

LCA VOLUME

Sænk klimaaftrykket med parametrisk byplanmodel

UDFØRT AF:



STØTTET AF:





INDHOLD

Om	side 3
Om udviklingen af LCA Volume	side 5
Case Willemoesgadekarréen	side 6
Introduktion Hvorfor LCA Volumen?	side 8
Baggrund	side 9
Eksisterende værktøjer	side 12
Hvad er behovet?.....	side 13
Værktøjet	side 18
Workflow.....	side 19
Opbygning.....	side 20
Database	side 21
Rhino-model	side 23
Grasshopper-script	side 25
1. Redigering af attributter	side 28
3. Preview modes	side 29
Refleksioner og perspektiver	side 33
Refleksioner fra afprøvning.....	side 34
Perspektiver.....	side 38
Appendix	side 40
Appendix A LCA Volume input	side 41
Appendix B Referencer	side 42

OM

LCA Volume

- Sænk klimaaftrykket med parametrisk byplanmodel

1. udgave

Februar 2026

Link til download af script:

<https://pure.au.dk/portal/da/projects/lca-volume/>

Forfattere:

Aarhus Universitet, Institut for Byggeri og Bygningsdesign:

Pil Brix Purup og Steffen Petersen

CEBRA: Jacob Christensen, Stina Rask Jensen og Mikkel

Schlesinger.

Grafik:

CEBRA: Trine Gylling

Støttet af:

Projektet er støttet af puljen AU Connect på Aarhus Universitet og Bevar Mere – en indsats som Grundejernes Investeringsfond, Landsbyggefonden, Dreyers Fond og Realdania står bag.

Projektet er en del af i alt 17 projekter, der udvikler viden og værktøjer til at skabe fremtidens boliger i nutidens bygninger. Resultater fra de 17 projekter offentliggøres i 2026.

Læs mere på www.bevar-mere.dk

Denne publikation giver en kortfattet introduktion til værktøjet LCA Volume.

Værktøjet er et grasshopper-script til Rhino, som muliggør tidlige overslag på miljøbelastning på scenarier for helhedsplanlægning, som en integreret del af arkitektens workflow og i dialogen med samarbejdspartnere og bygherre.

Formålet er at kvalificere beslutninger i de tidlige faser af helhedsplanlægning, hvor alternative scenarier for håndtering af den eksisterende bygningsmasse screenes på et indledende stadie.

Vi hører gerne fra dig!

Dette er en beta-version under stadig udvikling. Har du kommentarer eller spørgsmål, hører vi gerne fra dig.

Mvh

Pil Brix Purup og Stina Rask Jensen

OM

Om udviklingen af LCA Volume

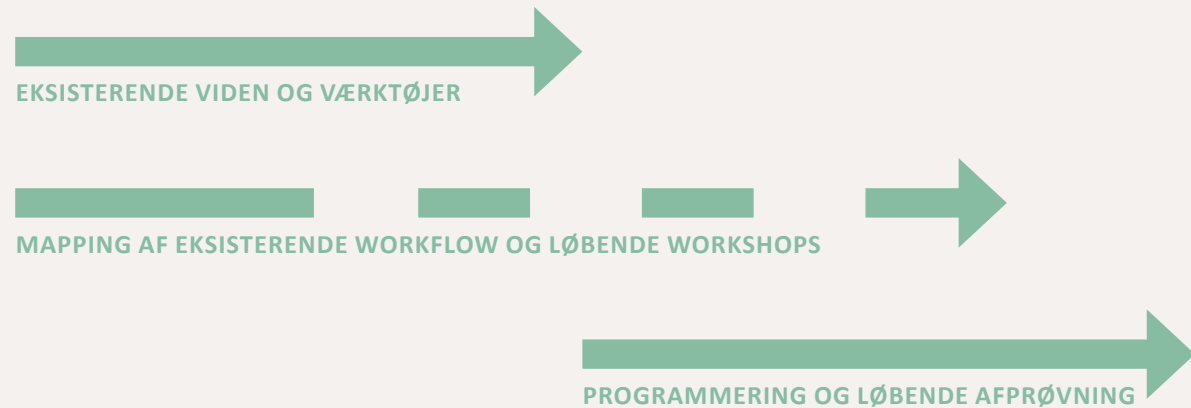
LCA Volume er udviklet i samarbejde mellem Aarhus Universitet - Institut for Byggeri & Bygningsdesign og arkitektfirmaet CEBRA.

Udviklingen bygger på følgende hovedaktiviteter:

- Sammenfatning af eksisterende viden og værktøjer.
- Mapping af arkitekternes eksisterende workflow og løbende workshops.
- Programmering og løbende afprøvning på case.

En særlig tak skal lyde til Klaus Gad og André Sørensen for tilladelse til at bruge Willesmoesgadekarréen som retrospektiv case i udviklingsarbejdet.

Desuden rettes en stor tak til Sofie Knivford Laursen, hvis afgangsprøveprojekt *“Life Cycle Assessment at the Urban Scale: Exploring the Potential of Renovation and Circular Approaches”* (Laursen 2025) har været med til at informere udviklingen af LCA Volume. Ligeledes rettes en stor tak for sparring med projekter i regi af Plan22-initiativet (Plan22+ 2025). Sidst men ikke mindst skal der lyde en tak for den løbende sparring i regi af Bevar Mere-initiativet, som nærværende projekt er en del af (Bevar Mere 2026).



Figur 1: Udviklingsprocessens hovedaktiviteter

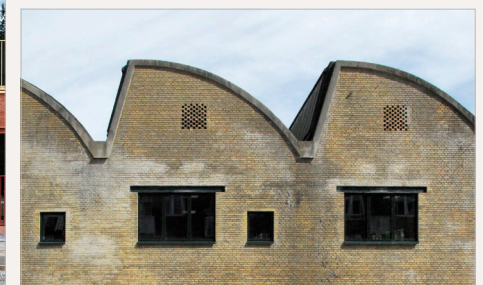
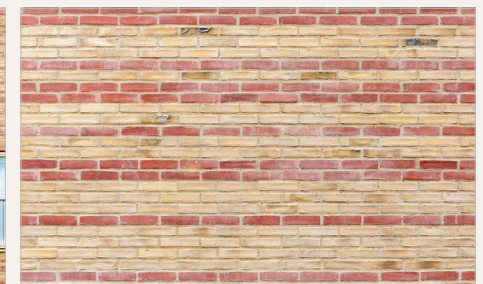
CASE | WILLESMOESGADEKARRÉEN

Gennemgående byomdannelsescase

Byomdannelses-projektet Willesmoesgadekarréen bruges som retrospektiv case i udviklingsarbejdet.

Projektet udgør omdannelsen af et tidligere industriområde på Trøjborg, Aarhus, til blandede erhvervs- og boligformål. Projektet har været meget egnet som case, da det repræsenterer et spektrum af tilgange til håndtering af eksisterende bygninger samt fortætning gennem nye bygninger.

De alternative scenarier for udvikling, som præsenteres i dette dokument, er fiktive og "opfundet" til formålet, som har været at afprøve og udvikle værktøjet.



Lokation: Willesmoesgade, Aarhus, DK
Bygherre: Willesmoesgade ApS
Størrelse: 24,500 m²
År: 2017–
Status: Under udførelse
Arkitekt: CEBRA
Ingeniør: NIRAS
Entreprenør: Vognsen & Co



INTRODUKTION

Hvorfor LCA Volume?

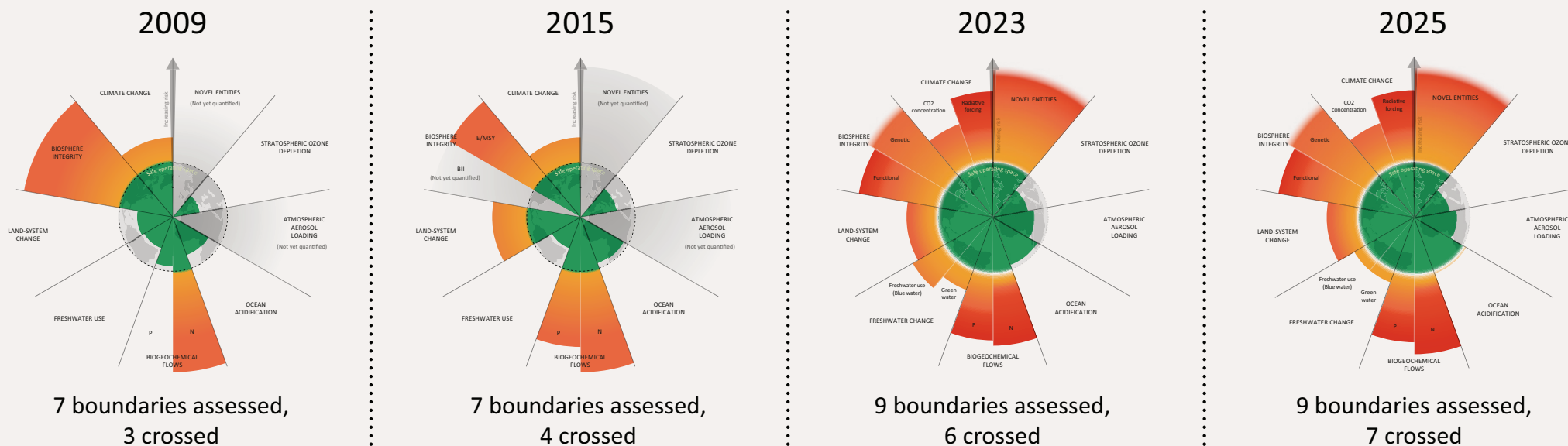
BAGGRUND

Tilbage til 'Safe Operating Space'

Syv ud af ni grænser for miljøbelastning af de planetære systemer overskrides i stadig stigende grad (figur 2). Det betyder, at der er en stigende risiko for katastrofale klimaforandringer, et massivt tab af biodiversitet, og andre uønskede miljøændringer. Overskridelsen skyldes bl.a. en stor og stigende miljøbelastning fra menneskets byggeaktiviteter:

Bygge- og anlægssektoren står for 43% af den globale CO₂-udledning (United Nations Environment Programme

2022) og har stor påvirkning på økosystemer gennem blandt andet ressourceforbrug, arealanvendelse og affald. Derfor må vi bevæge os mod en praksis, hvor vi som rådgivere kan udvikle arkitektur og byggeri som bidrager til en reduktion af menneskehedens miljøbelastning til et niveau, hvor planetens økosystemer får ro til at regenerere og genskabe et 'safe operating space' under de planetære grænser til gavn for menneskehed og andet liv på jorden.



Figur 2: De planetære grænser

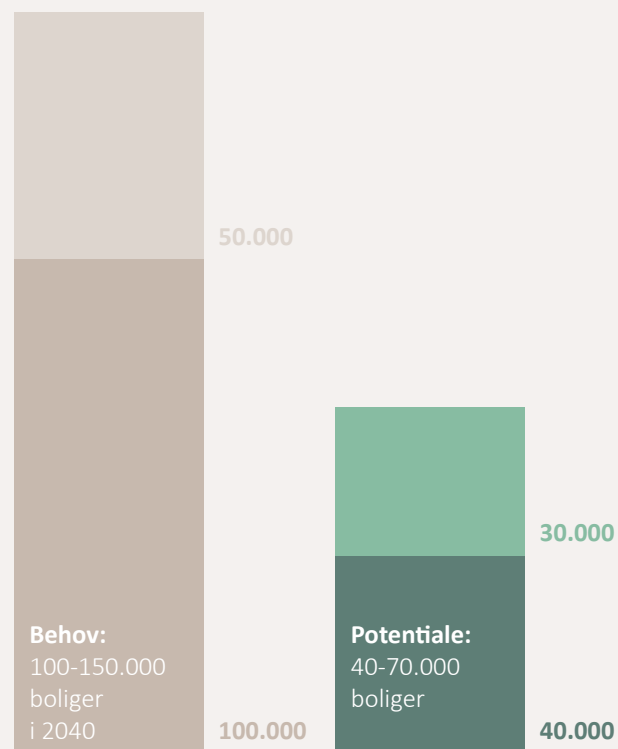
Kilde: The evolution of the planetary boundaries framework. Licenced under CC BY-NC-ND 3.0 (Credit: Azote for Stockholm Resilience Centre, Stockholm University. Based on Sakschewski and Caesar et al. 2025, Richardson et al. 2023, Steffen et al. 2015, and Rockström et al. 2009)

BAGGRUND

Fremtidens boliger i nutidens bygninger

Undersøgelser viser, at miljøpåvirkningen fra nybyggeri skal reduceres med op til 94% for at opnå en regenerativ belastning af de planetære systemer (Brejnrod et al. 2017; Petersen et al. 2025). Dette kræver en massiv omstilling af nybyggeriet, hvor især anvendelsen af biogene materialer og en langt større grad af cirkulært genbrug og genanvendelse af eksisterende materialer, produkter og bygningsdele i nye konstellationer bliver afgørende.

Størrelsesordenen af reduktionen bliver betydeligt lavere hvis nybyggeri kan undgås ved at foretage renovering, transformation og fortætning den eksisterende bygningsmasse. Potentialet for fortætning og omdannelse er betydeligt: Det vurderes, at der kan skabes 40.000–70.000 nye boliger ved at transformere allerede eksisterende byggeri, hvilket vil kunne dække ca. 50% af det forventede boligbehov frem mod 2040 på 100.000–150.000 boliger (Figur 3) (Sweco & Cobe 2023). En praksis, hvor vi i langt højere grad ser eksisterende bygninger som en ressource og et centralt afsæt for fremtidens byudvikling, udgør derfor et betydeligt potentiale for at reducere miljøbelastningen fra byggeri et til regenerativt niveau.



Figur 3: Fortætning og omdannelse kan skabe 40.000–70.000 nye boliger, ud af et samlet forventet boligbehov frem mod 2040 på 100.000–150.000 boliger.

Kilde: Sweco & Cobe 2023

BAGGRUND

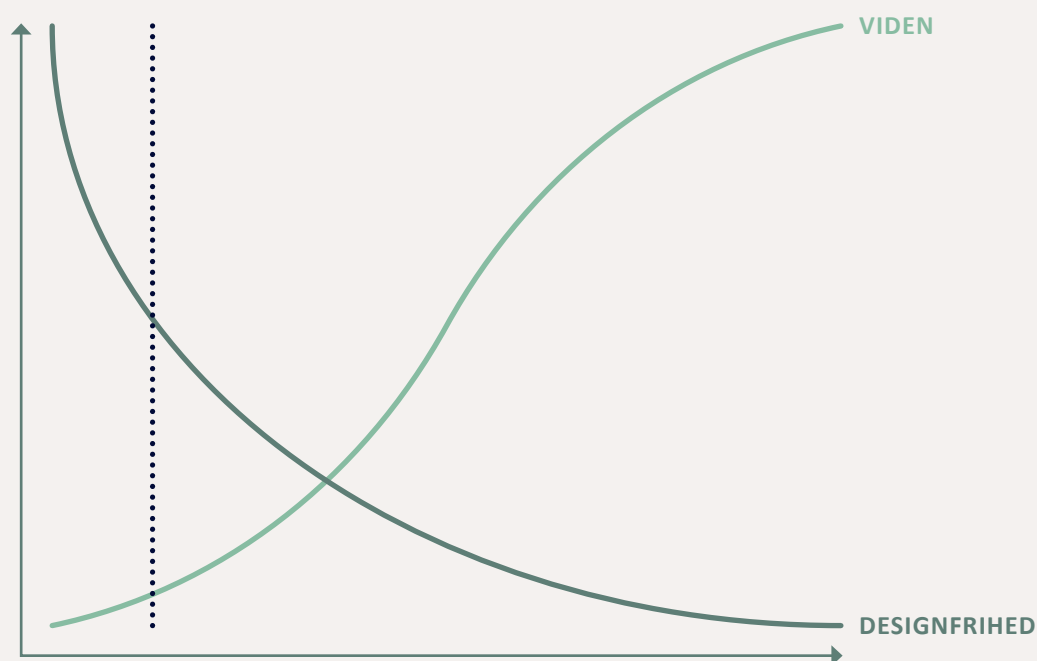
Behovet for integrerede værktøjer

I tidlige helhedsplansprocesser står valget ofte mellem nedrivning og nybyggeri eller forskellige grader af transformation og renovering. Beslutningen træffes tidligt i forløbet, hvor der ofte kun er udført begrænsede undersøgelser, men hvor konsekvenserne bliver afgørende for projektets samlede klimabelastning.

Udfordringen er, at klimabelastning ofte ikke er en integreret del af den tidligste proces. Klimaberegninger er typisk tidskrævende og kræver detaljerede data, som endnu ikke foreligger. Dermed risikerer afgørende beslutninger at blive truffet på et utilstrækkeligt oplyst grundlag. Der er derfor et stort potentiale i at kunne tilbyde kvalificerede overslagsvurderinger af klimabelastningen allerede i de indledende faser, hvor graden af bevaring kontra nedrivning og nybyg endnu ikke er fastlagt.

Projektet bygger dermed videre på forskning, der peger på, at visuelle værktøjer kan styrke arkitekter og bygherrers beslutningsgrundlag i de indledende faser, hvor påvirkningsmuligheden er størst (Kamari et al. 2021), og at agile beregnings- og visualiseringsværktøjer kan understøtte den tidlige, dynamiske proces, som ofte er baseret på alternative volumenstudier og scenarieanalyser (Purup et al. 2020) (Figur 4).

BEHOV FOR AT INFORMERE DEN TIDLIGE PROCES



Figur 4: Typisk designparadoks. Dette projekt har til hensigt at informere de tidligste designfaser, mens mulighedsrummet fortsat er stort og der endnu ikke er truffet beslutning om nedrivning.

Illustration inspireret af Ullman 2009

EKSISTERENDE VÆRKTØJER

Relaterede værktøjer

Der findes en række værktøjer til at belyse et byggeprojekts miljøpåvirkning i de indledende faser. Et udsnit ses til højre herfor.

Der findes dog ikke pt. tilgængelige værktøjer, som understøtter det tidligste arbejde med volumenstudier på helhedsplansniveau, og samtidigt belyser håndteringen af eksisterende byggeri på grunden.

I dag arbejdes der hos CEBRA i programmet Rhino, som er et udbredt værktøj på danske og udenlandske tegnestuer i arbejdet med tidlige volumenstudier (Purup & Petersen 2021). Grasshopper, som er et plugin til Rhino, giver mulighed for at arbejde parametriske med en række emner tidligt i processen, herunder f.eks. grønne friarealer, dagslyshold mv. Når geometrien/volumenerne i en byplanmodel ændres, genereres der enkelt et overblik over, hvordan det givne scenarie "performer" i forhold til de opstillede parametre.

LCA Volume tilføjer et ekstra "lag" til dette parametriske workflow, så CO₂-udledningen synliggøres for alternative scenarier, herunder også forskellige grader af indgreb i eksisterende bygninger.

<p>Nordic Carbon Tracker Udviklet af: Nordic Office of Architecture Software: Revit-baseret Note: Understøtter ikke Rhino-integration.</p>	<p>Realtime LCA Administreres af: NTI Group Software: Rhino- og Revit-baseret Note: Bygningsskala. Ikke fokus på grader af bevaring. Bruges af CEBRA i det videre flow, pga. muligheden for direkte integrering fra 3D-model. Ikke open-source.</p>
<p>Urban Decarb Udviklet af: Henning Larsen Software: Rhino/Grasshopper Note: Særligt relevant ift. helhedsplanlægning og grader af bevaring. Ikke offentligt tilgængeligt. Ikke open-source.</p>	<p>Autodesk Forma (tidligere Spacemaker) Administreres af: Autodesk Software: Rhino/Revit Note: Understøtter undersøgelser på byplanniveau, men ikke tilpasset dansk kontekst og ikke fokus på bevaring. Kræver eksport, hvilket betyder ekstra step i workflowet. Ikke open-source.</p>
<p>PlanCO2 Udviklet af: Københavns Kommune, Middelfart Kommune, Henning Larsen, Rambøll og BUILD (som en del af Plan22+) Software: GIS-baseret Note: Målrettet planlæggere i landets kommuner. Open-source.</p>	<p>Excel Lite Udviklet af: BUILD Software: Excel-baseret Note: Ikke direkte koblet til 3D-model. Fokus på bygningsskala. Ikke fokus på bevaring. Open-source.</p>
<p>OneClick LCA Administreres af: One Click LCA Ltd. Software: Rhino/Revit Note: Fokus på bygningsskala. Ikke open-source. Ikke fokus på bevaring.</p>	<p>CarbonSpace Udviklet af: MVRDV Software: Gratis online upload af 3D model Note: Ingen håndtering af bevaring. Ikke Open Source. Ingen danske data.</p>
<p>Urban LCA Udviklet af: Effekt, Artelia (som en del af Plan22+) Software: Excel-baseret Note: Særligt relevant ift. håndtering af eksisterende bygninger – dog ikke koblet til 3D-model. Open-source.</p>	<p>PreOptima Udviklet af: Preoptima Ltd. Software: Online upload af 3D model eller online modellering Note: Ingen håndtering af bevaring. Ikke Open Source. Ingen danske data.</p>

HVAD ER BEHOVET?

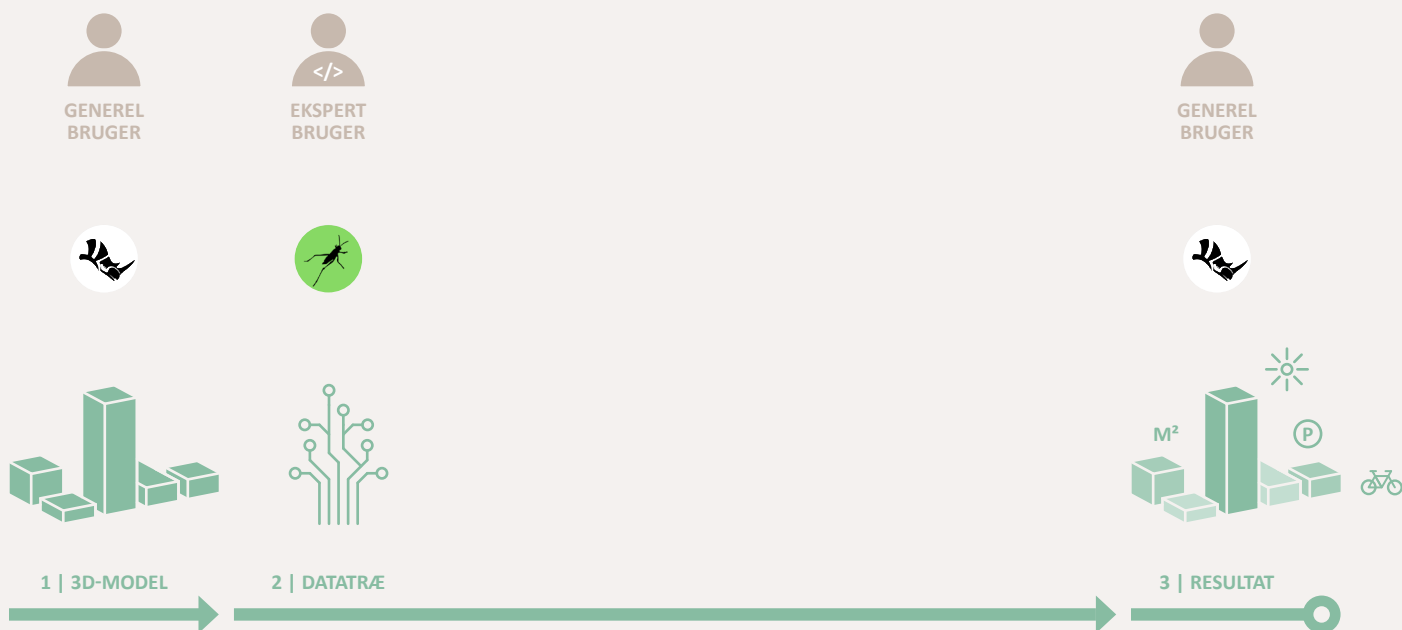
Kortlægning af eksisterende workflow

Ved interview af en kommende bruger af LCA Volume værktøjet, blev det tydeligt, at der allerede indgår mange andre analyseaktiviteter i helhedsplanlægning. Herunder sammentælling af etagearealer og opfyldelse af forskellige normkrav til f.eks. boligdepoter og parkeringsarealer. LCA beregninger skal derfor indgå som en udvidelse af dette veletablerede workflow. Både så modellering kan genbruges og så kommunikation med bygherre foregår i det samme digitale miljø.

For at forstå principperne i eksisterende workflow, blev workflowet for opfyldelse af parkeringsnormen kortlagt (se Figur 5). Heri modelleres et byområde i Rhino med forskellige funktioner (f.eks. bolig, kontor osv.) på forskellige lag. I grasshopper indlæses lagenes geometrier og der udarbejdes en data struktur – et såkaldt datatræ – for de forskellige arealer. Hertil ganges nøgletal fra parkeringsnormen på arealerne, og efter lidt mellemregninger visualiseres analysen med farver på modellen i Rhino.

Det nuværende værktøj bruges til at holde regnskab for blandt andet:

- Bruttoarealer
- Overslag på boligfordeling
- Parkeringsnormkrav og overslag på antal p-pladser
- Cykelparkeringsnormkrav og overslag på antal c-pladser
- Normkrav til opholdsarealer
- Normkrav til areal boligdepoter
- Normkrav til renovation
- Sollystimer på opholdsarealer
- VSC simulering af dagslyskrav



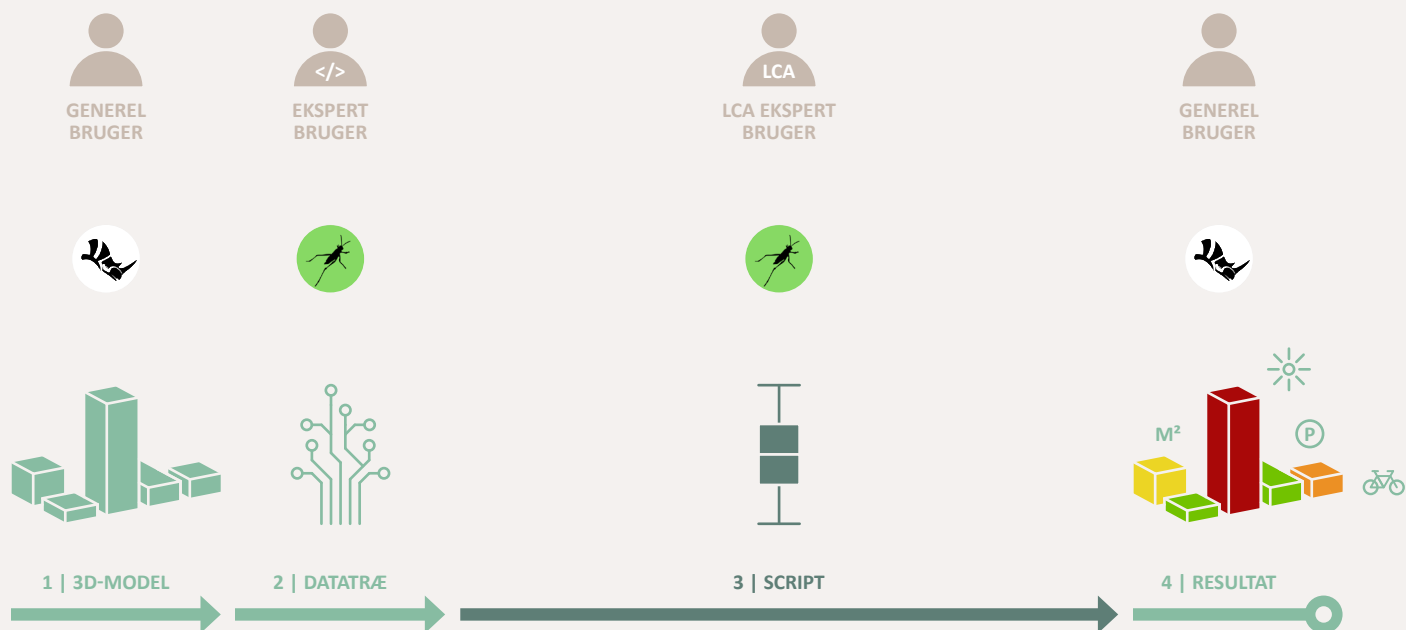
Figur 5: Eksisterende parametrisk workflow

HVAD ER BEHOVET?

Kort om værktøjet

LCA Volume er indarbejdet i Rhino-grasshopper og supplerer det eksisterende kortlagte workflow som vist i Figur 6.

Der trækkes typiske nøgletal med spredninger fra en tilhørende redigerbar database i Excel.



Figur 6: LCA Volume indgår i eksisterende Rhino-Grasshopper workflow, hvor der trækkes typiske nøgletal med spredninger fra en tilhørende redigerbar database i Excel.

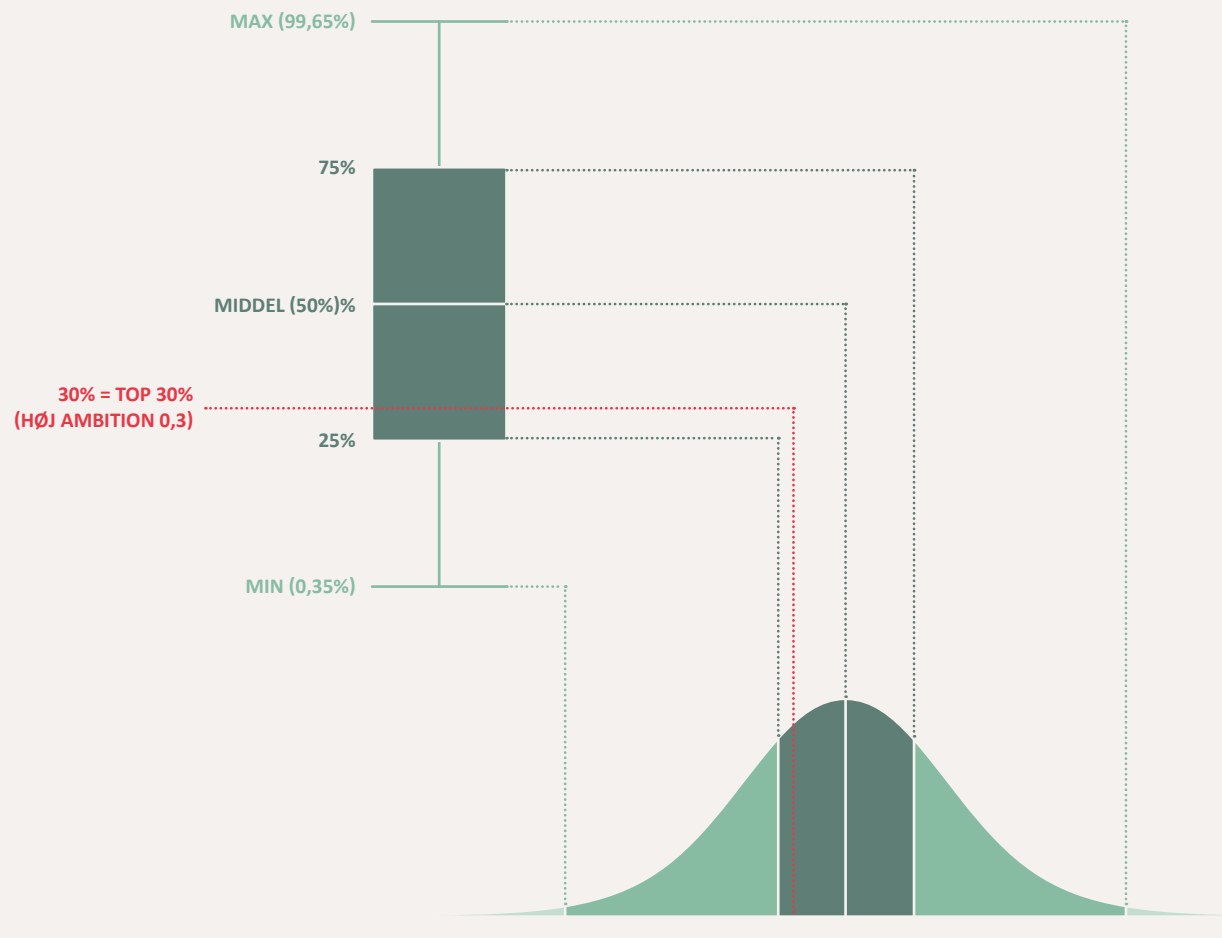
HVAD ER BEHOVET?

Statistisk udregning af løsningsrum

Screeningsværktøjet LCA Volume benytter statistik til at estimere et forventet løsningsrum for LCA resultatet. Mange input er stadig ukendte ved helhedsplanlægningen. Dette omfatter bl.a. valg af planindretninger, konstruktionsopbygninger og specifikke produkter med tilhørende miljøvaredeklaration (EPD). Derfor anvendes typiske input med en spredning (sandsynlighedsfordeling). Spredningerne er beskrevet som normalfordelte (Figur 7, nederst) med en middelværdi og standardafvigelse.

En normalfordeling kan også vises grafisk med et box-plot (Figur 7, øverst). Her viser stregen i den midterste firkant middelværdien, firkanten viser den spredning, hvori 50% af løsningerne forventes at ligge, mens de resterende værdier vil falde udenfor med en spredning anvist med stregerne. Outliers indgår ikke spredningen.

Når input regnes med en spredning, vil resultater også opnås med en spredning. Det mest sandsynlige scenarie vil være middelværdien, men hvis en bygherre er ambitiøs, kan han vælge at gå efter løsninger, som er bedre end middel. Fx kunne en høj ambition være, at gå efter løsninger, som ligger i top 30% bedste. Dette ville svare til en løsning, der med statistisk sandsynlighed ligger på 30% fraktilen. Dette input kan gives til LCA Volume som en ambition på 0,3 (30%), hvorefter resultatet gives som 30% fraktilen i udregnede spredning. Standard regnes med middelværdien.



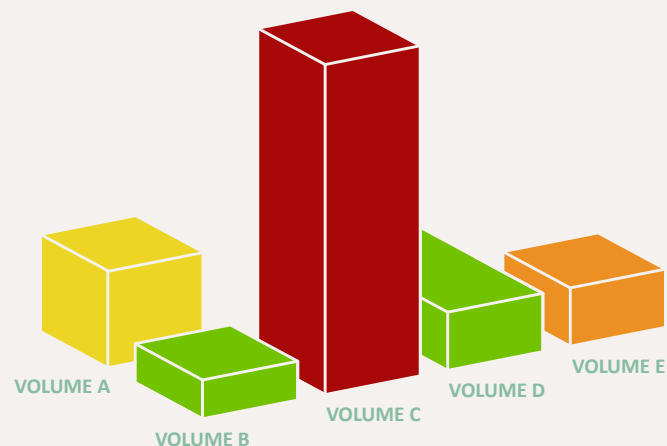
Figur 7: Princip for sammenhæng mellem et box-plot (øverst) og en normalfordeling (nederst)

HVAD ER BEHOVET?

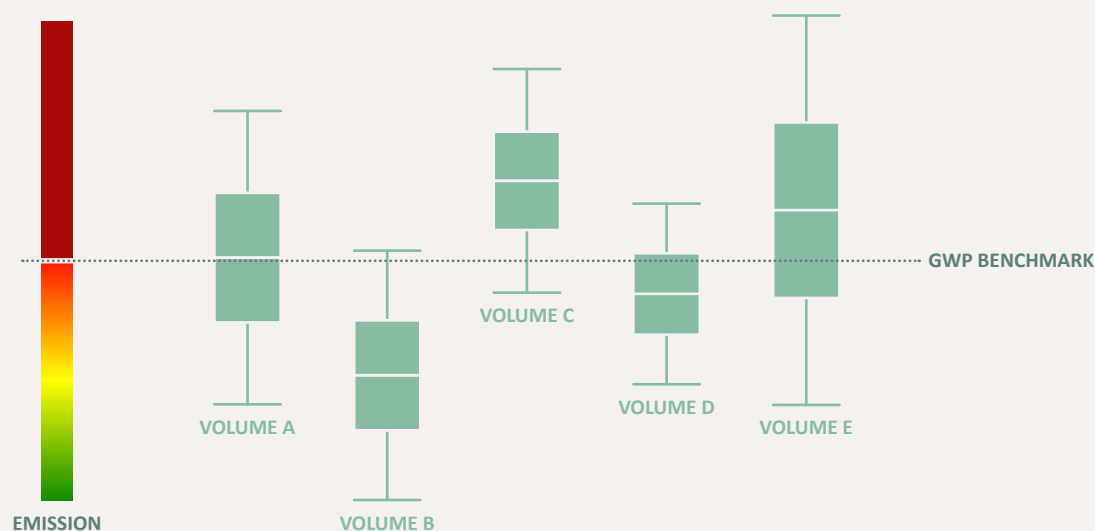
Hvad skal kommunikeres?

På en tværfaglig workshop om kommunikation af klimapåvirkninger i helhedsplanlægning blev det tydeligt, at ønsket var visuelt med en farveskala på modellen (Figur 8). At vise en farveskala, vil dog kræve et enkelt tal for klimapåvirkning pr. farvenuance. Dette harmonerer ikke med den store usikkerhed for senere valg frem mod færdigt byggeri. På dette stade kendes typisk kun bygningens volumener og funktion. Der er f.eks. endnu ikke truffet beslutninger om indretning med indervægge, de bærende konstruktioner, opbygning af bygningsdele, materialer og produkter med specifik EPD. Vi har dog gode erfaringer om, hvordan projekter typisk udvikles herefter og med hvilken spredning afhængig af valgenes klimaeffektivitet.

Ved at udregne de samlede spredninger for klimapåvirkningen, kan man altså få en dialog med bygherre, om han/hun ønsker et standard byggeri (middelværdien) eller ønsker at investere i noget mere ambitiøst, f.eks. fremadrettet at vælge løsninger i top 30% (30% fraktilen). Herefter kan LCA Volume vise forskellen på volumener og bevaringstiltag. Som det fremgår af Figur 9, kan alle volumener principielt opfylde bygherres målsætning, men volumen B vil f.eks. være nemmere, og dermed også billigere, at nå i mål med end volumen C.



Figur 8: Principskitse af ønsket om at kommunikere LCA resultater visuelt med en farveskala på 3d-modellen.



Figur 9: Beslutninger om bevaring og bygningsvolumener påvirker løsningsrummet for den resulterende emission. Nogle volumener vil blive nemmere end andre, at få under et bestemt klimamål.



VÆRKTØJET

WORKFLOW

Hvordan LCA Volume supplerer nuværende workflow

Figuren til højre (Figur 10) viser hvordan brugen af LCA Volume skrives sig ind i det eksisterende parametriske workflow i 3 skridt.

3.1. Mængder

Først estimeres mængder. Arealer af tage, facader og dæk kan måles direkte i den tegnede volumengeometri. Resten skal estimeres. For de strukturelle mængder benyttes en regressionsmodel fra projektet PlanCO2, udviklet under Plan22+-initiativet (Henning Larsen 2025). For øvrige mængder bruges nøgletal til estimering af typiske mængder for fx vinduesarealer, indervægge og energibehov. Alle nøgletal er beskrevet med spredninger, og trækkes fra en database i tilhørende Excelark.

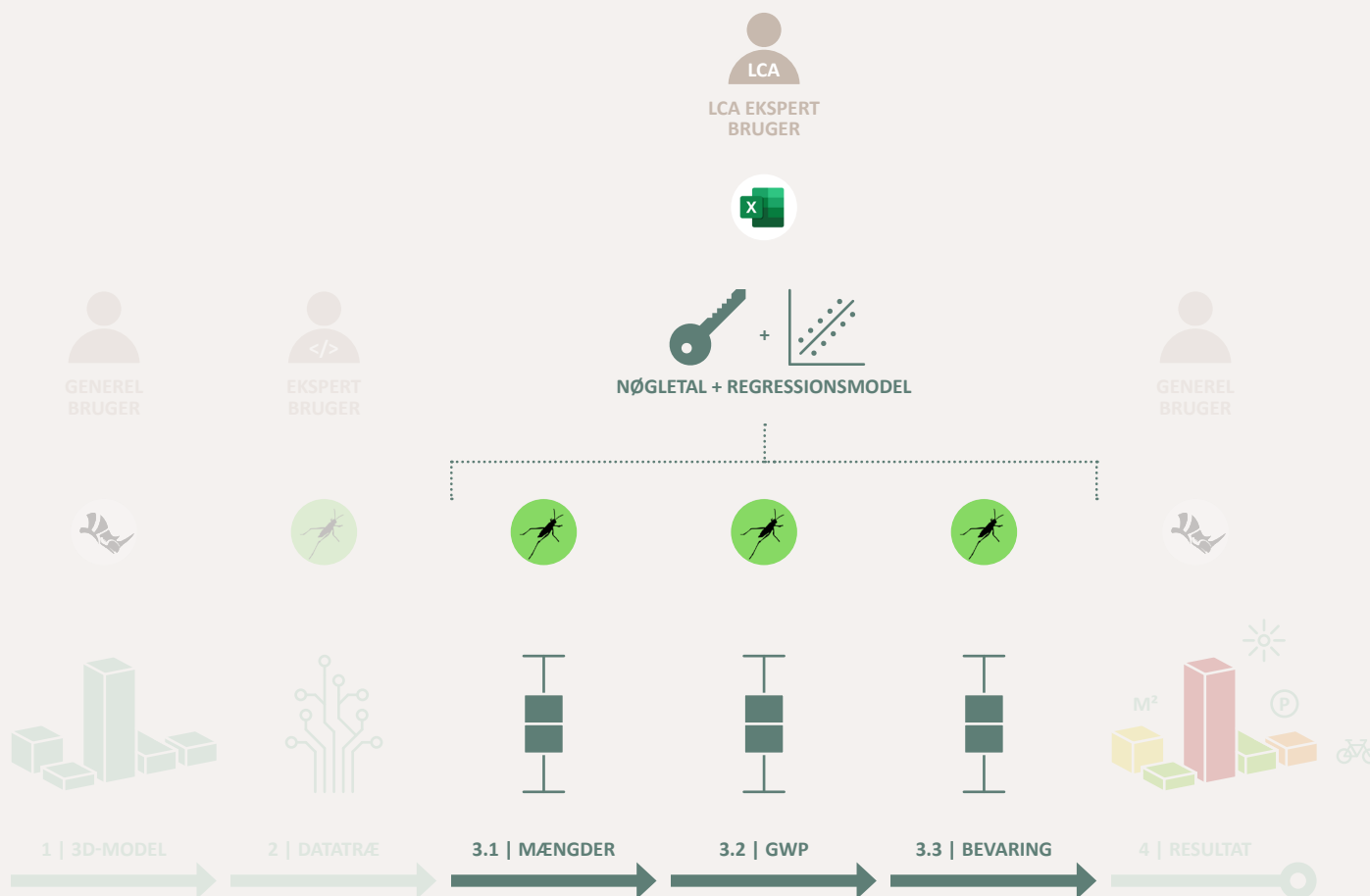
3.2. GWP

Herefter tildeles mængder en typisk spredning af GWP-udledning pr. m² bygningsdel.

3.3. Bevaring

Endeligt anvendes en spredning af udskiftningsfaktorer, som er typiske for forskellige typer af bevaringsstrategier, fx. transformation, renovering, istandsættelse.

I databasen i det tilhørende Excelark er det muligt at tilpasse fx udledninger pr. m² til en virksomheds typiske løsninger eller i takt med at flere produkter får mere energieffektiv produktion med tilhørende miljøvaredeklarationer (EPD).



Figur 10: LCA Volume indgår i eksisterende Rhino-Grasshopper workflow, hvor der trækkes typiske nøgletal med spredninger fra database i Excel.

OPBYGNING

Kort om værktøjets opbygning

Figur 11 viser en principiel gengivelse af LCA Volumes opbygning. Selve værktøjet, LCA Volume, består af et Grasshopper-script, en Rhino-skabelon og en database i Excel.

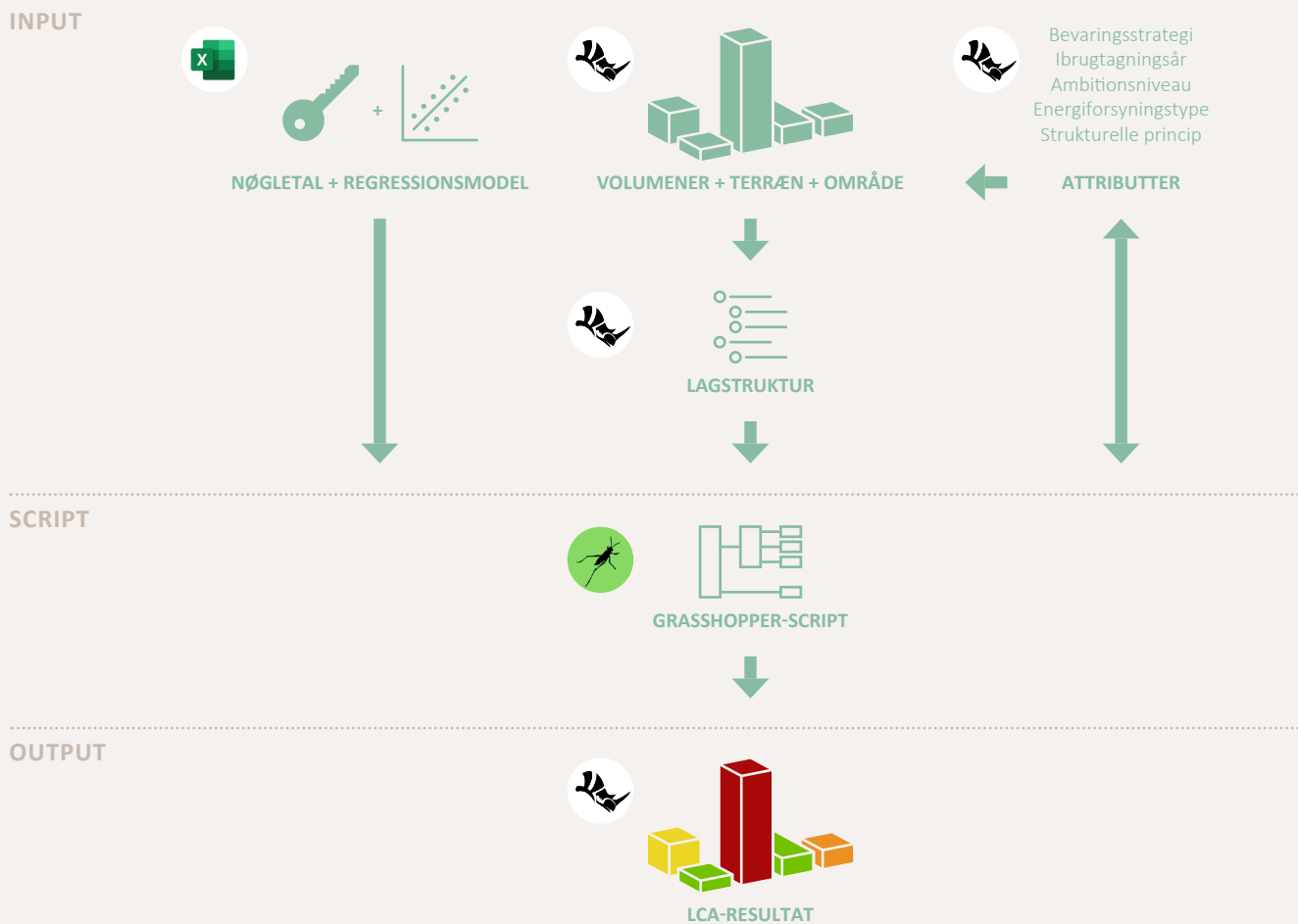
Inden du åbner scriptet, skal du sørge for at have følgende plugins installeret:

- eleFront5
- HDTreeUtils
- Human
- LadybugGrasshopper
- LunchBox
- MetaHopper
- Pufferfish
- Sasquatch

Input til Grasshopper-scriptet er nøgletal (Excel-fil), som løbende skal opdateres med nyeste viden.

Grasshopper-scriptet er tilkøbet Rhino-skabelonen, som er opbygget med en særlig lagstruktur og attributter. Input fra Rhino-modellen skal indeholde volumen, terræn og matrikel/område. Når Rhino-modellen er overført til Rhino-skabelonen, skal den tilføjes attributter, som man ønsker opfyldt eller undersøgt. Dette omfatter bevaringsstrategi, ibrugtagningsår, ambitionsniveau, energiforsyningstype og eventuelt strukturelt princip. Ud fra Rhino-modellen kan man nu teste forskellige scenarier ved at ændre på volumen eller attributter- eller en kombination af begge dele. Outputtet består af en grafisk afbildning af modellen samt værdier.

På de følgende sider gennemgås workflowet trin for trin.



Figur 11: Principiel gengivelse af workflow

DATABASE

Database med nøgletal

Figur 12 nedenfor viser et screenshot fra det tilhørende Excel-ark med nøgletal og spredninger. Nuværende data bygger på data fra projektet PlanCO2, CEBRA's projektsamling og data fra Aarhus Universitet. Heri anvendes emissionsdata for energiforbrug og generiske data iht. BR18 gældende fra 1. juli 2025.

I takt med udviklingen, vil brugere kunne opdatere nøgletal. Både med datasamlinger og ekspertvurderinger gennem et tre-punkt-estimat med typisk data samt max og min.

Typology	KQ_WWR_MEAN	KQ_WWR_SD	KQ_NettoBRutto_MEAN	KQ_NettoBRutto_SD	KQ_InnerWall_MEAN	KQ_InnerWall_SD	KQ_CoreWall_MEAN	KQ_CoreWall_SD	KQ_Heating_MEAN	KQ_Heating_SD	KQ_Electricity_MEAN	KQ_Electricity_SD
Quantity	KQ_WWR	KQ_WWR	KQ_NettoBRutto	KQ_NettoBRutto	KQ_InnerWall	KQ_InnerWall	KQ_CoreWall	KQ_CoreWall	KQ_Heating	KQ_Heating	KQ_Electricity	KQ_Electricity
Unit	[%]	[%]	[m2/m2]	[m2/m2]	[m/m2]	[m/m2]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
SingleFamilyHouse	0.22	0.03	0.80	0.03	0.20	0.01	0.00	0.00	45.65	1.83	3.00	0.00
TerracedHouse	0.25	0.02	0.80	0.03	0.25	0.01	0.00	0.00	46.72	1.87	3.00	0.00
MultiStoreyResidential	0.30	0.04	0.80	0.03	0.15	0.01	20.00	0.80	65.72	2.63	3.00	0.00
Office	0.40	0.02	0.65	0.03	0.25	0.01	20.00	0.80	48.73	1.95	7.00	0.00
Education	0.25	0.02	0.65	0.03	0.25	0.01	20.00	0.80	55.88	2.24	7.00	0.00
Daycare	0.25	0.02	0.65	0.03	0.25	0.01	20.00	0.80	55.88	2.24	7.00	0.00
Shopping	0.60	0.04	0.65	0.03	0.10	0.00	20.00	0.80	48.73	1.95	7.00	0.00
Parking	0.00	0.00	0.90	0.04	0.01	0.00	20.00	0.80	48.73	1.95	7.00	0.00
Industrial	0.20	0.04	0.90	0.04	0.01	0.00	20.00	0.80	48.73	1.95	7.00	0.00
Transport	0.20	0.04	0.80	0.03	0.01	0.00	20.00	0.80	48.73	1.95	7.00	0.00
Hotel	0.30	0.04	0.80	0.03	0.25	0.01	20.00	0.80	48.73	1.95	7.00	0.00

Figur 12: Screenshot af Excel-database med middelværdier og standardafvigelser i tilhørende Excelark

DATABASE

Bevaringsstrategi

Som en del af den bagvedliggende database, er der defineret seks bevaringsstrategier med tilhørende "udskiftningsfaktorer" - videreudviklet fra PlanCO2 (Henning Larsen 2025). Disse kan justeres manuelt, hvis der foreligger projektspecifik viden.

Bevaringsstrategierne er kategoriseret som følger:

Nybyg: Der opføres en helt ny bygning

Transformation: Større ombygning og renovering af eksisterende byggeri, hvor anvendelsen ændres

Renovering: Omfattende renovering af en eksisterende bygning, hvor væsentlige bygningsdele forbedres eller udskiftes

Istandsæt: Mindre eller afgrænset istandsættelse af en eksisterende bygning

Bevaret: Den eksisterende bygning fastholdes uændret, og projektet omfatter primært drift og vedligehold

Nedrivning: En eksisterende bygning fjernes ved nedrivning

Udskiftningsfaktorer

Tabel 1 indeholder typiske udskiftningsfaktorer med tilhørende standardafvigelser for de forskellige bevaringsstrategier. Udskiftningsfaktoren ganges på LCA resultater for nybyg, som et udtryk for, at ikke alle bygningsdele udskiftes og har en udledning til nye materialer, når man vælger at bevare i stedet for at bygge nyt. Ligeledes tilføjes et øget energiforbrug, hvis der ikke energirenoveres eller transformeres til nuværende energikrav. Udskiftningsfaktorer er baseret på erfaring, men kan kvalificeres og tilpasses i takt med at data på området vokser.

Replacement factor	Foundation		Structural		Envelope		Window		Interior		Technical		Construction		Energy		Demolition	
	Mean	Stan.dev.	Mean	Stan.dev.	Mean	Stan.dev.	Mean	Stan.dev.	Mean	Stan.dev.	Mean	Stan.dev.	Mean	Stan.dev.	Mean	Stan.dev.	Mean	Stan.dev.
Nybyg	100%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	0%	0%	0%
Transformation	0%	5%	25%	8%	75%	23%	100%	30%	100%	30%	100%	30%	50%	15%	100%	0%	0%	0%
Renovering	0%	0%	15%	5%	25%	8%	100%	30%	100%	30%	100%	30%	25%	8%	100%	0%	0%	0%
Istandsæt	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	30%	0%	0%	0%	0%	174%	17%	0%	0%
Bevaret	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	174%	17%	0%	0%
Nedrivning	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%

Tabel 1: Udskiftningsfaktorer og spredning for forskellige bygningsdele afhængig af bevaringsstrategier
Erfaringsbaseret – videreudviklet af projektteamet på baggrund af projektet PlanCO2 (Henning Larsen 2025).

RHINO-MODEL | MODELLERING

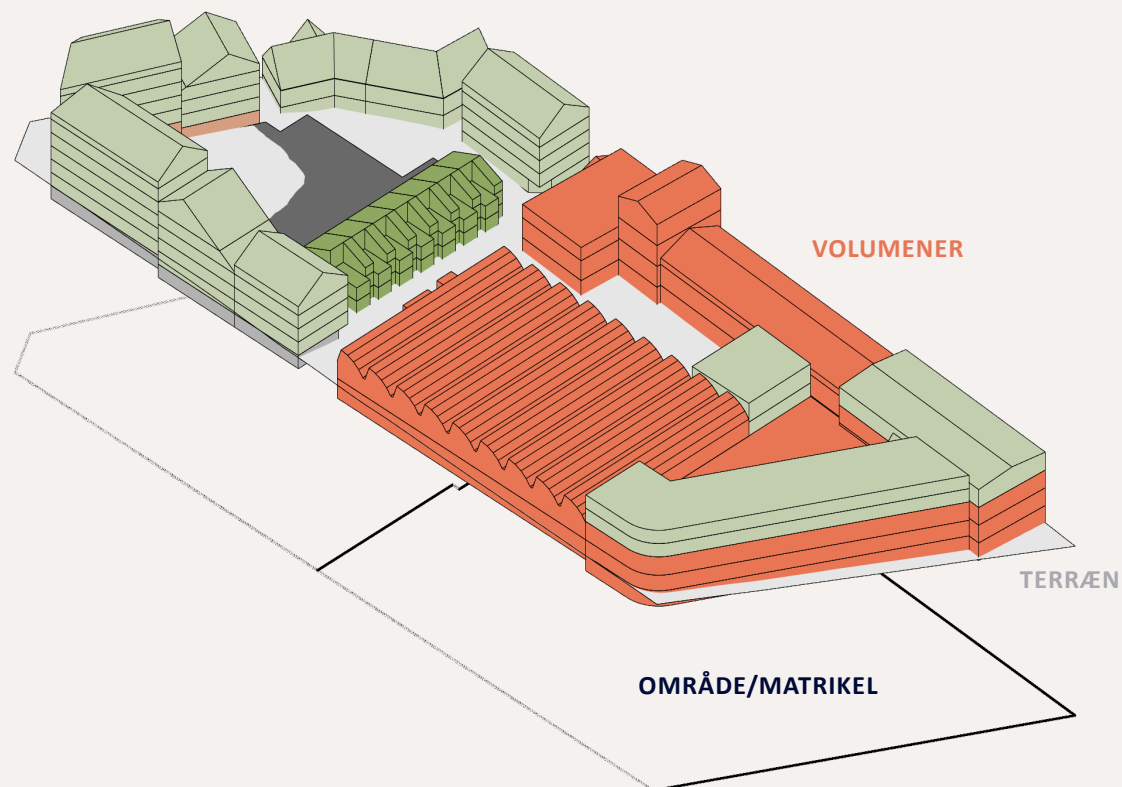
Elementer i Rhino-modellen

Hvert scenarie for udvikling af området modelleres i Rhino. For hvert scenarie modelleres volumener, terræn og område-/matrikelafgrænsning.

Figuren til højre (Figur 13) viser eksempler på disse elementer. Farverne afspejler lagstrukturen, som gennemgås på næste side.

Forudsætninger for modellering af volumener

Det er en forudsætning, at etager modelleres pr. opgang eller trappekerne. Værktøjet læser lukkede polysurfaces eller ekstrusioner pr. etage og grupperer dem pr opgang efter, hvilke der ligger over hinanden inden for en given tolerance.



Figur 13: Eksempel på Rhino-model af udviklingsscenarie

RHINO-MODEL | LAGSTRUKTUR

For at bruge LCA Volume korrekt skal Rhino-modellens geometri placeres i de rigtige lag. Lagtemplaten gør det muligt at håndtere forskellige volumenstudier, eller scenarier. Hvert scenarie skal have sit eget hovedlag under LCAVolume-laget. Ved oprettelse af nye scenarier anbefales det at duplikere lagstrukturen fra template.

Under hvert scenarie skal følgende lag med tilhørende geometri være til stede:

0_Site Boundary

Område/matrikel-afgrænsning placeres i dette lag. Elementet skal laves til en navngivet block, for at undgå fejl. Samme block går igen i alle scenarier.

0_Site_terrain

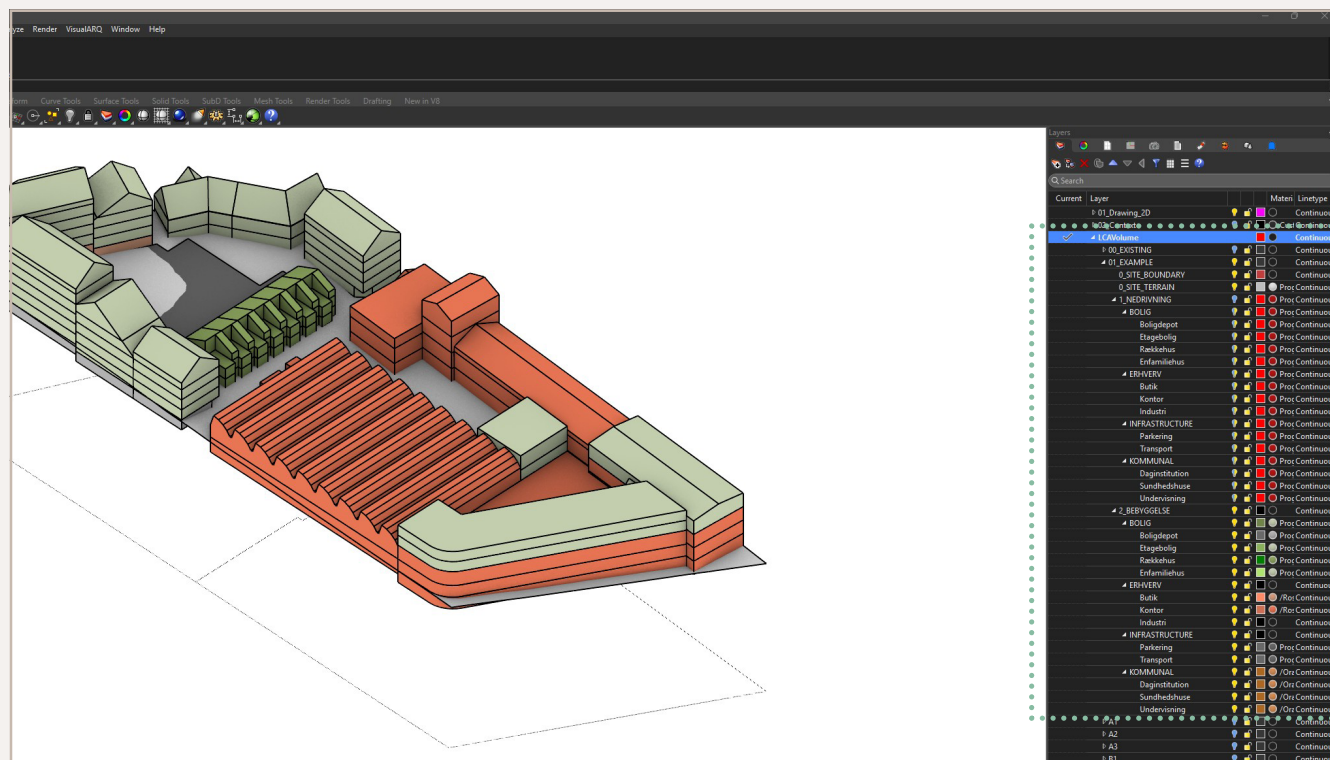
Terrænet placeret i dette lag. Terrænet modelleres som en surface. Bemærk at scriptet er opbygget, så man kan arbejde i de korrekte koter.

1_Nedrivning

Her placeres volumener for eksisterende bygninger, der rives ned. Hvis scenariet f.eks. indebærer nedrivning af etagebolig eller kontor, skal volumenerne placeres i de respektive "Etagebolig" og "Kontor"-lag under 1_Nedrivning.

2_Bebyggelse

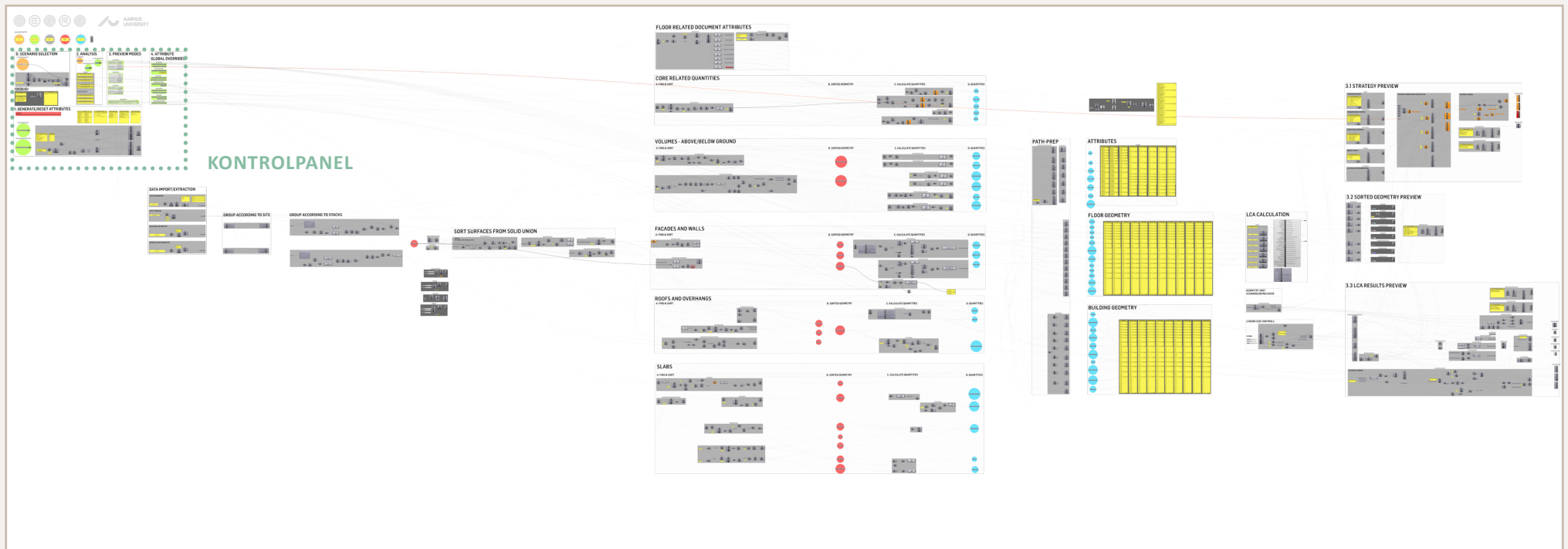
Her placeres volumener for bygninger som ikke rives ned og nye bygninger. Hvert volumen placeres under underlag svarende til rette typologi.



Figur 14: Screenshot af lagstruktur

GRASSHOPPER-SCRIPT

Når man åbner scriptet, vil det se ud som vist på figuren nedenfor (Figur 15). Som bruger vil man dog kun skulle forholde sig til "Kontrolpanelet", som er vist med grøn stipling i øverste venstre hjørne.



Figur 15: Grasshopper interface, når scriptet åbnes.

GRASSHOPPER-SCRIPT

Trin-for-trin i scriptet

“Kontrolpanelet” er brugerens styring af værktøjet (Figur 16). Her følger en overordnet trin-for-trin gennemgang for brugen af værktøjet.

0. Valg af scenarie

Brugeren vælger, ved hjælp af en drop-down menu, det scenarie de ønsker at udfører en analyse på. Scenarier læses automatisk ind fra sublag under LCAVolume. Husk at tjekke “!DEBUG!” området for evt. fejlmeldinger i indlæsningen af geometrien.

1. Tildeling af attributter

LCA Volume kræver yderligere information om bygningsgeometrierne ud over typologien, der defineres via lagplaceringen. Når et nyt scenarie oprettes første gang, trykkes på “Generate/reset to default attributes”. Knappen tildeler standardværdier til alle elementer i scenariet, som derefter kan tilrettes manuelt i Rhino (se s. 28).

2.1 Analyse | Fil-sti til database med nøgletal

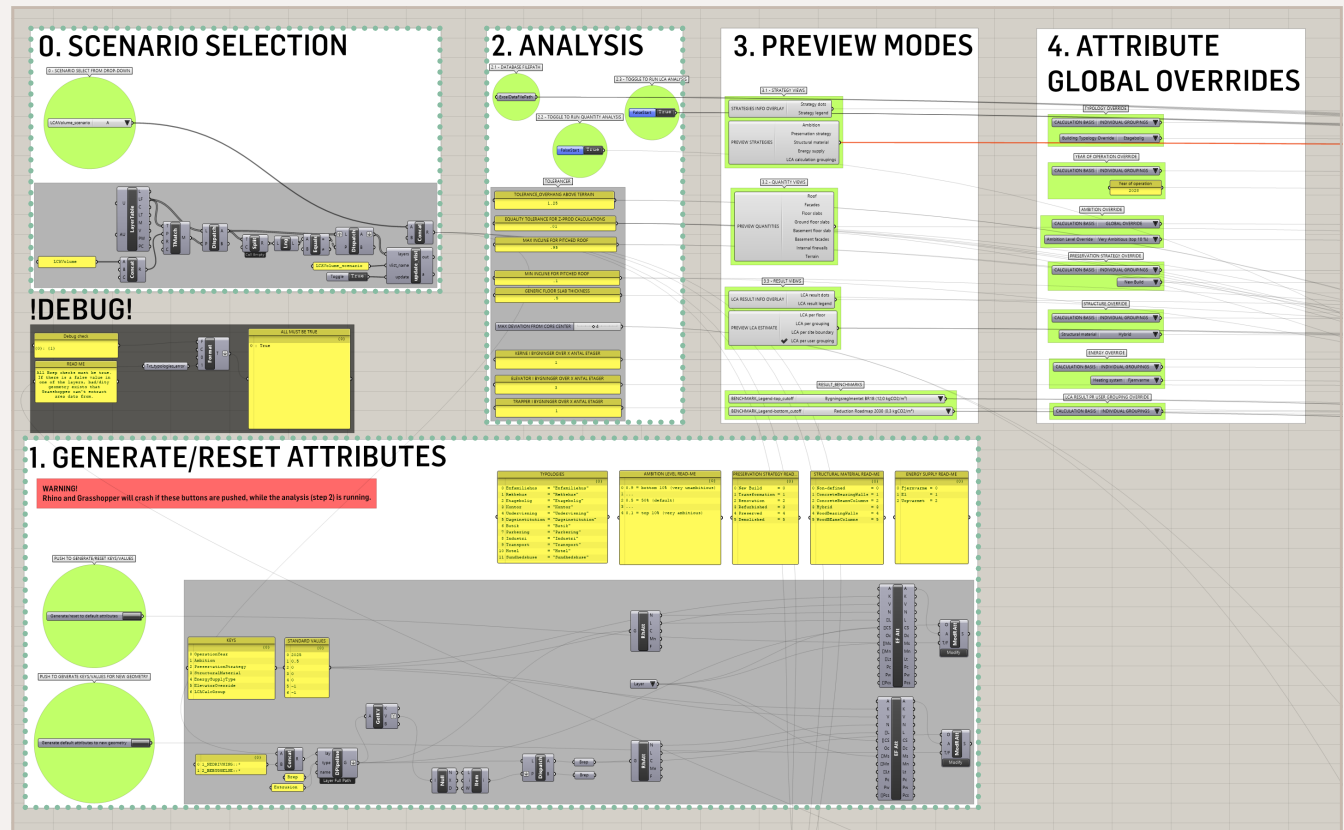
Placeringen af Excel-filen med nøgletal på brugerens computer defineres.

2.2 Analyse | Mængdeudtræk

True/false togglene dobbeltklikkes for at starte mængdeudtrækket. Forvent 30-60 sekunders ventetid afhængigt af helhedsplanens størrelse og kompleksitet.

2.3 Analyse | LCA-analyse

True/false togglene dobbeltklikkes for at starte LCA-analysen. Forvent 5-15 sekunders ventetid.



Figur 16: Screenshot af “Kontrolpanelet” i Grasshopperscriptet

GRASSHOPPER-SCRIPT

3. Preview

Der er tre hovedkategorier af emner, der kan tændes for i visningsmodes: attributter, mængdeudtræk og LCA-resultater. For hvert emne kan der tændes og slukkes for en skærm-orienteret signaturforklaring samt "dots", der viser den tildelte værdi pr. volumengeometri.

3.1 Preview | Attributes

Her kan der vælges mellem forskellige visningsmodes af tildelte attributter.

3.2 Preview | Mængdeudtræk

Her kan der screenes, hvordan værktøjet kategoriser og forstår volumen-geometrierne, som terrændæk, etagedæk, facade, tag, osv.

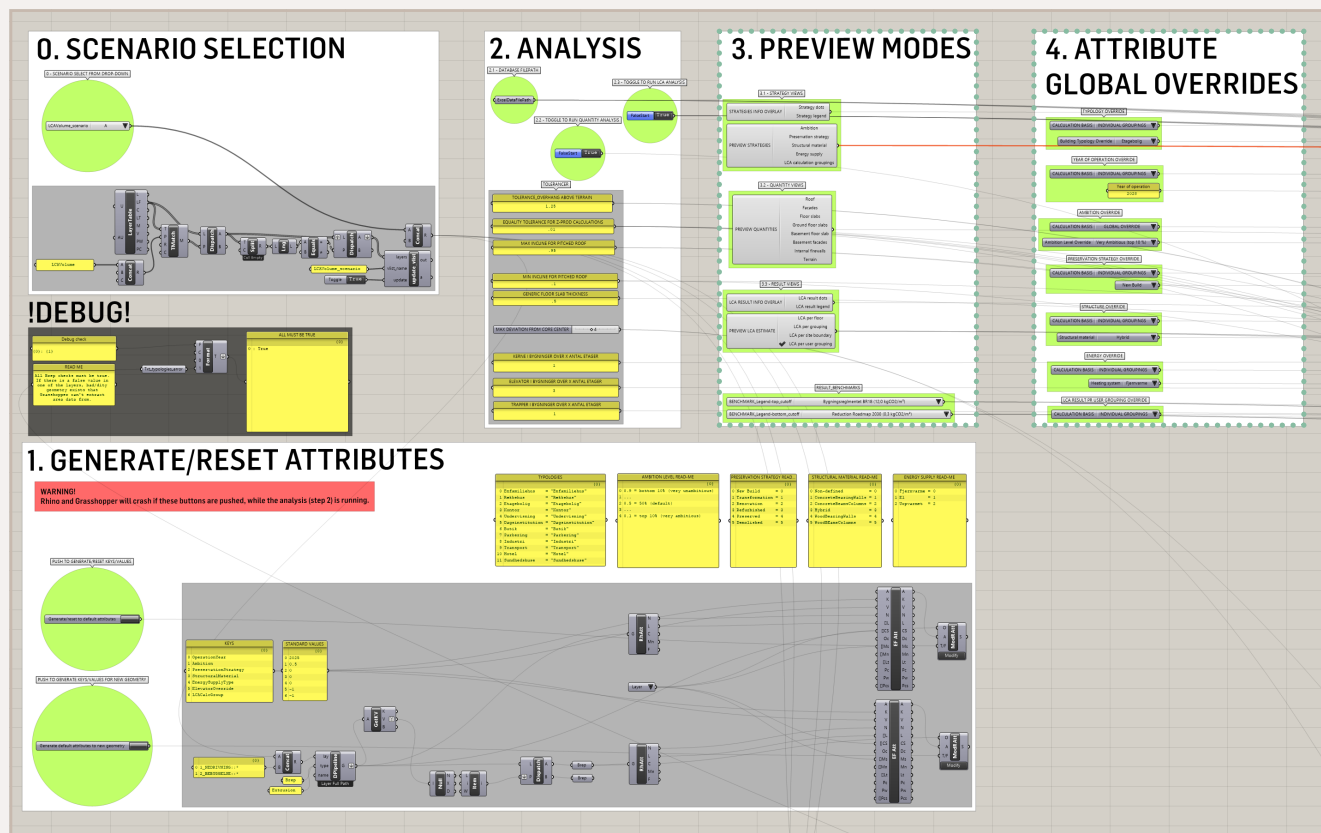
3.3 Preview | LCA-resultat

Inde i scriptet vælges visningsmode; resultat pr. etage, pr. bygning, pr område, eller pr brugerdefinerede grupperinger.

Signaturforklaringens farveskala og interval kan tilpasses for nemt at fremhæve resultater, der overskrider det ønskede benchmark.

4. Attribute global overrides

Her findes en "override"-funktion for diverse attributter. Brugeren kan vælge mellem individuelt definerede værdier eller en global override, som gælder for alle volumengeometrier.



Figur 17: Screenshot af "Kontrolpanelet" i Grasshopperscriptet

1. REDIGERING AF ATTRIBUTTER

1. Redigering af attributter

Efter tildeling af standardattributter via scriptet kan de individuelle attributter redigeres ved at vælge den ønskede geometri og åbne fanen "Attribute User Text" i Properties-panelet.

StructuralMaterial: Hvis det strukturelle system kendes, kan der vælges mellem beton, træ, hybrid og hhv. søjle-bjælkesystem eller bærende vægge. Kendes systemet ikke, vil LCA Volume anvende beton (Default), som den mest typiske løsning i Danmark.

PreservationStrategy: Der kan vælges mellem forskellige bevaringsstrategier, istandsættelse, renovering, transformation, bevaring, nedrivning og nybyg.

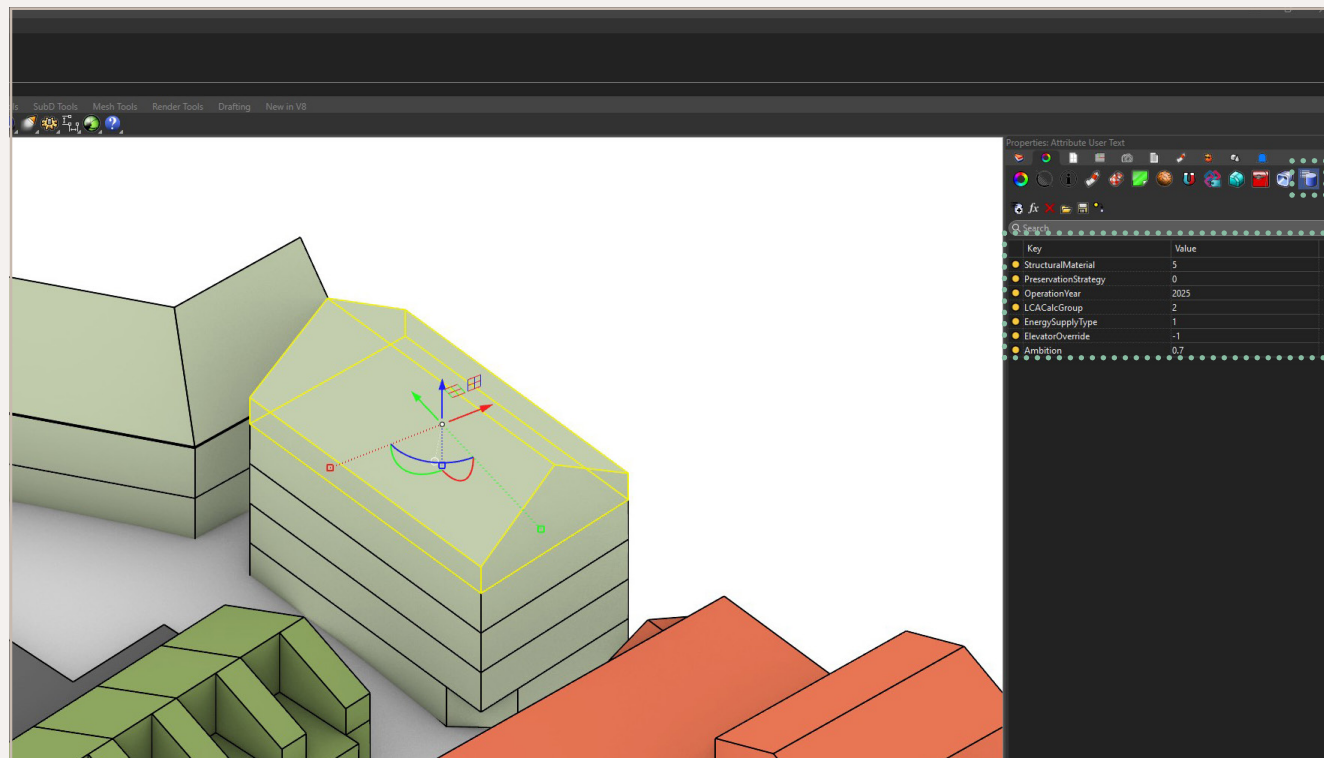
OperationYear: Årstal for ibrugtagning på etagen.

EnergySupply: Energiforsyning, fx fjernvarme eller el.

Ambition: Ønsket fraktal på spredningen, svarende til ambitionsniveau, fx betyder input på 0,3, at der tages udgangspunkt i top 30% bedste i spredningen. Det anbefales at tage udgangspunkt i en middelværdi på 0,5.

ElevatorOverride: Overskriver standardberegningen for, hvornår værktøjet antager, at der er en elevator tilknyttet opgangen (over 3 etager). Benyttes primært til ældre, eksisterende bygninger, hvor der ikke findes en elevator.

LCACalcGroup: Brugerdefineret gruppering af volumengeometrier til visning af LCA-resultater. Angiv et tal pr. gruppe, som ønskes beregnet samlet.



Figur 18: Screenshot, som viser tildeling af attributter

3. PREVIEW MODES

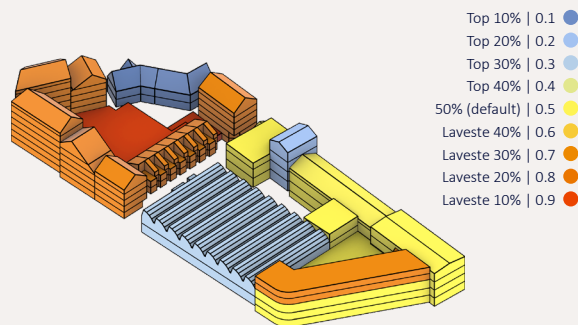
3.1 | Visning af attributes

Som en del af arkitektens workflow, vurderes det nødvendigt at kunne kvalitetssikre at man har tildelt korrekte attributter til modellens dele.

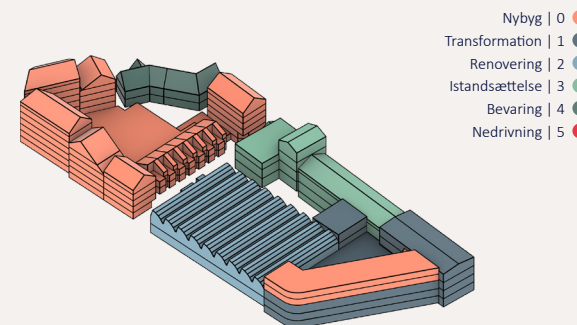
Figur 19-22 viser eksempler på at man kan få en forhåndsvisning af, hvilke attributter der er tildelt hvilke volumener.

Disse visninger, vurderes også at kunne bruges som en del af den interne dialog i projektgruppen og i dialogen med bygherre før selve resultaterne fremlægges.

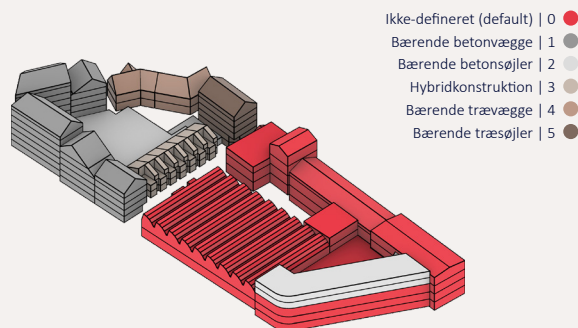
Note: De viste attributter afspejler ikke projektet, men er valgt for at synliggøre spændet inden for de enkelte kategorier.



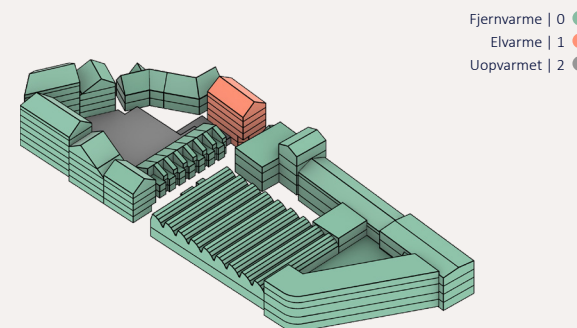
Figur 19: Ambition



Figur 20: Bevaringsstrategi



Figur 21: Strukturelt materiale



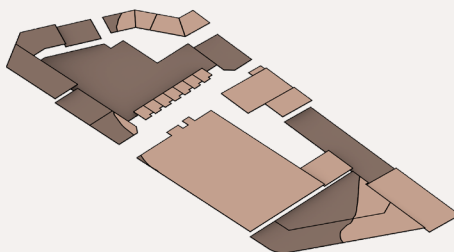
Figur 22: Energiforsyning

3. PREVIEW MODES

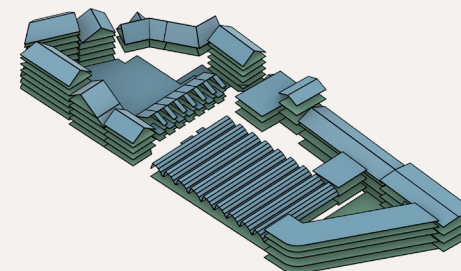
3.2 | Visning af mængder

Efter at have aktiveret 2.2 mængdeudtræksanalysen er det muligt at lave et visuelt tjek af, hvordan scriptet kategoriserer volumengeometrien i bygningsgeometrier, som f.eks. etagedæk, facader og tag.

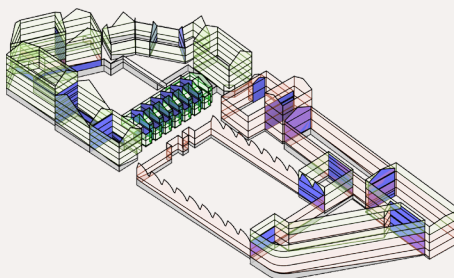
Figur 23–26 viser eksempler på, at man kan få en forhåndsvisning af forskellige kombinationer af bygningsgeometrier. Brugeren kan selv definere, hvor mange bygningsgeometrier der vises på et givent tidspunkt.



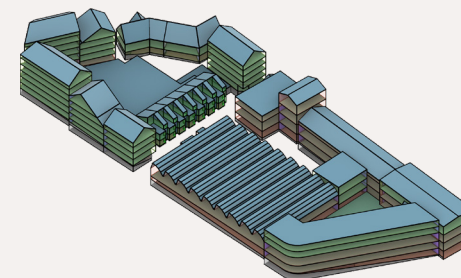
Figur 23: Terrændæk- over/under terræn



Figur 24: Etagedæk og tag



Figur 25: Facader og lodrette skel



Figur 26: Alle geometrier

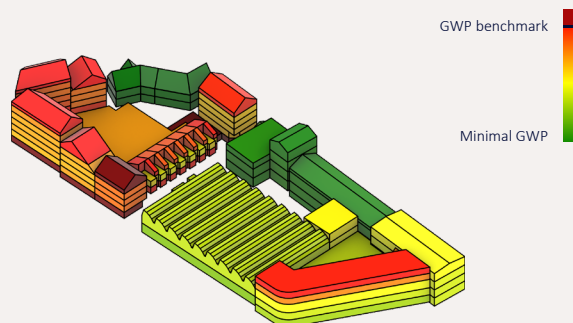
3. PREVIEW MODES

3.3 | Visning af resultater

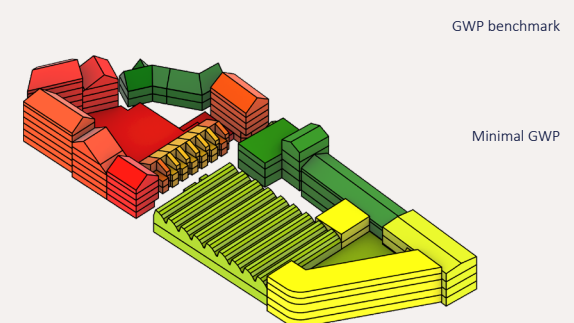
Som det sidste trin i scriptet vælger man mellem alternative visningsmuligheder:

- Udledning pr. etage.
- Udledning pr. bygningsopgang.
- Udledning pr. område.
- Udledning pr. brugerdefineret gruppering

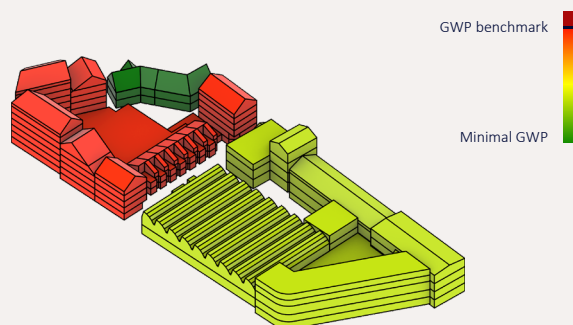
De alternative visningsmuligheder er visualiseret på Figur 27-30 til højre. Farveskalaen defineres ud fra brugerdefinerede benchmarks. Resultater tæt på benchmark farves mere røde, mens resultater over benchmark markeres med en dyb mørkerød, i tydelig kontrast til resultater under benchmark.



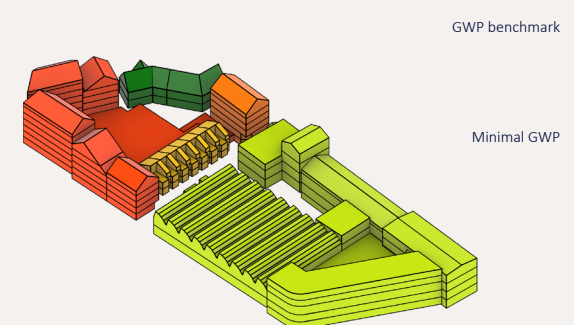
Figur 27: Resultater pr. etage



Figur 28: Resultater pr. bygningsopgang



Figur 29: Resultater pr. område



Figur 30: Sammenlagte resultater som manuelt defineres af bruger



REFLEKTIONER OG PERSPEKTIVER

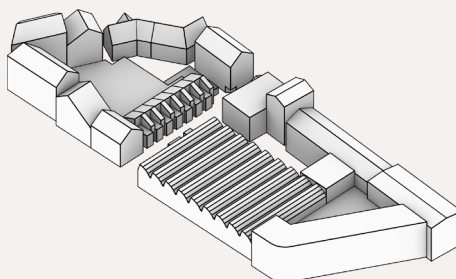
REFLEKTIONER FRA AFPRØVNING

Eksempel på anvendelse

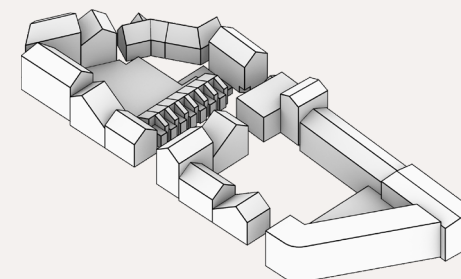
Willesmoesgadekarrén på Trøjborg i Aarhus har fungeret som gennemgående retrospektiv case.

Som en del af udviklingsprocessen for LCA Volume, er der bagudrettet opstillet tre fiktive cases for alternative udviklingsscenarier (Figur 31-33). Disse cases afspejler ikke den reelle proces, men er udviklet for at udvikle, afprøve og illustrere værktøjet.

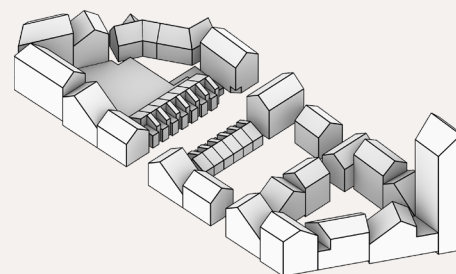
Ikke desto mindre, giver casen en realistisk ramme for at tale om potentialet i at bruge et script som LCA Volume til at understøtte fokus på udledning i de tidligste designfaser.



Figur 31: Scenarie A



Figur 32: Scenarie B



Figur 33: Scenarie C

REFLEKTIONER FRA AFPRØVNING

Eksempel på anvendelse

Til højre vises et eksempel på et studie, hvor tre alternative scenarier undersøges (Figur 34). Scenarie A bevarer størstedelen af den eksisterende bygningsmasse på matriklen, mens scenarie B indebærer en større grad af nedrivning og etablering af nye volumener. Scenarie C omfatter yderligere nedrivning og etablering af et højt volumen. Outputtet, som vises i Figur 34, består af tre diagrammer med farver, der angiver et overslag over udledningen over en 50-årig periode. A1, B1 og C1 i Figur 34 viser resultatet ved default 50% ambitionsniveau. For hver række justeres ambitionsniveauet samt det strukturelle materiale for nybyggeriet. Således viser A2, B2 og C2 eksempel på resultat for de 3 scenarier når ambitionen er top 30% og nybyggeriet har bærende trævægge. A3, B3 og C3 viser eksempel på resultat for de 3 scenarier når ambitionen er top 10% og det strukturelle materiale på nybyggeriet sættes til træ søjler.

Væsentligste refleksioner fra projektgruppen baseret på eksemplet:

- Det største potentiale ses i det komparative studie mellem scenarier (mere end de absolutte overslagsværdier i det enkelte scenarie). Af eksemplet bliver det tydeligt, at bevaring (scenarie A) gør det mest realistisk at overholde benchmark*, mens højhustypologien (scenarie C) gør det vanskeligere (mindre løsningsrum) at overholde benchmark grundet behovet for tunge konstruktioner og større fundament.
- Der kan være et potentiale i en separat visning af indlejret udledning fra bygninger eller bygningsdele, der nedrives. BR18 stiller ikke krav om at indregne nedrivning, men klimapåvirkningen fra nedrivningen bør indgå i en holistisk samtale på dette stadie.

Refleksioner omkring videreudvikling fremgår af side 38.

ATTRIBUTTER

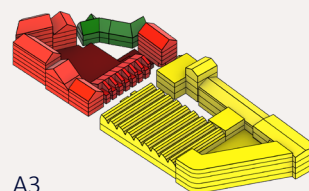
SCENARIO A

SCENARIO B

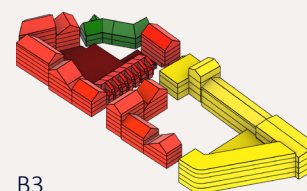
SCENARIO C

TOP 10%

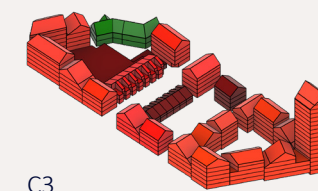
NYBYG:
BÆRENDE
TRÆSØJLER



A3



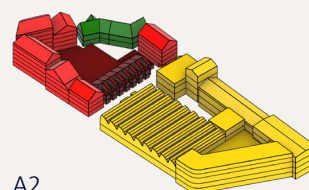
B3



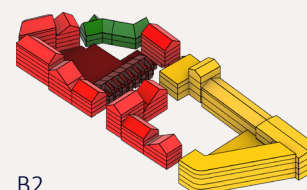
C3

TOP 30%

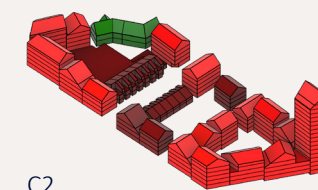
NYBYG:
BÆRENDE
TRÆVÆGGE



A2



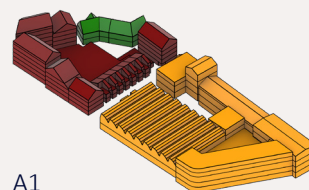
B2



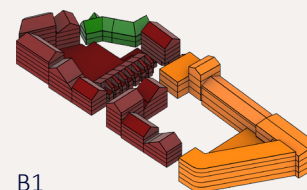
C2

50%

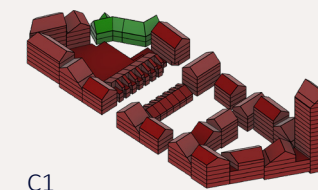
NYBYG:
BÆRENDE
BETONVÆGGE



A1



B1



C1

Figur 34: Eksempel på anvendelse af resultater

*For eksemplets skyld anvendes gældende krav pr. 1. Juli 2025. Dog er projektet Willesmoesgadekarréen projekteret før der blev indført krav til LCA. Desuden reflekterer tilførte attributter ikke de virkelige forhold. Casen skal således alene tjene som illustration af workflowet og potentialet for brugen af LCA Volume.

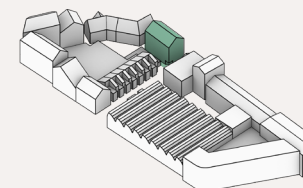
REFLEKTIONER FRA AFPRØVNING

Validering af mængdespredninger ved nybyg

Figur 37 viser mængdeudtræk fra as build Revit-model sammenholdt med den estimerede mængdespredning fra LCA Volume for samme projekts tidlige volumen-model fra helhedsplanlægningen.

Det ses at endelige materialemængder på de fleste bygningsdele ligger inden for spredningerne i LCA Volume eller tæt på.

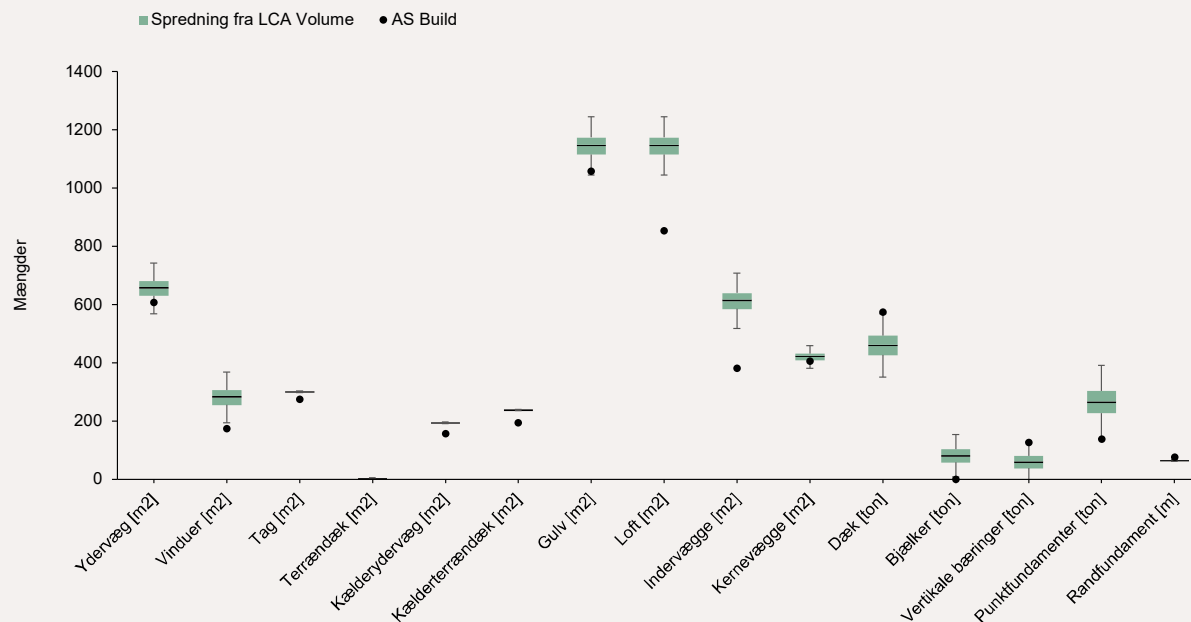
Undtagelser findes for lofter og indervægge, hvilket skyldes at denne konkrete case ikke anvender lofter ud over bærende betondæk i større dele af etageboligerne, samt at flere indervægge er udført som bærende betonvægge (betegnet som vertikale bæringer i Figur 34). Samlet ligger LCA Volumen på den sikre side.



Figur 35: "Stikprøve" af nybyg angivet med grøn



Figur 36: Rending af den undersøgte bygning (tv.)



Figur 37: LCA Volumes udregnede mængdespredning i helhedsmodel, sammenholdt med faktiske as build mængder fra Revit-model.

REFLEKTIONER FRA AFPRØVNING

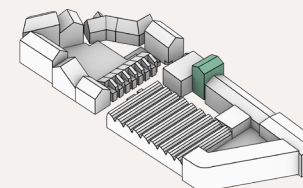
Validering af mængdespredninger ved renovering

Figur 40 viser mængdeudtræk for tilførte materialer i “as build” Revit-model sammenholdt med den estimerede mængdespredning fra LCA Volume for samme projekts tidlige volumen-model fra helhedsplanlægningen regnet som renovering. Renoveringen omfattede primært indvendig efterisolering, udskiftning af vinduer og indvendige vægge.

Det ses at endelige materialemængder på de fleste bygningsdele ligger inden for spredningerne i LCA Volume eller tæt på.

Undtagelser findes for vinduer, gulve og lofter. Hvilket skyldes, at bygningens vinduesarealer er væsentligt mindre end for et typisk byggeri. Derudover blev gulve og lofter bevaret i større omfang end ved normale renoveringer. Samlet ligger LCA Volume på den sikre side.

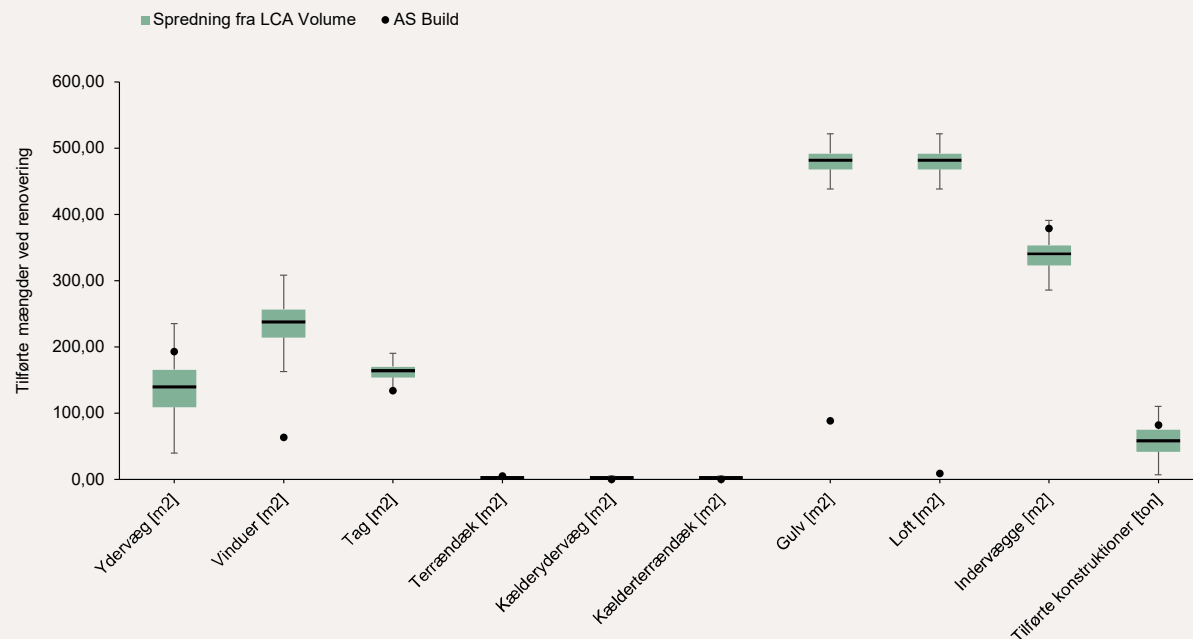
“As build”-tilførte stål-mængder til strukturel efterafstivning er omregnet ækvivalente til betonmængder med samme GWP-udledning, så det afspejler LCA-beregningens GWP.



Figur 38: “Stikprøve” af renovering angivet med grøn



Figur 39: Foto af den undersøgte bygning



Figur 40: LCA Volumes udregnede mængdespredning i helhedsmodel, sammenholdt med faktiske “as build”-mængder fra Revit-model. Renoveringsscenarie.

PERSPEKTIVER

Perspektiver for brug og videreudvikling

Baseret på afprøvning i den retrospektive case Willesmoesgadekarréen ses et stort potentiale for at informere designprocessen og styrke dialogen internt i projektgruppen samt med bygherre. Næste naturlige trin i udviklingen af LCA Volume vil være at afprøve tilgangen i et nyt projekt.

LCA Volume er en beta-version, og der må forventes behov for mindre justeringer, efterhånden som værktøjet tages i brug i forskellige sammenhænge. Brugere af scriptet opfordres til at henvende sig, hvis der identificeres bugs eller andre udfordringer. Det er desuden væsentligt at bemærke, at den bagvedliggende database (Excel-ark) afspejler bedst tilgængelige viden på publiceringstidspunktet. Databasen bør opdateres løbende i takt med, at ny og relevant viden genereres i branchen.

Særligt skal det bemærkes at databasen for indlejret kgCO₂e pr. bygningsdel (GWP) indeholder pr. dags dato typiske løsninger og primært med generisk data. Designes en bygning alene med dette (svarende til en default ambition på 50%), vil det blive svært at opfylde nuværende klimakrav (BR18 gældende fra 1. juli 2025). Overholdelse af de skærpede klimakrav stiller naturligt nye krav til løsninger – men det vil være relevant at sikre at databasen opdateres med flere miljøvaredeklarationer (EPD), for at sikre at databasen afspejler branchen. Ligeledes bør standardopbygninger af bygningsdele udvikles og indgå i databasen.

Værktøjet skal anvendes vejledende og med fokus på overslagsmæssige vurderinger af alternative

udviklingsscenarier. Når der er fundet en retning for projektet, vil det være naturligt at anvende eksisterende redskaber, som fx RealTime LCA eller LCAbyg, til mere detaljerede analyser i takt med projektets udvikling.

Der er potentiale for at kombinere scriptet med øvrige Rhino-/Grasshopper-integrerede værktøjer. For eksempel ses et oplagt udviklingsspor i at koble værktøjet med undersøgelser af påvirkning af off-site biodiversitet. Der pågår flere udviklingsprojekter om byggebranchens biodiversitetspåvirkning, og resultaterne herfra kan på sigt integreres i scriptet. En synliggørelse af scenariers påvirkning af off-site biodiversitet vil yderligere understøtte argumentationen for bevaring frem for nybyggeri (F.eks. Reduction Roadmap 2025).

I LCA Volume håndteres grader af indgreb i eksisterende bygninger gennem valg af kategorier (“nedrivning”, “bevaring”, “istandsættelse”, “renovation”, “transformation” og “nybyg”) med tilhørende procentsatser for udskiftning af bygningsdele. Kategoriseringen læner sig op ad projektet PlanCO2 (Henning Larsen 2025) med mulighed for individuel justering af procentsatser, såfremt der foreligger projektspecifik viden. Der eksisterer imidlertid flere forskellige kategoriseringsprincipper i branchen, og der er identificeret et potentiale for at videreudvikle et fælles “sprog” for kategorisering på tværs af aktører.



APPENDIX

APPENDIX A | LCA VOLUME INPUT

_FLOOR_SETTINGS_

BuildingTypology: Bygningstypologi for etagen, fx enfamiliebolig, rækkehus, etagebolig, kontor, industri, butik osv.

Ambition: Ønsket fraktil på spredningen, svarende til ambitionsniveau, fx betyder input på 0,3, at der tages udgangspunkt i top 30% bedste i spredningen.

PreservationStrategy: Der kan vælges mellem forskellige bevaringsstrategier, istandsættelse, renovering, transformation, nedrivning og nybyg.

StructuralMaterial: Hvis det strukturelle system kendes, kan der vælges mellem beton, træ, hybrid og hhv. søjle-bjælkesystem eller bærende vægge.

OperationYear: Årstal for ibrugtagning på etagen.

EnergySupply: Energiforsyning, fx fjernvarme eller el.

_FLOOR_GEOMETRY_

AreaGrossFloor: Bruttoetagearealet for etagen

AreaHeated: Opvarmet etageareal på etagen

AreaFacade: Facadeareal for etagens volumen.

AreaRoof: Tagareal for etagens volumen. Tagareal af underliggende etager er 0 m².

AreaGroundSlab: Areal af terrændæk for etagens volumen.

LengthBoundingFoundation: Længde på randfundamenter (Omkreds på nederste etage).

AreaInternalFireWalls: Eventuelt areal af brandadskillelser på etagen, såfremt de er modelleres i modellen.

CoreMeters: Højde på etagen ganget med antallet af stabiliserende kerner i volumet for etagen.

StairMeters: Højde på etagen ganget med antallet af trappekerner i volumet for etagen.

ElevatorMeters: Højde på etagen ganget med antallet af elevatorkerner i volumet for etagen.

AreaFacadeBasement: Kældervægsareal for etagens volumen

AreaGroundSlabBasement: Areal af Kælderterrændæk for etagen

_BUILDING_GEOMETRY_

BuildingAreaGrossFloor: Bygningens samlede etageareal.

BuildingVolumeAboveGround: Bygningens samlede volumen (m³) over terræn.

RoofLevelVolume: Tagetagens samlede volumen.

BuildingVolumeBasement: Bygningens samlede volumen (m³) under terræn.

FloorHeightAverage: Gennemsnitlig etagehøjde på etager over terræn.

FloorHeightBasementAverage: Gennemsnitlig kælderetagehøjde på etager under terræn.

RoofAngle: Bygningens vinkel på tag.

NumberOfFloorsAboveGround: Antal etager over terræn

NumberOfFloorsBellowGround: Antal etager under terræn

NumberOfElevators: Antal elevatorskakte i bygningen.

APPENDIX B | REFERENCER

Referencer

- Bevar Mere 2026. "Viden & Værktøjer". <https://www.bevar-mere.dk/videnogvarktojer>
- Brejnrod K.N, Kalbar P., Petersen S. & Birkved M. 2017. "The absolute environmental performance of buildings", *Building and Environment* 119: 87-98
- Henning Larsen 2025. "Introducing PlanCO2: An open-source carbon tool for urban planning". <https://henninglarsen.com/news/introducing-planco2-an-open-source-carbon-tool-for-urban-planning>
- Kamari, A., Jensen, S. R., Petersen, S. & Kirkegaard, P. H. 2021. "Sustainability Key Performance Indicators (KPIs) assessment and visualization aimed at architects in (early) renovation design processes", *Nordic Journal of Architectural Research*, vol. 33, no. 2, 2: 41-80
- Laursen, S. K. 2025. *Life Cycle Assessment at the Urban Scale: Exploring the Potential of Renovation and Circular Approaches*. Speciale. Aarhus: Aarhus Universitet.
- Petersen, S., Ryberg, M.W. & Birkved, M. 2025. "The safe operating space for greenhouse gas emissions from buildings". *International Journal of Life Cycle Assessment* 30: 3264–3274
- Plan22+ 2025. "Pilotprojekter." <https://plan22.dk/da>
- Purup, P. B., Petersen, S., Ferguson Dunn, A., Gkaintazi-Masouti, M. & Visa, O. 2020. "Building Performance Simulation Supporting Typical Design Activities: The Case Of 'Volume Massing'", Paper presented at 35th Passive Low-Energy Architecture (PLEA), Coruna, Spain, 01/09/2020- 03/09/2020.
- Purup, P.B., Petersen, S. 2020. "Requirement analysis for building performance simulation tools conformed to fit design practice". *Automation In Construction* 116 (2020) 103226, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103226>
- Reduction Roadmap 2024. *Beyond the Roadmap: A transition plan for the Danish building industry* Version 2. 14. November, 2024. www.reductionroadmap.dk
- Sweco & Cobe 2023. *Potentialer for indretning af flere boliger i den eksisterende bygningsmasse. Realdania.- Baggrundsrapport*. <https://static1.squarespace.com/static/66b1d18d04b0285ccae51df0/t/66c3804ce d55147a7c491d0f/1724088400369/Potentialer-for-indretning-af-flere-boliger-i-den-eksisterende-bygningsmasse+%281%29.pdf>
- United Nations Environment Programme 2022. *2022 global status report for buildings and construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector*. Nairobi. ISBN No: 978-92-807-3984-8

Figurer

Hvor andet ikke er nævnt på den pågældende side, er figurer og fotos udarbejdet af forfatterne.

- *Figur 2*: Udviklingen af de plantære grænser-rammer: "The evolution of the planetary boundaries framework." Licenced under CC BY-NC-ND 3.0 (Credit: Azote for Stockholm Resilience Centre, Stockholm University. Based on Sakschewski and Caesar et al. 2025, Richardson et al. 2023, Steffen et al. 2015, and Rockström et al. 2009) (skrifttype er opdateret ift. originalen).
- *Figur 4*: Illustration af typisk designparadoks. CEBRA inspireret af Ullman, D. 2009. *The mechanical design process*. McGraw Hill Education.
- *Fotos på s. 7 og 17*: Kim Frost.

APPENDIX B | REFERENCER

Henvisning til referenceværktøjer

Nordic Carbon Tracker

- Nordic Sustainable Construction, 2025. *LCA and Utilisation of Existing Building Stock were on the Agenda for the Seventh Annual Nordic Climate Forum for Construction*. <https://www.nordicsustainableconstruction.com/news/2025/november/ncfc-2025>

Urban Decarb

- Hermansdorfer, M., Oettinger, C., Skov-Petersen, H., Fricker, P., & Negendahl, K. 2024. Advancing LowEmission Urban Design Through Parametric Modelling and Life Cycle Assessment. *Journal of Digital Landscape Architecture*, 2024(9): 858-872. <https://doi.org/10.14627/537752080>

Plan CO2

- Henning Larsen 2025. "Introducing PlanCO2: An open-source carbon tool for urban planning". <https://henninglarsen.com/news/introducing-planco2-an-open-source-carbon-tool-for-urban-planning>

OneClick LCA

- One Click LCA 2026. "Bæredygtighedsplatformen for byggeri og produktion." <https://oneclicklca.com/da/>

Urban LCA

- Effekt, Artelia og Frederiksberg Kommune 2025. "Urban LCA." <https://www.effekt.dk/urbanlca>

Realtime LCA

- Real-Time LCA 2026. "Forstå, forbedr og dokumentér byggeriets klimapåvirkning- spar tid, ressourcer og CO2e." <https://www.realtimelca.com/da-dk/>

Autodesk Forma

- Autodesk 2026. "Autodesk Formas miljøkonsekvensanalyse til arkitekter." <https://www.autodesk.com/dk/products/forma/environmental-impact-analysis>

Excel Lite

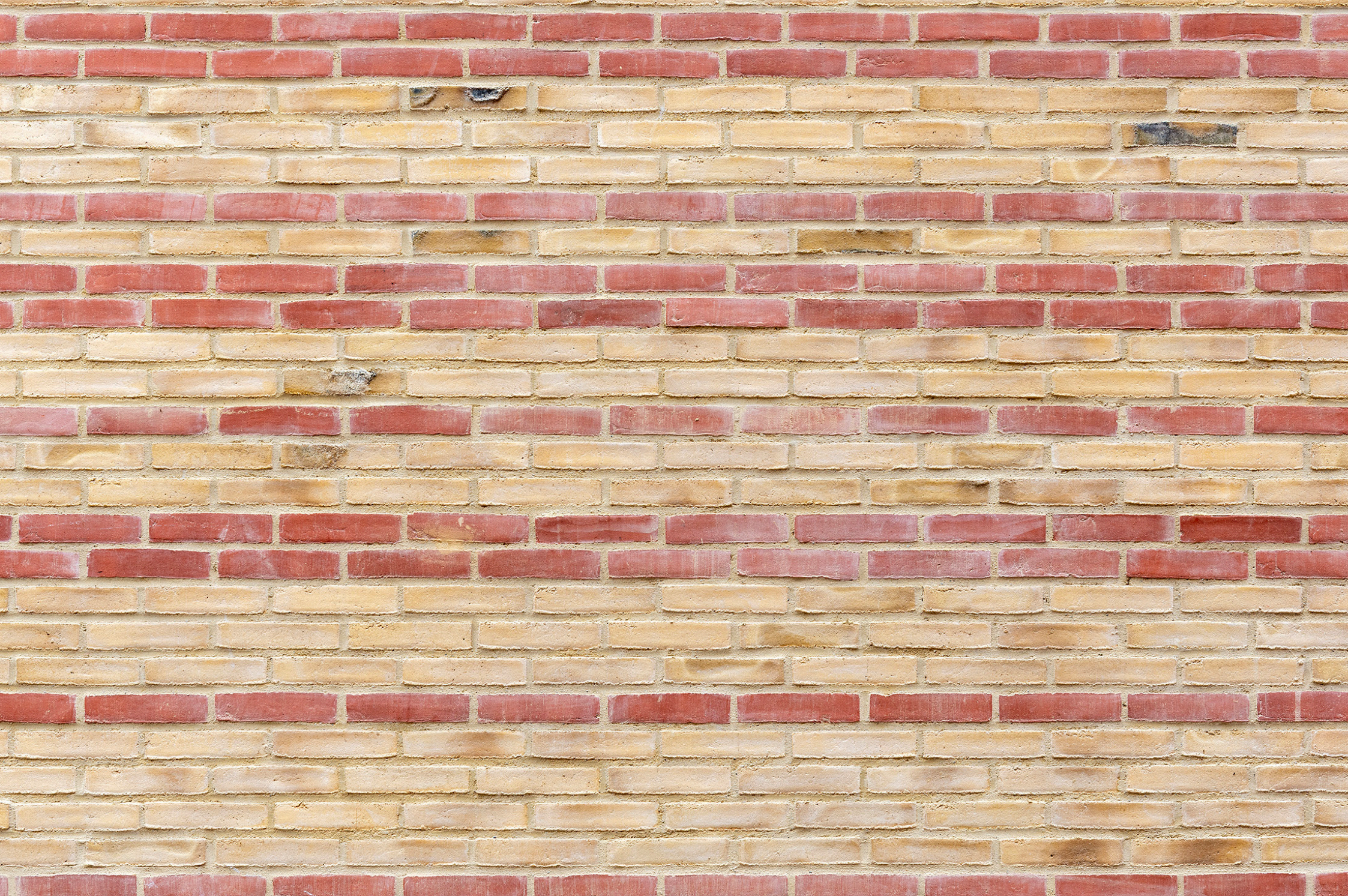
- BUILD n.d. "Excel lite." https://guide.lcabyg.dk/json_and_excel/excel/excel.html

CarbonSpace

- MVRDV 2025. "CarbonSpace." <https://www.mvrdv.com/projects/1273/carbonspace>

PreOptima

- Preoptima n.d. "Preoptima." <https://digitalplanningdirectory.org/providers/preoptima/>



UDFØRT AF:



KONTAKT – CEBRA:

Stina Rask Jensen
jen@cebraarchitecture.dk

CEBRA aarhus

Vesterbro Torv 3, 2., 8000 Aarhus C
+45 8730 3439 | cebra@cebraarchitecture.dk



KONTAKT – AARHUS UNIVERSITET:

Pil Brix Purup
pil@cae.au.dk

Aarhus Universitet - Institut for Byggeri & Bygningsdesign

Inge Lehmanns Gade 10, 8000 Aarhus C
+45 8715 0000

STØTTET AF:

**Bevar
mere.**

AU Connect