I. Reduction Roadmap

Reduction Roadmap: Preconditions and Methodologies

I. Reduction Roadmap: Preconditions and Methodologies

Contributing authors:

Dani Hill-Hansen, EFFEKT
Emil Vindæs, EFFEKT
Frida Nordvik, EFFEKT
Kasper Benjamin Reimer Bjørkskov, EFFEKT
Katarina Buhl, CEBRA
Kaja Dons Petrusson, EFFEKT
Laura Sofie Toftdahl Olsen, CEBRA
Mikkel Hallundbæk Schlesinger, CEBRA
Rasmus Søgaard, MOE
Sinus Lynge, EFFEKT
Steffen E. Maagaard, MOE

To reference this report:

Reduction Roadmap (2022) Reduction Roadmap: Preconditions and Methodologies. Version 2 - 27 September, 2022. www.reductionroadmap.dk.

Initiated by:

Funded by:

INDEX

1.0	**Indledning**	**4**
1.1	Baggrund	5
1.2	Problemstilling	6
1.3	Afgrænsings	6
1.4	Ordforklaring	7
2.0	**Rammesætning for bæredygtige boliger**	9
2.1	Menneskeskabte klimaforandringer	10
2.2	Parisaftalen	13
2.3	Planetære grænser	13
2.4	Udledninger i dag	15
2.5	Byggebranchen andel	16
2.6	LCA på bygningsniveau	19
2.7	Allokeringsprincipper	20
3.0	**Reduktionsmål for nyt dansk boligbyggeri**	21
3.1	Dansk andel af IPCC Co2-buget	22
3.2	Dansk andel af safe operating space	25
3.3	Tidsramme for nødvendige reduktioner	25
3.4	Reduction roadmap for nye boliger	25
3.5	Alternative reduktionsveje	29
4.0	**Diskussion**	**34**
5.0	**Konklusion**	**39**
6.0	**Fremtidligt arbejde**	**41**
7.0	**Referencer**	**43**

01 Indledning

1.1 Baggrund

Siden industrialiseringen er atmosfærens indhold af CO_2 steget i et hidtil uset tempo og blev i maj 2022 målt til 421 ppm, hvilket er den højeste koncentration i flere tusinde år (Stein, 2022). Stigningen skyldes primært menneskeskabte udledninger af drivhusgasser, og er en af de væsentligste årsager til den globale temperaturstigning og dermed de klimaforandringer, vi i øjeblikket oplever. Hvis vi fortsætter med at udlede drivhusgasser i samme hastighed som i dag, kan det have katastrofale konsekvenser for klima- og økosystemer, herunder liv på planeten, som vi kender det. Derfor er vi på både globalt og nationalt plan nødt til at reducere udledningen af drivhusgasser markant (IPCC, 2021).

Mængden af drivhusgasser, vi kan tillade os at udlede til atmosfæren, kan bestemmes ud fra Jordens planetære grænser, som beskriver hvor stor en menneskelig påvirkning, planeten kan klare uden risiko for skadelige eller katastrofale miljøændringer (Petersen et al., 2022; Rockström et al., 2009). Under forudsætning af at planeten er i balance, definerer de planetære grænser et sikkert handlingsrum, som kan anses for Jordens bæredygtige CO_2 budget. Den planetære grænse for "klimaforandringer" blev imidlertid overskrevet i 2017 og Jorden befinder sig derfor i et stadie, hvor den globale miljøtilstand er under pres.

En af de sektorer som bidrager mest til den menneskeskabte udledning af drivhusgasser, er bygge- og anlægssektoren, der årligt er ansvarlig for 37 % af den samlede globale udledning (UEA, 2017). Samme billede gør sig gældende i Danmark, hvor bygninger, broer og veje står for 33 % af Danmarks udledning (Klimapartnerskabet for bygge- og anlægssektoren, 2020a). Derfor har byggebranchen også i flere år haft fokus på mere bæredygtigt byggeri, men tilgangen har været relativ og ikke absolut (Brejnrod et al., 2017). Med en relativ tilgang til bæredygtigt byggeri i et miljømæssigt perspektiv måles klimabelastningen fra en bygning og sammenlignes med andre lignende bygninger. Herved kan det dokumenteres, om bygningen er mere bæredygtig end tidligere bygninger, og på denne måde sikre, at klimabelastningen fra byggebranchen reduceres over tid. Metoden fortæller dog ikke, hvorvidt den givne bygning rent faktisk er bæredygtig set i forhold Jordens planetære grænser eller om reduktionen bidrager tilstrækkeligt til at opfylde fx internationale klimamål som Parisaftalen (United Nations Climate Change, 2015).

For at vurdere dette er det nødvendigt at anvende en absolut tilgang til bæredygtigt byggeri. Denne metode sammenholder klimabelastningen fra en bygning til den andel af Jordens CO_2 budget, som den pågældende bygning er tildelt (Brejnrod et al., 2017). Den tildelte andel kan dog være vanskelig at fastslå, men for at begrænse den

globale temperaturstigning, er det en tilgang byggebranchen er nødt til at forholde sig til.

1.2 Problemstilling

Ovenstående problemstilling har ført til nærværende projekt, hvis formål er at udvikle et operationelt værktøj til byggebranchen, som, ved at omsætte den planetære grænse for "klimaforandringer" til et reduktionsmål for nyt dansk boligbyggeri, skal sikre en transition fra nuværende udledninger til bæredygtige boliger. Fordi den planetære grænse allerede er overskredet, skal transitionen ske hurtigst muligt, men med en accept af at det ikke sker i morgen, anvendes Parisaftalens målsætning om en maksimal temperaturstigning på 1,5°C til at definere en tidsramme for den nødvendige reduktion.

Værktøjet hedder "Reduction Roadmap" og udformes som et antal reduktionskurver, der klarlægger, hvor meget byggeriet årligt skal reducere udledningen af drivhusgasser for at bygge indenfor Parisaftalens målsætning. Ønsket med Reduction Roadmap er således at give branchen et fælles værktøj, som kan bruges til at skabe den nødvendige forandring der skal til, hvis vi som branche skal bygge indenfor de planetære grænser.

Med afsæt i statistisk datagrundlag, eksisterende litteratur samt den nyeste forskning er det klarlagt, hvor byggebranchen står i dag, hvor den skal hen, og med hvilken hastighed, klimapåvirkningerne årligt skal reduceres.
Med Reduction Roadmap opfordres alle aktører i byggeriet til at bruge roadmappet som retningsgiver i udviklingen af nye byggeprojekter.

1.3 Afgrænsning

Nærværende projekt afgrænses til udelukkende at udforme et roadmap for nyt dansk boligbyggeri, som viser en vej mod bæredygtige boliger set i forhold til boligers andel af Jordens CO2-budget. Denne transition er udelukkende en målsætning om at stoppe atmosfærens indhold af drivhusgasser i at stige, og er dermed ikke en vej tilbage til tilbage til igen at være under den planetære grænse for "klimaforandringer".
I tillæg til dette afgrænses projektet fra vurdere, hvor stor en andel af Danmarks samlede udledning af drivhusgasser, der skal eller bør allokeres til de forskellige industrier i fremtiden. For nærværende projekt anvendes et allokeringsprincip, som blot antager, at alle industrier også fremadrettet tildeles samme andel som i dag. Herudover forudsættes et lige fordelingsprincip for verdens befolkning.

ORDFORKLARING

Gennem rapporten anvendes flere fagudtryk og forkortelser. Disse er kort beskrevet nedenfor.

Byggebranchen
Referer til den del af erhvervslivet, som er beskæftiget med at opføre, ombygge eller reparere bygværker eller anlægsarbejder af enhver art og størrelse, såsom bygninger og huse, veje og jernbaner, broer og tunneler, havne og lufthavne, cykelstier og golfbaner.

CO2-ækvivalenter (CO2eq.)
Fælles måleenhed der beskriver forskellige drivhusgassers indvirkning på drivhuseffekten sammenlignet med CO2.

Drivhusgasser
Drivhusgasser er en fælles betegnelse for de luftarter, der bidrager til drivhuseffekten. Når koncentrationen af drivhusgasser i atmosfæren vokser, medfører det ændringer i drivhuseffekten, der samlet set får jordens temperatur til at stige og dermed ændrer klimaet på jorden.

IPCC AR6: Sixth assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change
Udkom i april 2021, og har til formål at vurdere videnskabelige, tekniske og socio-økonomiske informationer vedrørende risikoen for menneskeskabte klimaforandringer.

LCA
Forkortelse for Life Cycle Assessment – på dansk livscyklusvurdering. LCA er en metode til at vurdere, hvilke potentielle miljøpåvirkninger og ressourceforbrug, der er knyttet til et produkt eller en service. LCA bygger på livscyklustankegangen, hvor man indtænker hele produktets livscyklus fra vugge til grav.

Parisaftalen
Juridisk bindende aftale mellem 196 medlemslande af FN's klimakonvention (UNFCCC). Aftalen forpligter landene til i fællesskab at begrænse den globale temperaturstigning til maksimalt 2,0°C men dog stræbe efter en maksimal stigning på 1,5°C.

Planetære grænser
Metode til at opgøre klodens globale miljøtilstand. Indenfor 9 afgørende områder, definerer de planetære grænser hvor stor menneskelig påvirkning planeten kan klare, uden at der sker væsentlige ændringer i den globale miljøtilstand.

Safe Operating Space (SOS)
Sikkert handlingsrum, hvor planeten kan håndtere

den menneskelige påvirkning af de globale miljøprocesser uden væsentlige ændringer i den globale miljøtilstand

Stockholm Resilience Center
Siden lanceringen i 2007 har Stockholm Resilience Center udviklet sig til et verdensførende videnskabscenter med fokus på, hvordan vi globalt løser de komplekse udfordringer, som menneskeheden står over for. Centret er et fælles initiativ mellem University of Stockholm og Beijer Institute of Ecological Economics hos Royal Swedish Academy of Sciences

Zone of Uncertainty
Begreb relateret til de planetære grænser. Når en grænse overskrides, bevæger planetens miljøtilstand sig ind i "zone of uncertainty", hvor risikoen for uforudsigelige og uoprettelige klimaforandringer øges markant.

02 Rammesætning for bæredygtige boliger

Efter at have defineret baggrund, formål og afgrænsning for nærværende projekt, redegøres i de følgende afsnit for rammerne for udformningen af en operationel reduktionskurve for boligbyggeri. Således gennemgås nyeste viden fra klimaforskere, internationale og nationale klimamål samt status for udledning af drivhusgasser i dag. Derudover beskrives hvordan byggebranchen i dag arbejder med bæredygtigt byggeri, og hvordan Jordens bæredygtige klimabudget kan omsættes til nyt dansk boligbyggeri.

2.1 Menneskeskabte klimaforandringer

Den globale temperaturstigning og de medfølgende klimaforandringer er menneskeskabte, og hvis vi fortsætter med at udlede drivhusgasser i samme tempo som i dag, kan det have katastrofale konsekvenser for menneskelige og naturlige systemer. Sådan konkluderer FN's sjette klimarapport IPCC AR6 (IPCC, 2021), og bekræfter således tidligere rapporters budskaber.

Gennem de seneste år har klimaforskere ud fra bedre klimamodeller og datagrundlag fået en større forståelse for planetens klimasystemer, hvorfor IPCC AR6 rapporten giver et langt mere detaljeret indblik i, hvordan menneskelige aktiviteter påvirker klimasystemer. Udover entydigt at konkludere, at udledningen af drivhusgasser forårsaget af menneskelige aktiviteter skal reduceres markant for at stoppe yderligere opvarmning, giver rapporten også et estimat af det resterende globale CO2-budget, vi som mennesker, kan udlede, hvis temperaturstigningen, sammenlignet med pre-industrielle niveau (1850–1900), skal begrænses til hhv. 1,5°C, 1,7°C og 2,0°C. Budgetterne som er gengivet i **tabel 1**, er regnet fra begyndelsen af 2020 og strækker sig indtil en global netto-nul CO2-udledning er nået. Som det ses, er budgetterne desuden estimeret med forskellige sandsynligheder for at begrænse den globale temperaturstigning til hver temperaturgrænse. Budgetterne relaterer sig til CO2-udledning, men er estimeret ud fra en global overflade temperatur, hvorfor effekten af andre drivhusgasser som eksempelvis methan også er inkluderet. For disse drivhusgasser omregnes via vægtningsfaktorer til CO2-ækvivalenter (CO2eq.)

Selvom 0,5°C grader numerisk set er en lille forskel, har det stor betydning for Jordens klima- og økosystemer om temperaturstigningen begrænses til 1,5°C eller 2,0°C. **Figur 1** viser nogle af disse konsekvenser.

tabel 1:

IPCC AR6, Table SMP.2 - Estimates of historical carbon dioxide (C02) emission and remaining carbon budgets.

	Approximate global warming relative to 1850-1900 until temperature limit (°C)	Additional global warming relative to 2010-2019 until temperature limit (°C)	Estimated remaining carbon budgets from the beginning of 2020 (GtCO2)				
			17%	33%	50%	67%	83%
Global budget	1,5	0,43	900	650	500	400	300
	1,7	0,63	1450	1050	850	700	550
	2,0	0,93	2300	1700	1350	1150	900

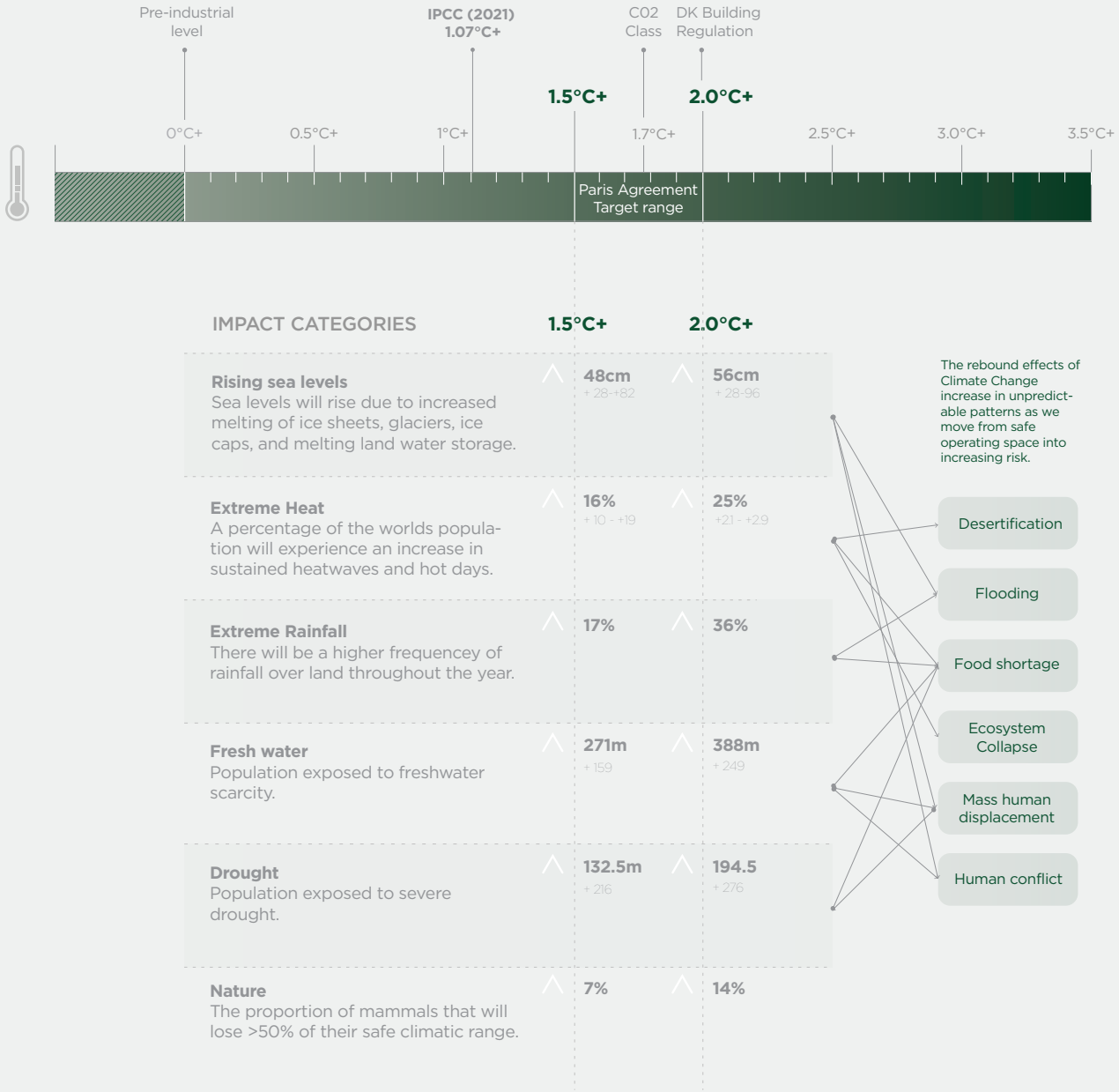


figure 1:
Selvom 0,5°C grader numerisk set er en lille forskel, har det stor betydning for Jordens klima- og økosystemer om temperaturstigningen begrænses til 1,5°C eller 2,0°C. (Pearce et al., 2022)

2.2 Parisaftalen

Temperaturstigningerne i **tabel 1** relaterer sig direkte til Parisaftalen (United Nations Climate Change, 2015), som Danmark sammen med 195 andre medlemslande af FN's klimakonvention (UNFCCC) underskrev i 2015. Med denne aftale forpligter landene sig til i fællesskab at begrænse den globale temperaturstigning til maksimalt 2,0°C men dog stræbe efter en maksimal stigning på 1,5°C. Med IPCC-rapporten sættes der således tal på hvilke globale budgetter, der arbejdes med for at nå Parisaftalens mål.

Udover en langsigtet målsætning om at begrænse den globale temperaturstigning, er Danmark og de øvrige medlemslande desuden forpligtede til at fremlægge nationale reduktionsbidrag ift. at nå en samlet reduktion i udledningen af drivhusgasser på 40 % i 2030 i forhold til niveauet i 1990. Reduktionerne skal fordeles mellem medlemslandene, og Danmark har, som en del af dette, vedtaget en national klimalov med skærpede krav, der skal sikre en reduktion i udledningen af drivhusgasser på 70 % i 2030 sammenlignet med 1990. Desuden skal Danmark senest i 2050 være et klimaneutralt samfund (Klima- Energi- og Forsyningsministeriet, 2020). I et klimaneutralt samfund udledes der ikke mere drivhusgas, end der optages, hvorfor dette også refereres til som netto-nul. Dette er således en målsætning om at stoppe stigningen af atmosfærens indhold af drivhusgasser, og dermed den accelererede drivhuseffekt, som er en af de væsentligste årsager til den globale temperaturstigning.

Koncentrationen af drivhusgasser i atmosfæren udtrykkes i antal pr. million (parts per million, ppm), og har, ligesom den globale temperatur, været stigende siden industrialiseringen. I maj 2022 målte forskere fra National Oceanic and Atmospheric Administrations en koncentration på 421 ppm. Dette er den højeste koncentration siden målingerne startede i 1974 (Stein, 2022). Til sammenligning lå niveauet før industrialiseringen omkring 280 ppm, og ifølge Stockholm Resilience Center er den planetære grænse for koncentration af drivhusgasser i atmosfæren 350 ppm (Rockström et al., 2009).

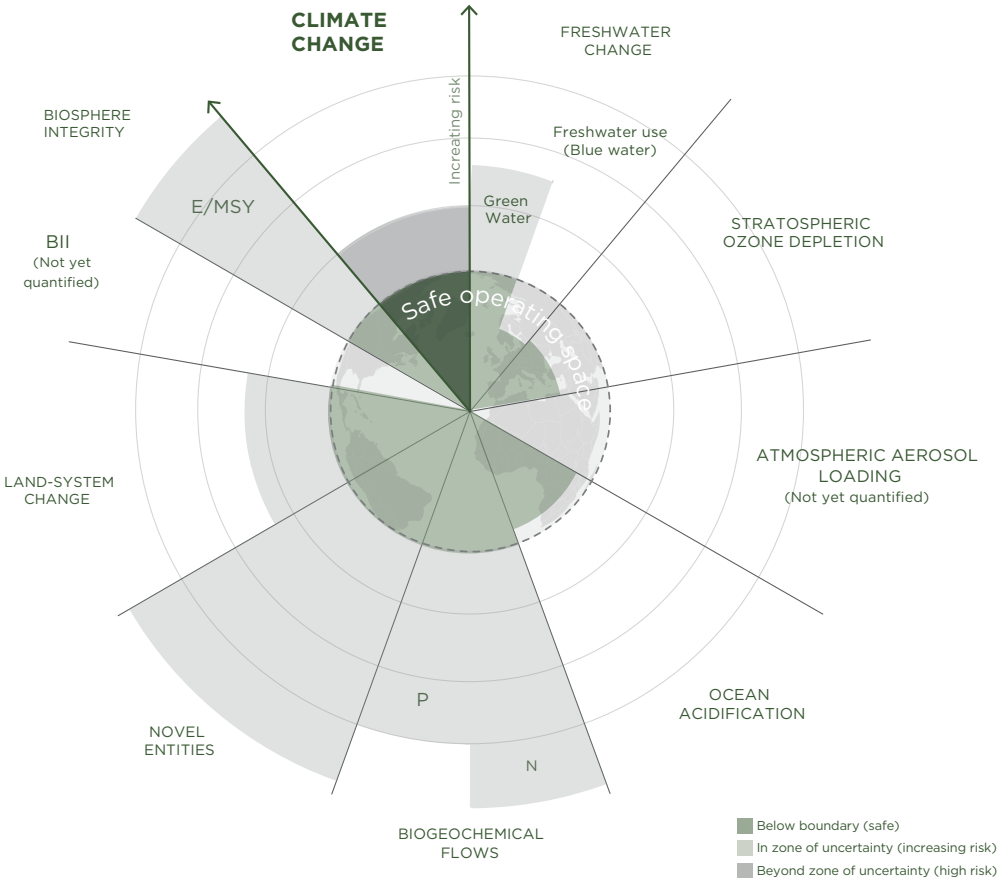
2.3 Planetære grænser

Planetære grænser, som første gang blev beskrevet i 2009 af en gruppe førende klimaforskere med Johan Rockstrøm i spidsen (Rockström et al., 2009), er en metode til at opgøre klodens tilstand. Metoden beskriver, indenfor 9 afgørende områder, hvor stor en menneskelig påvirkning planeten kan klare, uden at der sker væsentlige ændringer i den globale miljøtilstand. Dette er for hvert af de 9 områder defineret ved et "sikkert handlingsrum" og en planetær grænse. Hver gang en planetær grænse overskrides, bevæger planetens miljøtilstand sig ind i "zone of uncertainty" og risikoen for uforudsigelige og uoprettelige

klimaforandringer øges markant (Rockström et al., 2009; Steffen et al., 2015).

I dag har vi, som illustreret på **figur 2**, overskredet 6 ud af de 9 planetære grænser (Persson et al., 2022; Wang-Erlandsson et al., 2022), herunder den planetære grænse for "klimaforandringer", som blev overskredet i 2017 (Fifth Assessment Report — IPCC, n.d.).

Under forudsætning af at den planetære grænse for "klimaforandringer" ikke er overskredet, definerer det sikre handlingsrum den maksimale årlige udledning af menneskeskabte CO2-ækvivalenter, der kan tillades, uden at den planetære grænse overskrides. Da dette allerede er sket, kan handlingsrummet dog betragtes som estimat på Jordens bæredygtige CO2-budget, som i sidste ende bør være slutmålet for udledningen af drivhusgasser (Petersen et al., 2022). Størrelsen af dette handlingsrum, i det efterfølgende refereret til som "safe operating space" blev i 2015 beregnet til 3,61E+12 kg CO2eq./år af Bjørn og Hauschild (Bjørn & Hauschild, 2015), som brugte data fra den, på det tidspunkt, nyeste IPCC rapport, AR5. Med udgivelsen af IPCC AR6 i 2021 er vægtningsfaktorerne for de forskellige drivhusgasser ifm. omregning til CO2-ækvivalenter dog blevet opdateret, hvorfor værdien skal revideres.



figur 2:
Planetary boundaries Credit: Designed by Azote for Stockholm Resilience Centre, based on analysis in Persson et al. (2022) and Steffen et al. (2015)

Scenario	Carrying Capacity Gt. CO2eq/ year	Notes on changes
Method 1: Weighted average of substance-specific contributions (8)		
M1 - Original	3.61	-
M1- AR6	2.90	AR5 data replaced with AR6
M1 - AR6+	2.61	AR6 data + only GHG with ERF>0.001 W/m2 included, new indicator scores
M1 - AR6+ (95%)	2.51	As AR6+ but using the 95% confidence interval of GHG input from AR6 in the GTP model.
M1 - AR6+ (99.7%)	2.35	As AR6+ but using the 99.73% confidence interval of GHG input from AR6 to the GTP model.

tabel 2:
Scenarios for a safe operating space for annual emissions of CO2eqivalents based on Planetary Boundaries referenced from The safe operating space for greenhouse gas emissions by Petersen et al. (2022)

Udover en opdatering af vægtningsfaktorer, hvor eksempelvis metans strålingseffektivitet er blevet opjusteret med ca. 25%, er der bl.a. også tilføjet flere drivhusgasser i AR6 rapporten. På baggrund af dette har Petersen et al. (2022) genberegnet menneskehedens safe operating space, hvilket har resulteret i en markant reduktion sammenlignet med Bjørn og Hauschild's værdi fra 2015. Resultatet af Petersens beregninger er gengivet i **tabel 2**, hvor det ses, at det fuldt opdaterede scenarie AR+ er 28 % lavere end den oprindelige værdi, og at scenarie AR6+ (95%) er 33 % lavere

For at komme ned under den plantetære grænse for klimaforandringer, er det nødvendigt at reducere atmosfærens koncentration af drivhusgasser. Dette kan gøres på flere måder, som beskrevet i IPCC AR6, men kræver som minimum, at udledningen af drivhusgasser ikke overstiger det definerede safe operating space. Ved denne tilgang vil koncentrationen falde ganske langsomt, fordi effekten af nogle drivhusgasser falder med tiden. Dette vil dog efterlade planeten i "zone of uncertainty" i mange hundrede år. Andre tilgange er på globalt plan at indfange/optage flere drivhusgasser end vi udleder.

På kort sigt er en udledning af drivhusgasser svarende til Jordens bæredygtige CO2-budget således udelukkende en opbremsning af den globale temperaturstigning, og dermed en accept af, at vi i fremtiden har en højere gennemsnitstemperatur end i dag (Petersen et al., 2022).

2.4 Udledninger i dag

For at sætte planetens safe operating space i perspektiv, blev der globalt i 2019 udledt 47,9 mia. tons CO2eq. (World | Total Including LUCF | Greenhouse Gas (GHG) Emissions | Climate Watch, n.d.), svarende til en overskridelse af den maksimalt tilladelige påvirkning på næsten 20 gange. Med en global population på omkring 8 mia. udledes således i gennemsnit over 6 tons CO2eq. per person om året.

På trods af Danmarks status som grønt foregangsland, udleder danskere i gennemsnit 7,7 tons CO2eq. om året og ligger dermed ca. 25% over det globale gennemsnit. Ifølge den årlige indrapportering til UNFCCC i forbindelse med Parisaftalen udledte Danmark totalt set 44,7 mio. tons CO2eq. i 2020 (European Environment Agency, n.d.). Selvom dette "blot" svarer til 0,09% af den globale udledning skal Danmark jf. Klimaloven, og som tidligere beskrevet, reducere udledningen af drivhusgasser markant.

Figur 3 viser Danmarks historiske netto-udledninger efter opgørelsesmetoden til UNFCCC inkl. LULUCF fra år 1990 til 2020 samt en lineær fremskrivning af udledningerne til Danmarks klimamål i 2030 og 2050 (European Environment Agency, n.d.; Klima- Energi- og Forsyningsministeriet, 2020).

Scenario	Carrying Capacity Gt. CO2eq/ year	Notes on changes
Method 1: Weighted average of substance-specific contributions (8)		
M1 - Original	3.61	-
M1- AR6	2.90	AR5 data replaced with AR6
M1 - AR6+	2.61	AR6 data + only GHG with ERF>0.001 W/m2 included, new indicator scores
M1 - AR6+ (95%)	2.51	As AR6+ but using the 95% confidence interval of GHG input from AR6 in the GTP model.
M1 - AR6+ (99.7%)	2.35	As AR6+ but using the 99.73% confidence interval of GHG input from AR6 to the GTP model.

tabel 2:
Scenarios for a safe operating space for annual emissions of CO2eqivalents based on Planetary Boundaries referenced from The safe operating space for greenhouse gas emissions by Petersen et al. (2022)

Udover en opdatering af vægtningsfaktorer, hvor eksempelvis metans strålingseffektivitet er blevet opjusteret med ca. 25%, er der bl.a. også tilføjet flere drivhusgasser i AR6 rapporten. På baggrund af dette har Petersen et al. (2022) genberegnet menneskehedens safe operating space, hvilket har resulteret i en markant reduktion sammenlignet med Bjørn og Hauschild's værdi fra 2015. Resultatet af Petersens beregninger er gengivet i **tabel 2**, hvor det ses, at det fuldt opdaterede scenarie AR+ er 28 % lavere end den oprindelige værdi, og at scenarie AR6+ (95%) er 33 % lavere

For at komme ned under den plantetære grænse for klimaforandringer, er det nødvendigt at reducere atmosfærens koncentration af drivhusgasser. Dette kan gøres på flere måder, som beskrevet i IPCC AR6, men kræver som minimum, at udledningen af drivhusgasser ikke overstiger det definerede safe operating space. Ved denne tilgang vil koncentrationen falde ganske langsomt, fordi effekten af nogle drivhusgasser falder med tiden. Dette vil dog efterlade planeten i "zone of uncertainty" i mange hundrede år. Andre tilgange er på globalt plan at indfange/optage flere drivhusgasser end vi udleder.

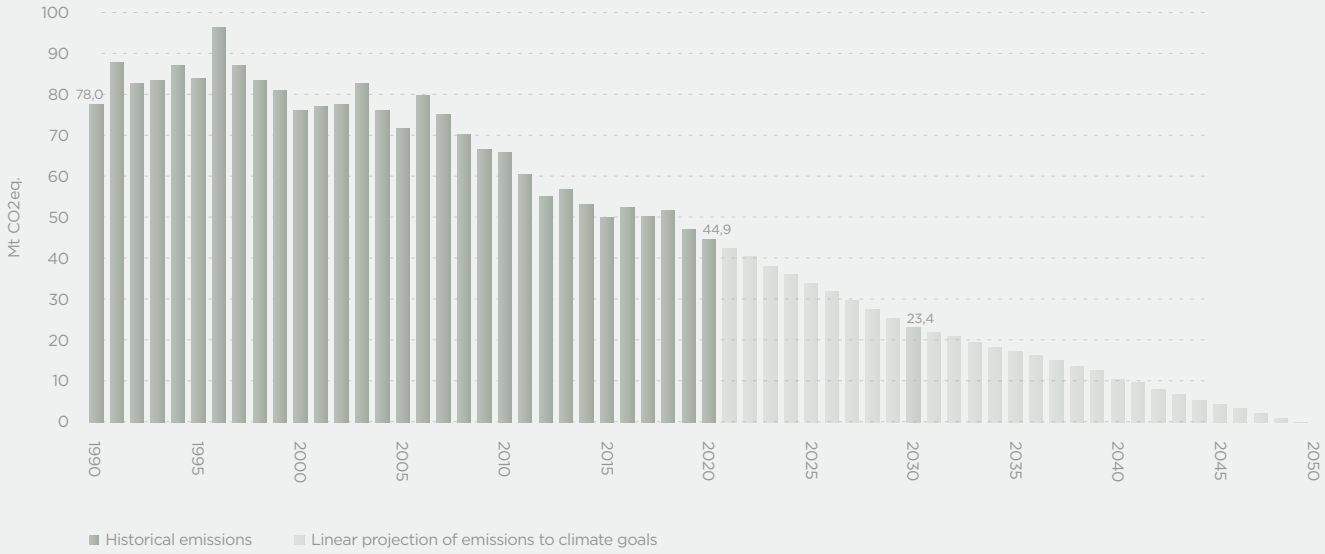
På kort sigt er en udledning af drivhusgasser svarende til Jordens bæredygtige CO2-budget således udelukkende en opbremsning af den globale temperaturstigning, og dermed en accept af, at vi i fremtiden har en højere gennemsnitstemperatur end i dag (Petersen et al., 2022).

2.4 Udledninger i dag

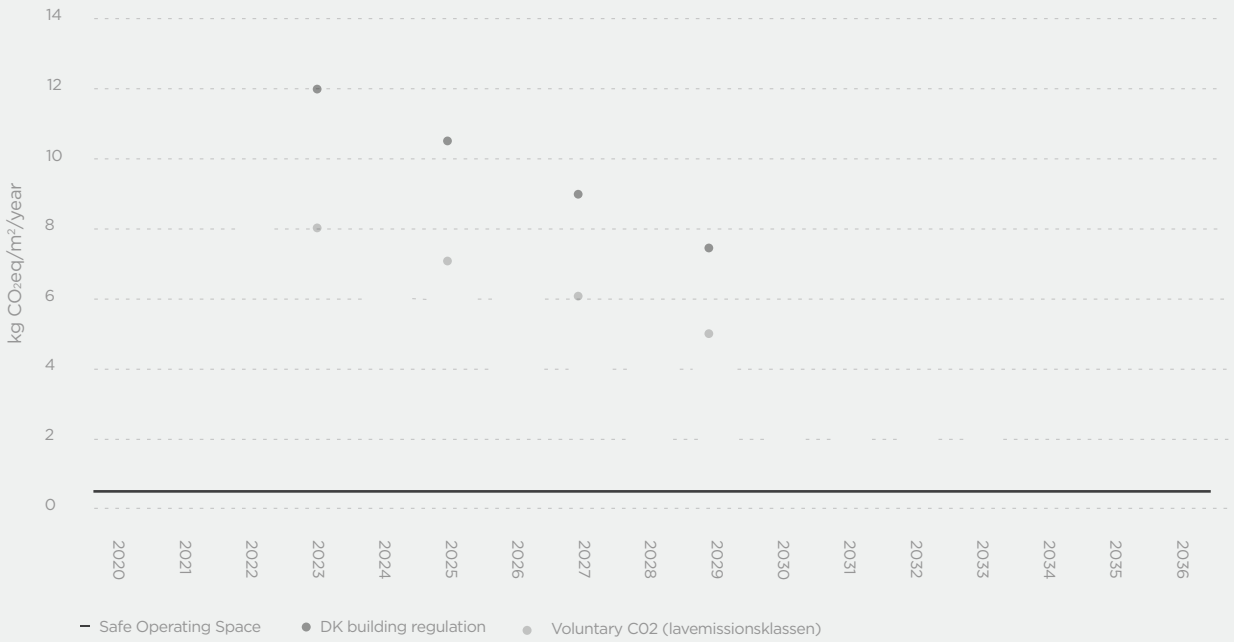
For at sætte planetens safe operating space i perspektiv, blev der globalt i 2019 udledt 47,9 mia. tons CO2eq. (World | Total Including LUCF | Greenhouse Gas (GHG) Emissions | Climate Watch, n.d.), svarende til en overskridelse af den maksimalt tilladelige påvirkning på næsten 20 gange. Med en global population på omkring 8 mia. udledes således i gennemsnit over 6 tons CO2eq. per person om året.

På trods af Danmarks status som grønt foregangsland, udleder danskere i gennemsnit 7,7 tons CO2eq. om året og ligger dermed ca. 25% over det globale gennemsnit. Ifølge den årlige indrapportering til UNFCCC i forbindelse med Parisaftalen udledte Danmark totalt set 44,7 mio. tons CO2eq. i 2020 (European Environment Agency, n.d.). Selvom dette "blot" svarer til 0,09% af den globale udledning skal Danmark jf. Klimaloven, og som tidligere beskrevet, reducere udledningen af drivhusgasser markant.

Figur 3 viser Danmarks historiske netto-udledninger efter opgørelsesmetoden til UNFCCC inkl. LULUCF fra år 1990 til 2020 samt en lineær fremskrivning af udledningerne til Danmarks klimamål i 2030 og 2050 (European Environment Agency, n.d.; Klima- Energi- og Forsyningsministeriet, 2020).



figur 3:
Danmarks historiske netto-udledninger og lineær fremskrivning til Danmarks klimamål i 2030 og 2050



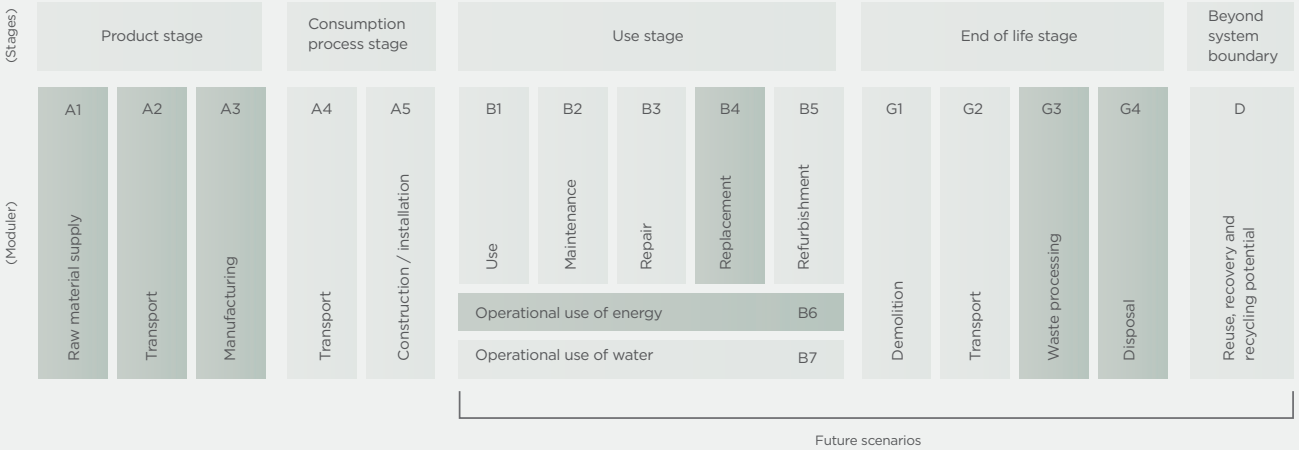
figur 4:
National strategi for bæredygtigt byggeri foreslår kravene skærpet.

2.5 Byggebranchens andel

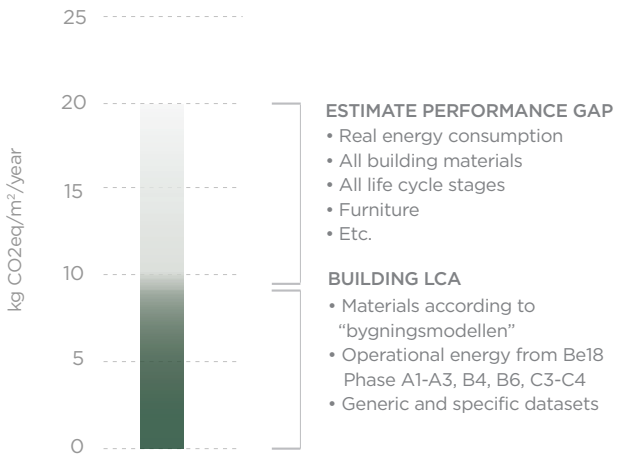
Som et led i den danske klimaindsats har regeringen sammen med erhvervslivet etableret 14 klimapartnerskaber, som skal styrke den grønne omstilling og understøtte opfyldelsen af Danmarks klimamål ved at komme men konkrete forslag og anbefalinger til, hvordan de forskellige erhvervssektorer kan reducere deres CO_2-udledning. I denne forbindelse udgav Klimapartnerskabet for bygge- og anlægssektoren i 2020 en rapport, der gav en status på sektorens andel af den samlede CO_2-udledning i Danmark samt en række anbefalinger til, hvordan udledningerne kan reduceres (Klimapartnerskabet for bygge- og anlægssektoren, 2020a). Rapporten konkluderede, at 23 % af den nationale udledning er relateret til energiforbruget i vores bygninger, og at 10 % stammer fra bygge- og anlægsprocessen samt produktion af byggematerialer. En samlet andel på 33 %, som Klimapartnerskabet foreslår reduceret gennem 27 konkrete tiltag.

Som opfølgning på Klimapartnerskabets anbefalinger, vedtog Regeringen i april 2021 en "National strategi for bæredygtigt byggeri", som via fem indsatsområder har til formål at sætte retningen for den kommende regulering af bæredygtigt byggeri (Indenrigs- og Boligministeriet, 2021). Fra 2023 indføres således krav om LCA-beregninger på alle nye bygninger samt en CO_2-grænse på 12,0 kg CO_2eq./m² år for alle bygninger over 1.000 m². Herudover indføres en frivillig lavemissionsklasse, hvor kravet bliver en maksimal udledning på 8,0 kg CO_2eq./m² år. Grænseværdien i Bygningsreglementet er fastsat på baggrund af et studie udført af SBi (Tozan et al., 2021), hvor klimabelastningen fra 60 forskellige bygninger er undersøgt. Ud fra dette studie har Klimapartnerskabet anbefalet at fastlægge grænseværdien til 12 kg CO_2eq./m² år, svarende til et niveau i den øvre ende af SBi-analysen og med begrundelsen "at alle skal kunne være med" (Klimapartnerskabet for bygge- og anlægssektoren, 2020b). Både kravet i Bygningsreglementet og i lavemissionsklassen skal dog løbende skærpes frem mod 2030 og forventes at blive revideret hvert andet år.

Figur 4 viser et oplæg til, hvordan National strategi for bæredygtigt byggeri foreslår kravene skærpet.



figur 5:
Livscyklusfaser iht. EN 15978 samt markering af faser, der skal medregnes i kommende CO2-krav, kilde: BUILD



figur 6:
Samlet klimabelastning fra bygning

2.6 LCA på bygningsniveau

Klimabelastningen fra bygninger opført efter 2023 skal udføres iht. EN 15978 og 15804 og medregne emissioner fra energiforbrug beregnet iht. energirammen i Bygningsreglementet samt byggematerialer iht. en datamodel, der endeligt udgives i slutningen af 2022. De livscyklusfaser, som skal medregnes, er fremhævet på ovenstående **figur 5**.

Beregningsmetoden modsvarer metoden anvendt i analysen af de 60 bygninger udført af SBi (Tozan et al., 2021), og de fremtidige grænseværdier er således baseret på en relativ tilgang til mere bæredygtigt byggeri og ikke en absolut.
Med en relativ tilgang til bæredygtigt byggeri i et miljømæssigt perspektiv måles klimabelastningen fra en bygning og sammenlignes med andre lignende bygninger. Herved kan det dokumenteres, om bygningen er mere bæredygtig end tidligere bygninger, og på denne måde sikre, at klimabelastningen fra byggebranchen reduceres over tid. Metoden fortæller dog ikke, hvorvidt den givne bygning rent faktisk er bæredygtig set i forhold de planetære grænser, eller om reduktionen bidrager til at opfylde nationale eller internationale klimamål.

For at vurdere dette er det nødvendigt at anvende en absolut tilgang til bæredygtigt byggeri.
Denne tilgang forholder klimabelastningen fra en bygning til den andel af safe operating space, som den pågældende bygning er tildelt (Andersen et al., 2020; Brejnrod et al., 2017; Ryberg et al., 2018). Den tildelte andel kan dog være vanskelig at fastslå, ligesom metoden kræver at klimabelastningen fra alle materialer, alle livscyklusfaser og reelt energiforbrug i hele bygningens levetid medregnes. LCA-beregninger udført iht. EN 15978 vurderer kun en andel af den totale klimabelastning fra en bygning over 50 år, som illustreret på **figur 6**.

Forskellen mellem den samlede klimabelastning fra en bygning over dens levetid og det, der medregnes i en LCA-beregning, kaldes "performance gap" og er afhænger af bygningens faktiske brug. Dette er individuelt for alle bygninger, hvorfor størrelsen er svær at fastlægge præcist.

2.7 Allokeringsprincipper

Hvordan et klimabudget skal allokeres til en bygning, har gennem de seneste år været genstand for flere studier og viser store forskelle efter valgt metode. Da allokeringsprincipper som udgangspunkt altid er forbundet med subjektive holdninger, er der heller ikke kun én rigtig metode (Andersen et al., 2020; Brejnrod et al., 2017; Ryberg et al., 2018). To af de mest anvendte principper er kort gennemgået i det følgende.

Forbrugsudgifter (Final Consumption Expenditure)

Et økonomisk allokeringsprincip antager, at økonomisk værdi kan betragtes som en proxy for menneskers velvære, dvs. at øget økonomisk værdi fører til øget velvære. Baseret på hvordan mennesker anvender deres penge, fordeler princippet en andel af et personligt budget til den pågældende aktivitet.

I EU udgør udgiften "bolig" i gennemsnit 21,5% af personlige forbrugsafgifter, hvorfor samme andel kan overføres til en boligs andel af det personlige CO2-budget. Kategorien "bolig" dækker over flere udgiftsposter som husleje og møbler samt el, vand og varme (Brejnrod et al., 2017; Ryberg et al., 2018). Udgiften relaterer sig derfor til det "at bo" og dermed den totale klimabelastning fra en bolig, ovenfor omtalt som Bygnings LCA + performance gap.

Erhvervede rettigheder (Acquired Rights)

Ved et allokeringsprincip efter erhvervede rettigheder, fordeles et budget efter en filosofi om, at en aktivitet med en vis andel af budgettet i dag, beholder samme andel i fremtiden. Dette uanset om den tildelte andel er stor eller lille set ift. aktivitetens størrelse (Andersen et al., 2020). Metoden kan anvendes på flere forskellige niveauer, og ift. at allokere en andel af det globale klimabudget til en bolig, kan fordelingen både ske på brancheniveau eller på boligniveau. Fordelingen forudsætter blot at den historiske andel af klimabudgettet kan fastsættes.

03 Reduktionsmål for nyt dansk boligbyggeri

Med udgangspunkt i ovenstående rammesætning, beskrives i de følgende afsnit udviklingen af en reduktionskurve for nyt dansk boligbyggeri med respekt for Parisaftalens klimamålsætninger og Jordens safe operating space. I denne proces allokeres CO2-budgetterene for overholdelse af Parisaftalen til en dansk andel, ligesom den globale værdi for safe operating space skaleres til et nationalt og herefter boligspecifikt udtryk for den maksimale tilladelige klimabelastning.

3.1 Dansk andel af IPCC CO2-budget

Med IPCC-rapportens definerede CO2-budgetter for at begrænse den globale temperaturstigning til mellem 1,5°C og 2,0°C, er det blevet målbart, hvor meget den globale udledning af drivhusgasser skal reduceres. IPCC definerer dog ikke, hvor stor en andel af de globale budgetter, som er tildelt de enkelte lande, idet den globale temperaturstigning er et verdensomspændende problem, som skal løses i fællesskab.

Ligesom for Parisaftalen er det således en politisk beslutning, hvordan budgettet overholdes, og hvor meget de forskellige lande må udlede. Dette er endnu ikke blevet besluttet, hvorfor nærværende projekt omsætter det globale budget til et dansk budget ved et "equal per capita" fordelingsprincip. Dette princip deler klimabudgettet ligeligt mellem hele Jordens befolkning uagtet alder og indkomst. Med et befolkningstal på 5,8 mio. i 2020, udgør danskere 0,075% af den globale befolkning på 7,9 mia. (Statistikbanken, n.d.; World Population Projections - Worldometer, n.d.), hvorfor CO2 budgetterne defineret af IPCC kan nedskaleres til danske budgetter med denne faktor. Budgetterne er gengivet i **tabel 3** og viser for de forskellige temperaturstigninger, hvor meget CO2 Danmark kan udlede, før vi som nation skal have reduceret vore udledninger til Danmarks andel af Jordens bæredygtige CO2 budget.

Ud fra disse budgetter kan vi få et billede af, hvor travlt Danmark har med at reducere udledningen af drivhusgasser. Hvis vi fortsætter "business as usual", har vi, som vist i **tabel 4**, mellem 5 og 15 år før budgettet for 1,5°C målet i Parisaftalen er overskredet afhængig af hvilken sandsynlighed, vi kan acceptere for at begrænse temperaturstigningen.

For nærværende projekt og med henvisning til beskrivelsen af konsekvenserne ved, at den globale temperaturstigning overstiger 1,5°C, er det valgt udelukkende at fokusere på Parisaftalens 1,5°C mål. I tillæg til dette ekskluderes budgetterne for 33% og 17% sandsynlighed for at begrænse temperaturstigningen til 1,5°C, idet der, som vist på **figur 7**, er en risiko for at disse budgetter kan føre til en temperaturstigning på 1,7°C hhv. 2,0°C (markeret med grå stiplede streger).

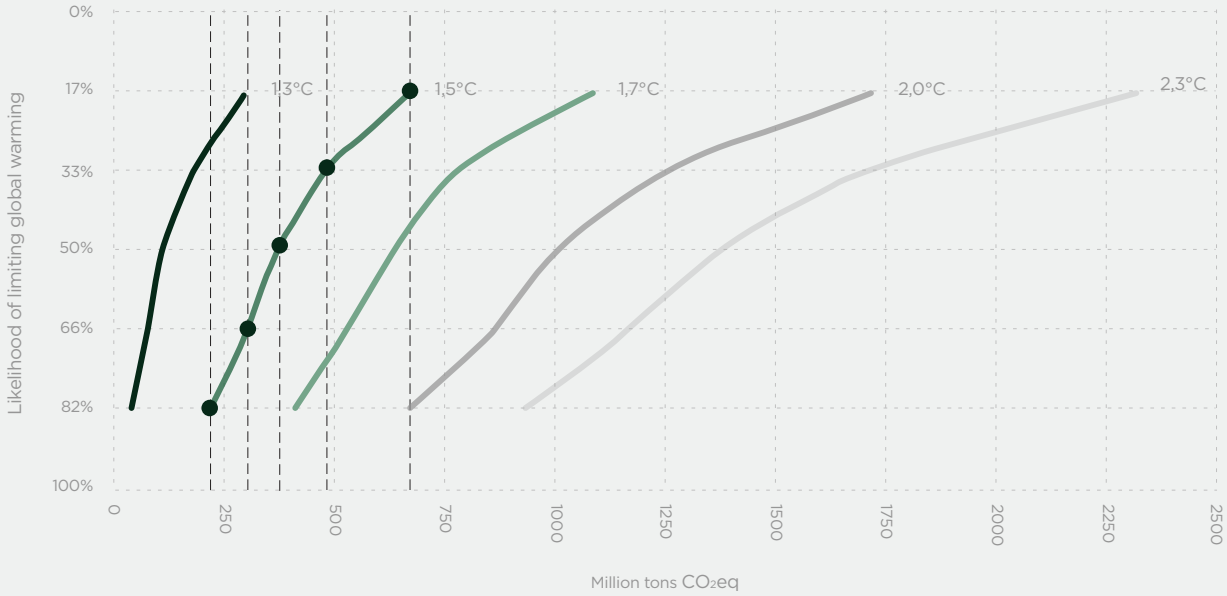
tabel 3:
Estimates of remaining carbon budgets for Denmark based on IPCC AR6, Table SPM.2

Danish budget

Approximate global warming relative to 1850-1900 until temperature limit (°C)	Additional global warming relative to 2010-2019 until temperature limit (°C)	Estimated remaining carbon budgets from the beginning of 2020 (GtCO2)				
		17%	33%	50%	67%	83%
1,5	0,43	672	486	374	299	224
1,7	0,63	1083	784	635	523	411
2,0	0,93	1718	1270	1008	859	672

tabel 4:
Estimates of years remaining to consume entire C02 budgets if we continue with "business-as-usual" based on IPCC AR6, Table SPM.2

Approximate global warming relative to 1850-1900 until temperature limit (°C)	Additional global warming relative to 2010-2019 until temperature limit (°C)	Years of emissions remaining to consume the entire budget from beginning of 2020 (at 2019 emissions levels)				
		17%	33%	50%	67%	83%
1,5	0,43	15.0	10.8	8.3	6.7	5.0
1,7	0,63	24.1	17.5	14.2	11.7	9.2
2,0	0,93	38.3	28.3	22.5	19.2	15.0



figur 7:
Sammenhæng mellem danske CO2-budgeter og sandsynlighed for at begrænse temperaturstigningen

Safe operating space for planetary boundaries	
Global, AR6+ high confidence	2.51 billion tons CO2eq / year
Denmark	1.9 million tons CO2eq / year

tabel 5:
Safe operating space based on planetary boundaries

3.2 Dansk andel af safe operating space

Jordens safe operating space for menneskeskabte udledninger kan som beskrevet i tidligere afsnit bestemmes med mere eller mindre usikkerhed, og for at reducere risikoen for fortsatte klimaforandringer, anvendes i nærværende studie den opdaterede værdi AR6+ med et 95% konfidensinterval.

På samme måde som for den danske andel af CO2-budgetterne fra IPCC-rapporten kan Jordens safe operating space nedskaleres til en dansk andel ud fra den danske befolknings andel af verdens befolkning. Med en andel på 0,075% må Danmark således ikke udlede mere end 1,9 mio. tons CO2eq. om året, som vist i **tabel 5**.

I 2020 udledte Danmark 44,9 mio. tons CO2eq. (European Environment Agency, n.d.) og skal derfor reducere sine udledninger med 96% for ikke at overstige den danske andel af safe operating space.

3.3 Tidsramme for nødvendige reduktioner

Efter at have defineret et dansk CO2-budget indenfor Parisaftalen og et dansk reduktionsmål i form af den maksimalt tilladelige udledning af drivhusgasser med respekt for den planetære grænse, er er det muligt udregne en tidsramme for, hvornår Danmark skal ramme reduktionsmålet.

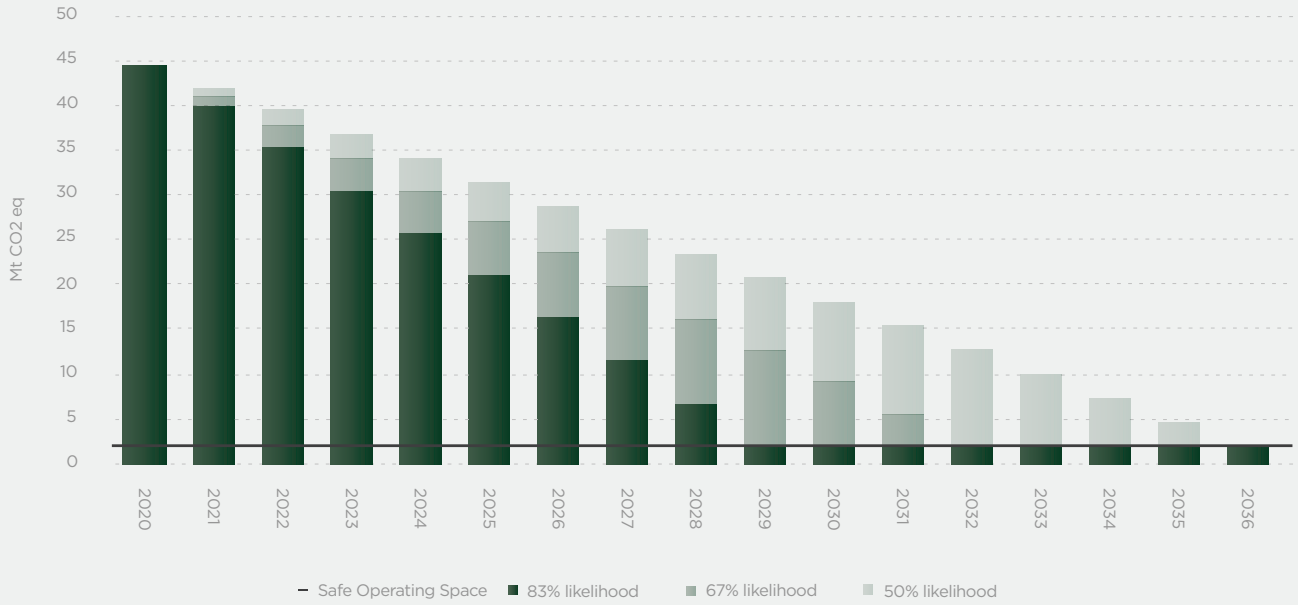
Der kan være mange veje til at opnå dette, men hvilken vej, som er den rette, er en politisk beslutning, som ligger udenfor rammerne af dette studie. Derfor forudsættes en lineær reduktion fra Danmarks udledning af drivhusgasser i 2020 til 1,9 mio. tons CO2eq. om året.

Figur 8 viser reduktionskurverne for hhv. 50%, 67% og 83% sandsynlighed for at begrænse den globale temperaturstigning til 1,5°C. Som det ses, sker reduktionen til safe operating space indenfor 9 til 16 år regnet fra år 2020, hvilket er en kortere tidsfrist end Danmarks klimamål i 2030 lægger op til.

3.4 Reduction roadmap for nye boliger

Med en lineær reduktion mod safe operating space forudsættes med nærværende projekt, at alle udledninger af drivhusgasser forårsaget af menneskelig aktivitet skal reduceres med 96 %. Da det ligger udenfor rammerne af dette projekt at vurdere forskellige industriers andel af reduktionerne, forudsættes et allokeringsprincip, som tildeler alle industrier den samme andel af Danmarks udledning i fremtiden som de udgør i dag. Der skelnes således ikke mellem om nogle industrier skal reducere deres udledninger mere end andre.

I Danmark bygges der årligt omkring 3 mio. m² boligbyggeri, hvis gennemsnitlige klimabelastning kan bestemmes ud SBi



figur 8:
Lineær reduktion af Danmarks udledning af drivhusgasser fra niveau i 2020 til safe operating space.

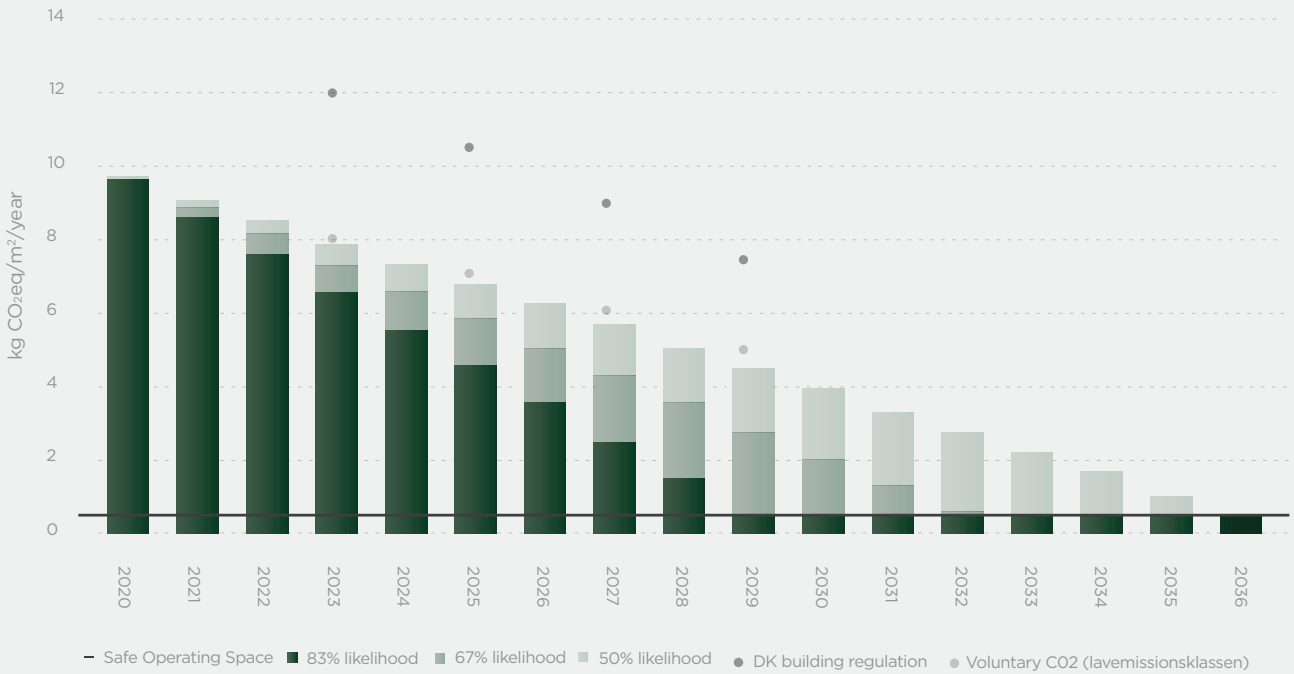
rapporten "Klimapåvirkning fra 60 bygninger" (Tozan et al., 2021). Ved udelukkende at se på bygninger til boligformål kan den gennemsnitlige klimabelastning for boligbyggeri fastsættes til 9,63 kg CO2eq./m² år beregnet efter metoden til bygnings LCA. Dette er som beskrevet ikke den totale klimabelastning fra bygningerne, men kun den del vi lovgivningsmæssigt har vedtaget at redegøre for. Derfor er det også kun denne del, byggebranchen primært har indflydelse på, når der i fremtiden skal bygges nye boliger.

En 96 % reduktion af 9,63 kg CO2eq./m² år svarer til 0,4 kg CO2eq./m² år og angiver således niveauet for bæredygtige boliger i fremtiden, såfremt der fortsat bygges 3 mio. m² boliger om året. Reduktionen følger samme hastighed som Danmarks reduktioner og rammer derfor boligers andel af safe operating space mellem år 2029 og 2036.

På **figur 9** er reduktionskurverne for nyt dansk boligbyggeri indtegnet for hhv. 50%, 67% og 85% sandsynlighed for at begrænse den globale temperaturstigning til 1,5°C. Til sammenligning er de fremtidige CO2-grænser i Bygningsreglementet og den frivillige lavemissionsklasse indtegnet.

Reduktionskurverne forudsætter reducerede udledninger allerede i 2021 og indtil boligbyggeriets andel af safe operating space er nået. Som det ses, er de fremtidige CO2-grænser i lavemissionsklassen tilnærmelsesvist sammenfaldende med budgettet for 50% sandsynlighed, mens grænserne i Bygningsreglementet ligger over 50% højere.

Med reduktionskurverne som vises på **Figur 10** kan et Reduction Roadmap for byggebranchen udformes med årlige reduktionsmål for nyt dansk boligbyggeri.



figur 9.
Reduktionskurver for nyt dansk boligbyggeri og fremtidige CO2-krav til boligbyggeri

3.5 Alternative reduktionsveje

En lineær reduktion af nye boligers klimabelastning pr. m2 pr år er kun én vej til målet og er baseret på, at den danske byggebranche fortsætter med at bygge ca. 3 mio. m² boligbyggeri om året. Reduktionskurverne illustreret i **figur 10** kan således omsættes til reduktionsmål på forskellige niveauer og i sidste ende til en andel af Danmarks samlede udledning af drivhusgasser. Dette kan herefter omsættes til alternative reduktionsveje.

Med en beregningstid på 50 år for LCA-beregninger kan klimabelastningen pr. m² pr. år omregnes til en klimabelastning pr. m². Dette kan herefter omregnes til en klimabelastning i kg CO2eq. når arealet af nybyggede boliger pr. år kendes. Omregningen er vist i **tabel 6** og angiver at boligbyggeri årligt udleder ca. 1,5 mio. tons CO2eq. svarende til 3,3 % af Danmarks samlede udledninger.

Med denne viden kan reduktionskurver på brancheniveau udføres på samme måde som på bygningsniveau. På **figur 10** er en lineær reduktionskurve således tegnet baseret på CO2-budgettet for at begrænse temperaturstigningen til 1,5°C med 83% sandsynlighed. Denne kurve kan herefter omsættes til alternative reduktionskurver med andre forudsætninger for klimabelastning pr. m² pr. år og bygget areal.

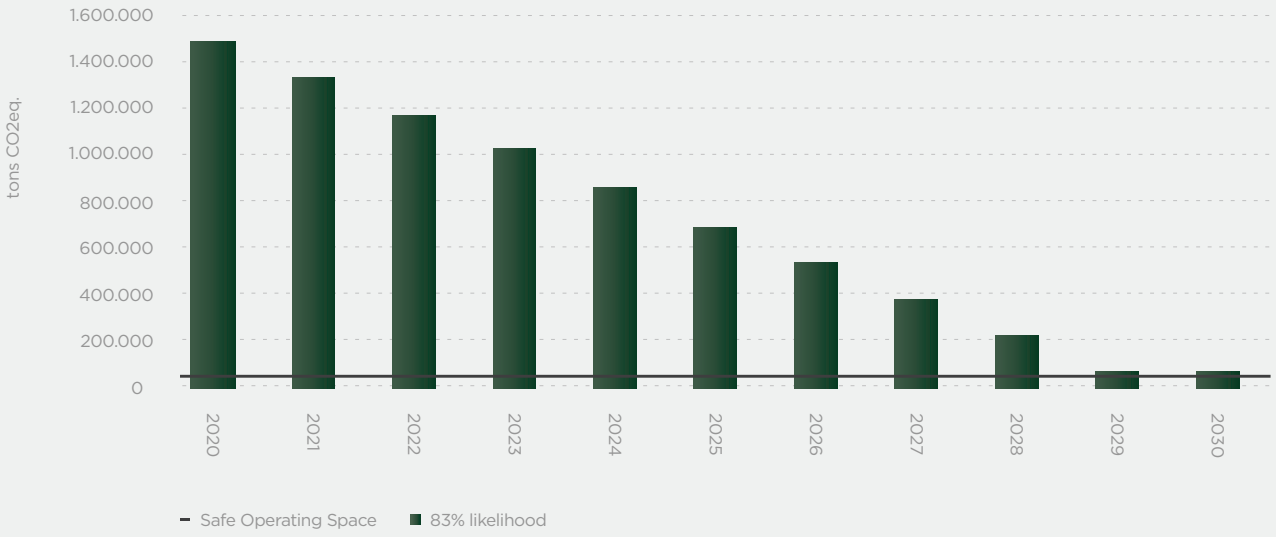
Som eksempel er der i nedenstående afsnit illustreret tre eksempler på alternative reduktionskurver. De er alle baseret på CO2-budgettet for at begrænse temperaturstigningen til 1,5°C med 83% sandsynlighed.

- **figur 11**: business-as-usual
- **figur 12**: 50% reduktion af bygget areal
- **figur 13**: 75% reduktion af bygget areal

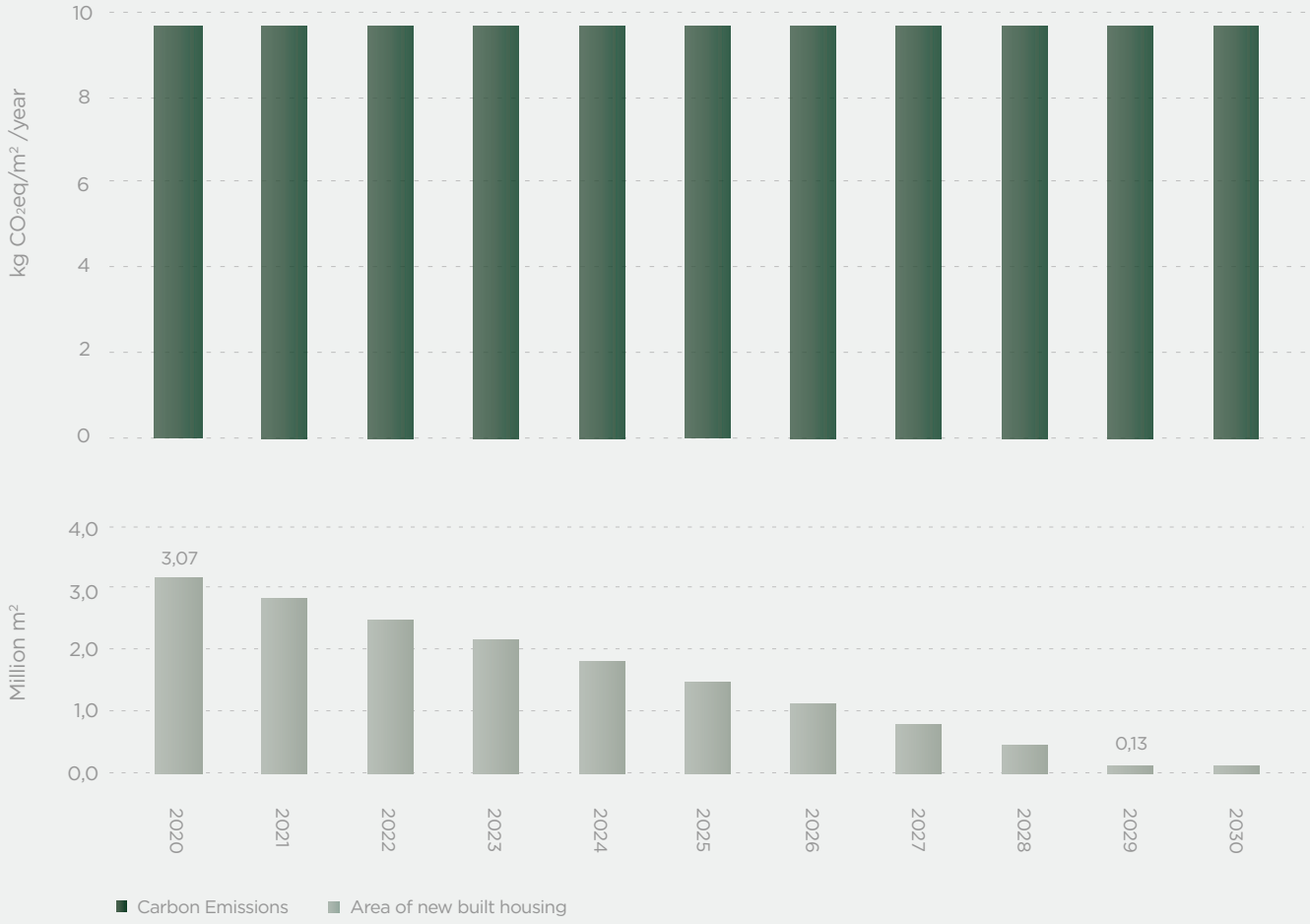
Method 2: Charecterisation factors (15)

Level	Today's emissions	Target emissions	Unit
1 Housing m2 per year	9,63	0,4	kg C02eq/m2/year
2 Housing m2	482	20	kg C02eq/m2
3 Sector	1.479.168	61,440	tons C02eq/year
4 Share of total Danish emissions	3,3%	3,3%	%

tabel 6:
Emissions for housing on different levels

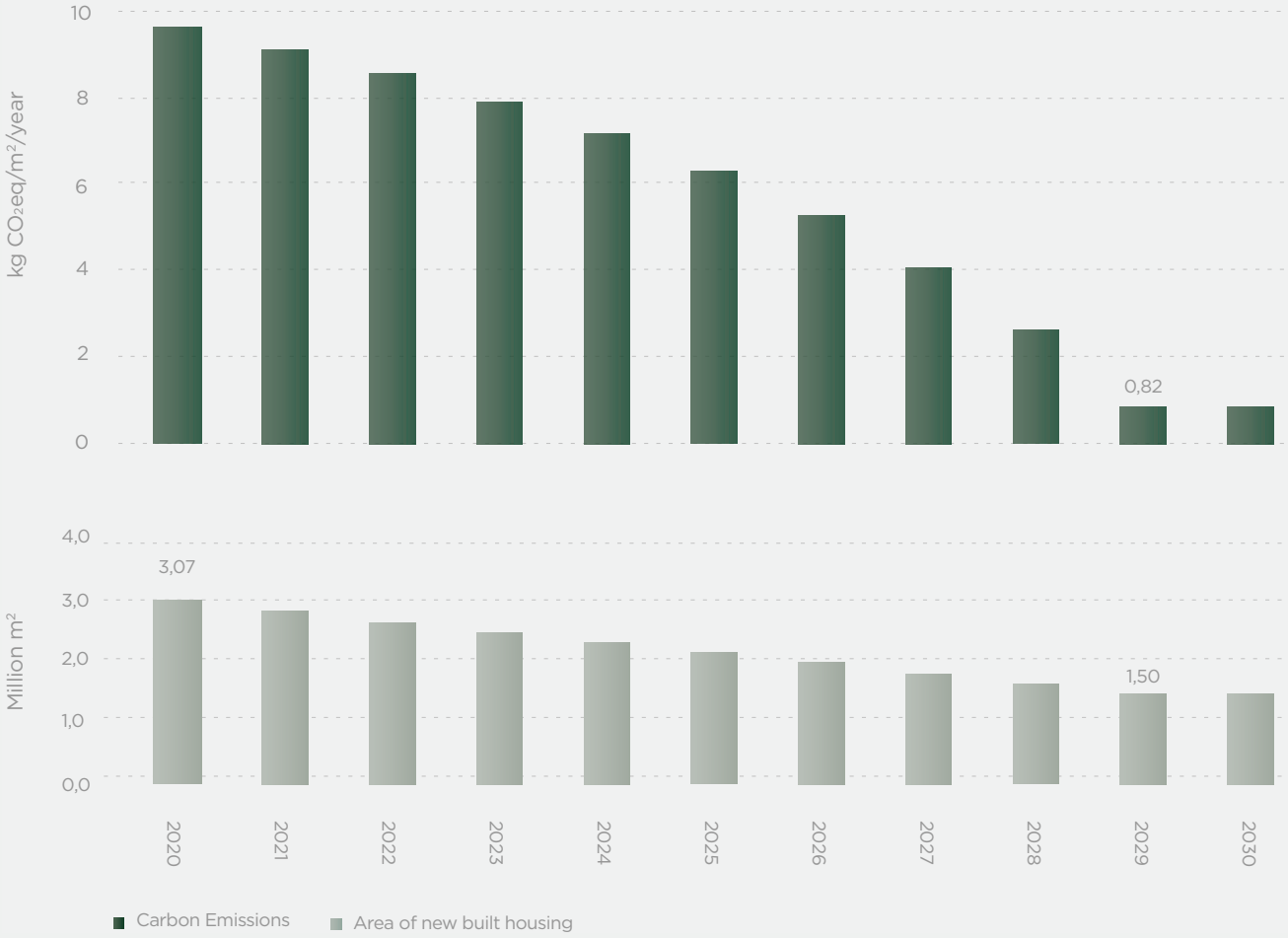


figur 10:
Reduktionskurve for nyt dansk boligbyggeri på brancheniveau



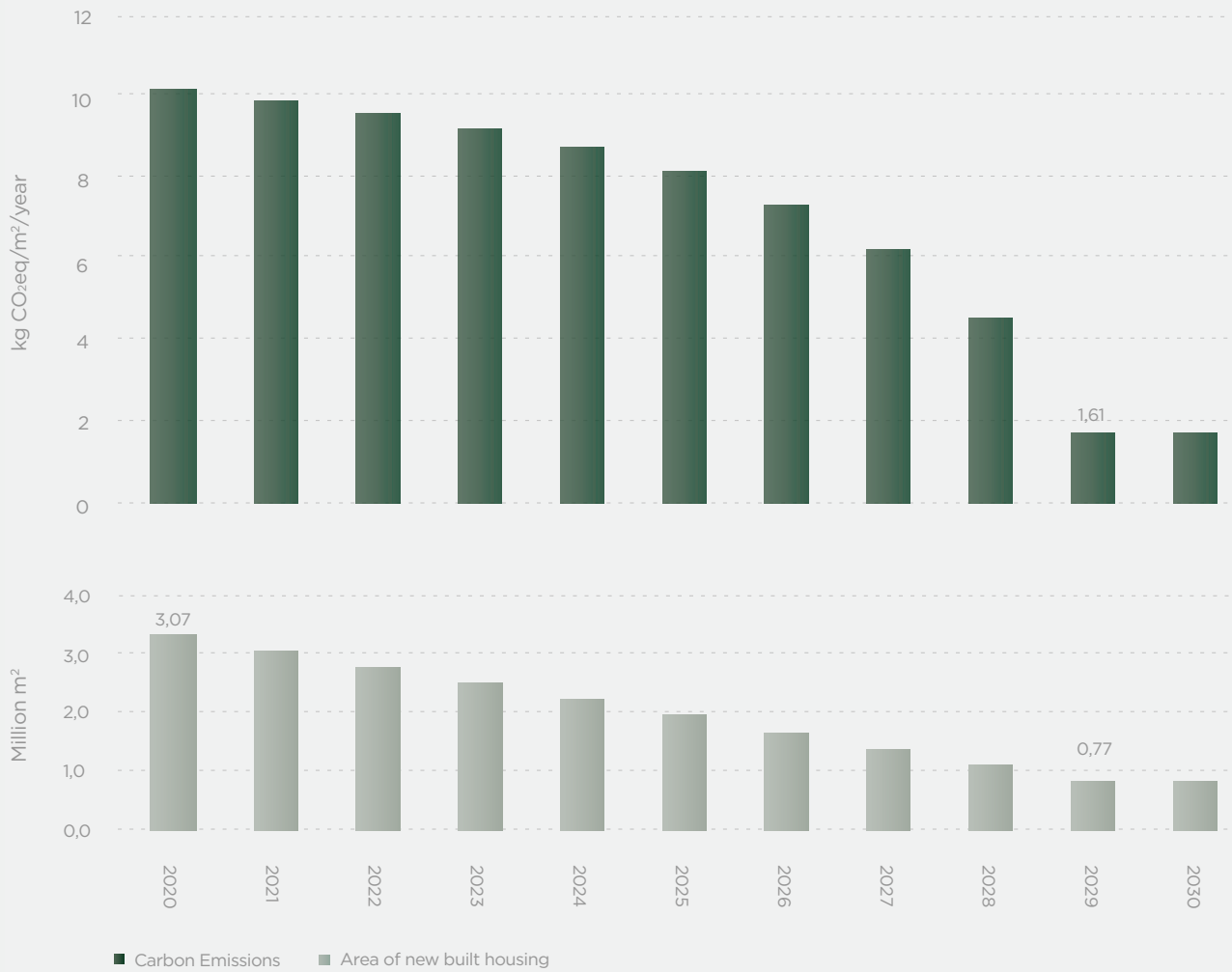
figur 11: Business-as-usual

Hvis vi fortsætter med at bygge boliger med en gennemsnitlig klimabelastning på 9,63 kg CO2eq./m² år er vi nødt til at reducere det areal vi bygger markant. Vi skal således reducere fra omkring 3 mio. m² til lige omkring 130.000 m² som vist på figur 11. I stedet for at have reduceret klimabelastningen fra bygningerne med 96% har vi i stedet reduceret det byggede areal med 96 %.



figur 12: 50% reduktion af bygget areal

I stedet for udelukkende at reducere klimabelastning pr. m² pr. år eller det byggerede areal, er det muligt at reducere begge parametre samtidigt. Ved eksempelvis at reducere det byggede areal lineært fra ca. 3 mio. m² til 1,5 mio. m² er det "kun" nødvendigt at reducere klimabelastningen pr. m² til 0,82 kg CO2eq./m² år, som vist på figur 12.
Som resultat af denne tilgang, hvor der reduceres på to parametre på én gang, får reduktionskurven for klimabelastningen pr. m² år en let buende kurve.



figur 13: 75% reduktion af bygget areal

På tilsvarende vis kan det byggede areal reduceres lineært fra 3 mio. m² til 770.000 m² svarede til en reduktion på 75%. Dette betyder at klimabelastningen pr. m² "kun" skal reduceres til 1,61 kg CO2eq./m² år ved at følge reduktionskurven vist på figur 13. Som resultat af denne tilgang, hvor der reduceres på to parametre på én gang, får reduktionskurven for klimabelastningen pr. m² år en let buende kurve.

04 **Diskussion**

Det globale fokus på klimaforandringer og udledning af drivhusgasser har aldrig været større, og det står klart, at den globale temperaturstigning skal begrænses mest muligt. Dette kan kun lykkedes, hvis vi alle bidrager, og det er derfor vigtigere end nogensinde, at specielt de mest udledende industrier som eksempelvis byggebranchen har klart definerede reduktionsmål.

Reduction Roadmap er et forsøg på at udvikle et værktøj til netop dette formål, men forudsætninger og metoden til at omsætte planetære grænser til reduktionsmål for nyt dansk boligbyggeri kan og skal diskuteres.
Det grundlæggende princip for planetære grænser og safe operating space som et udtryk for en maksimal tilladelige udledning af drivhusgasser forårsaget af menneskelig aktivet er, at Jorden stadig befinder sig indenfor de planetære grænser. Dette er som beskrevet ikke tilfældet for den planetære grænse for "klimaforandringer", og for at stabilisere Jordens miljøtilstand er vi nødt til at bevæge os ned under den planetære grænse igen. For at opnå dette skal vi reducere atmosfærens indhold af drivhusgasser, hvilket ikke sker med det foreslåede roadmap. De definerede reduktionsmål stopper blot udviklingen indenfor rammerne af et CO2-budget, som accepterer en temperaturstigning på 1,5°C og at Jorden forbliver i "zone of uncertainty" med stadige klimaforandringer til følge (Petersen et al., 2022).

I tillæg til dette forudsættes i udviklingen af reduktionskurverne, at udledningen af drivhusgasser er reduceret allerede i år 2021, hvilket med stor sandsynlighed ikke er sket. Vi er halvvejs i 2022 og den nødvendige forandring i branchen er endnu ikke slået igennem, hvorfor virkeligheden er, at vi har "spist" en større del af det "tilladelige" CO2-budget end forudsat. Vi har således endnu kortere tid til at agere, inden CO2-budgettet er opbrugt, og vi i stedet ser mod en temperaturstigning på 2,0°C eller mere.
Generelt er det gennem hele projektet tilstræbt at være så upolitiske som muligt, ved bl.a. at:

- Invitere videnskabelige eksperter til at kommentere og komme med kritik
- Anvende data, der afspejler målsætningen i Parisaftalen
- Udvælge scenarier, der er mest forenelige med livet på Jorden (1,5°C scenarie med mellem 50 og 83 % sandsynlighed)
- Modellerede en trinvis, lineær reduktionskurve

I forhold til de anvendte allokeringsprincipper, er det dog en evig diskussion, hvilke principper som er "mest fair". Der er argumenter for og imod for alle principper, hvorfor nærværende projekt har forsøgt at holde sig ude af denne diskussion ved blot at antage et princip om "equal per capita", og at alle udledninger skal reduceres med den samme procentsats. "Equal per capita" princippet er dog anvendt ud fra den danske andel af verdens

befolkning i 2020, men en fremskrivning af den globale og danske population viser, at Danmarks andel falder fra de nuværende 0,075% til 0,065% i 2050 (Statistikbanken, n.d.; World Population Projections - Worldometer, n.d.).

Gennem udformningen af Reduction Roadmap er forskellige allokeringsmetoder dog blevet undersøgt ift. at allokere en andel af Danmarks CO2-budget til boliger. Flere af metoderne foreskrevet i litteraturen kan dog ikke direkte sammenlignes med de danske branchestandarder for LCA på bygningsniveau eller ønsket om at pålægge branchen ansvaret, som vist i **tabel 7a** and **7b**. Derfor følger den valgte allokeringsmetode "acquired rights" modellen, idet den kan bruges som benchmark for måden, vi fastlægger bygningers miljøpåvirkning på i dag.

"Acquired rights" bygger dog på en filosofi om, at den andel man på godt og ondt har tilranet sig i dag, også skal gøre sig gældende i fremtiden. Ud fra et perspektiv om fx velfærd, er det dog ikke sikkert, at boliger skal have den samme andel som dag, men at vi som samfund hellere ser en større andel allokeret til eksempelvis skoler og hospitaler, som er vigtige for vores uddannelsesniveau og folkesundhed. Dette er en politisk diskussion, som dette projekt skaber et udgangspunkt for at starte. Uanset valgt allokeringsmetode, ses dog samme tendens, hvor slutresultatet bliver, at vi skal reducere udledningerne fra nybygget boliger med 96%.

På samme måde som for valg af allokeringsmetoder, er det også en politisk beslutning, hvilket temperaturscenarie og sandsynlighed, der skal vælges i forbindelse med fastlæggelsen af et CO2-budget. Som det er illustreret, ligger både reduktionsmålet for 2030 og de fremtidige krav i Bygningsreglementet over de viste reduktionskurver og ligger dermed op til en langsommere reduktion.

Beregningsteknisk regnes den nødvendige reduktion af Danmarks udledning af drivhusgasser ud fra opgørelsesmetoden anvendt til UNFCCC inkl. LULUCF. Dette er en territoriel opgørelsesmetode, som udelukkende ser på netto-udledninger indenfor Danmarks grænser (European Environment Agency, n.d.). Denne metode er ikke sammenfaldende med opgørelsesmetoden for safe operating space, som er fastlagt på et globalt niveau og er afhængig af bl.a. LULUCF. Dette betyder, at det havde været mere korrekt at se på Danmarks udledninger ekskl. LULUCF, men fordi LULUCF bidrager til en øget udledning i Danmark, er det dog valgt at tage udgangspunkt i den højeste værdi, der er indrapporteret til UNFCCC.

I forhold til at overføre reduktionsmålet på 96 % til resultatet af en LCA-beregning på bygningsniveau, er der også her uoverensstemmelser i opgørelsesmetoderne. Resultatet af en LCA-beregning forholder sig ikke til, i hvilket land udledningen sker, men er en global udledning fra et dansk forbrug. Resultatet af en LCA-beregning bør derfor sammenlignes med en forbrugsbaseret opgørelse for Danmark, der ser på CO2-aftrykket af det danske forbrug på tværs af landegrænser (Energistyrelsen, 2022). Dette besværliggør dog allokeringen af safe operating space til Danmark, hvorfor den valgte beregningsteknik er valgt.

Til sidst er det vigtigt at fastslå at Reduction Roadmap er baseret på beregningsmetoden for LCA-kravet i det kommende Bygningsreglement. Ændres denne metode til eksempelvis at inkludere en større andel af performace-gap'et (hvilket kun vil styrke beregningen), skal reduktionsmålene ændres tilsvarende.

Allokeringsmetode	*Final Consumption Expenditure (FCE)* *(Ryberg, 2021)*	*Acquired Rights Building Industry (ARB)* *(Brejnrod et al., 2017: Horup et al., 2022)*	*Reduction Roadmap (RR)* *(Reduction Roadmap, 2022).*
	Økonomisk allokeringsprincip baseret på forbrugsudgifter *I gennemsnit er 21,5% af EU borgeres økonomiske budget relateret til det "at bo".*	*Allokeringsprincip baseret på branchefordeling* *30% af Danmarks samlede udledning tildeles byggebranchen.*	*Allokeringsprincip baseret på at den nuværende andel forbliver den samme.* *Nye boliger står for 3,3% af den samlede danske udledning*
Reduktionsmål	*FCE*	*ARB*	*RR*
	I dag: *1.650 kg CO2eq/person pr. år* *Mål:* *69 kg CO2eq/person pr. år* *Reduktion: 96%*	*I dag:* *13,5 mio. tons CO2eq pr. år* *Mål:* *0,56 mio. tons CO2eq pr. år* *Reduktion: 96%*	*I dag:* *3 mio. m² boligbyggeri om året med klimabelastning på 9,63 kg CO2eq/m2 pr. år* *Mål:* *3 mio. m² boligbyggeri om året med klimabelastning 0,4 kg CO2eq/m2 pr. år* *Reduction: 96%*

tabel 7a:

Allokeringsmetode sammenligning

Sammenligning	FCE	ARB	RR
Fordeling af globalt CO2-budget *Fordeles udledningen af CO2-ækvivalenter ud fra et ligeligt fordelingsprincip*	*JA* *Globalt CO2-budget fordeles ligeligt mellem Jordens befolkning.*	*JA* *Byggebranchens andel defineres ud fra Danmarks andel det globale CO2-budget bestemt ved antallet af danskere i forhold til Jordens befolkning*	*JA* *Byggebranchens andel defineres ud fra Danmarks andel det globale CO2-budget bestemt ved antallet af danskere i forhold til Jordens befolkning*
Ansvar *Pålægges byggebranchens aktører ansvar for at skabe forandring?*	*NEJ* *Fordelingsmetoden har et individ-mål, m²/person*	*JA* *Fordelingsmetoden har et mål på kg CO2eq/m2 år*	*JA* *Fordelingsmetoden har et mål på kg CO2eq/m2 år*
Bygningstypologien *Kan fordelingsmetoden overføres til andre bygningstypologier end boliger?*	*NEJ* *Denne metode tager kun udgangspunkt i boliger. Der skelnes ikke mellem nye og eksisterende boliger.*	*JA* *Der eksisterer omfattende oversigter over procentsatserne for forskellige bygningstypologier.*	*JA* *Med større datagrundlag for miljøbelastning fra andre bygningstypologier, kan metoden anvendes bredt.*
Sammenlignelighed / Benchmarking *Er målværdien sammenlignelig med bygnings-LCA? (CO2eq/m² år)*	*NEJ* *Eksisterende og nye boliger indgår i samme budget, og er derfor ikke sammenlignelig med opgørelsesmetoden for bygnings-LCA*	*NEJ* *Målet har den rigtige målværdi, men er ikke relateret til opgørelsesmetoden i bygnings-LCA.*	*JA* *Metoden sammenligner direkte emissioner fra bygnings-LCA med reduktionsmål for bygnings-LCA*
Kvalitativt datagrundlag *Er datagrundlaget i Danmark tilstrækkeligt til at kunne anvende fordelingsmetoden?*	*JA* *De 21,5% tildelt til boligen efter forbrugsudgifter er dog opgjort efter en EU-statistik, og specifikt for Danmark.*	*NEJ* *Der er ikke tilstrækkelig information om, hvad de 30% dækker over. Dataene er baseret på andre steder end Danmark, og der findes ingen "baggrund" for denne beregning.*	*JA* *Der findes tilstrækkelige data til at sammenligne nye boligbyggerier, men ikke andre bygningstypologier*

tabel 7b:

Allokeringsmetode sammenligning

05 **Konklusion**

Formålet med nærværende projekt var at udforme et operationelt værktøj til byggebranchen, som omsætter de planetære grænser indenfor "klimaforandringer" til konkrete, årlige reduktionsmål for nyt dansk boligbyggeri. I løbet af denne proces er det blevet klart at byggeindustrien i øjeblikket opererer langt uden for de planetære grænser, og desuden skal reducere udledningen af drivhusgasser markant, hvis vi vil bygge indenfor Parisaftalens målsætning om en maksimal temperaturstigning på 1,5°C.

6 ud af 9 planetære grænser er allerede overskredet, og hvis vi fortsætter "business as usual", kan det have katastrofale konsekvenser for klima- og økosystemer med planetarisk kollaps som yderste konsekvens. Som byggebranche er vi nødt til at handle nu og sikre en transition mod bæredygtigt byggeri i en absolut forstand.

Med Reduction Roadmap kender vi nu reduktionsmålet for udledningen af drivhusgasser forårsaget af nyt dansk boligbyggeri. Fortsætter vi med at bygge med samme hastighed som i dag skal udledningen reduceres fra 9,63 til 0,4 kg CO2eq./m² år svarende til en reduktion på 96 %. Denne reduktion skal ske så hurtigt som muligt for at stoppe den globale temperatur i at stige yderlige, men vi er dog nødt til at acceptere at ændringen ikke sker i morgen. Derfor kan vi med udgangspunkt i Parisaftalen tillade at transitionen mod et safe operating space for boliger sker mellem år 2029 og 2036.

Reduction Roadmap er er en første version af et fælles værktøj til udformning af reduktionsmål, der skaber et grundlag for at kunne diskutere allokeringsprincipper og beregningsmetoder. Værktøjet er således langt fra perfekt, men giver et udgangspunkt for at starte den forandring der er brug for. Vi har ikke tid til at vente på det perfekte værktøj eller redskab, men må udvikle og være omstillingsparate mens vi lærer. Ønsket er således, at Reduction Roadmap bliver et værktøj, der løbende udvikles i takt med ny viden eller bedre datagrundlag, og på denne måde bidrager til en politisk revurdering af branchens målsætninger.

06 Fremtidigt arbejde

Gennem processen med at udvikle Reduction Roadmap er det blevet klart, at vi mangler kvalitativt data for at kunne allokere og estimere det eksakte tal for den planetære grænse for byggeindustrien. Dog hviler projektet på et solidt videnskabeligt grundlag, som har gjort det muligt at lave en lineær reduktionssti for nybyggede boliger pr. m^2.

Fremadrettet vil der i den kommende fase af initiativet være fokus på fire nøgleaspekter, som bør diskuteres internt i branchen men også på et højere politisk niveau.

1. Tilvejebringelse af bedre og mere præcist data
Processen har vist, at vi mangler bedre og mere præcist data, for at kunne forbedre den fremlagte version af Reduction Roadmap. Derfor har vi til hensigt at samarbejde med offentlige danske institutioner, aktører i byggebranchen, fonde, tænketanke og kommuner for at skabe et nyt og bedre statistisk datagrundlag. Med dette kan Reduction Roadmap laves mere robust og udvides til ikke kun at dække nybyggede boliger men også kontorer, skoler, hospitaler og infrastruktur.

2. Udvikle et "Charter"
Formålet med Reduction Roadmap er at fremme et fælles engagement med målet om at sikre en reduktion af klimabelastningen fra byggebranchen, så vi kan leve op til Parisaftalen og de planetære grænser. Vi ønsker derfor at udvikle et "charter", der via en fælles platform for byggebranchens aktører, skal inspirere til fælles handling ud fra en fælles forpligtelse. Et "charter", hvor vi som branche kan udveksle ideer, vise eksempler på "best practise" og benchmarke alle nye byggeprojekter mod reduktionsmål, med det formål at følge vores kollektive fremskridt.

Vi når aldrig i mål hver for sig, men gennem samarbejde og en fælles målsætning kan vi stadig nå det.

3. Formidle en diskussion om allokeringsmetode og reduktions hastighed.
Selvom vi i udviklingen af Reduction Roadmap har forsøgt at være upolitiske, beror store dele af projektet på antagelser, der på grund af etiske og moralske dilemmaer, bør diskuteres i branchen og politisk. Vi håber derfor, at projektet kan være med til at facilitere denne diskussion og dermed rykke branchen mod et fælles mål.

4. Udvide til andre sektorer.
Metodikken bag roadmappet kan appliceres på andre brancher, og danner derfor grundlag for videre udbredelse. Det er vores håb og tro, at vi med dette projekt kan inspirere andre brancher til at følge i Roadmappets fodspor og dermed påvirke andre brancher til at stå sammen om et fælles mål, der sikrer at vi ikke overstiger 1,5°C.

07 **Referencer**

Andersen, C. E., Ohms, P., Rasmussen, F. N., Birgisdóttir, H., Birkved, M., Hauschild, M., & Ryberg, M. (2020). Assessment of absolute environmental sustainability in the built environment. *Building and Environment*, 171, 106633. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106633

Bjørn, A., & Hauschild, M. Z. (2015). Introducing carrying capacity-based normalisation in LCA: framework and development of references at midpoint level. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 20(7), 1005–1018. https://doi.org/10.1007/s11367-015-0899-2

Brejnrod, K. N., Kalbar, P., Petersen, S., & Birkved, M. (2017). The absolute environmental performance of buildings. *Building and Environment*, 119, 87–98. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.04.003
Energistyrelsen. (2022). Global Afrapportering 2022. http://www.ens.dk

Climate Watch (2022, August 3). *Historical GHG Emissions.* https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions?end_year=2019&regions=WORLD%2CWORLD&start_year=1990

Deveci, N & Seidelin, CA (2020) *DI Analyse Optimisme I bygge- og anlægsbranchen på trods af coronakristen*. DI Byg. October, 2020.
Danmarks Statistik (n.d.). Retrieved April 21, 2022 from https://www.dst.dk/dk

European Environment Agency [EPA] (2022, May 31) *EEA Greenhouse Gases - Data Viewer*. Retrieved August 24, 2022, from https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/greenhouse-gases-viewer

European Environment Agency. (n.d.). EEA greenhouse gases - data viewer . Retrieved August 27, 2022, from https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/greenhouse-gases-viewer

Fifth Assessment Report — IPCC. (n.d.). Retrieved August 30, 2022, from https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar5/

Friedlingstein et al. (2020). Global Carbon Budget 2020. *Earth Science Systems Data*, 12, 3269–3340. https://doi.org/10.5194/essd-12-3269-2020

Indenrigs- og Boligministeriet. (2021). *National strategi for bæredygtigt byggeri*.

IPCC. (2021). S*ummary for Policymakers: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_final.pdf

Klima- Energi- og Forsyningsministeriet. (2020). Klimaloven. https://www.retsinformation.dk/eli/lta/2020/965

Klimapartnerskabet for bygge- og anlægssektoren. (2020a). *Anbefalinger til regeringen fra Klimapartnerskabet for bygge-og anlægssektoren*.

Klimapartnerskabet for bygge- og anlægssektoren. (2020b). *Bilagsrapport - Anbefalinger til regeringen fra Klimapartnerskabet for bygge- og anlægssektoren*. https://ipaper.ipapercms.dk/TEKNIQ/klimapartnerskab/bilagsrapport/

Pearce, R. M. S. and R. (n.d.). *The impacts of climate change at 1.5C, 2C and beyond*. Retrieved August 31, 2022, from https://interactive.carbonbrief.org/impacts-climate-change-one-point-five-degrees-two-degrees/

Persson, L., Carney Almroth, B. M., Collins, C. D., Cornell, S., de Wit, C. A., Diamond, M. L., Fantke, P., Hassellöv, M., MacLeod, M., Ryberg, M. W., Søgaard Jørgensen, P., Villarrubia-Gómez, P., Wang, Z., & Hauschild, M. Z. (2022). Outside the Safe Operating Space of the Planetary Boundary for Novel Entities. *Environmental Science & Technology*, 56(3), 1510–1521. https://doi.org/10.1021/acs.est.1c04158

Petersen, S., Ryberg, M. W., & Birkved, M. (2022). *The safe operating space for greenhouse gas emissions*.

Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., Lambin, E. F., Lenton, T. M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H. J., Nykvist, B., de Wit, C. A., Hughes, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P. K., Costanza, R., Svedin, U., ... Foley, J. A. (2009). A safe operating space for humanity. *Nature*, 461(7263), 472–475. https://doi.org/10.1038/461472a

Ryberg, M. W., Owsianiak, M., Clavreul, J., Mueller, C., Sim, S., King, H., & Hauschild, M. Z. (2018). How to bring absolute sustainability into decision-making: An industry case study using a Planetary Boundary-based methodology. *Science of The Total Environment*, 634, 1406–1416. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.075

Statistikbanken. (n.d.). Retrieved August 30, 2022, from https://www.statistikbanken.dk/10022

Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S., Fetzer, I., Bennett, E., Biggs, R., Carpenter, S., Vries, W., de Wit, C., Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Persson, L., Ramanathan, V., Reyers, B., & Sörlin, S. (2015). Planetary Boundaries: Guiding Human Development on a Changing Planet. *Science*. https://doi.org/10.1126/science.1259855

Stein, T. (2022). Carbon dioxide now more than 50% higher than pre-industrial levels | National Oceanic and Atmospheric Administration. https://www.noaa.gov/news-release/carbon-dioxide-now-more-than-50-higher-than-pre-industrial-levels

Tozan, B. ;, Brisson Jørgensen, E. ;, & Birgisdottir, H. (2021). *Klimapåvirkning fra 60 bygninger - Opdaterede værdier baseret på nyere data og danske branche EPD'er*. https://sbi.dk/Pages/Klimapaavirkning-fra-60-bygninger_.aspx

United Nations Climate Change. (2015). *The Paris Agreement | UNFCCC*. https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement

Wang-Erlandsson, L., Tobian, A., van der Ent, R. J., Fetzer, I., te Wierik, S., Porkka, M., Staal, A., Jaramillo, F., Dahlmann, H., Singh, C., Greve, P., Gerten, D., Keys, P. W., Gleeson, T., Cornell, S. E., Steffen, W., Bai, X., & Rockström, J. (2022). A planetary boundary for green water. *Nature Reviews Earth & Environment 2022* 3:6, 3(6), 380–392. https://doi.org/10.1038/s43017-022-00287-8

World | Total including LUCF | *Greenhouse Gas (GHG) Emissions | Climate Watch.* (n.d.). Retrieved August 30, 2022, from https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions?end_year=2019&regions=WORLD%2CWORLD&sectors=total-including-lucf&start_year=1990

World Population Projections - Worldometer. (n.d.). Retrieved August 30, 2022, from https://www.worldometers.info/world-population/world-population-projections/

I.