende lande benyttes nationale databaser.

I forhold til sanktioner, hvis en bygning ikke overholder den fastsatte grænseværdi, er tilgangen landene imellem forskellig. Det skyldes formentlig især, at det reelt kun er i Holland, der er fastsat en grænseværdi. På nuværende tidspunkt er der i Holland ikke krav om verifikation, når byggeriet står færdigt, men fra 2021 forventes ny lovgivning at træde i kraft, og herefter vil bygninger, der ikke efterlever kravene blive sanktioneret med bøder. I Norge kan manglende overholdelse resultere i økonomiske sanktioner, og det samme er forventningen i Sverige, når den planlagte lovgivning vedtages. I Finland og Frankrig forventes der også indført sanktioner, men det er endnu ikke afklaret i hvilken form. I Danmark vil kravet om udførelse af LCA følge byggelovens nuværende regler om lovliggørelse og sanktioner på samme vis, som de øvrige krav i bygningsrelementet. I Storbritannien benytter man kun referenceværdier, og derfor er der ikke indført sanktioner. Heller ikke BNB-systemet i Tyskland benytter sanktioner.



8. Klimavenligt byggeri – opsamling af ny viden

8.1. Introduktion

Ønsket om et mere bæredygtigt og klimavenligt byggeri har de seneste år føret til en udvikling, som har været stærkt fokuseret på at nedbringe emissioner, energiforbrug og materialeforbrug.

I moderne bygninger er det nu anerkendt, at den mest kritiske miljøpåvirkning i bygningens livscyklus kommer fra det energiforbrug, der er forbundet med produktion af byggematerialer, frem for fra bygningens energiforbrug i driftsfasen (Röck, Balouktsi, et al., 2020). Derfor er der stigende fokus på dels materialevalg, men også på forskning indenfor nye byggematerialer, udvikling og optimering af deres egenskaber, fx reduceret materialeforbrug, forlænget levetid, bedre isoleringsforhold, bedre brandmodstand, bedre muligheder for genbrug og genanvendelse, bl.a. vha. design for disassembly.

Derudover arbejdes det på at minimere bygningers miljøbelastning på andre måder, fx ved den måde, bygninger er opført på: nye konstruktion- og bygningsdesignløsninger, fx præfabrikerede bygninger, fleksible modulbaserede løsninger, mm.

Desuden er der generelt fokus på cirkulær økonomi, som gør, at der bliver udviklet løsninger for at kunne anvende forskellige affalds- og ressourcestrømmer i produktion af byggematerialer, eller systemløsninger der muliggøre genbrug og genanvendelse af byggevarer/-materialer på stor skala.

8.2. Metode

De tre nævnte tiltag, nemlig 1) optimerede byggematerialer, 2) optimerede byggemetoder og 3) cirkulær økonomi, udgør udgangspunktet for nuværende delopgave, som løses ved en kombination af interviews og desk research.

For at sikre, at den nyeste viden tages med, er desk research delen af undersøgelsen blevet struktureret med udgangspunkt i en af de største konferencer indenfor bæredygtigt byggeri, BEYOND 2020 Conference – World Sustainable Built Environment, som blev afholdt som online konference d. 2-4 november 2020 (del af den velkendte SBE konferencenserien). Desk research delen har haft fokus på alle tre aspekter.

Interviewsene har derimod fokuseret på byggematerialer samt cirkulær økonomi: udviklingen indenfor de tre mest anvendte byggematerialer (beton, murværk og træ) undersøges bl.a. gennem interviews med eksperter fra Teknologisk Institut: Beton (T. J. Andersen, 2020), Murværk (Køster, 2020) og Træ (Fynholm, 2020). Udviklingen indenfor cirkulær økonomi i byggeriet, og hvilken rolle klimavenligt byggeri spiller for den dagsorden undersøges bl.a. gennem et interview med centerleder fra Videnscenter for Cirkulær Økonomi i Byggeriet (VCØB) (Oberender, 2020).



I interviewsene afdækkes udviklingen i Danmark, samt hvordan denne adskiller sig fra udviklingen i andre lande, og hvilke overordnede tendenser der opleves i Europa. Interviewsene har omhandlet igangværende projekter, hvori der ligger et fokus på klimavenligt byggeri, eller på reduktionen af klimabelastninger som fx CO₂-udledning. Der afdækkes desuden nyligt afsluttede projekter, som har haft et lignende fokus, for at undersøge den nyeste udvikling inden for de respektive områder. Som en del af interviewsene er der spurgt ind til de langsigtede potentialer indenfor den klimavenlige udvikling, samt hvilke "stopklodser" de respektive emner møder, og hvilken rolle EPD'er spiller.

8.3. Optimerede byggematerialer

Dagsordenen om klimavenligt byggeri og bæredygtighed i byggebranchen præger udviklingen af de materialer, man bygger med. De målsætninger, der omhandler klimavenligt byggeri, bæredygtighed og CO₂-udledning, sætter pres på materialeudviklingen. De byggematerialer, der bygges med, er nødsaget til at følge udviklingen, da de er en kritisk del af indfrielsen af klimamålene.

Producenter af byggematerialer har altid haft et fokus på at optimere og forbedre deres produkter, og langt hen ad vejen kan der være overlap mellem ambitionerne, hvor en interesse i at nedbringe omkostninger, fx forbundet med energiforbrug i produktion, kan medføre en forbedring af miljøpåvirkningen.

8.3.1. Beton

Den danske betonbranche er meget aktivt involveret i tiltag og projekter, som har med CO₂-reduktion at gøre, som følge af, at beton er "det udsældte materiale", grundet dets potentielt høje klimabelastning. Beton har i sammenligning med fx træ et højt CO₂-bidrag i fremstillingsfasen, men har samtidigt mulighed for høje levetider, hvorved denne forskel kan udjævnes. Derudover har beton mange anvendelsesområder, fx i fundamenter o.l., som ikke lader sig erstatte af andre materialer.

Et eksempel på et af disse initiativer er "Bæredygtig Beton" (Dansk Beton, 2019), som er en samling af 35 konkrete forslag til, hvordan CO₂-udledningen i byggerier og anlægsprojekter kan reduceres. Initiativet, som er udviklet af Dansk Beton med støtte fra InnoBYG (byggebranchens innovationsnetværk for bæredygtigt byggeri) sammen med en lang række partnere, lægger op til en halvering af CO₂ udledningen fra betonbyggeri det næste årti.

Mange af de initiativer, der er i gang, fokuserer på at udvikle beton med et lavere CO₂-aftryk. Der udvikles på optimering af de kritiske råvarer, som bidrager mest til betonens miljøbelastning, særligt cement. Der forskes i nye indbygningsmetoder, som tillader et mere effektivt råvareforbrug (fx 3D print af beton, jf. nedenfor), samt åbner op for nye konstruktionstyper (fx akustik-regulerende hulrum i huldæk, jf. afsnit 8.4). Desuden er der interesse i genanvendelse og genbrug af beton ved endt levetid, både i form af knust beton anvendt som tilslag i ny beton, og i direkte genbrugspotentialer af betonelementer. Genbruget af eksisterende betonelementer – også omtalt som Design for Disassembly – indeholder sandsynligvis det største potentiale for CO₂-besparelser, da det kan erstatte hele produktionen af nye elementer.



Igangværende projekter indenfor betonområdet, som har klimavenligt byggeri og/eller reduktion af emissioner som fokuspunkt, har for en stor del med genanvendelse at gøre. Et eksempel på dette er RCA-projektet (Teknologisk Institut, 2017), som har til formål at skabe det første danske eksempel på cirkulær betonproduktion i industriel skala. Projektet dækker udviklingen af tilslagsmaterialer fra betonaffald i en certificerbar kvalitet, udvikling af optimerede betonrecepter med disse genanvendte tilslag, udvikling af prænormative standarder baseret på projektet, samt udviklingen af grundlag for evaluering af bæredygtigheden af beton med genanvendte tilslag. Genanvendelsen af tilslag bestræber sig ikke kun på at nedbringe CO₂-udledninger, men også på at reducere brugen af jomfruelige tilslagsmaterialer, som fremover kan være ressourceknappe, en situation som kan ses i fx Holland. Et stort fokus i RCA-projektet ligger på genanvendelsespotentialer af beton, som ved endt levetid kan knuses og indgå i ny beton. Fx undersøges hvordan knust beton bedst muligt registreres, efter knusning og sortering, således at fraktionerne er korrekt inddelt, og nemmere kan genanvendes. Herved kan knust beton fra aggressiv miljøklasse indgå i ny beton af samme miljøklasse, da der eksisterer krav herom. Således går mindre knust beton af høj kvalitet "til spilde", ved at genanvende den til ny beton i en lavere miljøklasse.

Et andet projekt undersøger aktiveringen af uhydratiserede cementkorn i nedknust beton, når denne genanvendes som tilslag i ny beton. Det undersøges, om der gennem denne procedure kræves mere eller mindre cement i den nye beton, som følge af disse cementkorn. Der arbejdes med lempelse af eksisterende standarder, som DS/EN 206 (Dansk Standard, 2020) hvor et nyt annekst tilføjes fra januar 2021, for at imødekomme de innovative anvendelser af de nedknuste tilslag, for herved at fremme genanvendelse. De nye annekst skal bl.a. gøre det muligt at anvende op til 100% nedknust procestilslag. Herudover arbejdes hen imod en lempelse, der tillader brugen af genanvendte tilslag i produktionen af beton til aggressiv miljøklasse.

Ved opgørelse af CO₂-udledning for betonprodukter, er det uden tvivl cement, der har den største indvirkning, hvilket gør cement til den betonråvare, hvor udviklingen er vigtigst. Der er mange projekter, der er relateret til cement, både i forhold til hvor meget cement, man anvender, hvilken type cement man kan anvende, samt forskning i nye cementtyper fra råvareproducenterne.

En væsentlig driver i forhold til reduktion eller anden anvendelse af cement i beton har været Grøn Beton projektet (I og II), hvori der er projektstart i Grøn Beton III nu. Dette forskningsprojekt har til formål at understøtte inklusionen af CO₂-reducerede cementer i markedet, herunder Aalborg Portlands "FUTURE CEM" (Aalborg Portland, 2020) som tilstræber en reduktion af klinker i cement på over 40 %, og herved en reduktion i CO₂-udledning på 30 % ved fremstillingen af cementen. Projektet skal bredere undersøge om cementklinker kan erstattes med kalcineret ler, herunder undersøge flere forskellige typer ler, med fokus på ler med stor forekomst, for at undgå at skabe et ressourceproblem. Projektet forventes at have en stor positiv indvirkning på reduktionen af betons klimabelastning. Danmark har "førertrøjen" på i denne forskning, og andre lande følger udviklingen (T. J. Andersen, 2020).

I Sverige forskes det ligeledes i erstatning af cement vha. aktivering af slagge fra affaldsforbrændingsanlæg (Zhang et al., 2020).



3D-print af beton er ikke direkte rettet mod reduktion af CO₂-udledninger, men vil indirekte have potentiale til at reducere betons klimabelastning gennem udformningen af betonkonstruktionerne (Teknologisk Institut, 2020). 3D-print af beton er en relativt ny teknologi i forsøgsstadiet, og derfor ikke i bredere produktion endnu, der er dog printet ca. 30 huse på nuværende tidspunkt. 3D-print kan levere en højere grad af hule konstruktioner, da der ved printningen ikke udlægges unødvendig beton i så høj grad, som der normalt gøres, hvorved der kan spares større mængder materialer. Der arbejdes derfor på at skabe optimerede konstruktioner, med optimeret materialeforbrug, fx ved topologioptimering, som lader sig realisere via 3D-printet beton. Proceduren medfører et reduceret behov for ekstra konstruktioner, som fx midlertidige forskallinger, og en markant reduktion af materialeforbrug. Udfordringerne med 3D-print på nuværende stadie er, at teknologien kræver en betonblanding med mere cement, der som den mest belastende råvare medfører højere CO₂-udledning. Det er dog lykkedes, ved udviklingsprojektet N3XTCON, at fremstille printbare mix-designs med samme CO₂-aftryk som dagens optimerede beton. Processerne omkring 3D-printningen af beton er godt på vej, og udfordringen er primært udviklingen af bedre armeringsløsninger, som skal bruges i 3D-printede konstruktioner. Fokusområdet for 3D-print af beton kommer ikke til at være standardiserede elementer, men snarere udviklingen af unikke elementer, hvor man vha. mass customization kan tilpasse ethvert element til den unikke brugssituation.

I de projekter indenfor beton, som er afsluttet for nylig, har der været et generelt fokus på holdbarheden af betonen, hvor der ses et stort potentiale for forbedring. I en livscyklusbetragtning er levetiden meget afgørende, hvorfor en forøgelse af levetiden er en vigtig parameter i forhold til beton.

Flere projekter har haft fokus på rust af armering i beton, som kan medføre fejl i betonen, hvis den ikke modvirkes. Hertil udvikles sensorer, som har til formål at identificere rustent armering i beton, således at denne hurtigt kan findes og repareres, inden betonens kvalitet er reduceret til et kritisk punkt. Desuden udvikles nye modeller til beregning af rustningen af armering ved klorider og/eller karbonatisering.

Et andet projekt omhandlede "selvhelende" beton, som også havde som formål at beskytte armeringen i beton. Projektet tog udgangspunkt i en ny metode, som anvender bakterier i betonen. Bakterierne aktiveres ved mikro-revner i betonen, hvor ilt, der trænger ind sammen med bakterierne, skaber kalk, og herved udfylder hullerne. Virkningen er endnu ikke helt dokumentet, men der forskes videre i processen (Vijay et al., 2017).

Det afsluttede forskningsprojekt Grøn Beton II havde til formål at skabe grundlaget for en grøn omstilling af cement- og betonproduktion i Danmark. Fokus i projektet var på at reducere CO₂-udledningen fra cementproduktion samt afhjælpe konsekvenserne af den kritiske mangel på flyveaske til betonproduktion, som skyldes udfasningen af kulkræftværker i Danmark inden 2030. Desuden skulle projektet skabe vækst i danske videns- og produktionsarbejdspladser, med mulighed for eksport af dansk viden og løsninger indenfor cement-, beton- og produktionsteknologi på et internationalt marked (Grøn Beton, 2019).



Langsigtede potentialer

3D-print vurderes at have store potentialer på den lange bane, når de nuværende udfordringer overvindes, og 3D-print af beton tilpasses det bredere marked. Mange af de langsigtede potentialer omhandler digitalisering, herunder "digital twins", hvor der for det udførte byggeri eksisterer en digital tvilling, hvori projektering og vedligehold beregnes, og der skabes et kortere link fra beregninger og data til udførelse. Herunder ligger et fokus på optimering af ressourcer, primært ifm. mængden af brugte materialer.

Trådløse sensorer indbygget i betonen, koblet med en digital tvilling, vil løbende kunne indsamle alle de input, som på nuværende tidspunkt indsamles ved en mere tidskrævende fremgangsmåde. Her vil drift og vedligehold af byggeriet kunne strømlines, og problemer opdages hurtigere og medføre mere holdbart byggeri. Disse intelligente systemer kan imødekomme Artificial Intelligence (AI) og deep learning i fremtiden, hvorved al den eksisterende viden samles i én pulje, og herved beskytte og passe på byggeriet i højere grad, end det er muligt i dag. Sådanne intelligente systemer vil kunne identificere koblinger i data, som endnu ikke er opdaget, eller måske normalt bliver overset.

Carbon capture and storage er en teknologi, hvorved CO₂ opfanges og lagres, således at CO₂-emissionen forbundet med produktion af cement kan elimineres helt. Denne teknologi findes, men er stadig meget ny og prismæssigt omfattende, men kan i fremtiden vise sig at være relevant til råvareproduktioner med høj klimabelastning, som fx cement.

Udfordringer for betonbranchen

Der er et behov for regulering og krav knyttet til klimavenligt byggeri, hvis de betonproducerende virksomheder skal have et incitament og en økonomisk gevinst ud af at omlægge deres produktion i en mere klimavenlig retning. De miljømæssige tiltag, som også er økonomisk rentable, er svære at identificere og sandsynligvis er sådanne tiltag allerede taget i brug. På nuværende tidspunkt er der kun begrænset overlap mellem miljømæssige og økonomiske interesser.

Betonbranchen har dog, via deres særlige fokus på bæredygtighed, taget sagen i egen hånd fremfor at afvente politisk forandring. Produktion og salg af den grønneste og mest klimavenlige beton er allerede nu en salgspareparameter, og i fremtiden skal CO₂-udledningen af betonen reduceres, hvis denne skal spille en betydelig rolle i fremtidens byggerier.

EPD'er

En måde at dokumentere udledningen af CO₂ forbundet med et produkts levetid er via EPD'er. Brancheorganisationen Dansk Beton har udviklet 14 branche EPD'er, som har til formål at dække betonbranchen bredt ind. Hertil udvikles et værktøj til generering af EPD'er, som skal gøre det muligt for den enkelte virksomhed at udarbejde deres egne EPD'er.



8.3.2. Tegl (mursten og tagsten)

Fremstilling af mursten er forbundet med et stort energiforbrug og dermed en høj CO₂-udledning. Det skyldes det store energiforbrug knyttet til brænding af murstenene, som er en uundgåelig proces ved fremstillingen, og en af de mest kritiske parametre i forbindelse med klimabelastningen. Teglbranchen har fokus på denne problemstilling og har derfor flere projekter i pipeline, som har til formål at reducere CO₂-udledningen.

En af metoderne til at nedbringe energiforbruget til fremstilling af mursten er ved at optimere processerne mest muligt, og til dels også i investeringer i alternative energikilder, som fx biogas i stedet for naturgas. Udfordringen er dog, at der ikke er tilstrækkelige mængder biogas til at imødekomme forbruget til murværksproduktion (Klimapartnerskabet for energiintensiv industri, 2020; Køster, 2020). Det er derfor på nuværende tidspunkt ikke et brugbart alternativ i stor skala, hertil kræves en opgradering af infrastrukturen, således at der er tilstrækkelige kilder for grøn energi, og forbruget kan omstilles.

En alternativ procedure til brænding af murstenene inkluderer brugen af mikrobølgeteknologi, hvorved en del af energiforbruget kan omlægges til vedvarende energi. Mikrobølgeteknologien er endnu ikke implementeret i den danske teglbranche, men der er forskningsprojekter i gang flere steder i Europa (Cerame-Unie, 2020), dog er den på nuværende tidspunkt en dyr løsning.

Derudover er der en interesse i at nedbringe det totale forbrug af råvarer, således at der udvikles nye metoder, hvor mursten kan yde den samme funktion med lavere masse. Et eksempel på dette er murværk, hvor der til sættes savsmuld til leret, som ved de høje forbrændingstemperaturer brændes væk, hvilket resulterer i en lettere sten. Denne proces har været i brug i flere år. Der produceres derudover mursten i 80mm, modsat de traditionelle 108mm, som muliggør en smallere konstruktion, der muligvis kan erstatte en mere omfattende konstruktion, og skabe mere diversitet i anvendelsesscenarier (Køster, 2020). Der ses også et potentiale i at iblande affaldsmaterialer i nye mursten, for at nedbringe forbruget af virgine materialer i fremstillingen. Da murværk brændes ved temperaturer > 1000 °C, kan de høje temperaturer gøre det muligt at destruere de potentielle problematiske stoffer, som måtte være i affaldet. Dette ville betyde, at man i murværket kunne inkludere affaldsfraktioner, som ellers skulle håndteres på anden vis.

Forlængelse af levetid er også en måde, hvorpå klimabelastningen ved materialeproduktion kan reduceres, da man derved fordeler belastningen over flere år. For teglbranchen ligger fokus dog ikke på forlængelse af levetiden af murstenene, da disse i forvejen har en meget lang levetid. Murværk og tegl har potentielt set en levetid på flere hundrede år, hvilket med længder overgår alle betragtningsperioder i brug i dag i livscyklusvurderinger, især dem, der anvendes til byggeri. Fra andre aktørers side arbejdes med dokumentation og kvalificering af gamle mursten, således at genbrug af mursten fremmes, og murstenen herved kan anvendes i hele deres lange levetid. Som et af de første genbrugte byggematerialer, er gamle mursten blevet CE-mærket i samarbejde med ETA-Danmark (Gamle Mursten, 2018). Det er blevet muligt ved at udforme en EAD (European Assessment Document) der ligger til grund for ETA'en (ETA-Danmark, 2020). Dette blev udført gennem et MUDP-projekt (Miljøteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram). Det er primært Danmark, der genbruger gamle mursten



i industriel skala. Andre lande skuer til udviklingen i Danmark, mens Belgien og Holland også arbejder med udviklingen af lignende genbrugsordninger.

EPD'er

Producenterne af murværk har valgt at udforme individuelle EPD'er (i modsætning til branche EPD'er). Interessen for EPD'er kommer delvist som reaktion på kundernes henvendelser, som stiller krav om EPD'er, kombineret med de tiltag der er udformet i diverse certificeringsordninger for bygninger. Disse certificeringer kan i nogle tilfælde give pointstraf, hvis der anvendes gennemsnits EPD'er (branche EPD'er) fremfor individuelle.

EPD'erne ses som en deklARATION, som producenterne vurderer de er nødt til at have i højere grad end til produktoptimering, da de kritiske punkter for optimering allerede i et vist omfang er kendt.

8.3.3. Træ

Reduktion i CO₂-udledninger er et fokuspunkt hvad angår træ som byggemateriale, da det er en afgørende parameter, og en konkurrencefordel sammenlignet med andre materialer. I Norge arbejdes det fx på at mindske CO₂ udledning fra krydslamineret træ (cross laminated timber, CLT), ved at anvende vedvarende energi samt vha. carbon capture and storage, som muliggør en samlet negativ miljøpåvirkning over hele CLT's livscyklus (Tellnes et al., 2020).

Derudover har det igennem de seneste 10 år været meget udvikling i forhold til anvendelse af træ som byggemateriale, især med fokus på at bygge høje konstruktioner i træ. Der udvikles træbaserede produkter til den bærende konstruktion, som skal gøre det muligt at erstatte de mere klimatunge materialer som fx beton og stål med træ. Trækonstruktioner har et stort potentiale, idet træprodukter kan findes i mange variationer, og der er mange muligheder for at bruge dem. Der skal udvikles og forskes i robuste løsninger, så risici reduceres for den enkelte bygherre, når der bygges med træ. På nuværende tidspunkt tillægges der risikotillæg, fra entreprenører e.l., da der mangler erfaringer med at bygge med træ, og der derfor kan forekomme ekstra omkostninger ved konstruktionen. Disse omkostninger kan skyldes usikkerheder vedrørende parametre, der ikke altid er de samme for trækonstruktioner, fx brand- og fugtrisici. Udfordringen er at opsamle erfaringer med konstruktioner af træ, der eliminerer disse risici, etablerer de løsninger, man ved, virker, samt fjerner behovet for risikotillæg.

Build-in-wood ([H2020, 2019](#)) er et eksempel på et stort, internationalt Horizon 2020 projekt, som har kørt i 12 måneder, og løber i yderligere 3 år. Projektet fokuserer på etagebyggeri udformet i træ, hvor træ udgør den bærende konstruktion. Projektet har fem fokuspunkter: at gøre træ til et naturligt valg til udformningen af fleretagesbyggeri, at reducere emissioner af drivhusgasser i den europæiske byggesektor, at etablere en innovativ og bæredygtig europæisk værdikæde for fleretagesbyggeri udført i træ, at forbedre forbindelserne mellem land- og bydistrikter med henblik på at bidrage til bæredygtig urbanisering, og at forbedre produktiviteten af byggesektoren.



Projektet fokuserer på bygninger i højderne 4-10 etager, og på hele Europa, med 21 partnere fordelt på 11 forskellige europæiske lande, plus en partner fra Canada. Videreudviklingen af træprodukter til den bærende konstruktion udfordres af de lovmæssige krav til dokumentation af byggeriet: her er kravene ekstra svære at opnå, når der anvendes trækonstruktioner. Dette ændrer sig dog nu, da der arbejdes meget med udvikling af de lovmæssige krav, således at bærende konstruktioner af træ i højere grad kan være konkurrencedygtige. De akustiske egenskaber af træet udvikles der også på, da dette har været en kritisk parameter for trækonstruktioner, som her historisk har stået svagere end andre materialer.

Derudover arbejdes med at fremme træ som isoleringsmateriale, fx produktion af træfiberisolering, hvor sekundært træ kan anvendes til isoleringsmateriale fremfor at blive bearbejdet til spånplader.

Genbrug og genanvendelse af træ er tværtimod ikke et fokuspunkt i branchen, da de ikke nødvendigvis er interessante i forhold til et CO₂-perspektiv. Det skyldes, at forskellen på at oparbejde træaffald og bruge nyt træ ikke er så stor. Hertil kommer, at meget af det træ der anvendes i Danmark, ikke kommer fra danske skove, men i stedet leveres fra udlandet, hvorved reduktionen i CO₂ som følge af undgået produktion af træ ikke foregår i Danmark, i modsætning til udledningen forbundet med fx genanvendelse.

EPD'er

Den danske træbranche har valgt at gå sammen og udarbejde et sæt branche EPD'er, der har til formål at dække branchen bredt ind, og som skal kunne indgå i diverse former for bygnings-LCA'er. Dette har man valgt grundet den danske træbranches størrelse, hvor individuelle EPD'er for den enkelte virksomhed ikke er den bedste løsning. Uden for landets grænser, hvor træbrancherne er større, ses det at der er mange produkt-specifikke EPD'er, grundet en større industri skala. EPD Danmark har dog nyligt fået produktspecifikke EPD'er på bl.a. trægulve og træbeklædninger.

EPD'erne er udformet som respons på en efterspørgsel fra byggebranchen, hvor klimadagsordenen fylder mere og mere, og EPD'er er materialeproducentens svarmulighed til sådanne krav.

8.4. Optimerede byggemetoder

Som følge af ønsker om bæredygtighed, udvikles der nye metoder til at bygge, designe bygninger, eller nedrive på. I det følgende gennemgås de nyeste og mest relevante tendenser.

De første eksempler på tiltag vedrører beton, som et af de mest anvendte byggematerialer. Her arbejdes der meget med nye anvendelser for beton samt med multifunktionelle materialer, hvor elementer i byggeriet kan udgøre nye funktioner, som førhen ikke var fuldt udnyttet. Fx arbejdes der med hulrummene i huldæk, som gør det muligt at regulere akustikken i dæk, og herved reducere behovet for nedsænkede lofter. I disse tilfælde kan byggerier udføres med lavere etager, hvorved materialeforbruget nedbringes, og den overordnede miljøprofil direkte vil forbedres (T. J. Andersen, 2020). Et andet tiltag omfatter konceptet af beton som et "batteri", ved at



kigge på betonens termiske masse. Her kan man modvirke bygningens behov for køling og opvarmning, ved at lagre varme/kulde i betonen, som herefter afgives til indeklimaet (T. J. Andersen, 2020).

Vedr. træ, arbejdes det, som nævnt før, på at fremme brug af træ i høje byggerier. Derudover er der i Sverige ongoing forskning med fokus på træ og "design for adaptation", hvis formål er at forlænge konstruktionens levetid udover 50 år gennem en fleksibel bygning, som løbende adapteres til nye behov og funktioner (Jockwer et al., 2020). Udgangspunktet er, at det er svært at opnå genbrug og genanvendelse af træ som så (bl.a. fordi træ er et relativt billigt materiale med en negativ CO₂-belastning (hvis fokus udelukkende er på livscyklusmodulerne A1-A3), og der er derfor ikke noget økonomisk/miljømæssigt incitament til at genbruge det; i stedet bliver træ tit downcyklet eller forbrændt). Derfor forslås det en ny tilgang, hvor bygningen ikke rives ned, og cirkulariteten opnås ved at forlænge konstruktionens levetid ved, at strukturen kan tilpasses til forskellige behov og funktioner over tid. Denne tilgang går ud over den konventionelle metode til reparation og renovering, hvor kun de ikke-bærende komponenter såsom skillevægge eller facadeelementer renoveres.

Præfabrikeret byggeri er også en af de metoder, som kan spille en rolle ift. bæredygtighed.

Fabriksproduktionen betyder, at elementerne kan produceres billigt, hurtigt og systematisk. Effektiviseringen af produktionen giver mindre materialespild, mindre materialeforbrug samt besparelser på energiforbrug (Cao et al., 2015; Kamali & Hewage, 2017; Quale et al., 2012; Wang et al., 2020). Ift. kvalitet kan der også være fordele ved, at byggematerialer og især konstruktioner samles på en fabrik: byggeskader forårsaget af fugt kan fx undgås, da byggevarerne ikke skal ligge på en byggeplads, hvor de kan optage fugt. Dette kan også have en betydning ift. den miljømæssige performance, da bygninger kan holde længere, når de er korrekt opført. Som yderligere udvikling på området arbejdes det bl.a. på at udvikle innovative byggemoduler med høj strukturel, hygrottermisk, energi, akustisk, brand og miljømæssig ydeevne til den mindst mulige tid og pris (Tsikaloudaki et al., 2020).

Andre tiltag omfatter fx udviklingen af modul-baserede Design-for Disassembly (DfD) bærende konstruktioner, som nemt og hurtigt kan demonteres og direkte genbruges i nyt byggeri (Muresan et al., 2020). Nuværende bærende konstruktioner har sjældent en gavnlig End-of-Life (Muresan et al., 2020), derfor vil en modul-baseret løsning for bærende konstruktioner særligt bidrage til et mere klimavenligt byggeri. Modul-baseret byggeri kan dog også ses som en cirkulær løsning, som muliggør, at bygningsdele demonteres og genbruges (Mackebach et al., 2020). I Tyskland arbejdes der på en ramme for cirkulær økonomi i det modulære byggeri, mhp. at udvikle en køreplan for cirkulære forretningsmodeller (Mackebach et al., 2020).

I Sverige arbejdes det ydermere med et nyt design-koncept, der hedder: "Form follows availability" (Josefsson & Thuvander, 2020). Den nye, cirkulære designstrategi gør det muligt for arkitekter at genbruge bygnings- og affaldsmaterialer ved at designe nyt byggeri ud fra de lokalt tilgængelige materialer. Det er udviklet en systemtilgang til kortlægning af eksisterende, relevante materialer, og det tages højde for bygningens levetid, specificerede materialer og modstandsdygtighed over for skiftende funktioner og klimatiske forhold. Der er etableret en metode til at finde og evaluere materialer, der er egnede til genbrug. Baseret på dette er der udviklet et for-



slag til bygningskonstruktion, der anvender cirkulært design under hensyntagen til lokalt tilgængelige materialer. Resultaterne viser, at det er svært at designe en bygning udelukkende med genbrugte materialer. Dette kræver en strukturel ændring i den måde, vi bygger og designer vores bygninger på, inkl. en ny rolle for arkitekter (samt en opdateret uddannelse), forbedret materialetest og dokumentation, og understøttende logistik. Resultaterne viser dog også, at det er muligt at generere realistiske designstrategier gennem "Form follows availability" konceptet samt at materialegenbrug er både muligt og ønskeligt. (Josefsson & Thuvander, 2020)

8.5. Cirkulær økonomi

Klimavenligt byggeri er ikke altid en parameter, der er i direkte fokus i forbindelse med cirkulær økonomi, men cirkulære løsninger vil ofte have et potentiale til at reducere udledningen af CO₂. Det skyldes, at det ofte vil være mindre energikrævende at bygge af genanvendte eller genbrugte materialer sammenlignet med virgine materialer.

Der findes dog ikke en entydig definition på cirkulær design: cirkulære bygningskomponenter kan designes på mange mulige alternative måder (fx i) ved brug af biobaserede, biologisk nedbrydelige materialer, eller ii) ved brug af genbrugte materialer, eller iii) optimerede levetider og materialer, eller iv) modulær design hvor komponenter (med varierende levetid) genanvendes af producenten), og der mangler viden om, hvilket er det bedste alternativ - set ud fra et miljøperspektiv. Problemstillingen eksemplificeres i forskning fra (van Stijn et al., 2020), hvor fire forskellige designvarianter udvikles for en cirkulær bygningskomponent. Arbejdet udmundes i udviklingen af designretningslinjer, som kan støtte byggeindustrien i at udvikle cirkulære bygningskomponenter og dermed understøtte cirkulær økonomi i det byggede miljø (van Stijn et al., 2020).

Relevante projekter

I det følgende gennemgås eksempler på Danske projekter, der har fokus på cirkulær økonomi i byggeriet, dvs. projekter hvor genanvendelse og genbrug spiller en central rolle.

I Gladsaxe kommune bygges et cirkulært børnehus, hvor en gammel skole rives ned og erstattes med et børnehus, hvor materialerne fra den eksisterende skole genbruges (Gladsaxe Kommune, 2020). Børnehuset skal svanemærkes, hvorved der lægges vægt på bæredygtighed, miljø og et godt klima, i alle dele af projektet. Nedrivningen af den eksisterende skole begyndte i sommeren 2020, hvor alle materialer til genbrug magasineres på stedet. Opførelsen af det nye børnehus forventes at gå i gang foråret 2021, og det færdige børnehus forventes indflytningsklart april 2022.

Region Hovedstaden har haft udbud på nedrivningen af Rockefeller Komplekset, en del af Rigshospitalet på Blegdamsvej i København (Kingo, 2019). Nedrivningen omfattede 10 bygninger på samlet set 16.500 m². Genbrug og genanvendelse af materialer var en del af udbuddet. Nedrivningen blev udført af Kingo, som registrerede alle materialer, der vurderedes egnet til hhv. genbrug eller genanvendelse. Kingo sælger efterfølgende disse materialer selv. Ifølge Kingos hjemmeside omfattede disse materialer følgende: stengulve, cykelskure, tagsten, vinduer, tømmer, fyldningsdøre og reliefsten.



To genbrugsstationer i hhv. Lisbjerg (Aarhus Kommune, 2019) og Horsens (Horsens Kommune, 2019) skal bygges af genbrugte og genanvendte materialer, hvor tanken er at selve genbrugsstationen skal være et eksempel på, hvordan cirkulært byggeri kan udformes, og hvordan materialer, der ellers ville være affald, kan udnyttes igen.

Forskellige nordiske samarbejdsprojekter kigger på, hvilke strategier der er lagt i de forskellige lande, da det ikke altid følger samme fremgangsmåde. Nogle strategier er hængt op på en klimastrategi, hvor cirkulær økonomi ses som et led i at nå landets konkrete klimamål. Andre lande har strategier for bæredygtigt erhverv, hvor cirkulær økonomi indirekte fremmes for at understøtte dette. Visse lande har i stedet en mere målrettet strategi for cirkulær økonomi, hvor det er genbrug og genanvendelse, der er fokus på, med de andre positive indvirkninger som sekundære mål. Der er mange forskellige indgangsvinkler, og mange discipliner er påvirket.

Circlehouse Lab (BLOXHUB, 2020) er et projekt der skal levere boliger, samtidigt med at være en skalerbar demonstration af et projekt, der kan give byggebranchen ny viden om de erfaringer, man har skabt omkring cirkulær økonomi i byggeriet. Output af projektet er en række green papers, som skal dele projektets viden bredt, således at cirkulære løsninger fremmes i byggeriet.

Reskur ([Krydsrum Arkitekter, 2018](#)) er et eksempel på et projekt, hvor træ genbruges til produktion af skure, hvor der ellers ville være anvendt nye materialer. Projektet vandt Upcycle Challenge for brugen af genbrugte materialer til opbygningen af uopvarmede opbevaringsrum, carporte, cykelskure og affaldsrum, som munder ud i en reduktion af materialespild.

Gentræ (Golder et al., 2019) er et projekt, der er støttet af Realdania gennem innovationskonkurrencen Circular Construction Challenge ([Realdania, 2018](#)), som har til formål at indsamle byggepladstræ, der renses og sælges til som genbrugt træ. Projektet har til mål at genbruge 50.000 tons byggepladstræ årligt, som ellers var endt som brændsel.

Upcycle studios (Lendager Group, 2018) har haft fokus på genbrug og genanvendelse af byggeaffald. I Upcycle studios kommer 75 % af vinduerne fra eksisterende bygninger i Jylland, 1400 tons beton er anvendt fra affaldsbeton fra metrobyggeriet, og træet i gulve, vægge og facader er produceret af fraklip.

Ressourcerækkerne (Housing Denmark, 2019) har også haft stort fokus på anvendelse af materialer, som ellers ville være endt som byggeaffald. Eksempler på dette er materialer fra nedrivninger, som indgår som nye materialer. Der anvendes træ fra metrobyggeriet til beklædninger og belægninger, mursten fra nedrivninger genbruges i facaden, et betonelement fra en fabrik genanvendes som gangbro. Der bygges taghuse udført af 100 % genanvendte eller genbrugte materialer.



RGS Nordic har sammen med DK Beton kørt et projekt om certificering af genbrugsbeton, der skal levere en teknisk løsning, hvor genbrugsbeton kan erstatte jomfruelige materialer i produktionen af ny beton (RGS Nordic, 2018). Projektet har til formål at understøtte storskalaproduktion af genbrugsbeton, hvorved denne får en ny funktion i betonproduktion, fremfor at blive anvendt i ubundne bærelag til vej- eller anlægsprojekter.

Circularity City er et projekt, der skal booste både udbud og efterspørgsel af cirkulære løsninger i byggebranchen – i Region Midtjylland og senere resten af landet (CLEAN, 2017). Projektet dækker et partnernetværk af cirkulære kommuner, hvor der arbejdes med implementering af cirkulære løsninger i byggerier og byudvikling, gennem udbudsprocesser og udvidelse af værdikæder. Som output af projektet skal der oprettes show cases, der kan fremme eksporten af cirkulære løsninger til verdens byer.

Langsigtede potentialer for cirkulær økonomi i byggeriet

Klimapartnerskaber om CO₂, med klart og tydeligt fokus på reduktionen af CO₂-udledninger, kan betyde store potentialer for cirkulære løsninger. Et skift i fremgangsmåde fra nedrivning og bortskaffelse til i stedet at transformere bygninger via renoveringer og ombygninger, kan have stor gavn af cirkulære fremgangsmåder.

Visionen er, at cirkulær økonomi skal bero på et effektivt marked, hvor logistik og viden om cirkulære løsninger er på plads, og der er fastlagt langsigtede strategiske løsninger for materialerne. Herved kan cirkulær økonomi blive en del af *alle* projekter, ved at genbrugte og genanvendte materialer er til rådighed, i tilstrækkelige mængder og kvalitet, for hermed at reducere behovet for jomfruelige byggematerialer.

Lovgivningsmæssige krav om udførelse af LCA'er for bygninger, evt. med eventuelle grænseværdier for CO₂, vil kunne bidrage til udviklingen af cirkulære løsninger inden for byggeriet. Udfordringen er at knække nødden af krav og marked, da det er udfordrende at opbygge et marked, hvis der ikke findes krav hertil, og samtidigt er det vanskeligt at opstille krav til et marked, der endnu ikke er klart.

Udfordringer for cirkulær økonomi i byggeriet

Den største udfordring forbundet med cirkulær økonomi i byggeriet er etablering af et effektivt marked, hvilket enten forsinker eller ligefrem stopper den cirkulære udvikling. Det er ofte ikke økonomisk rentabelt at bruge genanvendte eller genbrugte materialer, da prisen på nye materialer er så forholdsvis lav.

En særlig problemstilling er forbundet med logistik, særligt i forhold til at matche materialer fra en nedrivning med behovet for materialer i et nyt projekt. Der vil være behov for opmagasinering af materialerne, og nye aktører der skal tage ansvar for materialerne. Tidsaspektet er på nuværende tidspunkt en barriere, da det er svært at matche tidspunktet for en nedrivning med nye projekter, hvor materialerne skal indgå.

En anden udfordring er de nye aktører, der kan være behov for i en cirkulær økonomi: har man alle de aktører, som er påkrævet for at arbejde med affaldsmaterialerne, har man de nødvendige kompetencer, og de nødvendige oparbejdningsvirksomheder? Skal det være nye producenter, som håndterer materialerne, og hvis der endnu ikke er udbud af dette materiale, hvem tør så oprette en ny virksomhed?



Der er også en problematik omkring dokumentation, og de høje krav hertil ved nyt byggeri, fx dokumentation af de brandtekniske egenskaber, bæreevne etc. Det kan være svært for især genbrugte materialer at leve op til kravet om dokumentation. Hvor ca. 80% af alle byggevarer er omfattet af en harmoniseret standard og dermed kravet om CE-mærkning, kan kravene i de harmoniserede standarder imidlertid ikke direkte anvendes for de fleste genbrugsvarer. Dette kan løses med dokumentationsløsninger som ETA (European Technical Assessment), som kan oprettes for et konkret materiale. Da det er en ret omkostningstung og lang proces at få udarbejdet en ETA, er det kun relevant for materialer, der forekommer i store volumener og med store produktionsapparater. Det er derimod ikke en holdbar løsning for mindre mængder, eller mindre produktionsapparater, hvor sådanne tests ikke er økonomisk rentable.

Mange af udfordringerne er kulturspørgsmål, og man kan formode, at når den cirkulære tankegang trænger ind i kulturen, og rammer bevidsthed og vilje, vil krav og efterspørgsel følge med, hvorefter det effektive marked kan opbygges. Det er dog nødvendigt, at nogen tilbyder materialerne, og bringer dem ind på markedet, samtidigt med at der skal være modtagere klar, som kan tænke i de cirkulære baner og stille de relevante krav.

Løsningen kan være at stille krav om, at alle skal inkorporere cirkulære løsninger i byggerierne, og der opstilles konkrete krav til procentdele af fx genbrugte materialer i alle projekter. Alternativt skal cirkulær økonomi indgå som element i LCA-krav forbundet med CO₂-udledning, hvor der etableres konkrete grænseværdier, som skal overholdes, og hvor cirkulære løsninger vil være en fremgangsmåde til at overholde disse grænseværdier. Det er kun Holland, der har etableret grænseværdier for bygnings-LCA'er, og i Holland er der ikke nogen direkte krav til cirkulær økonomi.

EPD'er

Affaldssektoren har endnu ikke haft særligt meget fokus på EPD'er, og EPD'er anvendes da også særligt til deklARATIONER af nye byggematerialer. I forhold til en cirkulær økonomi har fokus særligt været på certificeringer af materialerne, da de er mere relevante end EPD'er i forhold til at kunne dokumentere materialernes egenskaber som byggematerialer.

Et eksempel på en oparbejdningsvirksomhed med en EPD er Gamle Mursten, som har en EPD for at forbedre chancen for at komme ud på markedet. EPD'er er dog mest relevant for virksomheder, der sælger specifikke varer, som er uniforme og ens hver gang, hvilket kræver et større produktionsapparat. Det er dyrt at udarbejde EPD'er, og hvis det ikke ses som hverken påkrævet eller nødvendigt gøres det ikke (Oberender, 2020).

Den nye standard for udformning af EPD'er sætter krav om inklusion af end-of-life stadier for materialer, herunder genanvendelsespotentialer ved endt levetid. Det vil muligvis skabe potentiale for et større samspil mellem cirkulær økonomi og EPD'er.



8.6. Opsamling

I dette kapitel er der blevet undersøgt ny viden, forskning og udvikling vedr. løsninger til byggeri med lav klimabelastning i Danmark samt andre EU-lande. Tre type tiltag er blevet undersøgt, nemlig optimerede byggematerialer, optimerede byggemetoder og cirkulær økonomi.

Vedr. byggematerialer er det primære fokus at optimere energi- og materialeforbrug under produktion af fx beton, træ og tegl.

Optimerede byggemetoder varierer bredt fra nye anvendelser for traditionelle materialer, brug af præfabrikerede løsninger, modul-byggeri mhp. Design for Disassembly, eller nye design-koncepter, ligesom det svenske "Form follows availability".

Hvad angår cirkulær økonomi, kan det nævnes, at der ikke findes en entydig definition af dette begreb, og "cirkulær økonomi" kan derfor tolkes på mange forskellige måder. Derfor kan en række danske projekter nævnes, når det handler om cirkulært byggeri. Eksempler på fokusområder i nogle af de undersøgte lande er, at det i Sverige arbejdes bl.a. med forskning inden for træ og Design for Adaption (hvor konstruktionens levetid forlænges vha. fleksibel design) samt med et nyt design-koncept i forhold til cirkulær økonomi; i Norge er der bl.a. fokus på at mindske CO₂-udledningen fra krydslamineret træ, mens der i Tyskland arbejdes der på modulært byggeri; i Holland er der, som i Danmark, også fokus på at fremme genbrug af gamle mursten.



9. Samfundsøkonomiske konsekvenser ved klimavenligt byggeri

Fra et globalt perspektiv står bygge- og anlægsektoren årligt for ca. 40 pct. af den samlede CO₂-udledning (IEA and UNEP, 2019). CO₂-udledning fra byggeriet stammer fra forskellige faser af bygningen livscyklus. Her forekommer 28% af udledningen fra byggedriften, som er forbundet med energiforbruget til varme, køling og lys. De sidste 11% kommer fra produktionen af byggematerialer såsom beton, tegl, stål osv. (Adams et al., 2019; IEA and UNEP, 2019). Hvis vi skal nå vores forpligtelser i Paris-aftalen og ikke mindst Regeringens målsætning om en 70 pct. CO₂ reduktion er det derfor afgørende, at bygge- og anlægssektoren bidrager til opfyldelse af målsætningen. Bygge- og anlægssektoren kan bidrage til målsætningen på flere områder, hvoraf en handler om at have fokus på klimavenligt byggeri (BygTek, 2019).

I dette afsnit præsenteres de samfundsøkonomiske konsekvenser ved at bygge klimavenligt sammenlignet med et traditionelt byggeri. Analysen er baseret på en gennemgang af den eksisterende litteratur. Gennemgangen viser, at der på nuværende tidspunkt kun findes et begrænset antal studier fra Danmark og udlandet, som undersøger klimavenligt byggeri. De eksisterende undersøgelser, der findes, har fokus på at analysere konsekvenser ved fx at genbruge mursten, teglsten o.lign. men omhandler ikke generelt klimavenligt byggeri. Således viser gennemgangen, at konkrete cases som eksplicit undersøger de samfundsøkonomiske konsekvenser ved et klimavenligt byggeri ikke eksisterer. For at øge den eksterne validitet af nærværende analyse, er der anvendt tidligere resultater for LCA- og LCC-analyser fra Danmark samt ekspertvurderinger fra TI og Rambøll. I analysen analyseres udelukkende nybyggeri, men det er forventningen, at der ligeledes er et betydeligt CO₂-reduktionspotentiale i form af renovering af den eksisterende bygningsmasse. I sidste afsnit perspektiveres resultaterne derfor til renoveringspotentialet.

Analysens resultater er opgjort pr. m², men det samlede samfundsøkonomiske potentiale er vurderet ved hjælp af en opregning til den totale årlige mængde nybyg. Analysen undersøger et års nybyggeri og dets effekt over en 50 årig periode, når man opfører nybyggeri som værende klimavenligt.

9.1. Metodisk tilgang

Samfundsøkonomiske analyser indgår som en del af beslutningsgrundlaget, når der skal træffes beslutninger om, hvorvidt et givent tiltag (fx en bro) skal gennemføres eller ej. Hovedformålet med den samfundsøkonomiske analyse er at opstille og analysere de samfundsøkonomiske fordele og ulemper ved forskellige tiltag. I nærværende analyse undersøges derved nærmere på konsekvenserne ved et mere klimavenligt byggeri sammenlignet med et normalt byggeri, hvilket er illustreret i nedenstående Figur 8³.

³ Vores analyse følger principperne i Finansministeriets "Vejledning i samfundsøkonomiske konsekvensvurderinger 2017" inklusiv de nye tiltag omkring klimaberegninger (Finansministeriet, 2020).



Figur 8: Illustration af tankegangen bag den samfundsøkonomiske analyse i nærværende projekt.

Som det fremgår af ovenstående illustration, opstilles to forskellige scenarier. Det ene er et basisscenarie, som analyserer de klimapåvirkninger samt bygge- og driftsomkostninger ved at opføre nybyggeri som værende et normalt byggeri. Det andet er et alternativscenarie, som analyserer klimapåvirkningen samt bygge- og driftsomkostninger ved at ændre praksis, så nybyggeri bliver opført som værende klimavenligt byggeri. Definitioner på et normalt byggeri og klimavenligt byggeri er beskrevet i afsnit 9.2. Slutteligt sammenholdes de to scenarier for at finde den samfundsøkonomiske omkostning eller gevinst ved at ændre praksis til at bygge mere klimavenligt i fremtiden.

Som det fremgår af Figur 8, har vi afgrænset analysen til udelukkende at medtage konsekvenserne i form af ændret klimapåvirkning og ændrede bygge- og driftsomkostninger.

9.1.1. Metodiske overvejelser for klimapåvirkning

Til at analysere den klimamæssige kvalitet af en bygning tages der udgangspunkt i de livscyklusfaser, som er i overensstemmelse med EN15978. Dette omfatter fem forskellige livscyklusfaser og 17 underliggende moduler. Klimapåvirkninger i indeværende analyse er baseret på tilgængelige data i værktøjet LCAByg version 3.2, som er udarbejdet af BUILD. Miljøvaredeklarationer (EPD'er) og de forskellige databaser, som anvendes i LCAByg indeholder på nuværende tidspunkt ikke tilstrækkelige data for samtlige moduler. Dermed er det ikke muligt, at medtage klimapåvirkningen fra samtlige 17 underliggende moduler i nærværende analyse. Dette betyder, at klimapåvirkningen i denne analyse er baseret på udvalgte moduler, som er følgende (jf. Figur 9):

	A1: Udvinning af råmaterialer til produktionen af byggematerialer A2: Transport af råmaterialer til materialeproducenterne A3: Fremstilling af byggematerialer
	B4: Udskiftning af materialer, som er baseret på materiales forventede levetid B6: Energiforbrug i driften i byggeriets levetid
	C3: Affaldsbehandling efter byggeriets levetid C4 Bortskaffelse efter byggeriets levetid

Figur 9: Moduler der medtages i analysen.

Note: A4, A5, B1, B2, B3, B5, C1 og C2 er ikke medtaget grundet datamangel på disse moduler.



Databasen i LCByg for materialer er baseret på generiske data fra den tyske database, Ökobaumat, som ikke nødvendigvis afspejler forholdene i den danske produktion af byggematerialer⁴. Der findes på nuværende tidspunkt ikke en dansk database for byggematerialer⁵, og derfor kan der være en risiko for, at den faktisk miljøpåvirkning er højere eller lavere end LCByg værktøjet vurderer (Zimmermann et al., 2020a).

Miljøpåvirkningen fra driftsforbruget (B6) er baseret på danske data, som er fastsat af COWI og TBST i 2020 (COWI, 2020). Til at beregne effekten fra driftsforbruget beregnes energisammensætningens miljøpåvirkning. Her antages, at andelen af vedvarende energikilder er stigende i energinettet for den valgte analyseperiode. I denne analyse er betragtningsperioden fastsat til at være 50 år.

Den nærværende analyse fokuserer udelukkende på miljøindikatoren "Global Warming Potential" (GWP), som i daglig tale bliver omtalt som værende klimapåvirkningen. Dette skyldtes, at klimapåvirkningen er den miljøindikator, som ligger højest på den politiske dagsorden. Der findes mange forskellige gasser som f.eks. metan (CH₄) og lattergas (N₂O), der bidrager til drivhuseffekten. GWP er en miljøindikator, som måler de forskellige gassers påvirkning på drivhuseffekten opgjort i kg CO₂-ækvivalenter, samt hvor lang tid gasserne lever i atmosfæren (Trottier et al., 2015). Det betyder dog ikke, at de øvrige miljøindikatorer er irrelevante. Ved en beslutningstagning bør de øvrige miljøindikatorer analyseres og inddrages, da disse er essentielle i forhold til at vurdere den fulde påvirkning af en bygning.

9.1.2. Metodiske overvejelser for bygge og driftsomkostninger

Bygge- og driftsomkostninger, som betegner totaløkonomien for bygningen, er opgjort med udgangspunkt i værktøjet LCCbyg udviklet BUILD. LCC-data er baseret på eksterne datakilder såsom Molio Prisdata, Landsbyggefonden, V&S Prisbøger, Statens Byggeforskningsinstitut, m.fl. (LCCbyg, 2020). Formålet med analyse af bygge og driftsomkostninger er at fastsætte omkostningsprofilen for en bygning. Bygge- og driftsomkostninger er med til at skabe et bedre beslutningsgrundlag, fordi de viser omkostningerne ud fra et langsigtet perspektiv, i forhold til hvis man udelukkende fokuserede på omkostninger forbundet med opførelsen af bygningen. For at sikre en metodisk ensartethed på tværs af opgørelsen af de miljømæssige konsekvenser (ved hjælp af LCA) og bygge- og driftsomkostninger (LCC) sættes kalkulationsperioden til 50 år, hvilket stemmer overens med den betragtningsperiode, der anvendes for livscyklusvurderinger.

Bygge- og driftsomkostninger i denne analyse er baseret på omkostninger til **anlæg, genopretning og vedligehold, forsyning og renhold**. **Anlæg** omfatter omkostninger til byggematerialerne samt opførelsen af bygningen,

⁴ Det er muligt, at man selv kan supplere EPD data på danske produkter. Dette kan være medvirkende til at mindske skævheden i resultaterne.

⁵ Der findes EPDDanmark (epd.dk), men denne indeholder kun data på et begrænset antal produkter. Mange danske producenter publicerer deres data i EPD Norge grundet en større database.



hvor **genopretning og vedligehold** er omkostninger til at udskifte og vedligeholde byggematerialer. Eksempelvis kan et vindue have en levetid på 30 år, og dermed skal man indregne omkostninger til udskiftning af et vindue, når man har en kalkulationsperiode på over 30 år.

Forsyning definerer omkostninger til driften af byggeriet (B6) i form af varme og elektricitet og varierer dermed alt afhængig af energikilde. **Renhold** er omkostninger associeret til rengøring af bygningen. Modulet renhold er kun medtaget i bygge- og driftsomkostninger for kontorbygninger. Det skyldes, det er individuelt, hvordan private værdsætter deres tid til rengøring i hjemmet, hvorfor det er vanskeligt at opgøre omkostningerne hertil.

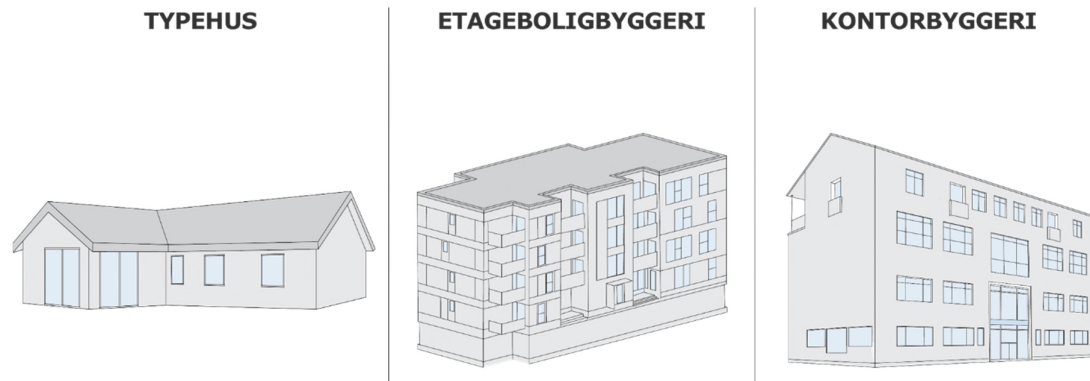
Bygge- og driftsomkostninger opgøres i nutidsværdi, som er i faste 2020-priser. Det vil sige summen af at tilbagediskontere de fremtidige pengestrømme. Nutidsværdien er et udtryk for mængden af penge, som man skal ligge til side i dag for at kunne afholde alle fremtidige omkostninger i beregningsperioden med den valgte kalkulationsrente (Haugbølle, 2016). Kalkulationsrenten er den renteprocent/omregningsfaktor, som anvendes til at beregne nutidsværdien. Jo højere rente man anvender, desto mindre er værdien af fremtidige indtægter eller omkostninger. Den valgte kalkulationsrente er baseret på Finansministeriets anbefaling omkring den reale diskonteringsrente (Finansministeriet, 2017).

9.1.3. Afgrænsninger ift. byggerityper

Ifølge Danmarks Statistik findes der over 25 forskellige typer af byggeri i Danmark⁶. I denne analyse fokuseres på tre udvalgte byggerityper, som kan ses i Figur 10 nedenfor. Det er vigtigt at pointere, at der stadig forekommer et uforløst potentiale, for de byggerityper som ikke er udvalgt i denne analyse, men at der i nærværende analyse er afgrænset til tre byggerityper. Disse tre byggerityper er udvalgt på baggrund af tre principper:

- 1) De udvalgte byggerityper udgør en væsentlig andel af det årlige totale opførte kvadratmeterareal (m²) på tværs af alle byggerityper.
- 2) De udvalgte byggerityper repræsenterer forskellige anvendelser.
- 3) De udvalgte byggerityper omfatter 'standardiserede bygninger', så resultaterne kan generaliseres til de øvrige bygninger indenfor hver udvalgt byggeritype.

⁶ Danmarks Statistik – Statistikbanken: BYGV90



Figur 10: De tre udvalgte bygningstyper i analysen

Typehus

Første udvalgte byggeritype er et typehus. Et typehus antages at være et klassisk et-plans parcelhus, som bygges i samme udformning i mere end et eksemplar. Dette betyder, at huset er masseproduceret og er en modsætning til de specialtegnede, unikke boliger, som kun opføres én gang (Bisp, 2018). I denne analyse indbefatter gruppen af typehuse enfamiliehuse, rækkehuse samt klyngehuse⁷.

Etagebyggeri

Den anden byggeritype er et etagebyggeri. Her er tale om en samlet boligblok, som er opdelt i flere boliger med adgang gennem en fælles opgang. Etagebyggerier har som minimum 2 etager, hvor antallet af lejligheder pr. etage kan variere fra etagebyggeri til etagebyggeri. I denne analyse er der tale om etagebyggerier bygget i både beton og træ.

Kontorbyggeri

Tredje byggeritype er kontorbyggeri. Kontorbyggeri antages at være erhvervsbyggeri, hvor der er tale om administrations- og kontorbygninger. Bygningerne kan variere på størrelse og diversiteten af rumtyper. Indenfor kontorbyggeri findes rumtyper såsom lukkede kontorum, åbne kontorområder, møderum, videokonferencerum, auditorer, kantiner, motionsrum, toiletfaciliteter etc. (TBST, 2020).

⁷ Det er valideret af TI samt Rambøll eksperter, at der ikke findes en signifikant miljømæssige eller økonomisk forskel på om typehuse er rækkehuse, klyngevillaer eller fritstående villaer.



9.1.4. Opregningsgrundlag

Som beskrevet indledningsvist vil analysen belyse det samfundsøkonomiske potentiale fra et nationalt perspektiv. Til at opskalere det samfundsøkonomiske potentiale fra m² til et nationalt niveau skal volumen for de udvalgte byggerityper fastsættes.

Der vil i analysen udelukkende blive taget udgangspunkt i nybyggeri. Dette betyder, at potentialet i forbindelse med renovering og tilbygning ikke er medtaget i analysen. Dette skyldes primært to ting; 1) det er vanskeligt at fastsætte det fremtidige volumen af relevante nybygninger/tilbygninger, da det er op til den enkelte ejer, om de ønsker at renovere eller ej; 2) det kan være praktisk vanskeligt at fastsætte regler for, hvordan en ombygning/tilbygning skal gennemføres, så det sikres, at de bygges klimavenligt. Modsat kan man lave anbefalinger og regler for nybyggeri ift. krav for GWP-udledning, som blandt andet foreslået af klimapartnerskabet for bygge- og anlægssektoren (Nielsen et al., 2020) .

Volumen af nybyg er baseret på historiske data, hvor der er fokuseret på fuldført nybyggeri pr. år. De anvendte data er BYGV80 fra Danmark Statistik (DST), som også har medtaget forsinkelser fra BBR⁸. Historisk data fra DST viser, at der har været store udsving i udviklingen af nybyggeri fra 1998 til 2019 for de tre udvalgte byggerityper⁹. I analysen er der anvendt et årligt gennemsnitligt etageareal baseret på de seneste 22 år (1998 – 2019), som oprekningsgrundlag. Resultaterne for de gennemsnitlige etagearealer pr. år for de tre udvalgte byggerityper er oplyst i Tabel 2. Det historiske data kan findes i bilag 2.

Tabel 2: Årlig gennemsnitlig opførelse af nybyggeri pr. år i m² baseret på udviklingen de seneste 22 år.

	Typehus	Etagebyggeri	Kontorbyggeri
Opregningsfaktor	1,85 mio. m ²	0,63 mio. m ²	1,16 mio. m ²

Kilde: Danmarks Statistik, BYGV80

Note: Tallene er afrundet med to decimaler.

9.1.5. Samfundsøkonomisk prisfastsætning af CO₂

Energistyrelsen (2019) fastsætter, at ifølge Danmarks klimaforpligtelse, skal prisfastsætningen på CO₂-udledning ikke være baseret på skadesomkostningen. Værdien af en reduktion eller stigning af CO₂-udledning af et givent implementeret tiltag, skal være fastsat efter omkostningen ved at reducere et ekstra ton CO₂, som betegnes værende den marginale reduktionsomkostning (Energistyrelsen, 2019) . I denne analyse er der taget

⁸ (Overgangen til den nye version af BBR (ny struktur og nye metoder) i juni 2017 betød i forbindelse med offentliggørelsen af 4. kvartal 2017 og 1. kvartal 2018 store revisioner af alle byggestatistikens tidsserier. BYGV80 medtager disse forsinkelser).

⁹ følger koder er medtaget:: Parcelhuse (BBR kode: 120-129), Række-, kæde- og dobbelthuse (BBR kode: 130-139), Etageboliger (BBR kode: 140), Bygninger til kontor, handel lager, offentlig administration mv (BBR kode: 320, 321 og 329).



udgangspunkt i Energistyrelsens skøn for pris på CO₂-udledninger uden for kvotesektoren ganget med nettoafgiftsfaktoren, som er fastsat i Finansministeriet nøgletalskatalog (Finansministeriet, 2019). I 2020 er kvoteprisen 216 kr. pr. ton CO₂ i faste priser jf. bilag 3.

I marts 2020 udkom Klimarådet med deres anbefalinger, som muliggør, at Danmark kan opnå målsætning om 70 pct. reduktion i 2030. Klimarådet (2020) foreslår, at et af hovedelementerne i at opnå målsætningen skal være en general drivhusgasafgift med et grundlæggende princip, at forureneren betaler. Afgiften skal omfatte samtlige drivhusgasudledninger, hvor afgiften kontinuerlig skal stige frem mod 2030, så CO₂-afgiften ligger på et signifikant højere niveau end den nuværende prifsætsætning fastsat af energistyrelsen på 216 kr. pr. ton jf. bilag 3. Klimarådet anbefaler, at gennem en indfasning skal kvoteprisen være 1.500 kr. pr. ton i 2030, hvilket stemmer overens med de marginale omkostninger til de nødvendige tiltag, der kræves for at indfri 70-procentmålet (Klimarådet, 2020).

Herudover findes der adskillige analyser på forskellige klimareformer for at opnå 70-procentmålet, hvor f.eks. Kraka & Deloitte (2020) og Ea Energianalyse foreslår en gradvis indfasning af CO₂-kvotepris på henholdsvis 1.250 kr. pr. ton og 2.000 kr. pr. ton i 2030 (Deloitte, 2019; EA Energianalyse, 2019). Dermed viser forskellige studier, at det er nødvendigt at fastsætte en højere kvotepris for CO₂-udledning pr. ton for at opnå klimalovens fastsatte mål. I afsnit 9.4 omhandlende følsomhedsanalyse, undersøges hvordan analysens resultater ændrer sig, når der anvendes en højere samfundsøkonomisk prifsætsætning af CO₂-udledninger sammenlignet med Energistyrelsens prissætning.

9.2. Fastlæggelse af normalt byggeri og klimavenligt byggeri

I Danmark er der i bygge- og anlægssektoren ikke fastsat miljø- eller klimakrav til nybyggeri, om end der fra 2023 bliver indført krav for udledning af CO₂ for nybyggeri større end 1000 m² og fra 2025 for alt byggeri. Det betyder, at der i dag ikke findes en definition på et normalt- og klimavenligt byggeri. Klimapartnerskabet for bygge- og anlægssektoren (2020) foreslog tidligere på året, at Regeringen skal stille krav på 12 kg CO₂ pr. m² pr. år på tværs af alle byggerityper i bygningsreglementet fra 2021 (Nielsen et al., 2020). Dette forslag er blevet mødt med skarp kritik fra eksperter, som mener, at referenceværdien er uambitiøs ift. potentialerne og ift. at nå Regeringens reduktionsmål (Valdimarsson, 2020). Klimapartnerskabet beskriver dog, at de vil revidere "referenceværdierne" løbende i 2023, 2025 og 2050 (Nielsen et al., 2020). Ydermere foreslår klimapartnerskabet, at regeringen vedtager den frivillige bæredygtighedsklasse, og fastsætter et krav om, at referenceværdien skal fastsættes til 8,5 kg CO₂-ækv /m²/år på tværs af bygningstyper.

For at kunne gennemføre en samfundsøkonomisk analyse af et mere klimavenligt byggeri er der behov for en klar definition (og adskillelse) mellem et normalt byggeri (bassiscenarie) og et klimavenligt byggeri (alternativt scenarie). Analysen vil derfor fastsætte en definition af et klimavenligt byggeri og dermed også en definition af et normalt byggeri. På samme måde som Klimapartnerskabet for bygge- og anlægssektoren defineres et klimavenligt byggeri baseret på det enkelte byggeris årlige udledning af CO₂ pr. m². Erfaringerne viser, at der er forskel på CO₂-udledningen pr. m² på tværs af bygningstyper. I modsætning til Klimapartnerskabet for bygge- og



anlægssektoren vil vi definere forskellige referenceværdier for CO₂-udledningen for de tre bygningstyper, denne analyse har fokus på.

Fastlæggelsen af referenceværdier og dermed definitionen af et normalt- og klimavenligt byggeri bygger på en række konkrete cases, hvor de miljømæssige påvirkninger er opgjort ved hjælp af en livscyklusvurdering¹⁰. En nærmere beskrivelse af, hvilke elementer, der er medregnet findes i ovenstående afsnit 9.1.1. De udvalgte cases stammer fra henholdsvis rapporten SBi 2020:04 samt en række projekter, som Rambøll har gennemført (Zimmermann et al., 2020a). Fordelingen af cases kan ses i Tabel 3.

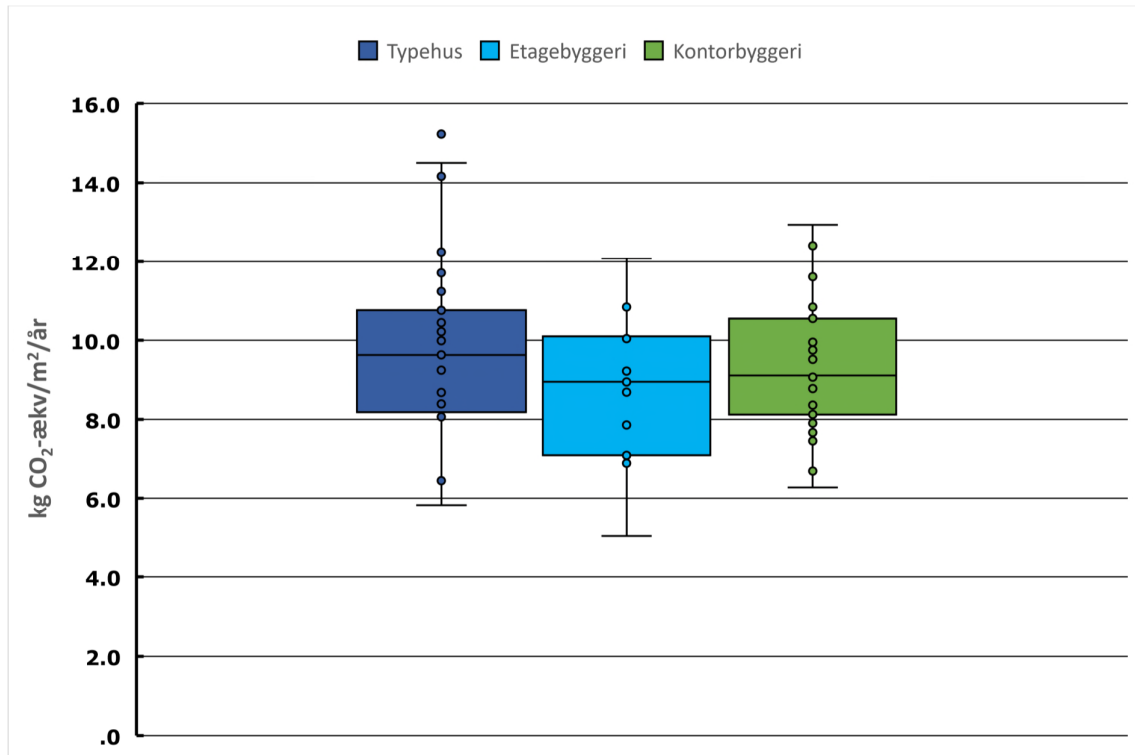
Tabel 3: Oversigt over cases anvendt til at fastsætte referenceværdier

	SBi 2020:04	Rambøll cases	Cases i alt
Typehus	*22	5	27
Etagebyggeri	11	4	15
Kontorbyggeri	22	11	33

*Note: *I SBi 2020:04 opdeles Typehus i enfamiliehuse og rækkehuse. Jævnfør afsnit 9.1.3 er de to byggerityper lagt sammen i nærværende analyse.*

For hver af casene har vi plottet deres årlige klimapåvirkning (GWP) i form af CO₂-ækv pr. år pr. m². Disse resultater fremgår af nedenstående Figur 11.

¹⁰ I analysen opgøres der ikke konsekvenser fra non-energy benefits (bløde eksternaliteter) ved byggeriet, da analysen ikke undersøger hvordan de enkelte bygninger er bygget.



Figur 11: GWP fordelt på typehus, etagebyggeri og kontorbyggeri baseret på 75 cases.
Kilde: Rambøll på baggrund af SBI 2020:04 og egne cases

Ovenstående Figur 11 viser et boksplot for klimapåvirkningen af de tre udvalgte byggerityper baseret på 75 cases, som er illustreret i Tabel 3. Boksene illustrerer forskellen mellem første/nedre og tredje/øvre kvartil. Det vil sige, at hvis man laver en numerisk sortering på de forskellige cases indenfor hver byggeritype, vil de farvede bokse omfatte 50 pct. af de midterste værdier. Længden på boksen defineres som kvartilbredden. Den vandrette linje indenfor firkanten, beskriver medianen, det vil sige den case med den midterste GWP-værdi. De korte vandrette linje som ligger både under og over de farvede bokse, beskriver minimum og maksimum-værdien for GWP indenfor de udvalgte byggerityper. Minimum er beregnet ved at tage en 1,5 gang af kvartilbredden og trukket fra nedre kvartil. Ved maksimum ligger man 1,5 gang af kvartilbredden til øvre kvartil. Prikkerne illustrerer de forskellige cases¹¹. De punkter, som ligger udenfor minimum og maksimum, betragtes som outliers. Ud fra Figur 11 kan det ses, at der ved byggeritypen - typehus - forekommer en outlier, som har en GWP-værdi på ca. 15,2 kg CO₂-ækv/m²/år, hvor maksimum er beregnet til 14,50 kg CO₂-ækv/m²/år. Det vil sige, at outliers er de cases, som har en ekstrem høj GWP-værdi i forhold til de resterende cases.

¹¹ Der skal tages forbehold for, at et punkt kan reflektere mere end en case, hvis der forekommer en meget lav variation mellem casene.



Som det fremgår af figuren, så har typehuse den største variation i CO₂-udledningen pr. m² pr. år og ligger – for de anvendte cases – i intervallet 5,8- 15,2. Modsat har etagebyggeri den laveste CO₂-udledning pr. m², som ligger i intervallet 5,0 – 12,1. Kontorbyggeriet har en CO₂-udledningen i intervallet 6,3-12,9 og således det mindste udsving i CO₂-udledningen af de tre byggerityper.

Ovenstående forskel mellem de forskellige bygningstyper skyldes blandt andet, at en bygnings terrændæk ofte har en stor klimapåvirkning. Ved et etage- og kontorbyggeri kan klimapåvirkningen fra terrændækket, således blive spredt ud på flere kvadratmeter end ved et typehus, som er medvirkende til, at etage- samt kontorbyggeri er mere arealeffektive end typehuse (Kanafani et al., 2019). Kontorbygninger vil i denne type analyse typisk have et højere energiforbrug end boliger, da de typisk er mere installationstunge, og da der ikke medregnes elektricitet til lys i energirammen for boligen, som er tilfældet ved etageejendomme/kontorbyggerier. Det ses oftest, at etage- samt kontorbygninger i højere grad har en kælder sammelnegnet med typehuse, som vil tilføje en højere CO₂-udledningen pr. m² pr. år.

De udvalgte cases, som er anvendt for etage- samt kontorbyggeri er DGNB-certificerede, hvilket betyder, at disse cases har et fokus på bæredygtighed. Her er den miljømæssige kvalitet ét ud af de 3 aspekter, der anvendes til at vurdere bæredygtighed af en bygning (de andre aspekter er social og økonomisk bæredygtighed)¹² (Green Building Council Denmark, 2020d). Dette medfører, at der i dag primært er gennemført livscyklusvurderinger for DGNB-certificerede bygninger, da det ikke er et krav for alle bygninger. Det er dog vigtigt at fremhæve, at DGNB-certificeringen er baseret på et pointsystem, hvor kriterierne udgør forskellige procentvise andele af certificeringen med varierende vægtning. Her udgør livscyklusvurderingen (LCA) 9,4% af den samlede certificering (Green Building Council Denmark, 2020a). Det betyder, at DGNB certificerede bygninger ikke nødvendigvis har et stort fokus på livscyklusvurderingen og reduktion af CO₂-udledning, men i stedet på nogle af de andre kriterier. Overordnet set har DGNB certificerede bygninger fokus på bæredygtighed, men det kan ikke konkluderes, at disse bygninger har en lavere klimapåvirkning end ikke DGNB certificerede bygninger.

Til at fastsætte referenceværdierne for et normalt- og klimavenligt byggeri anvendes hhv. den øvre og nedre kvartil af de opstillede cases. Den øvre kvartil er anvendt til at illustrere et normalt byggeri”, mens nedre kvartil er anvendt til at beskrive referenceværdien for et klimavenligt byggeri. En mere detaljeret oversigt over de data, der er anvendt til at fastsætte referenceværdierne, kan ses i bilag 4.

Nedenstående Tabel 4 viser de anvendte referenceværdier for hhv. et normalt byggeri og et klimavenligt byggeri for de tre byggerityper.

¹² DGNB måler bæredygtighed baseret på Rio-erklæringen (miljø, økonomisk og social kvalitet). Herudover har DGNB også valgt at fokusere på teknisk kvalitet, proces kvalitet og områdets kvalitet som er tre tværgående elementer, der påvirker de tre øvrige.



Tabel 4: Referenceværdier for henholdsvis normalt- og klimavenligt byggeri.

	Øvre kvartil normalt byggeri	Nedre kvartil klimavenligt byggeri
Typehus	11 kg CO ₂ -ækv/m ² /år	8 kg CO ₂ -ækv/m ² /år
Etagebyggeri	10 kg CO ₂ -ækv/m ² /år	7 kg CO ₂ -ækv/m ² /år
Kontorbyggeri	11 kg CO ₂ -ækv/m ² /år	8 kg CO ₂ -ækv/m ² /år

Kilde: Rambøll på baggrund af SBI 2020:04 og egne cases

Note: Tallene er afrundet til heltal.

Som det fremgår af tabellen, er det antaget, at et normalt typehus har en CO₂-udledning på 11 kg CO₂-ækv/m²/år, mens grænsen for et klimavenligt byggeri er fastsat til 8 kg CO₂-ækv/m²/år. Et normalt etagebyggeri har en årlig udledning på 10 kg CO₂-ækv/m²/år, mens det defineres, at et klimavenligt etagebyggeri til at have en udledning på 7 kg CO₂-ækv/m²/år. Endelig antages i analysen, at et normalt kontorbyggeri i gennemsnit udleder 11 kg CO₂-ækv/m²/år, mens det fastsættes, at et klimavenligt kontorbyggeri vil have en udledning på 8 kg CO₂-ækv/m²/år¹³.

Som beskrevet i afsnit 9.1.2, så undersøger den samfundsøkonomiske analyse – udover klimapåvirkningen – også forskellen i byggeri- og driftsomkostningerne for et normalt byggeri og et klimavenligt byggeri. Datagrundlaget til fastsættelse af byggeri- og driftsomkostningerne for både et normalt byggeri og et klimavenligt byggeri er nærmest "ikke-eksisterende". Dette gælder særligt for typehuse. Det begrænsede datagrundlag skyldes, at der hidtil i den eksisterende litteratur har været fokus på miljøpåvirkningen af forskellige bygninger og i mindre grad fokus på omkostningssiden.

DGNB-certificeringen sætter krav om gennemførelse af analyser af byggeri- og driftsomkostninger (LCC-analyser), hvorfor der særligt i de seneste par år har været et øget fokus herpå i forbindelse med certificering af konkrete bygninger (Green Building Council Denmark, 2020c). Det er hovedsageligt kontorbygninger, etageejendomme, hospitaler, skoler etc. som bliver DGNB certificeret (Green Building Council Denmark, 2020e), og datagrundlaget er indtil videre stadig begrænset.

"Det er dyrt at bygge klimavenligt" er oftest en påstand som gentagne gange bliver nævnt, når man snakker om klimavenligt byggeri. En rapport fra BUUS CONSULT, som analyserede 37 DGNB-certificerede bygninger konkluderer, at der ikke findes en klar sammenhæng mellem klimapåvirkning og byggeomkostninger (Buus, 2020). Rapporten fra BUUS CONSULTING fokuserer dog kun på byggeomkostningen og medtager ikke driftsomkostninger. Samtidig må det forventes, at driftsomkostninger – særligt til energiforbrug - ikke er større for klimavenlige

¹³ Anvendes der i højere grad genbrugsmaterialer eller højere genanvendelighed i det klimavenlige byggeri, vil dette medføre et lavere materiale og ressourceforbrug, hvilket betyder at CO₂-udledningen pr. m² pr. år vil være lavere. Dette er ikke inkluderet i analysen, da analysen ikke forholder sig til, hvordan det klimavenlige byggeri bygges, men udelukkende undersøger CO₂-udledningen.



byggerier end for normale byggerier, men tværtimod, at 'klimavenlige' bygninger oftest har lavere driftsomkostninger end et normalt byggeri. Det vurderes derfor, at det ikke er muligt systematisk at vurdere, om klimavenligt byggeri er dyrere eller billigere end et normalt byggeri. Forskellene i byggeri- og driftsomkostninger afhænger af en lang række bygnings-specifikke faktorer for det konkrete byggeri, som ikke kan generaliseres.

På baggrund af ovenstående, er der i analysen opstillet fem forskellige scenarier for byggeri- og driftsomkostningerne for normalt- og klimavenligt byggeri for de tre byggerityper. Der findes ikke data til at fastsætte "korrekte" bygge- og driftsomkostninger for henholdsvis normalt- og klimavenligt byggeri. Det betyder, at der i nærværende analyse ses på scenarier, hvor bygge- og driftsomkostninger for klimavenligt byggeri er billigere, ens og dyrere end bygge- og driftsomkostninger for et normalt byggeri. I scenarie 1 og scenarie 2 antages, at bygge- og driftsomkostninger er henholdsvis 5 pct. og 2 pct. lavere for et klimavenligt byggeri ift. et normalt byggeri. Disse to scenarier medtages, da klimavenligt byggeri er i udvikling. Med en voksende erfaring indenfor området, samt udvikling af nye klimavenlige materialer, kan det ikke afvises, at klimavenligt byggeri potentielt kan have lavere bygge- og driftsomkostninger end et normalt byggeri i fremtiden. I scenarie 3 antages, at bygge- og driftsomkostningerne er ens, mens det i scenarie 4 og 5 antages, at bygge- driftsomkostningerne for et klimavenligt byggeri er henholdsvis 2 pct. og 5 pct. større end et normalt byggeri. Bygge- og driftsomkostningerne for de fem scenarier findes i nedenstående Tabel 5.

Tabel 5: Bygge- og driftsomkostninger opgjort i nutidsværdi (kr./m²) over en 50-årig periode.

	Typehus		Etagebyggeri		Kontorbyggeri	
	Normalt byggeri	Klimavenligt byggeri	Normalt byggeri	Klimavenligt byggeri	Normalt byggeri	Klimavenligt byggeri
Scenarie 1 (-5%)	14.400 kr.	13.700 kr.	13.200 kr.	12.600 kr.	21.500 kr.	20.400 kr.
Scenarie 2 (-2%)	14.400 kr.	14.100 kr.	13.200 kr.	13.000 kr.	21.500 kr.	21.000 kr.
Scenarie 3 (Ens omk.)	14.400 kr.	14.400 kr.	13.200 kr.	13.200 kr.	21.500 kr.	21.500 kr.
Scenarie 4 (+2%)	14.400 kr.	14.700 kr.	13.200 kr.	13.500 kr.	21.500 kr.	21.900 kr.
Scenarie 5 (+5%)	14.400 kr.	15.100 kr.	13.200 kr.	13.900 kr.	21.500 kr.	22.500 kr.

Kilde: Rambøll

Note: Tallene er afrundet til nærmeste 100.

Datagrundlaget til ovenstående Tabel 5 er baseret på bygge- og driftsomkostninger fra Rambøll cases, som er illustreret i Tabel 3 samt vores erfaringer fra gennemførte projekter. Bygge- og driftsomkostningerne for de anvendte cases er beregnet ved brug af værktøjet LCCbyg.



Det fremgår af Tabel 5, at etagebyggeri er den billigste byggeritype pr. m², mens kontorbyggerier er den dyreste. Dette skyldtes, at kontorbyggeri grundet deres funktion i højere grad kræver flere tekniske installationer såsom store ventilationssystemer, sammenlignet med de øvrige byggerityper. Endvidere medtages elforbruget til ventilation og lys for kontorbygninger i modsætning til typehuse, hvilket betyder, at kontorbyggeri har et højere samlet elforbrug sammenlignet med typehuse. Som beskrevet tidligere er etagebyggeri kendetegnet ved at være mere arealeffektive end typehuse, hvorfor byggeri- og driftsomkostningerne er lavere pr. m².

9.3. Resultater

I dette afsnit vil resultaterne af den samfundsøkonomiske analyse, ved at bygge mere klimavenligt blive præsenteret. Det samfundsøkonomiske potentiale er vurderet ved at se på effekterne af et års nybyggeri over en 50-årig periode, hvor opregningsfaktoren er vist i Tabel 2. Effekterne af et års nybyggeri analyseres over en 50-årig periode da de fastsatte referenceværdier for et normalt og klimavenligt byggeri er baseret på CO₂-udledningen pr. m² pr. år over en 50-årig periode. Endvidere er bygge- og driftsomkostningerne også baseret på kr./m² over en 50-årig periode, som er belyst i afsnit 9.1.2.

Resultaterne er baseret på de metodiske valg, som står beskrevet i afsnit 9.1. Det betyder, at de anvendte data tager udgangspunkt i, hvordan praksis for at bygge nybyggeri har været indtil i dag. At opføre nybyggeri klimavenligt er ikke en statisk metode, men derimod dynamisk. Dette betyder, at det klimavenlige byggeri er i konstant udvikling, som er medvirkende til, at kravene løbende skærpes. Det betyder, at det som er klimavenligt i dag, vil blive mainstream i fremtiden. Det samme gælder omkostningerne til materialer til at bygge klimavenligt. Innovative teknologier og et øget fokus på klimavenlige materialer er medvirkende til, at det bliver billigere at bygge klimavenligt i fremtiden. Disse drivers vil være medvirkende til, at de samfundsøkonomiske resultater i dette afsnit må forventes at blive ændret i takt med udviklingen.

Alle resultater i den nærværende analyse er opgjort i netto-nutidsværdi (2020-priser). Dette er gjort ved at tilbagediskontere fremtidige bygge- og driftsomkostninger samt klimapåvirkninger, som er forklaret i afsnit 9.1.2. Dermed følges i nærværende analyse finansministeriets vejledning til samfundsøkonomiske konsekvensvurderinger. Som nævnt indledningsvist i afsnit 9.1 og illustreret i Figur 8 viser "basisscenariet" resultaterne ved at opføre nybyg som værende et normalt byggeri. Alternativscenariet viser resultaterne ved at opføre nybyg som værende klimavenligt byggeri. Nettoeffekten, som er differencen mellem "basisscenariet" og "alternativscenariet", viser det samfundsøkonomiske potentiale ved at ændre praksis til at bygge mere klimavenligt i fremtiden.

Det samfundsøkonomiske potentiale ved at ændre praksis indenfor byggeritypen, Typehus, er vist i Tabel 6. Tabellen viser resultaterne for de fem scenarier, som er forskellige ift. bygge- og driftsomkostningerne.



Tabel 6: Samfundsøkonomisk potentiale for et års nybyggeri af typehuse opgjort i netto-nutidsværdi (2020-priser)

SCENARIO 1 (-5%)	BASISSCENARIO (‘normalt byggeri’)	ALTERNATIVSCENARIO (‘klimavenligt byggeri’)	NETTOEFFEKT
Klimapåvirkning	0,19 mia. kr.	0,14 mia. kr.	0,05 mia. kr.
Bygge- og driftsomkostninger 5% reduktion	26,68 mia. kr.	25,39 mia. kr.	1,30 mia. kr.
NETTORESULTAT	26,87 mia. kr.	25,52 mia. kr.	1,35 mia. kr.

SCENARIO 2 (-2%)	BASISSCENARIO (‘normalt byggeri’)	ALTERNATIVSCENARIO (‘klimavenligt byggeri’)	NETTOEFFEKT
Klimapåvirkning	0,19 mia. kr.	0,14 mia. kr.	0,05 mia. kr.
Bygge- og driftsomkostninger 2% reduktion	26,68 mia. kr.	26,13 mia. kr.	0,56 mia. kr.
NETTORESULTAT	26,87 mia. kr.	26,26 mia. kr.	0,61 mia. kr.

SCENARIO 3 (Ens omk.)	BASISSCENARIO (‘normalt byggeri’)	ALTERNATIVSCENARIO (‘klimavenligt byggeri’)	NETTOEFFEKT
Klimapåvirkning	0,19 mia. kr.	0,14 mia. kr.	0,05 mia. kr.
Bygge- og driftsomkostninger Ens omk.	26,68 mia. kr.	26,68 mia. kr.	
NETTORESULTAT	26,87 mia. kr.	26,82 mia. kr.	0,05 mia. kr.

SCENARIO 4 (+2%)	BASISSCENARIO (‘normalt byggeri’)	ALTERNATIVSCENARIO (‘klimavenligt byggeri’)	NETTOEFFEKT
Klimapåvirkning	0,19 mia. kr.	0,14 mia. kr.	0,05 mia. kr.
Bygge- og driftsomkostninger 2% stigning	26,68 mia. kr.	27,24 mia. kr.	-0,56 mia. kr.
NETTORESULTAT	26,87 mia. kr.	27,37 mia. kr.	-0,51 mia. kr.

SCENARIO 5 (+5%)	BASISSCENARIO (‘normalt byggeri’)	ALTERNATIVSCENARIO (‘klimavenligt byggeri’)	NETTOEFFEKT
Klimapåvirkning	0,19 mia. kr.	0,14 mia. kr.	0,05 mia. kr.
Bygge- og driftsomkostninger 5% stigning	26,68 mia. kr.	27,98 mia. kr.	-1,30 mia. kr.
NETTORESULTAT	26,87 mia. kr.	28,12 mia. kr.	-1,25 mia. kr.

Kilde: Rambøll

Note: Alle resultaterne er afrundet til mia. kr. med to decimaler.



Tabellen viser, at der vil være en **netto samfundsøkonomisk gevinst på 0,05 mia. kr. ved at ændre praksis til at opføre nybyggeri som værende klimavenligt** i det scenarie, hvor bygge- og driftsomkostningerne er ens for et normalt byggeri og et klimavenligt byggeri (scenarie 3). Samtidig viser tabellen, at hvis bygge- og driftsomkostningerne ved klimavenligt byggeri er 2 pct. eller 5 pct. højere end ved et normalt byggeri, vil den positive klimagevinst ved at bygge klimavenligt, ikke kompensere for de øgede omkostninger ved byggeriet. Dette kan ses ved, at man går fra en positiv til negativ nettoeffekt på henholdsvis 0,51 mia. kr. og 1,25 mia. kr., når det antages at være 2 pct. og 5 pct. dyrere at bygge klimavenligt. Dette betyder, at der forekommer et samfundsøkonomisk tab ved at ændre praksis. Tabellen viser yderligere, at når det bliver billigere at bygge klimavenligt, vil nettoeffekten være højere sammenlignet med scenariet, hvor det antages, at bygge- og driftsomkostningerne er ens. Konkret viser Tabel 6, at når det er 2 pct. og 5 pct. billigere at bygge klimavenligt, vil der være en positiv nettoeffekt på henholdsvis 0,61 mia. kr. og 1,35 mia. kr., hvilket betyder, at der vil være en øget samfundsøkonomisk gevinst.

I afsnit 9.4 nedenfor gennemføres en række følsomhedsanalyser, der viser, hvordan resultaterne ændres ved en ændring i de centrale input i analysen. Her undersøges eksempelvis, hvordan nettoeffekten bliver påvirket, ved at anvende en højere prisfastsættning på CO₂ end Energistyrelsen anbefalede priser, som kan ses i bilag 3.

Som for typehuse viser nedenstående Tabel 7 det samfundsøkonomiske potentiale ved at bygge mere klimavenlige etagebyggerier.



Tabel 7: Samfundsøkonomisk potentiale for et års nybyggeri af etagebygninger opgjort i netto nutidsværdi (2020-priser)

SCENARIO 1 (-5%)	BASISSCENARIO (‘normalt byggeri’)	ALTERNATIVSCENARIO (‘klimavenligt byggeri’)	NETTOEFFEKT
Klimapåvirkning	0,06 mia. kr.	0,04 mia. kr.	0,02 mia. kr.
Bygge- og driftsomkostninger 5% reduktion	8,38 mia. kr.	7,99 mia. kr.	0,38 mia. kr.
NETTORESULTAT	8,43 mia. kr.	8,04 mia. kr.	0,40 mia. kr.

SCENARIO 2 (-2%)	BASISSCENARIO (‘normalt byggeri’)	ALTERNATIVSCENARIO (‘klimavenligt byggeri’)	NETTOEFFEKT
Klimapåvirkning	0,06 mia. kr.	0,04 mia. kr.	0,02 mia. kr.
Bygge- og driftsomkostninger -2% reduktion	8,38 mia. kr.	8,25 mia. kr.	0,13 mia. kr.
NETTORESULTAT	8,43 mia. kr.	8,29 mia. kr.	0,14 mia. kr.

SCENARIO 3 (Ens omk.)	BASISSCENARIO (‘normalt byggeri’)	ALTERNATIVSCENARIO (‘klimavenligt byggeri’)	NETTOEFFEKT
Klimapåvirkning	0,06 mia. kr.	0,04 mia. kr.	0,02 mia. kr.
Bygge- og driftsomkostninger Ens omk.	8,38 mia. kr.	8,38 mia. kr.	
NETTORESULTAT	8,43 mia. kr.	8,42 mia. kr.	0,02 mia. kr.

SCENARIO 4 (+2%)	BASISSCENARIO (‘normalt byggeri’)	ALTERNATIVSCENARIO (‘klimavenligt byggeri’)	NETTOEFFEKT
Klimapåvirkning	0,06 mia. kr.	0,04 mia. kr.	0,02 mia. kr.
Bygge- og driftsomkostninger 2% stigning	8,38 mia. kr.	8,57 mia. kr.	-0,19 mia. kr.
NETTORESULTAT	8,43 mia. kr.	8,61 mia. kr.	-0,17 mia. kr.

SCENARIO 5 (+5%)	BASISSCENARIO (‘normalt byggeri’)	ALTERNATIVSCENARIO (‘klimavenligt byggeri’)	NETTOEFFEKT
Klimapåvirkning	0,06 mia. kr.	0,04 mia. kr.	0,02 mia. kr.
Bygge- og driftsomkostninger 5% stigning	8,38 mia. kr.	8,82 mia. kr.	-0,44 mia. kr.
NETTORESULTAT	8,43 mia. kr.	8,86 mia. kr.	-0,43 mia. kr.

Kilde: Rambøll

Note: Alle resultaterne er afrundet til mia. kr. med to decimal.



Som for typehuse vil der være en samfundsøkonomisk gevinst ved at bygge mere klimavenlige etageejendomme. Gevinsten er på ca. 0,02 mia. kr., hvis bygge- og driftsomkostningerne er ens for hhv. normale og klimavenlige byggerier. Endvidere viser tabellen, at hvis byggeri- og driftsomkostningerne ved det klimavenlige byggeri er 2 pct. eller 5 pct. højere end ved et normalt byggeri, så vil der være et samfundsøkonomisk tab på hhv. 0,17 mia. kr. og 0,43 mia. kr. over analysens tidshorisont. Ydermere viser tabellen, at hvis bygge- og driftsomkostninger for det klimavenlige byggeri er 2 pct. eller 5 pct. lavere, vil der være en samfundsøkonomisk gevinst på 0,14 mia. kr. og 0,40 mia. kr.

I afsnit 9.4 nedenfor gennemføres en række følsomhedsanalyser, der viser, hvordan resultaterne ændres ved en ændring i de centrale input i analysen.

Endelig indeholder Tabel 8 resultaterne af den samfundsøkonomiske analyse for kontorbyggeri.



Table 8: Samfundsøkonomisk potentiale for et års nybyggeri af kontorbygninger opgjort i netto nutidsværdi (2020-priser)

SCENARIO 1 (-5%)	BASISSCENARIO (‘normalt byggeri’)	ALTERNATIVSCENARIO (‘klimavenligt byggeri’)	NETTOEFFEKT
Klimapåvirkning	0,12 mia. kr.	0,08 mia. kr.	0,03 mia. kr.
Bygge- og driftsomkostninger 5% reduktion	24,88 mia. kr.	23,61 mia. kr.	1,27 mia. kr.
NETTORESULTAT	25,00 mia. kr.	23,70 mia. kr.	1,30 mia. kr.

SCENARIO 2 (-2%)	BASISSCENARIO (‘normalt byggeri’)	ALTERNATIVSCENARIO (‘klimavenligt byggeri’)	NETTOEFFEKT
Klimapåvirkning	0,12 mia. kr.	0,08 mia. kr.	0,03 mia. kr.
Bygge- og driftsomkostninger 2% reduktion	24,88 mia. kr.	24,31 mia. kr.	0,58 mia. kr.
NETTORESULTAT	25,00 mia. kr.	24,39 mia. kr.	0,61 mia. kr.

SCENARIO 3 (Ens omk.)	BASISSCENARIO (‘normalt byggeri’)	ALTERNATIVSCENARIO (‘klimavenligt byggeri’)	NETTOEFFEKT
Klimapåvirkning	0,12 mia. kr.	0,08 mia. kr.	0,03 mia. kr.
Bygge- og driftsomkostninger Ens omk.	24,88 mia. kr.	24,88 mia. kr.	
NETTORESULTAT	25,00 mia. kr.	24,97 mia. kr.	0,03 mia. kr.

SCENARIO 4 (+2%)	BASISSCENARIO (‘normalt byggeri’)	ALTERNATIVSCENARIO (‘klimavenligt byggeri’)	NETTOEFFEKT
Klimapåvirkning	0,12 mia. kr.	0,08 mia. kr.	0,03 mia. kr.
Bygge- og driftsomkostninger 2% stigning	24,88 mia. kr.	25,35 mia. kr.	-0,46 mia. kr.
NETTORESULTAT	25,00 mia. kr.	25,43 mia. kr.	-0,43 mia. kr.

SCENARIO 5 (+5%)	BASISSCENARIO (‘normalt byggeri’)	ALTERNATIVSCENARIO (‘klimavenligt byggeri’)	NETTOEFFEKT
Klimapåvirkning	0,12 mia. kr.	0,08 mia. kr.	0,03 mia. kr.
Bygge- og driftsomkostninger 5% stigning	24,88 mia. kr.	26,04 mia. kr.	-1,16 mia. kr.
NETTORESULTAT	25,00 mia. kr.	26,13 mia. kr.	-1,13 mia. kr.

Kilde: Rambøll

Note: Alle resultaterne er afrundet til mia. kr. med to decimal.

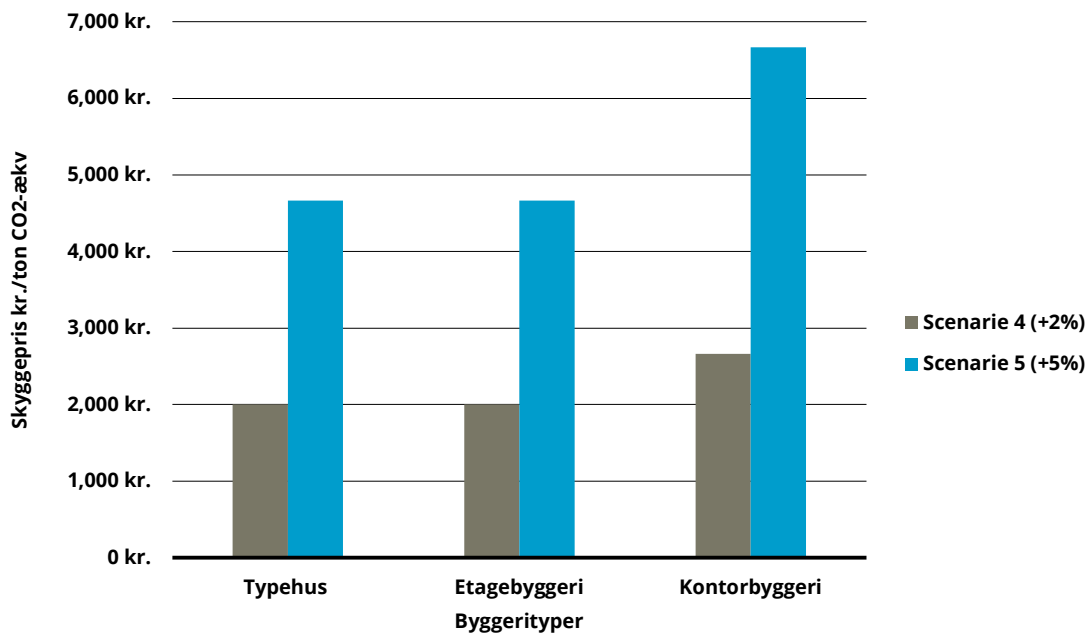


Analysen viser, at der vil være en samfundsøkonomiske gevinst ved at bygge mere klimavenlige kontorejendomme på ca. 0,03 mia. kr. under antagelse af, at byggeri- og driftsomkostningerne er ens for hhv. normale- og klimavenlige byggerier. Resultaterne viser yderligere, at under antagelse af, at det er 2 pct. eller 5 pct. dyrere at bygge klimavenligt, vil der være et samfundsøkonomisk tab på henholdsvis 0,43 mia. kr. og 1,13 mia. kr. ved af at bygge klimavenligt. Ydermere viser resultaterne, at under antagelse, at det er 2 pct. eller 5 pct. billigere at bygge klimavenligt, vil der være en samfundsøkonomisk gevinst på 0,61 mia. kr. og 1,30 mia. kr., når man ser på et år nybyggeri af kontorbygninger over en 50-årig periode.

De største samfundsøkonomiske tab ved at ændre praksis forekommer ved typehuse og kontorbyggeri. Dette skyldtes, at opregningsfaktoren ligger på et signifikant højere niveau for de to byggerityper sammenlignet med etagebyggeri (jf. Tabel 2). Ser man yderligere på ændringen i nettoresultatet mellem de fem scenarier, kan det konkluderes at ændringen for kontorbyggeri er højere sammenlignet med etagebyggeri. Dette skyldtes, at bygge- og driftsomkostningerne ligger på et højere niveau sammenlignet med de øvrige byggerier, som det fremgår af Tabel 4. Det betyder at en 2% eller 5% stigning eller fald i bygge- og driftsomkostningerne for kontorbyggeri har en højere absolut værdi end ved typehuse og kontorbyggeri. Dette forklarer blandt andet, hvorfor det **samfundsøkonomiske** tab for kontorbyggeri ligger på et højere niveau end etagebyggeri. Hovedårsagen til at det samfundsøkonomiske tab er højest ved typehus, er fordi forskellen på opregningsfaktoren på 1,85 mio. m² for typehuse sammenlignet med kontorbyggeriets 1,16 mio. m² har en større påvirkning end forskellen på bygge og driftsomkostningerne mellem de forskellige byggerityper.

Jævnfør finansministeriets vejledning til samfundsøkonomiske konsekvensvurderinger, vil CO₂ – skyggeprisen slutteligt i dette afsnit blive belyst (Finansministeriet, 2020). CO₂-skyggeprisen udtrykker de økonomiske reduktionsomkostninger pr. ton. reduceret CO₂ ved at opføre nybyggeri som værende klimavenligt frem for normalt byggeri. Skyggeprisen er beregnet, ved at se på nutidsværdien af meromkostningerne ved at bygge klimavenligt frem for normalt byggeri, divideret med nutidsværdien af den reducerede mængde CO₂ opgjort i ton CO₂-ækv. Det betyder, at CO₂ skyggeprisen opgøres i kr. pr. ton. CO₂-ækv. Det vil sige, at skyggeprisen skal forstås som den samfundsøkonomiske omkostning ved at fjerne et ekstra ton CO₂-ækv. Der vil i analysen kun blive belyst skyggeprisen for scenarie 4 og 5, da skyggeprisen i scenarie 1 og 2 vil være negativ grundet antagelsen om, at det er billigere at bygge klimavenligt. I scenarie 3 vil skyggeprisen være 0, da bygge- og driftsomkostningerne er ens.

Det er derfor er ikke interessant at undersøge scenarier, hvor bygge- og driftsomkostninger er lavere/ens for at opføre nybyggeri som klimavenligt, samtidig med at der forekomme en CO₂-reduktion. Resultaterne for skyggepriserne for scenarie 4 og 5 kan ses på Figur 12.



Figur 12: CO₂-skyggepriser for de 3 udvalgte byggerityper opgjort i kr./ton. CO₂ – ækv. I Scenarie 4 er bygge- og driftsomkostninger ved at bygge klimavenligt 2 pct. højere sammenlignet med normalt byggeri; I Scenarie 5 er bygge og driftsomkostningerne 5 pct. højere.

Kilde: Rambøll

Det fremgår af Figur 12, at den gennemsnitlige CO₂-skyggepris ved scenarie 4 er på 2.000 kr./ton CO₂-ækv for henholdsvis typehuse og etagebyggeri. For kontorbyggeri ligger CO₂-skyggeprisen på et højere niveau, (ca. 2700 kr./ton CO₂-ækw). Ved scenarie 5, kan det ses, at samme forskel gør sig gældende, hvor typehus og etagebyggeri har den samme CO₂-skyggepris, og kontorbyggeri ligger på et signifikant højere niveau. De eksakte beregninger for CO₂-skyggeprisen kan ses i bilag 5.

9.4. Følsomhedsanalyse

I dette afsnit gennemføres en række følsomhedsanalyser, der viser, hvordan resultaterne ændres ved en ændring i de centrale input i analysen.

Resultaterne af den samfundsøkonomiske analyse af at bygge mere klimavenlige typehuse, etageejendomme og kontorbyggerier er forbundet med en række usikkerheder. I det følgende belyses disse usikkerheder, og deres betydning på de samfundsøkonomiske resultater. Dette gøres ved at lave følsomhedsanalyser, hvor der testes på ændringer indenfor de forskellige antagelser, som anvendt til at estimere resultaterne i afsnit 9.3.



Konkret testes resultaternes følsomhed overfor ændringer i følgende parametre:

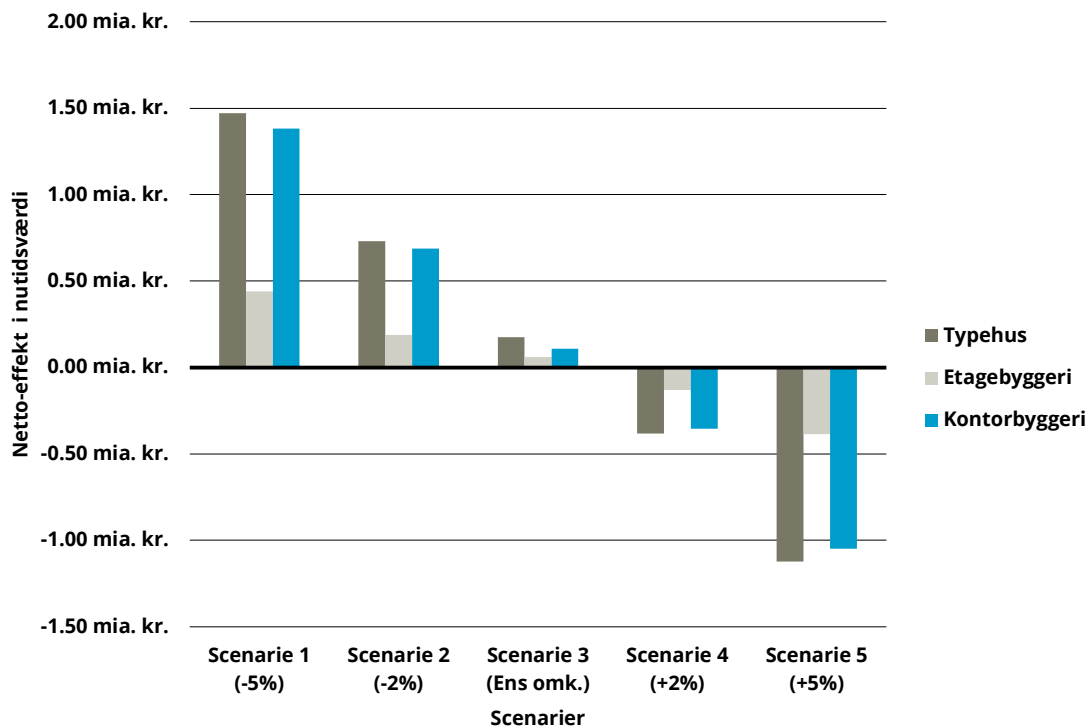
- Ændring af den samfundsøkonomiske prisfastsætning af CO₂
- Ændring af referenceværdier for klimaenligt byggeri

Disse parametre er udvalgt, fordi der er et begrænset datagrundlag for klimapåvirkningen fra forskellige bygninger samt viden om, hvorvidt der er forskel på byggeri- og driftsomkostningerne ved at bygge hhv. normale og klimavenlige bygninger. Endvidere vil referenceværdien for et klimavenligt byggeri samt den samfundsøkonomiske prisfastsættelse have stor betydning for analysens resultater, og derfor testes følsomheden for disse parametre. Følsomhedsanalysen bliver foretaget for alle tre byggerityper samt for de forskellige scenarier for byggeri- og driftsomkostningerne.

Som nævnt i afsnit 9.3, ligger den samfundsøkonomiske prisfastsætning på nuværende tidspunkt på et lavt niveau, i forhold til at opnå Danmarks målsætning om 70 pct. CO₂ reduktion i 2030.

Ændring af den samfundsøkonomiske prisfastsætning af CO₂

Anvendes en højere samfundsøkonomisk prissætning på CO₂, som blandt andet Klimarådet har anbefalet – vil det være medvirkende til, at flere interessenter vil tænke over sin CO₂-udledning, da det bedre kan betale sig at spare CO₂ med en højere samfundsøkonomiske prissætning. Resultatet af følsomhedsanalysen for prisfastsætning af CO₂ på 1.500 kr. pr. tons kan ses i Figur 13.



Figur 13: Samfundsøkonomisk resultat ved at anvende en prisfastsætning for CO₂ på 1500 kroner. Scenarie 1: bygge- og driftsomkostningerne er 5 pct. lavere for klimavenligt byggeri sammenlignet med normalt byggeri; Scenarie 2 er de 2 pct. lavere; Scenarie 3 er omkostningerne ens; Scenarie 4 er de 2 pct. højere; Scenarie 5 er de 5 pct. højere.

Kilde: Rambøll

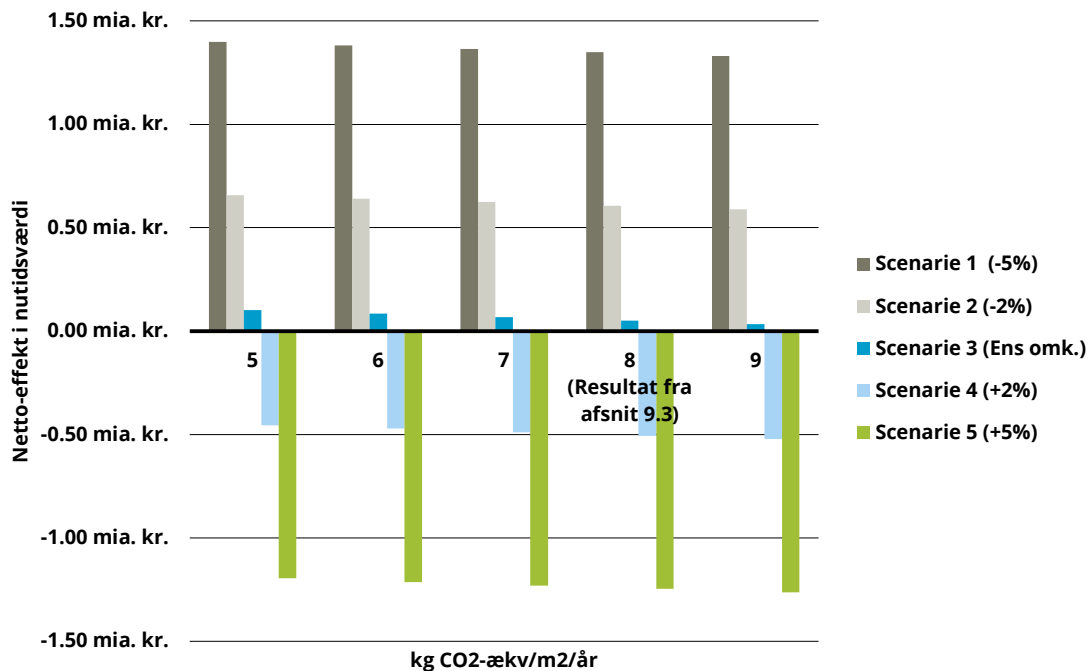
Note: Alle resultater er afrundet til mia. kr. med to decimaler.

Figur 13 viser konkret, at med en prissætning af CO₂ på 1.500 kr. pr. ton vil den samfundsøkonomiske gevinst være på 0,17 mia. kr. for typehuse, 0,06 mia. kr. for etageejendomme og 0,11 mia. kr. for kontorbyggerier under forudsætning af, at bygge- og driftsomkostningerne er ens, som er illustreret ud fra scenarie 3. Samtidig viser analysen, at det ikke er samfundsøkonomisk rentabelt, hvis byggeri- og driftsomkostningerne er 2 pct. eller 5 pct. højere for et klimavenligt byggeri på trods af en højere prisfastsætning af CO₂ på 1500 kr. pr. ton. Her viser følsomhedsanalysen, at der vil forekomme et tab for scenarie 4 og 5 på tværs af de udvalgte byggerityper, fordi netto-effekten er negativ. Figur 13 viser, at det samfundsøkonomiske tab vil være på 1,12 mia. kr. for typehuse, 0,38 mia. kr. for etageejendomme og 1,05 mia. kr. for kontorbyggerier under forudsætning af, at bygge- og driftsomkostningerne er 5 pct. højere ved bygge klimavenligt. Ydermere viser figuren, at når man antager, at bygge- og driftsomkostningerne er 5 pct. lavere for bygge klimavenligt, vil der være et samfundsøkonomisk gevinst på 1,47 mia. kr. for typehuse, 0,44 mia. kr. og 1,38 mia. kr. Sammenholdes disse resultater



med de oprindelige resultater fra afsnit 9.3, hvor der anvendes Energistyrelsens prisfastsætning for CO₂, forekommer der en difference i nettoeffekten på 0,12 mia. for typehuse, 0,04 mia. kr. for etagebyggeri og 0,08 mia. kroner for kontorbyggeri, når man kigger på scenarie 5.

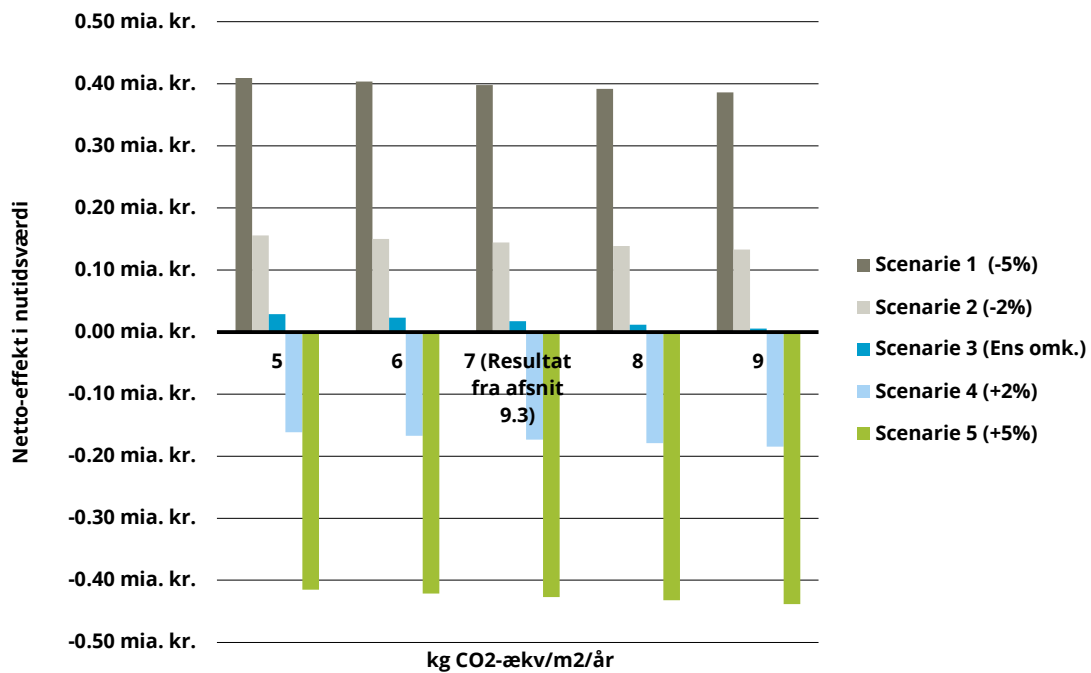
Som tidligere nævnt anbefaler Klimapartnerskabet for bygge- og anlægssektoren (2020), at man stiller krav om 12 kg CO₂-ækv/m²/år for alle byggerityper fra 2021, og at man vedtager den frivillige bæredygtighedsklasse, som skal fastsætte et krav på 8,5 kg CO₂-ækv/m²/år. Figur 14 viser, at når referenceværdien for et klimavenligt byggeri stiger for typehuse fra de fastsatte referenceværdier i Tabel 4 - og dermed kommer tættere på referenceværdien for et normalt byggeri – vil det samfundsøkonomiske resultat blive reduceret. Resultaterne fra følsomhedsanalyserne på referenceværdierne kan ses på Figur 14, Figur 15, Figur 16. De eksakte værdier for resultaterne af følsomhedsanalysen kan ses i bilag 6.



Figur 14: Samfundsøkonomisk resultat ved at ændre referenceværdien på klimavenligt byggeri for typehuse. Den oprindelige referenceværdi for et klimavenligt typehus er på 8 kg CO₂-ækv/m²/år. Søjlerne ud fra 8 kg CO₂-ækv/m²/år illustrerer nettoeffekten i nutidsværdi fra resultatafsnit 9.3. Scenarie 1: bygge- og driftsomkostningerne er 5 pct. lavere for klimavenligt byggeri sammenlignet med normalt byggeri; Scenarie 2 er de 2 pct. lavere; Scenarie 3 er omkostningerne ens; Scenarie 4 er de 2 pct. højere; Scenarie 5 er de 5 pct. højere.

Kilde: Rambøll

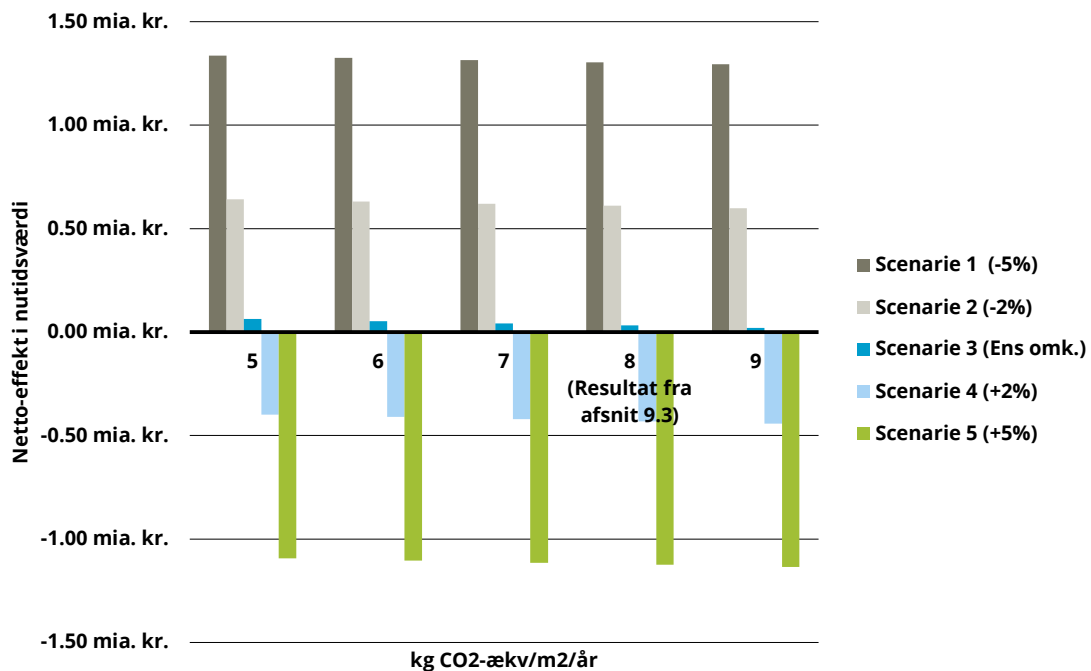
Note: Alle resultater er afrundet til mia. kr. med to decimaler.



Figur 15: Samfundsøkonomisk resultat ved at ændre referenceværdien på klimavenligt byggeri for etagebyggeri Den oprindelige referenceværdi for et klimavenligt etagebyggeri er på 7 kg CO₂-ækv/m²/år. Søjlerne ud fra 7 kg CO₂-ækv/m²/år illustrerer netto-effekten i nutidsværdi fra resultat afsnit 9.3.. Scenarie 1: bygge-og driftsomkostningerne er 5 pct. lavere for klimavenligt byggeri sammenlignet med normalt byggeri; Scenarie 2 er de 2 pct. lavere; Scenarie 3 er omkostningerne ens; Scenarie 4 er de 2 pct. højere; Scenarie 5 er de 5 pct. højere.

Kilde: Rambøll

Note: Alle resultater er afrundet til mia. kr. med to decimaler.



Figur 16: Samfundsøkonomisk resultat ved at ændre referenceværdien på klimavenligt byggeri for kontorbyggeri. Den oprindelige referenceværdi for et klimavenligt kontorbyggeri er på 8 kg CO₂-ækv/m²/år. Søjlerne ud fra 8 kg CO₂-ækv/m²/år illustrerer netto-effekten i nutidsværdi fra resultatafsnit 9.3. Scenarie 1: bygge- og driftsomkostningerne er 5 pct. lavere for klimavenligt byggeri sammenlignet med normalt byggeri; Scenarie 2 er de 2 pct. lavere; Scenarie 3 er omkostningerne ens; Scenarie 4 er de 2 pct. højere; Scenarie 5 er de 5 pct. højere.

Kilde: Rambøll

Note: Alle resultater er afrundet til mia.kr. med to decimaler.

Figur 14, Figur 15 og Figur 16 viser netto-effekten i nutidsværdi for de tre udvalgte byggerityper, når der ændres på referenceværdien for et klimavenligt byggeri, som der er fastsat i Tabel 4. Hvis referenceværdien for et klimavenligt byggeri stiger med 1 kg CO₂ – ækv/m²/år, vil referenceværdien for et klimavenligt typehus gå fra 8 til 9 kg CO₂ pr. m² pr. år, klimavenligt etagebyggeri vil gå fra 7 til 8 kg CO₂ pr. m² pr. år, og klimavenligt kontorbyggeri vil gå fra 8 til 9 kg CO₂ pr. m² pr. år. Her viser følsomhedsanalysen konkret, at den samfundsøkonomiske gevinst bliver reduceret til 0,03 mia. kr. for typehuse (Figur 14), 0,01 mia. kr for etagebyggeri (Figur 15), og 0,02 mia. kr. for kontorbyggeri (Figur 16,) når det antages at bygge- og driftsomkostningerne er ens (scenarie 3). Hvis man sammenligner disse resultater fra følsomhedsanalysen, med de oprindelige resultater fra afsnit 9.3, hvor der anvendes referenceværdier fastsat i Tabel 4, er den samfundsøkonomiske gevinst reduceret med 0,02 mia. kr. for typehuse, 0,01 mia. kr. for etagebyggeri og 0,01 mia. kr. for kontorbyggeri. Hvis det antages, at det er 2 pct. dyrere at bygge klimavenligt i forhold til normalt byggeri (scenarie 4), viser følsomhedsanalysen,



at der forekommer et samfundsøkonomisk tab på 0,52 mia. kr. for typehuse; 0,18 mia. kr. for etagebyggeri og 0 slutteligt 0,44 mia. kr. for kontorbyggeri.

Hvis man derimod antager, at der kommer strengere krav for et klimavenligt byggeri som nævnt i afsnit 9.3, vil den samfundsøkonomiske gevinst stige yderligere, grundet en højere gevinst fra klimapåvirkningen. Hvis det antages, at referenceværdien for et klimavenligt byggeri bliver skærpet med 2 kg CO₂ – ækv/m²/år vil referenceværdien for et klimavenligt typehus falde fra 8 til 6 kg CO₂ pr. m² pr. år, klimavenligt etagebyggeri vil falde fra 7 til 9 kg CO₂ pr. m² pr. år, og klimavenligt kontorbyggeri vil falde fra 8 til 6 kg CO₂ pr. m² pr. år. Her viser følsomhedsanalysen konkret, at den samfundsøkonomiske gevinst stiger til 0,08 mia. kr. for typehuse (Figur 14), 0,03 mia. kr. for etagebyggeri (Figur 15), og 0,05 mia. kr. for kontorbyggeri (Figur 16.). Disse beregninger er baseret på, at bygge- og driftsomkostningerne er ens for et normalt- og klimavenligt byggeri (scenarie 3). Endvidere viser Figur 14, Figur 15 og Figur 16 at ved en 2 pct. stigning for bygge- og driftsomkostninger for at bygge klimavenligt (scenarie 4) – givet skærpede referenceværdier – vil der forekomme et samfundsøkonomisk tab på 0,47 mia. kr. for typehuse, 0,16 mia. kr. for etagebyggeri og 0,41 mia. kroner for kontorbyggeri.

9.5. Renoveringspotentialet

I denne analyse er der udelukkende fokuseret på nybyggeri. Dette betyder dog ikke, at man skal undlade at kigge på potentialet indenfor renovering for at reducere den samlede CO₂-udledning indenfor byggeriet. Ifølge Danmarks Statistik er den samlede bygningsmasse på 217,4 mio. m² for typehuse, 92,9 mio. m² for etagebyggeri og 83,4 mio. m² for kontorbyggeri¹⁴. Det er dog vanskeligt at vurdere, hvor stort potentialet er for den eksisterende bygningsmasse. De primære klimapåvirkninger og omkostninger forbundet med ældre bygninger skyldes højt energiforbrug, forældede forsyningsformer og en ofte dårlig og utæt klimaskærm.

Rambøll (2020) belyser i en rapport baseret på 16 cases fordelt på 5 byggerityper, at renovering er mest fordelagtigt sammenlignet med nedrivning og nybyg både ud fra et klimamæssigt samt totaløkonomisk perspektiv. For at opnå den størst mulige miljømæssige forbedring af en bygnings performance, kræver dette en omfattende renovering. Rapporten belyser, at hvis man renoverer, kan der opnås markante forbedringer ved at renovere tag, ydervægge og vinduer sammenlignet med udelukkende at renovere taget. Der forekommer også små forbedringer ved at renovere bygningens installationer. Dette betyder yderligere, at man fra et totaløkonomisk perspektiv kan minimere driftsomkostningerne, som er den største post, når man ser på ældre boliger. Sammenligner man renovering med et komplet nybyggeri er anlægsomkostningerne markant højere for nybyggeri, mens driftsomkostningerne er relativt lave (Sørensen & Mattson, 2020). Dette understreger det uforløste potentiale, som forekommer ved renovering af normale byggerier.

¹⁴ Danmarks Statistik bank: BYGB34. Tallene er baseret på samlet etageareal og afrundet til én decimal.



9.6. Opsamling

I den nærværende analyse er det samfundsøkonomiske potentiale ved at opføre nybyggeri som værende klimavenligt blevet analyseret. Analysen er afgrænset til at fokusere på typehuse, etagebyggeri og kontorbyggeri. Der findes på nuværende tidspunkt ikke en fast definition på et klimavenligt byggeri. Derved er et normalt og klimavenligt byggeri for de tre udvalgtebyggerityper i analysen fastsat ud fra den årlige klimapåvirkning (GWP) i form af kg CO₂-ækv pr. år pr. m². På baggrund af den begrænsede mængde litteratur og data på området, er det ikke muligt at konkludere, om klimavenligt byggeri er dyrere eller billigere end et normalt byggeri, hvorfor der i analysen opstilles fem forskellige scenarier på forskellen på bygge- og driftsomkostninger for normalt og klimavenligt byggeri.

Hvis nybyggeri opføres som værende klimavenligt, viser resultaterne, at der vil forekomme en samfundsøkonomisk gevinst på 0,05 mia. kr. for typehuse, 0,02 mia. kr. for etagebyggeri og 0,03 mia. kr. for kontorbyggeri. Disse resultater er udregnet under den antagelse, at bygge- og driftsomkostningerne er ens for normalt og klimavenligt byggeri. Analysen viser endvidere, at når det antages, at bygge- og driftsomkostningerne er 2 pct. og 5 pct. lavere for klimavenligt byggeri sammenlignet med normalt byggeri, forekommer der en stigning i den samfundsøkonomiske gevinst. Konkret viser resultaterne, at den samfundsøkonomiske gevinst stiger til 1,35 mia. kr. for typehuse, 0,40 mia. kr. for etagebyggeri og 1,30 mia. kr. for kontorbyggeri, under antagelse om, at det er 5 pct. billigere at bygge klimavenligt.

Omvendt, når det dyrere at bygge klimavenligt, viser resultaterne, at der er et samfundsøkonomisk tab – selvom der forekommer en positiv klimaeffekt. Følsomhedsanalysen viser samme mønster, hvor en forhøjet CO₂ afgift på 1500 kr. pr. ton, stadig vil give et samfundsøkonomisk tab under antagelse af, at det er 2% og 5% dyrere at bygge klimavenligt. Hvis det antages, at der forekommer strengere krav til referenceværdierne for et klimavenligt byggeri, vil der stadig forekomme et samfundsøkonomisk tab på tværs af de udvalgte byggerityper, når det antages, at bygge- og driftsomkostningerne er 2 pct. og 5 pct. højere for bygge klimavenligt. Det er vigtigt at fremhæve, at opførelse af klimavenligt byggeri ikke er statisk, men en dynamisk proces, grundet den udvikling, der sker på området. Dette betyder, at resultaterne i analysen vil ændre sig i takt med udviklingen samt skærpede krav i bygge- og anlægssektoren.



10. Referenceliste

- Aagaard, N.-J., Brandt, E., Aggerholm, S., & Haugbølle, K. (2013). *SBI 2013:30 - Levnetider af bygningsdele ved vurdering af bæredygtighed og totaløkonomi*.
- Aalborg Portland. (2020). *FUTURECEM*. <https://www.aalborgportland.dk/baeredygtighed/futurecem/>
- Aarhus Kommune. (2019). *Case - Genbrugsstation Lisbjerg*. <https://www.aarhus.dk/nyt/teknik-og-miljoe/2019/februar-2019/forslag-ny-genbrugsstation-i-lisbjerg/>
- Adams, M., Burrows, V., & Richardson, S. (2019). Bringing embodied carbon upfront: Coordinated action for the building and construction sector to tackle embodied carbon. *Bringing Embodied Carbon Upfront*, 35.
- Aftaleparter (2021). Aftale mellem regeringen (Socialdemokratiet) og Venstre, Dansk Folkeparti, Socialistisk Folkeparti, Radikale Venstre, Enhedslisten, Den Konservative Folkeparti og Alternativet om: National strategi for bæredygtigt byggeri.
- Andersen, S. C. (2020). *Interview with Sarah Cecilie Andersen, EPD Danmark*.
- Andersen, T. J. (2020). *Interview med Thomas Juul Andersen, Teknologisk Institut - Beton Center*.
- Anderson, J. (2020a). *ConstructionLCA's 2020 Guide to Environmental Product Declarations*. ConstructionLCA Ltd. <https://infogram.com/constructionlca-2020-guide-to-epd-1h7g6kgqx9zo4oy?live>
- Anderson, J. (2020b). *Environmental product declarations (EPD) - Where to find. March*. <https://asbp.org.uk/wp-content/uploads/2020/03/ASBP-Briefing-paper-EPD-Part-3.-Where-To-Find.pdf>
- BAuA. (2011). ASR A3.4 Technische Regel für Arbeitsstätten - Beleuchtung. *Gemeinsames Ministerialblatt*, 16(April 2011), 303–318.
- BBSR. (2001). *Round table on sustainable building*. <https://www.nachhaltigesbauen.de/en/service-links/member-area-round-table-on-sustainable-building/>
- BBSR. (2017a). *Nutzungsdauern von Bauteilen für Lebenszyklusanalysen nach Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) Code Nr. KG-2. Ebene KG-3. Ebene Bauteil / Material a Ersatz in 50a*.
- BBSR. (2017b). *Zukunft Bauen: Nachhaltiges Bauen des Bundes*. https://www.nachhaltigesbauen.de/fileadmin/publikationen/broschuere-nb-2017_barrierefrei.pdf
- Bingh, L. P. (2020). *Interview with Lars Petten Bingh, Statsbygg*.
- Bionova Ltd. (2020). *Databases Incorporated in One Click LCA*. <https://oneclicklca.zendesk.com/hc/en-us/articles/360015064399-Databases-Incorporated-in-One-Click-LCA>
- Birgisdóttir, H. (2020). *Interview with Harpa Birgisdóttir, Build AAU*.
- Birgisdóttir, H., Haugbølle, K., & Aggerholm, S. (2019). *Dansk test af Level(s) - en fælles europæisk dokumentationsmetode for bæredygtigt byggeri*.



- Bisp, H. (2018). Typehus, specialtegnet hus eller selvbyg. *BOLIUS*.
- BLOXHUB. (2020). *Circle House Lab*. <https://bloxhub.org/circlehouselab/>
- BMI. (2013). *Leitfaden Nachhaltiges Bauen*. 170.
- BMI. (2020a). *Gebäude-Energie-Gesetz*.
- BMI. (2020b). *ökobaudat*. <https://www.oekobaudat.de/en.html>
- Bøe, K. (2020). *Interview with Kristian Bøe, Rambøll Norway*.
- Boverket. (2018). *Boverket's mandatory provisions and general recommendations, BBR - BFS 2011:6 with amendments up to BFS 2018:4*. 1(154), 1–154. <https://www.boverket.se/en/start/publications/publications/2019/boverkets-building-regulations--mandatory-provisions-and-general-recommendations-bbr/>
- Boverket. (2019a). *Miljödata*. <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykelanalys/miljodata-och-lca-verktyg/miljodata/>
- Boverket. (2019b). *Om Boverkets regler för byggande*. <https://www.boverket.se/sv/byggande/regler-for-byggande/>
- Boverket. (2019c). *Verktyg för LCA*. <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykelanalys/miljodata-och-lca-verktyg/verktyg-for-lca/>
- Boverket. (2020). *Klimatdeklaration vid uppförande av byggnad*. <https://www.boverket.se/sv/byggande/uppdrag/klimatdeklaration/>
- bre. (2016a). *BREEAM International new Construction 2016, Technical Manual SD233 1.0*.
- bre. (2016b). *BREEAM International New Construction 2016 Mat 01 calculator*.
- bre. (2018a). *BREEAM UK New Construction*.
- bre. (2018b). *IMPACT*. <https://www.bregroup.com/impact/>
- bre. (2020). *BREEAM Projects*. <https://tools.breeam.com/projects/explore/buildings.jsp>
- British Standards Institution. (2011). *BS EN 15978:2011 - Sustainability of construction works. Assessment of environmental performance of buildings. Calculation method*.
- Buus, M. (2020). Er det dyrt at bygge baeredygtigt. *BUUS CONSULT*.
- BygTek. (2019). *Nordiske boligministre vil have klimavenligt byggeri og billigere boliger*.
- Cao, X., Li, X., Zhu, Y., & Zhang, Z. (2015). A comparative study of environmental performance between prefabricated and traditional residential buildings in China. *Journal of Cleaner Production*, 109, 131–143. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.04.120>



- Cerame-Unie. (2020). *Cerame-Unie inventory of european research and innovation projekts*.
- CLEAN. (2017). *Circularity City*. <https://www.circularitycity.dk/>
- Collin, C. (2020). *Interview with Christine Collin, Rambøll Denmark*.
- COWI. (2020). *Opdaterede emissionsfaktorer for el og fjernvarme*.
- Dansk Beton. (2019). *Bæredygtig Beton initiativ*.
- Dansk Standard. (2020). *DS/EN 206 anneks*. <https://www.ds.dk/da/nyhedsarkiv/2020/9/nye-krav-til-beton-paa-vej-det-bliver-nemmere-at-bygge-baeredygtigt>
- Deloitte. (2019). *En klimareform der leverer de magiske 70 procent*. Small Great Nation.
- DIBK. (2017). *Byggeteknisk forskrift TEK17*. <https://dibk.no/regelverk/byggeteknisk-forskrift-tek17/>
- DIN 277, (2005). <http://messdat.de/din-277/>
- DK-GBC. (2016). *DGNB System Denmark: Vol. 1.1*.
- Dodd, N., & Donatello, S. (2020). *Level (s) – A common EU framework of core sustainability indicators for office and residential buildings*. October.
- Dodd, N., Donatello, S., & Cordella, M. (2020a). *Level(s) indicator 1.1: Use stage energy performance*. October, 1–26.
- Dodd, N., Donatello, S., & Cordella, M. (2020b). *Level(s) indicator 1.2: Life cycle Global Warming Potential (GWP)*. October, 1–41.
- Dodd, N., Donatello, S., & Cordella, M. (2020c). *Level(s) indicator 2.1: Bill of quantities, materials and lifespans*.
- Dodd, N., Donatello, S., & Cordella, M. (2020d). *Level(s) indicator 2.2: Construction and Demolition waste and materials*. October. https://doi.org/10.1007/978-3-030-30318-1_2
- Dodd, N., Donatello, S., & Cordella, M. (2020e). *Level(s) indicator 2.3: Design for adaptability and renovation*. *Building Revolutions, October*, 53–63. <https://doi.org/10.4324/9780429346712-9>
- Dodd, N., Donatello, S., & Cordella, M. (2020f). *Level(s) indicator 2.4: Design for deconstruction*.
- Dodd, N., Donatello, S., & Cordella, M. (2020g). *Level(s) indicator 3.1: Use stage water consumption*.
- Dodd, N., Donatello, S., & Cordella, M. (2020h). *Level(s) indicator 4.1: Indoor air quality*.
- Dodd, N., Donatello, S., & Cordella, M. (2020i). *Level(s) indicator 4.2: Time outside of thermal comfort range*. October, 1–24.
- Dodd, N., Donatello, S., & Cordella, M. (2020j). *Level(s) indicator 6.1: Life cycle costs*. <https://doi.org/10.1201/b16469-11>



- Dodd, N., Donatello, S., McLean, N., Casey, C., & Protzman, B. (2020). *Level(s) indicator 4.3: Lighting and Visual Comfort. October*. <https://doi.org/10.1201/b16707-8>
- Building Decree, (2012).
- EA Energianalyse. (2019). *Klima-KPI for Dansk Industri Metode og formål. September*.
[eco-platform.org](https://www.eco-platform.org/). (2013). *Ecoplatform*. <https://www.eco-platform.org/>
- Einarsson, K., & Engström, C. (2020a). *Interview with Kristina Einarsson and Cathrine Engström, Boverket*.
- Einarsson, K., & Engström, C. (2020b). *Spørgeskema udfyldt af Kristina Einarsson and Cathrine Engström, Boverket*.
- Energistyrelsen. (2019). *Samfundsøkonomiske berengningsforudsætninger for energipriser og emissioner*.
- EnEV. (2014). *Energy Saving Ordinance*.
- EPD Norge. (2020). *EPDs in Norway*. https://www.epd-norge.no/?lang=no_NO
- ETA-Danmark. (2020). *ETA-Danmark*. <https://www.etadanmark.dk/da>
- European Commission. (2020a). *How Level(s) was tested*.
- European Commission. (2020b). *The benefits of using Level(s)*. <https://ec.europa.eu/environment/eusd/the-benefits-of-using-levels.htm>
- Ewijk, H. van. (2020). *Interview with Harry van Ewijk, SGS*.
- Farnetani, M. (2020). *Spørgeskema udfyldt af Mirko Farnetani, LETI*.
- Finansdepartementet. (2020). *Ds 2020:4 - Klimatdeklaration för byggnader*. www.nj.se/offentligapublikationer
- Finansministeriet. (2017). *Vejledning i samfundsøkonomiske konsekvens-vurderinger* (Issue August).
- Finansministeriet. (2019). *Nøgletalskatalog. 2025(december), 1–3*.
- Finansministeriet. (2020). *Tillæg til Vejledningen for samfundsøkonomiske konsekvensvurderinger*.
- France GBC. (2020). *Alliance HQE*. <http://www.hqegbc.org/home/>
- Frischknecht, R., Birgisdottir, H., Chae, C. U., Lützkendorf, T., & Passer, A. (2019). *IEA EBC Annex 72 - Assessing life cycle related environmental impacts caused by buildings - Targets and tasks. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 323(1)*. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/323/1/012042>
- Fynholm, P. (2020). *Interview with Peder Fynholm, Teknologisk Institut - Træ & Biomaterialer Center*.
- Gamle Mursten. (2018). *Gamle Mursten CE-mærkes*. <http://gamlemursten.dk/nyheder/2018/nu-kan-gamle-mursten-ce-maerkes/>



- Gladsaxe Kommune. (2020). *Gladsaxe - Cirkulært børnehus*.
<https://gladsaxe.dk/kommunen/kommunen/nyhedsarkiv/verdensmaalsuge-gladsaxe-bygger-verdensfoerste-cirkulaere-boernehus>
- Golder, Solum, & Stark. (2019). *Gentræ*. http://vcø.dk/business_case/gentrae/
- Greater London Authority. (2017). *The London Plan. The Spatial Development Strategy for Greater London. Draft for Public Consultation*, 525.
- Greater London Authority. (2020a). *Circular economy statement guidance - Pre-Consultation Draft*.
- Greater London Authority. (2020b). *London Plan Overview and Introduction | London City Hall*.
<https://www.london.gov.uk/what-we-do/planning/london-plan/current-london-plan/london-plan-overview-and-introduction>
- Greater London Authority. (2020c). *What is the new London Plan? | London City Hall*. <https://www.london.gov.uk/what-we-do/planning/london-plan/new-london-plan/what-new-london-plan>
- Greater London Authority. (2020d). *Whole Life-Cycle Carbon Assessments guidance - Pre-Consultation draft*.
- Green Building Council Denmark. (2016). *DGNB System Denmark: Vol. 1.1*.
- Green Building Council Denmark. (2020a). *DGNB-Nybyggeri og omfattende renoveringer - Version 2020*.
- Green Building Council Denmark. (2020b). *DGNB - Nybyggeri og omfattende renoveringer, version 2020*.
- Green Building Council Denmark. (2020c). *DGNB i Danmark*.
- Green Building Council Denmark. (2020d). *Helhedstankegangen i DGNB*.
- Green Building Council Denmark. (2020e). *Hvad kan certificeres?*
- Green Soluce, & France GBC. (2016). *The Environmental Certification Barometer*. <http://www.hqegbc.org/buildings/publications/>
- Grøn Beton. (2019). *Grøn beton II*.
- H2020. (2019). *Build-in-Wood*. <https://www.build-in-wood.eu/>
- Haugbølle, K. (2016). *Introduktion til LCC på bygninger. TBST*.
- Heikkinen, S. (2020). *Interview with Sanni Heikkinen, Rambøll Finland*.
- Heikkinen, S., & Rantanen, P. (2020). *Spørgeskema udfyldt af Sanni Heikkinen og Paula Rantanen, Rambøll Finland*.
- HM Government. (2013). *The Building Regulations 2010 For England and Wales, Part F Ventilation. The Building Regulations 2010, October, 61*. <https://doi.org/Approved Document L1>



- Horsens Kommune. (2019). *Horsens bæredygtighedshus*.
https://horsens.dk/OmHorsensKommune/Presse/Pressemeddelelser/Visionr_ressourceplan_vil_gre_Horsens_endnu_grnnere
- Housing Denmark. (2019). *Ressourcerækkerne*. <https://ressourceraekkerne.com/>
- IEA and UNEP. (2019). 2019 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a zero-emissions, efficient and resilient buildings and construction sector. In *UN Environment programme* (Vol. 224).
- INIES. (2020). *Barometre 2020 - inies au delà de la RE2020*.
- Jockwer, R., Goto, Y., Scharn, E., & Crona, K. (2020). Design for adaption – making timber buildings ready for circular use and extended service life. *World Sustainable Built Environment Conference*.
- Josefsson, T. A., & Thuvander, L. (2020). Form Follows Availability: The Reuse Revolution. *World Sustainable Built Environment Conference*, 1–115. <https://odr.chalmers.se/handle/20.500.12380/257024>
- Kamali, M., & Hewage, K. (2017). Development of performance criteria for sustainability evaluation of modular versus conventional construction methods. *Journal of Cleaner Production*, 142, 3592–3606.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.108>
- Kanafani, K., Zimmermann, R. K., Birgisdottir, H., & Rasmussen, F. N. (2019). *LCA i tidlig bygningsdesign: Introduktion til metoden og eksempler på miljøprofiler*. [http://vbn.aau.dk/da/publications/lca-i-tidlig-bygningsdesign\(f7a0dbc9-4fe2-4d29-934e-b2c40d820a5e\).html](http://vbn.aau.dk/da/publications/lca-i-tidlig-bygningsdesign(f7a0dbc9-4fe2-4d29-934e-b2c40d820a5e).html)
- Keepplanet. (2020). *BIENVENUE SUR LE GUIDE DE LA RE 2020 (RT 2020)*. <http://www.rt-2020.com/index.php>
- Kerz, N. (2020). *Questionnaire filled in by Nicolas Kerz, BBSR*.
- Kingo. (2019). *Case - Rockefeller*. <https://kingo.biz/ydelser/referencer/rockefeller/>
- Klimapartnerskabet for energiintensiv industri. (2020). *Regeringens Klimapartnerskaber: Partnerskab for energitung industri*.
- Klimarådet. (2020). *Kendte veje og nye spor til 70 procents reduktion*.
- Køster, A. (2020). *Interview with Abelone Køster, Teknologisk Institut - Murværk Center*.
- Krydsrum Arkitekter. (2018). *reskur*. <http://krydsrum.dk/projekter/reskur/>
- Küchler-Krischun, J., & Walter, A. M. (2011). *Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt*. November, 180.
- Kuittinen, M. (2019). *Method for the whole life carbon assessment of buildings*. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-029-3>
- Kuittinen, M. (2020). *Interview with Matti Kuittinen, Ministry of the Environment*.
- Kuittinen, M., Johansson, T., & Häkkinen, T. (2020). *Development of a Nordic generic database In this presentation*.



- LCCbyg. (2020). *Find nøgletal og data*.
- Leeuwen, M. van. (2020). *Interview with Mantijn van Leeuwen, NIBE*.
- Legrand. (2020). *RE2020 eller RT2020: hvilke regler er gældende?*
<https://www.legrand.fr/pro/actualites/re2020-ou-rt2020-quelle-reglementation-est-en-vigueur>
- Lendager Group. (2018). *Upcycle Studios*. <https://lendager.com/en/architecture/upcycle-studios-en/>
- Levetider.dk. (n.d.). Retrieved December 4, 2020, from <http://levetider.dk/Default.aspx>
- Mackenbach, S., Zeller, J. C., & Osebold, R. (2020). A Roadmap towards Circularity - Modular Construction as a Tool for Circular Economy in the Built Environment. *World Sustainable Built Environment Conference*, 1–4.
- Marton, I. (2020). *Interview with Ingunn Marton, DIBK*.
- Mayor of London. (2020). *Whole Life-Cycle Carbon Assessments Guidance | London Plan Guidance*. <https://consult.london.gov.uk/whole-life-cycle-carbon-assessments>
- Ministères Transition Écologique Cohésion des Territoires. (2019a). *How the trial scheme works - Positive-Energy and Low Carbon Buildings*. <http://www.batiment-energiecarbone.fr/en/how-the-trial-scheme-works-a3.html>
- Ministères Transition Écologique Cohésion des Territoires. (2019b). *Liste des logiciels à votre disposition*. <http://www.batiment-energiecarbone.fr/liste-des-logiciels-a-votre-disposition-a43.html>
- Ministères Transition Écologique Cohésion des Territoires. (2019c). *Objectifs : la promotion des bâtiments à faible empreinte carbone*. <http://www.batiment-energiecarbone.fr/objectifs-la-promotion-des-batiments-a-faible-a38.html>
- MRPI - Milieu Relevante Product Informatie. (2020). *Dutch EPD Program Operator*. <https://www.mrpi.nl/>
- Muresan, A., Brütting, J., Redaelli, D., & Fivet, C. (2020). Sustainability through reuse: a reconfigurable structural system for residential and office buildings. *World Sustainable Built Environment Conference*.
- NationalgridESO. (2020). *Future Energy Scenarios | National Grid ESO*. <https://www.nationalgrideso.com/future-energy/future-energy-scenarios>
- Nemitek. (2020). *Nye EPD-krav fra Statsbygg*. <https://nemitek.no/epd-glava-statsbygg/nye-epd-krav-fra-statsbygg/132163>
- Nibel, S., & Chevalier, J. (2020). *Spørgeskema udfyldt af Sylviane Nibel and Jacques Chevalier, CSTB*.
- Nielsen, M., Linorius, T., Weidinger, A., & Teglgard, H. (2020). Anbefalinger til regeringen fra Klimapartnerskabet for bygge- og anlægssektoren. *Regeringens Klimapartnerskaber*.
- NMD - Nationale Milieu Database. (2020). *NMD*. <https://milieudatabase.nl/milieudata/database-2/>



- Norwegian Green Building Council. (2016a). *BREEAM-NOR 2016 New Construction - Technical manual*.
- Norwegian Green Building Council. (2016b). *Breeam-Nor 2016 Technical Manual*.
- NS 3720:2018. (2018). *NS 3720:2018*.
- Oberender, A. (2020). *Interview med Anke Oberender, Videncenter for Cirkulær Økonomi i Byggeriet*.
- Østergaard, N., Thorsted, L., Miraglia, S., Birkved, M., Rasmussen, F. N., Birgisdóttir, H., Kalbar, P., & Georgiadis, S. (2018). Data Driven Quantification of the Temporal Scope of Building LCAs. *Procedia CIRP*, 69(May), 224–229. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.11.057>
- Palm, D. (2020). *Interview with David Palm, Rambøll Sweden*.
- Papakosta, A., & Sturgis, S. (2017). *RICS professional statement: Whole life carbon assessment for the built environment*. 1–36. http://www.rics.org/Global/Whole_life_carbon_assessment_for_the_BE_PGguidance_2017.pdf
- Piton, F. (2020). *Spørgeskema udfyldt af Florian Piton, Ministry for an Ecological Transition*.
- Quale, J., Eckelman, M. J., Williams, K. W., Sloditskie, G., & Zimmerman, J. B. (2012). Construction Matters: Comparing Environmental Impacts of Building Modular and Conventional Homes in the United States. *Journal of Industrial Ecology*, 16(2), 243–253. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2011.00424.x>
- Rakennustieto. (2020). *Environmental Product Declaration (EPD)*. <https://cer.rts.fi/en/rts-epd/>
- Realdania. (2018). *The Circular Construction Challenge - Rethink Waste*. <https://challenges.dk/en/challenge/circularconstructionchallenge>
- RGS Nordic, D. B. (2018). *Certificeret genbrugsbeton*. <https://www.rgsnordic.com/nyheder/rgs-nordic-og-dk-beton-faar-stoette-fra-miljoestyrelsen-til-banebrydende-betonsamarbejde/>
- RICS. (2018). *BCIS component life expectancy update for 2018*. <https://www.rics.org/uk/news-insight/latest-news/news-opinion/bcis-component-life-expectancy-update-for-2018/>
- Röck, M., Balouktsi, M., Ruschi, M., & Saade, M. (2020). Embodied GHG emissions of buildings – Critical reflection of benchmark comparison and in-depth analysis of drivers. *World Sustainable Built Environment Conference*.
- Röck, M., Saade, M. R. M., Balouktsi, M., Rasmussen, F. N., Birgisdóttir, H., Frischknecht, R., Habert, G., Lützkendorf, T., & Passer, A. (2020). Embodied GHG emissions of buildings – The hidden challenge for effective climate change mitigation. *Applied Energy*, 258(June 2019), 114107. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114107>
- Rydberg, M. (2020). *Interview with Maria Rydberg, Swedish Life Cycle Center*. Interview carried out by Rambøll, 11.09.2020



- Sariola, L., Sateri, J., & Rintala, T. (2019). A Finnish Environmental Classification for Building Projects: Experiences and New Developments. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 297(1).
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/297/1/012007>
- SBK. (2020). *Stichting Bouwkwaliiteit*.
- SBK - Building Quality Foundation. (2020). *BMB - Determination Method Environmental performance Buildings and civil engineering works*. <https://milieudatabase.nl/milieuprestatie/bepalingsmethode/>
- Sørensen, L., & Mattson, M. (2020). ANALYSE AF CO₂- UDLEDNING OG TOTALØKONOMI I. *Ramboll*.
- Sweden Green Building Council. (2017). *BREEAM-SE New Construction 2017, Technical Manual 1.0*.
- Sweden Green Building Council. (2020a). *Hvad er nul CO₂?*
- Sweden Green Building Council. (2020b). *Miljöbyggnad 3.1 - Metodik, Manual nybyggnad*.
- Sweden Green Building Council. (2020c). *NollCO₂ - A net zero carbon future*.
- Sweden Green Building Council. (2020d). *NollCO₂ Nettonoll Klimatpåverkan, Ny Byggnad remiss version 1.0*.
- Sweden Green Building Council. (2020e). *Ny certificering för klimatneutrala byggnader lanseras under World Green Building Week: NollCO₂*.
- Swedish Life Cycle Center. (2020). *Nordic Climate Forum for construction 2020 | Swedish Life Cycle Center*.
<https://www.lifecyclecenter.se/nordic-climate-forum-for-construction-2020/>
- TBST. (2020). *Byggeriets regler*.
- Teknologisk Institut. (2017). *RCA-projektet*.
- Teknologisk Institut. (2020). *3D-printet byggeri*. <https://www.teknologisk.dk/projekter/projekt-3d-printet-byggeri/36985>
- Trafik- Bygge- og Boligstyrelsen. (2020). *Vejledning om den frivillige bæredygtighedsklasse*.
- Trottier, S., Boudreau-sannier, V., Qa, A., Brander, M., & Tipper, R. (2015). Understanding the Changes to Global Warming Potential (GWP) Values Climate Change Analyst. *Ecometrica, February*.
- Tsikaloudaki, K. G., Theodosiou, T. G., Giarma, C. S., Kontoleon, K. J., Tsoka, S. P., Tsigoti, D. C., Chastas, P. D., & Karaoulis, A. C. (2020). Advancing sustainability in prefabricated buildings. *World Sustainable Built Environment Conference*.
- U.S. Green Building Council. (2017). *LEED - Reference Guide for Building Design and Construction, v4. August, 1–4*.
- U.S. Green Building Council. (2020). *Projects*. <https://www.usgbc.org/projects>
- Valdimarsson, E. (2020). *Professor i skarp kritik af klimapartnerskab: Byggeriet har lånt en tredjedel af sin*



reduktion fra energisektoren. Byrummonitor.

van Stijn, A., Eberhardt, L. C. M., Wouterszoon Jansen, B., & Meijer, A. (2020). Design guidelines for circular building components based on LCA and MFA. *World Sustainable Built Environment Conference.*

Vijay, K., Murmu, M., & Deo, S. V. (2017). Bacteria based self healing concrete – A review. In *Construction and Building Materials* (Vol. 152, pp. 1008–1014). Elsevier Ltd.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.07.040>

Voukia, M. (2020). *Spørgeskema udfyldt af Maria Voukia, Rambøll UK.*

Wang, H., Zhang, Y., Gao, W., & Kuroki, S. (2020). Life cycle environmental and cost performance of prefabricated buildings. *Sustainability (Switzerland)*, 12(7). <https://doi.org/10.3390/su12072609>

Zhang, E. Q., Glikson, A., Menéndez, S. L., & Tang, L. (2020). Activation of municipal solid waste incineration ashes for green concrete. *World Sustainable Built Environment Conference.*

Zimmermann, R. K., Andersen, C. E., Kanafani, K., & Birgisdóttir, H. (2020a). *Sbi 2020:04.*

Zimmermann, R. K., Andersen, C. E., Kanafani, K., & Birgisdóttir, H. (2020b). *SBI 2020:04 - Klimapåvirkning fra 60 bygninger - Muligheder for udformning af referenceværdier til LCA for bygninger.*



11. Bilag 1 – Oversigt over interviewede eksperter

Ekspert	Organisation	Land	Primært fokus	Interviewet af	Dato for interview
Christine Collin	Rambøll DK	Danmark	Klimavenligt byggeri og kommende nationale lovgivning om LCA (delopgave 1 + 2)	Asger Wendt Karl & Stefania Butera, Teknologisk Institut	11.09.2020
Harpa Birgisdóttir	Build, AAU	Danmark	Klimavenligt byggeri og kommende nationale lovgivning om LCA (delopgave 1 + 2)	Asger Wendt Karl & Stefania Butera, Teknologisk Institut	14.09.2020
Sarah Cecilie Andersen	EPD Danmark	Danmark	Klimavenligt byggeri og kommende nationale lovgivning om LCA (delopgave 1 + 2)	Asger Wendt Karl & Stefania Butera, Teknologisk Institut	10.09.2020
Luzie Rück	Plan- og Boligstyrelsen	Danmark	Klimavenligt byggeri og kommende nationale lovgivning om LCA (delopgave 1 + 2)	Asger Wendt Karl & Stefania Butera, Teknologisk Institut	11.09.2020
Thomas Juul Andersen	TI - Betoncenter	Danmark	Ny viden, forskning af udvikling vedr løsning til byggeri med lav klimabelastning (delopgave 4)	Asger Wendt Karl & Stefania Butera, Teknologisk Institut	19.10.2020
Abelone Køster	TI - Murværk	Danmark	Ny viden, forskning af udvikling vedr løsning til byggeri med lav klimabelastning (delopgave 4)	Asger Wendt Karl & Stefania Butera, Teknologisk Institut	20.10.2020
Peder Fynholm	TI - Træ og Biomaterialer	Danmark	Ny viden, forskning af udvikling vedr løsning til byggeri med lav klimabelastning (delopgave 4)	Asger Wendt Karl & Stefania Butera, Teknologisk Institut	30.10.2020
Anke Oberender	Videncenter for Cirkulær Økonomi i Byggeriet (VCØB)	Danmark	Ny viden, forskning af udvikling vedr løsning til byggeri med lav klimabelastning (delopgave 4)	Asger Wendt Karl, Teknologisk Institut	04.11.2020
Henna Näsänen	Rambøll	Finland	Cases til klimavenligt byggeri (delopgave 3)	Nana Lin Rasmussen (Spørgeskema)	13.11.2020
Sanni Heikkinen Paula Rantanen	Rambøll	Finland	Klimavenligt byggeri (delopgave 1)	Nana Lin Rasmussen og Christine Collin (Spørgeskema)	02.11.2020 09.11.2020
Matti Kuittinen	Ministry of the Environment	Finland	Kommende regulering i Finland (Climate Declaration) (delopgave 2)	Nana Lin Rasmussen, Christine Collin, Rambøll	29.09.2020
Sanni Heikkinen	Rambøll	Finland	Kommende regulering i Finland (Climate Declaration) og RTS-certificering (Delopgave 2)	Nana Lin Rasmussen, Christine Collin, Rambøll	11.09.2020



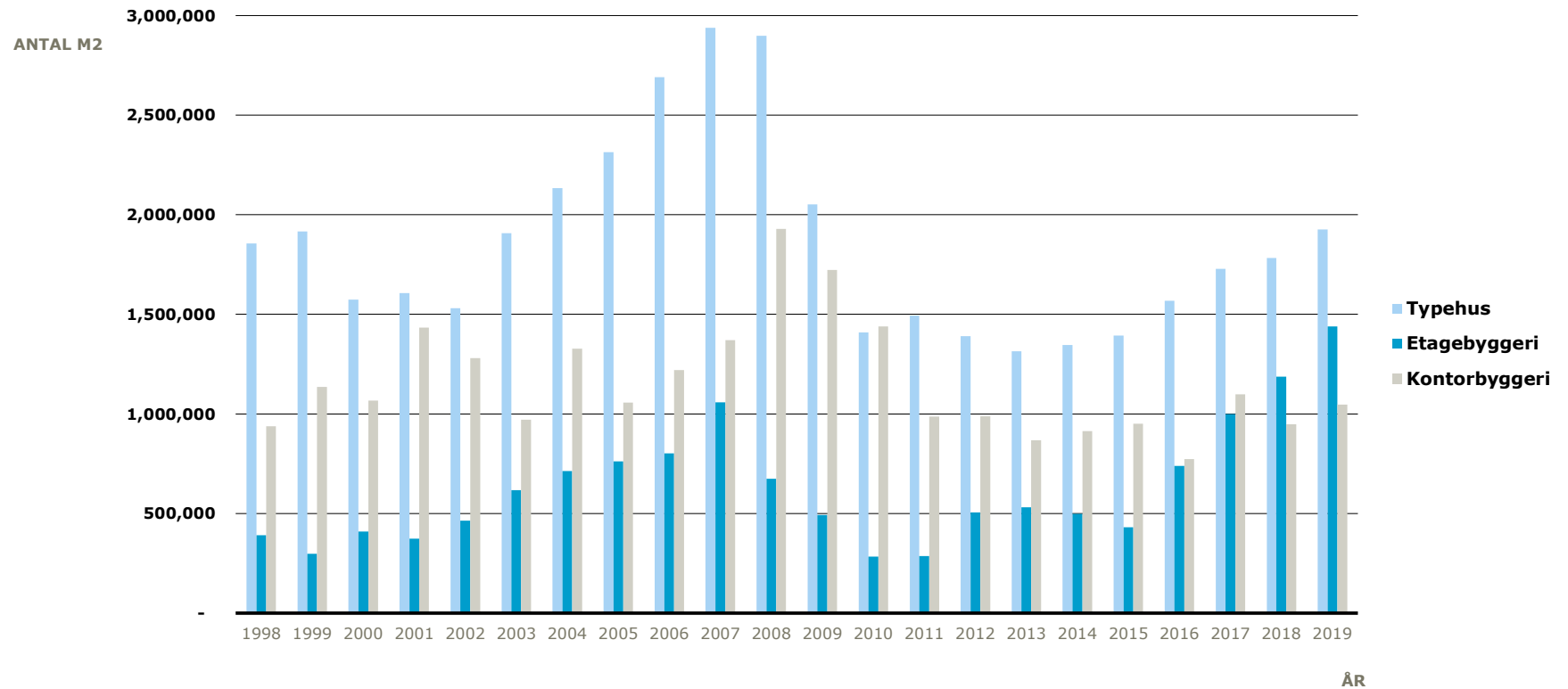
Sylviane Nibel Jacques Chevalier	CSTB in Marne la Vallée	Frankrig	Klimavenligt byggeri og kommende nationale lovgivning om LCA (delopgave 1 + 2)	Nana Lin Rasmussen (Spørgeskema)	21.10.2020
Florian Piton Brigitte Jacquemont	Ministère de la transition écolo- gique	Frankrig	Klimavenligt byggeri og kommende nationale lovgivning om LCA (delopgave 1 + 2)	Nana Lin Rasmussen (Spørgeskema)	03.11.2020
Mantijn van Le- euwen	NIBE	Holland	Klimavenligt byggeri og kommende nationale lovgivning om LCA (delopgave 1 + 2)	Asger Wendt Karl & Ste- fania Butera, Teknolo- gisk Institut	20.10.2020
Harry van Ewijk	SGS	Holland	Klimavenligt byggeri og kommende nationale lovgivning om LCA (delopgave 1 + 2)	Asger Wendt Karl & Ste- fania Butera, Teknolo- gisk Institut	20.10.2020
Ingunn Marton	DIBK Direktorat for byggekvali- tet (Direktoratet for byggkvalitet - DIBK)	Norge	Klimavenligt byggeri og kommende nationale lovgivning om LCA (delopgave 1 + 2)	Asger Wendt Karl & Ste- fania Butera, Teknolo- gisk Institut (Spørgeskema)	14.09.2020
Kristian Bøe	Rambøll NO	Norge	Klimavenligt byggeri og kommende nationale lovgivning om LCA (delopgave 1 + 2)	Asger Wendt Karl & Ste- fania Butera, Teknolo- gisk Institut	14.09.2020
Lars Petter Bingh	Statsbygg	Norge	Klimavenligt byggeri og kommende nationale lovgivning om LCA (delopgave 1 + 2)	Asger Wendt Karl & Ste- fania Butera, Teknolo- gisk Institut	14.09.2020
Johanne Thur- mann-Moe	Rambøll	Norge	Cases til klimavenligt byggeri (delopgave 3)	Nana Lin Rasmussen (Spørgeskema)	05.11.2020
Maria Voukia	Rambøll	Storbritan- nien	Klimavenligt byggeri, GLA og cases fra Storbritannien (delopgave 1, 2 + 3)	Nana Lin Rasmussen (Spørgeskema)	21.10.2020
Mirko Farne- tani	LETI	Storbritan- nien	Klimavenligt byggeri (delopgave 1)	Nana Lin Rasmussen (Spørgeskema)	24.10.2020
David Althoff Palm David Linden	Rambøll	Sverige	Praktisk brug af LCA med fokus på NollCO ₂ , Miljøbyggnad, BREEAM-SE (delopgave 2)	Nana Lin Rasmussen, Lise Hvid Horup Søren- sen, Rambøll	14.09.2020
Josefine Pet- tersson	Rambøll	Sverige	Cases om klimavenligt byggeri (delopgave 3)	Nana Lin Rasmussen, Rambøll (Spørgeskema)	09.11.2020
Maria Rydberg	Swedish Life Cy- cle Center (SLC)	Sverige	Kommende regulering i Sverige (Kli- matdeklaration) (delopgave 2)	Nana Lin Rasmussen, Lise Hvid Horup Søren- sen, Rambøll	11.09.2020



Kristina Einars- son Cathrine Engström	Boverket	Sverige	Kommende regulering i Sverige (Kli- matdeklaration) (delopgave 2)	Nana Lin Rasmussen, Lise Hvid Hørup Søren- sen, Rambøll	15.09.2020
Philip Deeg	Henning Larsen Architects	Tyskland	Klimavenligt byggeri og kommende nationale lovgivning om LCA (delop- gave 1 + 2)	Asger Wendt Karl & Ste- fania Butera, Teknolo- gisk Institut	21.10.2020
Tanja Brock- mann	BBSR (Bundesin- stitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung)	Tyskland	Klimavenligt byggeri og kommende nationale lovgivning om LCA (delop- gave 1 + 2)	Asger Wendt Karl & Ste- fania Butera, Teknolo- gisk Institut	21.10.2020
Nicolas Kerz	BBSR (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumfor- schung)	Tyskland	Klimavenligt byggeri og kommende nationale lovgivning om LCA (delop- gave 1 + 2)	Asger Wendt Karl (Spør- geskema)	16.11.2020



12. Bilag 2 – Udvikling af årligt opført nybyggeri for de tre udvalgte byggerityper i perioden 1998 – 2019



Figur 17: Udvikling af årligt opført nybyggeri for de tre udvalgte byggerityper i perioden 1998 – 2019.
Kilde: Udarbejdet af Rambøll med data fra Danmarks Statistik BYGV80



13. Bilag 3 – Energistyrelsens prissætning af CO₂

Tabel 9: Forudsætninger til beregning af klimapåvirkning.

Økonomiske forudsætninger	Enhed	År	Værdi	
			2019- priser	2020 - priser
CO ₂ -ækvivalenter, udenfor kvotesektoren, faktorpris	Kr./ton	2018	119 kr.	120 kr.
CO ₂ -ækvivalenter, udenfor kvotesektoren, faktorpris	Kr./ton	2019	196 kr.	198 kr.
CO ₂ -ækvivalenter, udenfor kvotesektoren, faktorpris	Kr./ton	2020	214 kr.	216 kr.
CO ₂ -ækvivalenter, udenfor kvotesektoren, faktorpris	Kr./ton	2021	254 kr.	256 kr.
CO ₂ -ækvivalenter, udenfor kvotesektoren, faktorpris	Kr./ton	2022	262 kr.	264 kr.
CO ₂ -ækvivalenter, udenfor kvotesektoren, faktorpris	Kr./ton	2023	270 kr.	272 kr.
CO ₂ -ækvivalenter, udenfor kvotesektoren, faktorpris	Kr./ton	2024	278 kr.	280 kr.
CO ₂ -ækvivalenter, udenfor kvotesektoren, faktorpris	Kr./ton	2025	286 kr.	288 kr.
CO ₂ -ækvivalenter, udenfor kvotesektoren, faktorpris	Kr./ton	2026	294 kr.	297 kr.
CO ₂ -ækvivalenter, udenfor kvotesektoren, faktorpris	Kr./ton	2027	303 kr.	306 kr.
CO ₂ -ækvivalenter, udenfor kvotesektoren, faktorpris	Kr./ton	2028	312 kr.	315 kr.
CO ₂ -ækvivalenter, udenfor kvotesektoren, faktorpris	Kr./ton	2029	321 kr.	324 kr.
CO ₂ -ækvivalenter, udenfor kvotesektoren, faktorpris	Kr./ton	2030	331 kr.	334 kr.
CO ₂ -ækvivalenter, udenfor kvotesektoren, faktorpris	Kr./ton	2031	331 kr.	334 kr.
CO ₂ -ækvivalenter, udenfor kvotesektoren, faktorpris	Kr./ton	2032	331 kr.	334 kr.
CO ₂ -ækvivalenter, udenfor kvotesektoren, faktorpris	Kr./ton	2033	331 kr.	334 kr.
CO ₂ -ækvivalenter, udenfor kvotesektoren, faktorpris	Kr./ton	2034	331 kr.	334 kr.
CO ₂ -ækvivalenter, udenfor kvotesektoren, faktorpris	Kr./ton	2035	333 kr.	336 kr.
CO ₂ -ækvivalenter, udenfor kvotesektoren, faktorpris	Kr./ton	2036	343 kr.	346 kr.
CO ₂ -ækvivalenter, udenfor kvotesektoren, faktorpris	Kr./ton	2037	353 kr.	356 kr.
CO ₂ -ækvivalenter, udenfor kvotesektoren, faktorpris	Kr./ton	2038	363 kr.	366 kr.
CO ₂ -ækvivalenter, udenfor kvotesektoren, faktorpris	Kr./ton	2039	374 kr.	377 kr.
CO ₂ -ækvivalenter, udenfor kvotesektoren, faktorpris	Kr./ton	2040	385 kr.	388 kr.
CO ₂ -ækvivalenter, udenfor kvotesektoren, faktorpris	Kr./ton	>2040	385 kr.	388 kr.
Nettoafgiftsfaktor (NAF)			1,28	

Kilde Rambøll; Tallene er afrundet til nærmeste heltal.



14. Bilag 4 – Data til at fastsætte referenceværdier

Tabel 10: Anvendte cases med tilhørende data til at beregne referenceværdier opgjort i kg CO₂-ækv/m²/år samt bygge- og driftsomkostninger opgjort i nutidsværdi kr./m²/år.

Data	Typehus	LCC	Data	Etagebyggeri	LCC	Data	Kontorbyggeri	LCC
SBI	9,24		SBI	8,86		SBI	9,52	
SBI	9,76		SBI	8,97		SBI	8,12	
SBI	8,17		SBI	8,69		SBI	9,95	
SBI	10,38		SBI	9,22		SBI	8,36	
SBI	6,45		SBI	10,10		SBI	10,70	
SBI	10,76		SBI	12,08		SBI	7,90	
SBI	8,18		SBI	7,09		SBI	12,41	
SBI	12,25		SBI	10,93		SBI	11,61	
SBI	8,06		SBI	8,95		SBI	9,75	
SBI	11,24		SBI	10,04		SBI	12,94	
SBI	8,39		SBI	10,84		SBI	6,74	
SBI	10,22		Rambøll case	5,03	269 kr.	SBI	9,07	
SBI	10,59		Rambøll case	7,86	260 kr.	SBI	6,69	
SBI	14,16		Rambøll case	6,89		SBI	9,57	
SBI	14,50		Rambøll case	6,94		SBI	8,84	
SBI	6,58					SBI	8,38	
SBI	8,57					SBI	9,59	
SBI	9,99					SBI	11,79	
SBI	8,68					SBI	9,11	
SBI	8,50					SBI	10,55	
SBI	9,63					SBI	8,78	
SBI	10,45					SBI	7,67	
Rambøll case	11,71	279 kr.				Rambøll case	406 kr.	
Rambøll case	6,55	300 kr.				Rambøll case	6,28	420 kr.
Rambøll case	5,83	300 kr.				Rambøll case	10,04	515 kr.
Rambøll case	15,23	274 kr.				Rambøll case	10,84	
Rambøll case	9,42	289 kr.				Rambøll case		426 kr.
						Rambøll case		325 kr.
						Rambøll case		449 kr.
						Rambøll case		469 kr.
						Rambøll case		426 kr.
						Rambøll case	8,49	
						Rambøll case	7,45	

Typehus	
	Total
Nedre kvartil	8
Median	9
Øvre kvartil	11

Etagebyggeri	
	Total
Nedre kvartil	7
Median	9
Øvre kvartil	10

Kontorbyggeri	
	Total
Nedre kvartil	8
Median	9
Øvre kvartil	11

Kilde: Rambøll; Tallene er afrundet.

Data	Typehus	LCC
SBI		9,24

Data	Etagebyggeri	LCC
SBI		8,86

Data	Kontorbyggeri	LCC
SBI		9,52



TEKI
INST

SBI	9,76	
SBI	8,17	
SBI	10,38	
SBI	6,45	
SBI	10,76	
SBI	8,18	
SBI	12,25	
SBI	8,06	
SBI	11,24	
SBI	8,39	
SBI	10,22	
SBI	10,59	
SBI	14,16	
SBI	14,50	
SBI	6,58	
SBI	8,57	
SBI	9,99	
SBI	8,68	
SBI	8,50	
SBI	9,63	
SBI	10,45	
Rambøll case	11,71	279 kr.
Rambøll case	6,55	300 kr.
Rambøll case	5,83	300 kr.
Rambøll case	15,23	274 kr.
Rambøll case	9,42	289 kr.

SBI	8,97	
SBI	8,69	
SBI	9,22	
SBI	10,10	
SBI	12,08	
SBI	7,09	
SBI	10,93	
SBI	8,95	
SBI	10,04	
SBI	10,84	
Rambøll case	5,03	269 kr.
Rambøll case	7,86	260 kr.
Rambøll case	6,89	
Rambøll case	6,94	

SBI	8,12	
SBI	9,95	
SBI	8,36	
SBI	10,70	
SBI	7,90	
SBI	12,41	
SBI	11,61	
SBI	9,75	
SBI	12,94	
SBI	6,74	
SBI	9,07	
SBI	6,69	
SBI	9,57	
SBI	8,84	
SBI	8,38	
SBI	9,59	
SBI	11,79	
SBI	9,11	
SBI	10,55	
SBI	8,78	
SBI	7,67	
Ramboll case		406 kr.
Ramboll case	6,28	420 kr.
Ramboll case	10,04	515 kr.
Ramboll case	10,84	
Ramboll case		426 kr.
Ramboll case		325 kr.
Ramboll case		449 kr.
Ramboll case		469 kr.



Typehus	
	Total
Nedre kvartil	8
Median	9
Øvre kvartil	11

Etagebyggeri	
	Total
Nedre kvartil	7
Median	9
Øvre kvartil	10

Ramboll case	426 kr.
Ramboll case	8,49
Ramboll case	7,45

Kontorbyggeri	
	Total
Nedre kvartil	8
Median	9
Øvre kvartil	11



TEKNOLOGISK
INSTITUT
15 Bilag 5 – Beregning af skyggepriser

Tabel 11: Beregning af CO₂ skyggepriser for de 3 udvalgte byggerityper for scenarie 3 og 4.

	Typehus			Etagebyggeri			Kontorbyggeri		
	Meromkostninger	CO2 reduceret	Skyggepris	Meromkostninger	CO2 reduceret i ton	Skyggepris	Meromkostninger	CO2 reduceret i ton	Skyggepris
Scenarie 4	0,56 mia. kr.	277.945 tons CO2- ækw	2.000 kr.	0,19 mia. kr.	95.176 tons CO2- ækw	2.000 kr.	0,46 mia. kr.	173.615 tons CO2- ækw	2.667 kr.
Scenarie 5	1,30 mia. kr.	277.945 tons CO2- ækw	4.667 kr.	0,44 mia. kr.	95.176 tons CO2- ækw	4.667 kr.	1,16 mia. kr.	173.615 tons CO2- ækw	6.667 kr.

Kilde: Rambøll; Tallene er afrundet.



16. Bilag 6 – Resultater fra følsomhedsanalyse for ændrede referenceværdier

Typehus					
	5 CO ₂ -ækv/m ² /år	6 CO ₂ -ækv/m ² /år	7 CO ₂ -ækv/m ² /år	8 CO ₂ -ækv/m ² /år	9 CO ₂ -ækv/m ² /år
Scenarie 1	1,40 mia. kr.	1,38 mia. kr.	1,36 mia. kr.	1,35 mia. kr.	1,33 mia. kr.
Scenarie 2	0,66 mia. kr.	0,64 mia. kr.	0,62 mia. kr.	0,61 mia. kr.	0,59 mia. kr.
Scenarie 3	0,10 mia. kr.	0,08 mia. kr.	0,07 mia. kr.	0,05 mia. kr.	0,03 mia. kr.
Scenarie 4	-0,45 mia. kr.	-0,47 mia. kr.	-0,49 mia. kr.	-0,51 mia. kr.	-0,52 mia. kr.
Scenarie 5	-1,20 mia. kr.	-1,21 mia. kr.	-1,23 mia. kr.	-1,25 mia. kr.	-1,26 mia. kr.

Etagebyggeri					
	5 CO ₂ -ækv/m ² /år	6 CO ₂ -ækv/m ² /år	7 CO ₂ -ækv/m ² /år	8 CO ₂ -ækv/m ² /år	9 CO ₂ -ækv/m ² /år
Scenarie 1	0,41 mia. kr.	0,40 mia. kr.	0,40 mia. kr.	0,39 mia. kr.	0,39 mia. kr.
Scenarie 2	0,16 mia. kr.	0,15 mia. kr.	0,14 mia. kr.	0,14 mia. kr.	0,13 mia. kr.
Scenarie 3	0,03 mia. kr.	0,02 mia. kr.	0,02 mia. kr.	0,01 mia. kr.	0,01 mia. kr.
Scenarie 4	-0,16 mia. kr.	-0,17 mia. kr.	-0,17 mia. kr.	-0,18 mia. kr.	-0,18 mia. kr.
Scenarie 5	-0,42 mia. kr.	-0,42 mia. kr.	-0,43 mia. kr.	-0,43 mia. kr.	-0,44 mia. kr.

Kontorbyggeri					
	5 CO ₂ -ækv/m ² /år	6 CO ₂ -ækv/m ² /år	7 CO ₂ -ækv/m ² /år	8 CO ₂ -ækv/m ² /år	9 CO ₂ -ækv/m ² /år
Scenarie 1	1,34 mia. kr.	1,33 mia. kr.	1,32 mia. kr.	1,30 mia. kr.	1,29 mia. kr.
Scenarie 2	0,64 mia. kr.	0,63 mia. kr.	0,62 mia. kr.	0,61 mia. kr.	0,60 mia. kr.
Scenarie 3	0,06 mia. kr.	0,05 mia. kr.	0,04 mia. kr.	0,03 mia. kr.	0,02 mia. kr.
Scenarie 4	-0,40 mia. kr.	-0,41 mia. kr.	-0,42 mia. kr.	-0,43 mia. kr.	-0,44 mia. kr.
Scenarie 5	-1,09 mia. kr.	-1,10 mia. kr.	-1,12 mia. kr.	-1,13 mia. kr.	-1,14 mia. kr.