

Algemene gids: Duurzaam bouwen met Léém



© Alexander D'Hiet

Introductie

Duizenden jaren lang heeft de mens gebouwd met wat dichtbij, bij de hand, gezond, gemakkelijk en overvloedig was: aarde. Door van aarde vloeren, muren en daken te maken, konden mensen een schuilplaats maken, een warm toevluchtsoord voor familie en geliefden. Na verloop van tijd, en tegen het einde van de 19e eeuw, ontdekten we de voordelen van fossiele brandstoffen om ongebakken klei op industriële schaal om te vormen tot gebakken bakstenen, en tevens om bepaalde mineralen te verbranden om cement te verkrijgen. Echter vandaag brengt het intensieve gebruik van fossiele brandstoffen veel gevaren met zich mee, omdat het ons klimaat opwarmt, onze lucht vervuult en onze grondstoffen uitput.

Door terug te gaan naar ongebakken aarde en deze te upgraden met state-of-the-art productie-infrastructuur, kunnen we de enorme koolstofvoetafdruk van de bouwmaterialensector verminderen, lokaal overvloedige grondstoffen – die als 'afval' worden gezien – valoriseren, en de leefomgeving van zoveel mensen verbeteren.

Samenvatting

Introductie

3

1. Een algemene gids van Léém

7

1.1 Wie zijn wij en wat is «Léém» ?

8

1.2 Een algemene gids...

8

1.3 ... om te gebruiken samen met de andere Technische Gidsen en Fiches van Léém

10

2. Duurzaamheid en circulariteit

13

2.1 Duurzaamheid op niveau van het milieu

17

2.1.1 Een bijna CO₂-neutraal productieproces

17

2.1.2 Circulair in oorsprong en bestemming

18

2.1.3 Lokale herkomst en minimaal transport

21

2.1.4 Schaarste aan ruimte

22

2.1.5 waterverbruik

23

2.1.6 Milieu-impactscore en EPD

24

2.2 Duurzaamheid op niveau van gebouw en binnenklimaat

25

2.2.1 Een gezond binnenklimaat

25

2.2.2 VOC-emissies

26

2.2.3 Hydrisch comfort

27

2.2.4 Wamtecomfort

32

2.2.5 Luchtdichtheid

34

2.2.6 Brandveiligheid

36

2.2.7 Akoestisch comfort

38

2.2.8 Lange levensduur

40

2.2.9 Geen blootstelling aan (Radon) straling

42

2.2.10 Bescherming tegen Hogefrequentie Electromagnetische straling

42

3. Richtlijnen omtrent levenseinde	45
3.1 Legaal kader	48
3.2 Sloop	49
3.3 Voorwaarden voor recyclage van Léem bouwmaterialen	50
3.4 Scenario's voor einde levensduur	52
3.5 Take-back programma van Léem	54
3.6 LCA-baten van Closed Loop Recycling en hergebruik	55
4. Bibliografie	59
5. Erkenningen en credits	63

1. Een algemene gids van Léém



© Joseph Halligan

1.1 Wie zijn wij en wat is «Léém» ?

BC materials is een Brusselse coöperatieve dewelke uitgegraven aarde omvormt tot circulaire bouwmaterialen, zoals leempleisters, leemstenen & stampleem. In samenwerking met een aantal Belgische industriële partners, zowel leveranciers als afvalbeheerders zoals ABR/De Meuter, Nonet, AC materials, en industriële producenten zoals Beton Claesen en Vande Moortel/Brickz, heeft BC materials het bouwmaterialengamma «Léém» opgericht. Door het hergebruik van 'afval' op te schalen & te industrialiseren, kunnen we zowel de enorme hoeveelheden afval verminderen (37 miljoen ton uitgegraven aarde per jaar in België) als tegelijkertijd de zware ecologische voetafdruk van de bouwsector (oa. 10% van alle CO₂-uitstoot wereldwijd) verkleinen.

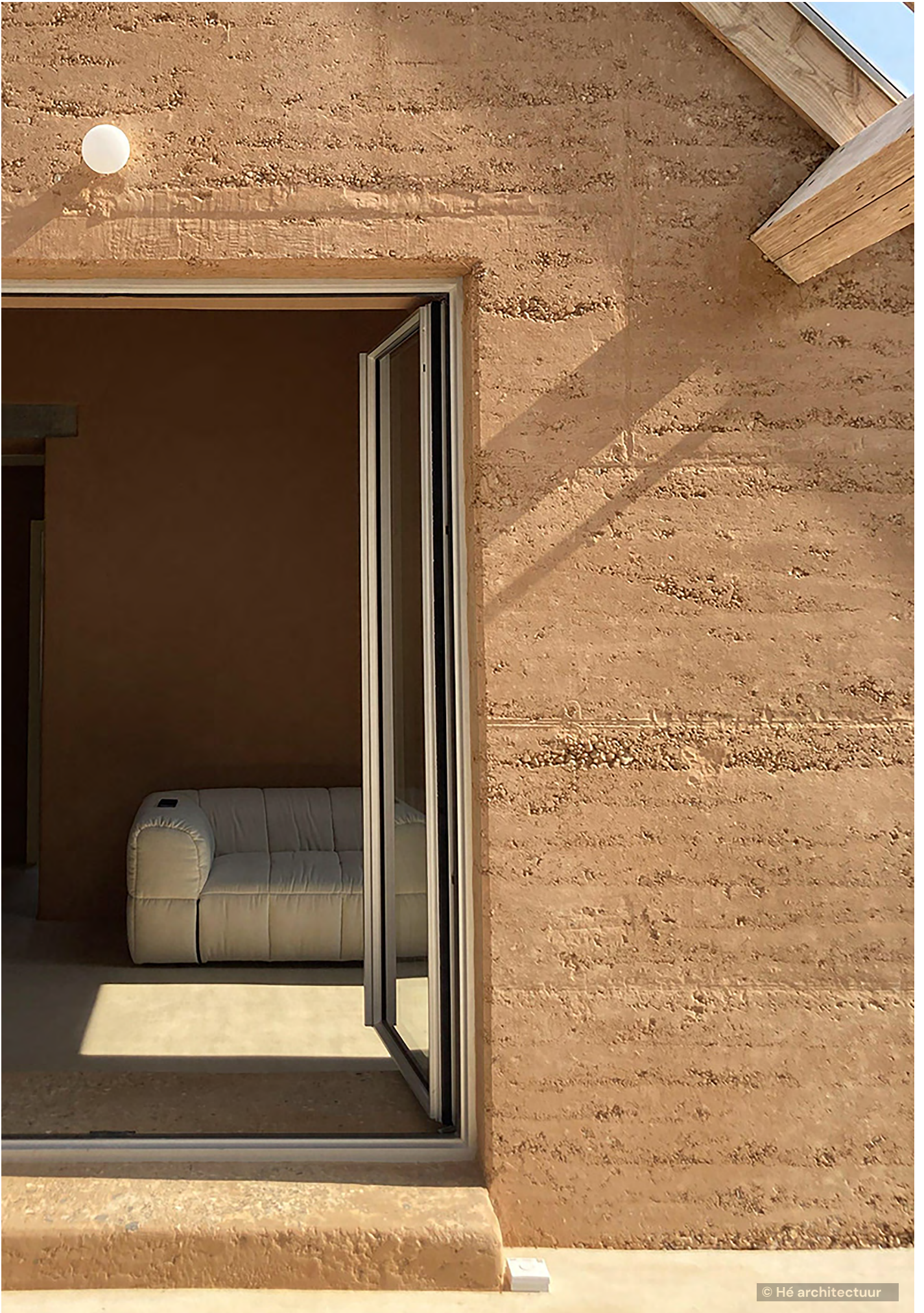
Door samen te werken met verschillende partners met complementaire kwaliteiten, biedt Léém een reeks bouwoplossingen aan, die van een niche een standaard maakt voor de bouwsector en het bouwen met aarde de 21e eeuw binnenloodst.

1.2 Een algemene gids...

Deze Algemene Gids van Léém heeft tot doel betrouwbare informatie te verstrekken aan de bouwprofessional (architect, ingenieur, aannemer) over het onderwerp van Léém bouwmaterialen en hun duurzame principes. Als zodanig hebben wij – de auteurs van de coöperatieve BC materials – ervoor gekozen om uitvoerig «op de schouders van reuzen te staan»: de kennis en richtlijnen die worden vermeld, zijn afkomstig uit referenties van twee van de meest ervaren leembouwgemeenschappen: de Franse en de Duitse gemeenschap. Het Franse netwerk is opgebouwd rond het universitaire onderzoeksinstituut CRAterre, en breidt zich uit naar organisaties zoals Cycle-terre, Amaco, ENTPE, CSTB. Het Duitse netwerk is opgebouwd rond het Dachverband Lehm, met experts zoals Dr.-Ing Horst Schröder, Dr.-Ing Christof Ziegert, en nationale regelgeving zoals DIN-normen en het EPD-kader.

Deze Algemene Gids van Léém is dan ook een compilatie van de meest recente onderzoekspublicaties, technische goedkeuringen en normen in Duitsland en Frankrijk, geüpdatet met specifiek extra onderzoek en ervaring door BC materials en Buildwise in de Benelux-context. We hebben geprobeerd zoveel mogelijk aan te geven uit welke referentie we bepaalde specifieke informatie hebben gehaald, door de referentie te vermelden in de zijkolom in de tekst, en door de volledige bibliografie toe te voegen in sectie 4. We zijn specifiek in wie we bedanken voor wat voor soort bijdrage in ons dankwoordgedeelte aan het einde van deze gids.

We hopen duidelijk te hebben gemaakt hoe deze gids tot stand is gekomen vanuit de Europese gedachte om leembouwexpertise te delen. We hopen dat deze Algemene Gids van Léém u zal helpen en zo de leembouwsector in de Benelux verder zal doen groeien.



© Hé architectuur

1.3 ... om te gebruiken samen met de andere Technische Gidsen en Fiches van Léém

Naast deze Algemene Gids bieden we ook specifieke Technische Gidsen over de toepassing van Léém Pleisters & Verven, Léémstenen en Stamppléém, en Technische Fiches per product, allemaal te downloaden op leem.works. De Algemene Gids, de Technische Gidsen en de Technische Fiches kunnen parallel worden geraadpleegd:

- Deze Algemene Gids koppelt duurzame principes aan bepaalde parameters voor fysische eigenschappen. Bij de opsomming van de fysische eigenschappen op Technische Fiches is het niet altijd duidelijk wat een parameter bij een bepaalde fysische eigenschap betekent. Op de Technische Fiche van Léém Pleister staat bijvoorbeeld het getal μ voor de waterdampdiffusieweerstand: wat betekent dit eigenlijk? In deze Algemene Gids wordt deze parameter uitgelegd in sectie 2.2.3.
- Deze parameters, die verband houden met specifieke fysische eigenschappen van Léém bouwmaterialen, worden in deze algemene gids in een tekstkader weergegeven. Zo zijn ze gemakkelijk te vinden.
- Voor elk duurzaam principe in sectie 2 en 3 benadrukken we in een one-liner het voordeel van de Léém bouwmaterialen. Zo wordt snel duidelijk wat het voordeel is van de Léém bouwmaterialen. Dit voordeel wordt vervolgens wetenschappelijk uitgelegd, ter ieders begrip en overtuiging.



2.

Duurzaamheid en circulariteit



In het Brundtland-rapport aan de Wereldcommissie voor milieu en ontwikkeling van de Verenigde Naties, getiteld «Our Common Future» (1987), werd de term «duurzaamheid» voor het eerst gebruikt om een duurzame ontwikkeling van de mensheid te beschrijven. Duurzame ontwikkeling zorgt ervoor dat deze «voorziet in de behoeften van het heden zonder gevaar voor het vermogen van toekomstige generaties om in hun eigen behoeften te voorzien». De term «duurzame ontwikkeling» bevat drie aspecten die over een bepaalde periode als gelijkwaardig moeten worden beschouwd:

- Ecologie
- Economie
- Eisen van gebruikers (sociaal-culturele overwegingen/functionele kwaliteit)

Het kader van de Duurzame Ontwikkelingsdoelstellingen (Sustainable Development Goals - SDG's) dat in 2015 door de Verenigde Naties werd opgesteld, bouwt voort op dit concept van duurzame ontwikkeling door een reeks specifieke en meetbare doelen te stellen die landen en andere belanghebbenden willen halen om een duurzame toekomst te voorzien. Alle 191 landen hebben zich geëngageerd om deze doelstellingen te bereiken. De SDG's zijn een set van 17 doelstellingen die zijn opgesteld als een universele oproep om een einde te maken aan armoede, de planeet te beschermen en ervoor te zorgen dat alle mensen vrede en welvaart hebben in 2030. De World Green Building Council heeft deze SDG's toegepast op de bouwsector. Vandaag dragen Léem bouwmaterialen actief bij aan 9 SDG's, zoals te zien is in de afbeelding hieronder.



[30] Principes et aspects importants pour le choix de matériaux de construction durables

Laten we de duurzame principes van leembouw onder de loep nemen:

Sectie 2.1 richt zich op duurzame principes van Léém bouwmaterialen met betrekking tot het milieu in het algemeen. Deze worden toegelicht in verschillende onderwerpen van sectie 2.1.1 tot en met 2.1.6. Voor elk van deze onderwerpen wordt een kwantificeerbare parameter voorgesteld, dewelke ook relevant is in het kader van een Levenscyclusanalyse.

De Levenscyclusanalyse (LCA) is een methode om de milieu-impact van een product gedurende zijn hele levenscyclus te berekenen op basis van een inventarisatie van de inputs (grondstoffen, energiebronnen, enz.) en outputs (lucht-, water- en bodememissies). De LCA-resultaten worden uitgedrukt in verschillende indicatoren die de mogelijke bijdrage aan uiteenlopende milieuproblemen, zoals klimaatopwarming, uitputting van natuurlijke hulpbronnen of ozonafbraak, weergeven. Optioneel worden deze indicatoren (huidig aantal in Europa: 13) gewogen gecombineerd tot 1 parameter met de unit "millipoints". De grote principes van een LCA staan beschreven in de internationale normen ISO 14040 en 14044. Daarenboven heeft de Europese bouwsector ook specifieke normen: EN 15804 op productniveau en EN 15978 op gebouwniveau. [30] In deze Algemene Gids van Léém bouwmaterialen focussen we enkel op het productniveau (dewelke de basis vormt voor de berekeningen op gebouwniveau). Deze levenscyclusanalyse voor bouwmaterialen houdt rekening met de volgende levenscyclusfasen: productie, constructie, gebruik en levenseinde. Deze fasen zijn onderverdeeld in modules.

Productiefase			Bouwfase		Gebruiksfase					Levenseindefase				B / L *
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4	D
Winning van grondstoffen	Transport	Productie	Transport	Bouw- en installatieproces, aanleg	Gebruik	Onderhoud	Reparatie	Vervanging	Hernieuwing	Deconstructie / sloop	Transport	Afvalverwerking	Finale afvalverwerking	Mogelijkheden voor hergebruik, terugwinning en recycling.
<div style="background-color: #d9ead3; width: 15px; height: 15px; display: inline-block; vertical-align: middle;"></div> Modules als onderdeel van de LCA van het DVL-project [1] waarbij leembouwmaterialen afwijken van standaard bouwmaterialen.					B6 Operationeel energiegebruik					*Baten / Lasten				
					B7 Operationeel watergebruik									

Balansschema voor de UPD-levenscyclusfasen volgens DIN EN 15804

- Productfase (modules A1-A3): Deze fase omvat de winning, het transport en de verwerking van grondstoffen die worden verwerkt tot bouwproducten.
- Constructiefase (modules A4-A5): Deze fase omvat het transport en de levering van bouwproducten van de fabrikant naar de bouwplaats en de daaropvolgende installatie.
- Gebruiksfase (modules B1-B7): Deze fase omvat het gebruik en onderhoud van het bouwproduct gedurende de verwachte levensduur, inclusief renovatie en vervanging.
- Levenseindfase (modules C1-C4): Deze fase omvat het levenseinde van het bouwproduct, inclusief sloop of ontmanteling van het bouwproduct en de verwijdering van de bouwmaterialen.
- Voordelen en lasten buiten de grenzen (module D): milieugerelateerde of sociale voordelen of belastingen die worden gegenereerd buiten de systeemgrens van het bouwproduct dat wordt beoordeeld, maar die kunnen worden toegeschreven aan het bouwproduct, zoals hergebruik, ...

Een LCA-waarde in millipoints kan dus worden beschouwd als de gekwantificeerde samenvatting van de milieu-impact, of met andere woorden, van de duurzame principes van een bouw materiaal. Met het oog op de Green Deal van de Europese Commissie (2019-2050: volledige netto decarbonisatie van de Europese Unie) wordt levenscyclusanalyse aanbevolen als een waardevol wetenschappelijk instrument.

Sectie 2.2 richt zich op duurzame principes van Léém bouwmaterialen met betrekking tot het gebruik van het gebouw en het binnenklimaat. Deze worden toegelicht in de paragrafen 2.2.1 tot en met 2.2.9. Voor elk van deze onderwerpen wordt een kwantificeerbare parameter gepresenteerd. Deze parameters zeggen iets over de specifieke fysieke eigenschappen van een bouw materiaal met betrekking tot duurzaamheid. Voor bouwmaterialen van Léém kunnen de waarden worden gevonden in de fysische eigenschappen zoals vermeld in de technische fiches die kunnen worden gedownload op de website leem.works.

2.1 Duurzaamheid op niveau van het milieu

2.1.1 Een bijna CO₂-neutraal productieproces

Bij de productie van Léémbouwmaterialen worden geen fossiele brandstoffen gebruikt: alle processen – drogen, zeven, breken, voormengen, mengen, verdichten, vormen, palletiseren – zijn geëlektrificeerd en er worden geen directe fossiele brandstoffen gebruikt voor het bakken van materiaal of het aandrijven van machines.

Léém bouwmaterialen zijn praktisch CO₂-neutraal: ze hoeven niet gebakken te worden en er zijn geen fossiele brandstoffen nodig in het productieproces.

De infrastructuur van BC materials gebruikt elektriciteit van zonnepanelen, ondersteund door een elektriciteitscontract dewelke de meest hernieuwbare energie aanbiedt op de Brusselse markt. Sommige additieven, zoals cement in Léém Persstenen of cellulose in Léém Lijmmortel, Léém Finish en Léém Verf, zijn echter geproduceerd door derden met behulp van fossiele brandstoffen. BC materials controleert zorgvuldig het aandeel van deze additieven in de Léém bouwmaterialen.

Parameter: Co₂- en andere broeikasgasemissies worden berekend als de indicator «Aardopwarmingsvermogen – fossiel» in een levenscyclusanalyse (LCA) volgens EN15804 (zie ook sectie 2.1.6) in de mateenheid van equivalente tonnen CO₂ die worden uitgestoten per meeteenheid van het respectieve bouw materiaal..



2.1.2 Circulair in oorsprong en bestemming

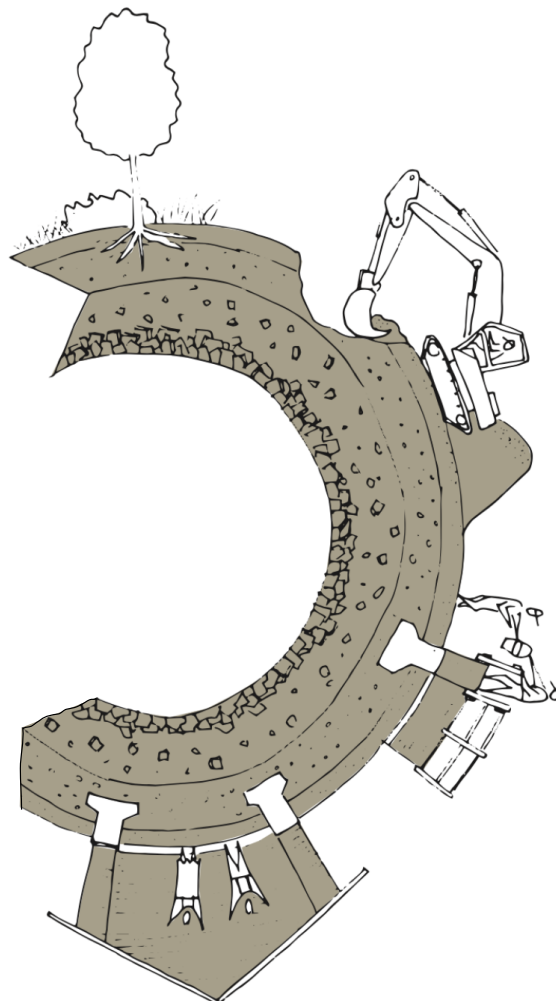
Léem bouwmaterialen zijn circulair zowel in hun oorsprong als in hun bestemming:

Circulair in oorsprong

BC materials werkt met secundaire grondstoffen: onvervuilde, onverstoorde geologische lagen en minerale reststromen die worden gedolven uit werven. Deze uitgegraven aarde en minerale reststromen worden wettelijk beschouwd als afval zodra ze de bouwplaats verlaten.

Léem bouwmaterialen zijn circulair in oorsprong: we halen secundaire grondstoffen van bouwplaatsen, die vanuit wettelijk oogpunt als afval worden beschouwd.

BC materials heeft een milieuvergunning om deze onvervuilde reststromen om te vormen tot bouwmaterialen. In België wordt jaarlijks 37 miljoen ton aarde afgegraven van bouwplaatsen, waarvan 16 miljoen ton ongebruikt wordt gedumpt op stortplaatsen of in groeves, met alle problemen van landgebruik, transport enzovoort. Naast deze afgegraven aarde produceert België jaarlijks ongeveer 22 miljoen ton mineraal bouwafval, waarvan vandaag 90-95% voornamelijk wordt gedowncycled tot laagwaardige aggregaten voor ondergrondse infrastructuurwerken.



Circulair in bestemming

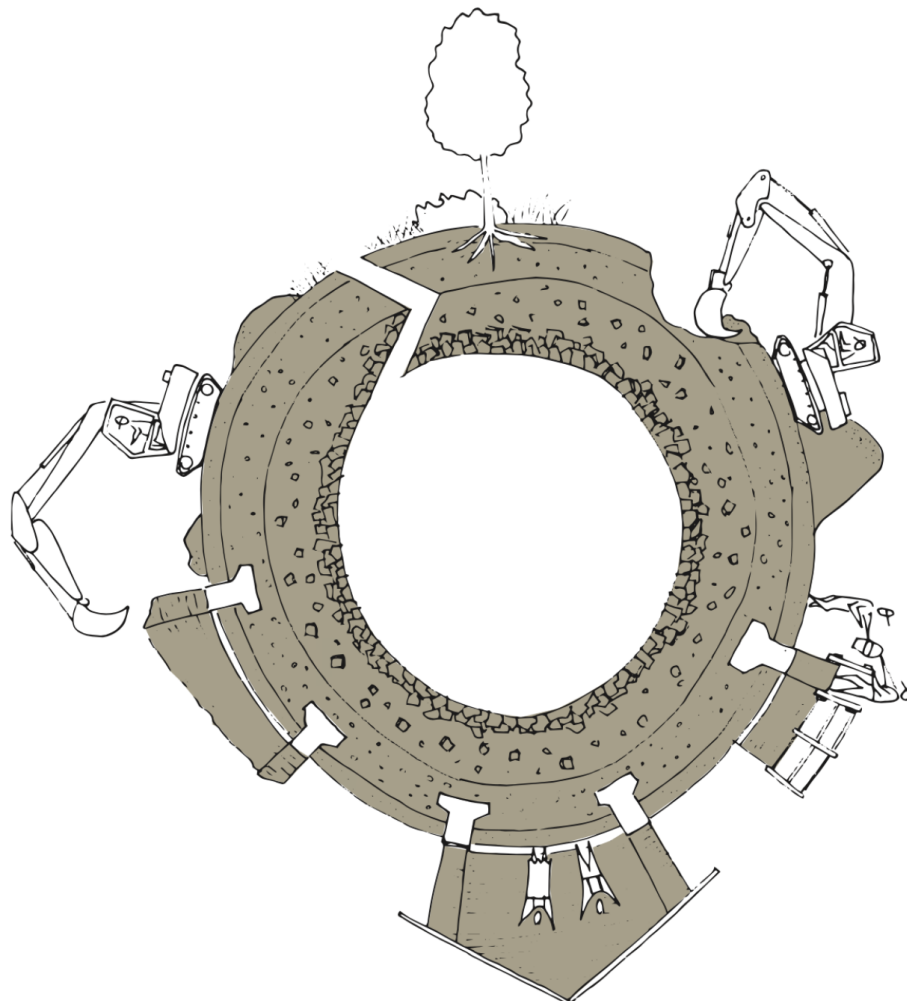
Léém bouwmaterialen gebruiken klei als bindmiddel. De kleibinding veroorzaakt geen chemische verandering van het materiaal en is dus omkeerbaar. Door water toe te voegen wordt het bouw materiaal weer aarde. Dit zorgt voor de uitstekende herstelbaarheid en oneindige herbruikbaarheid van Léém bouwmaterialen (zie sectie 3).

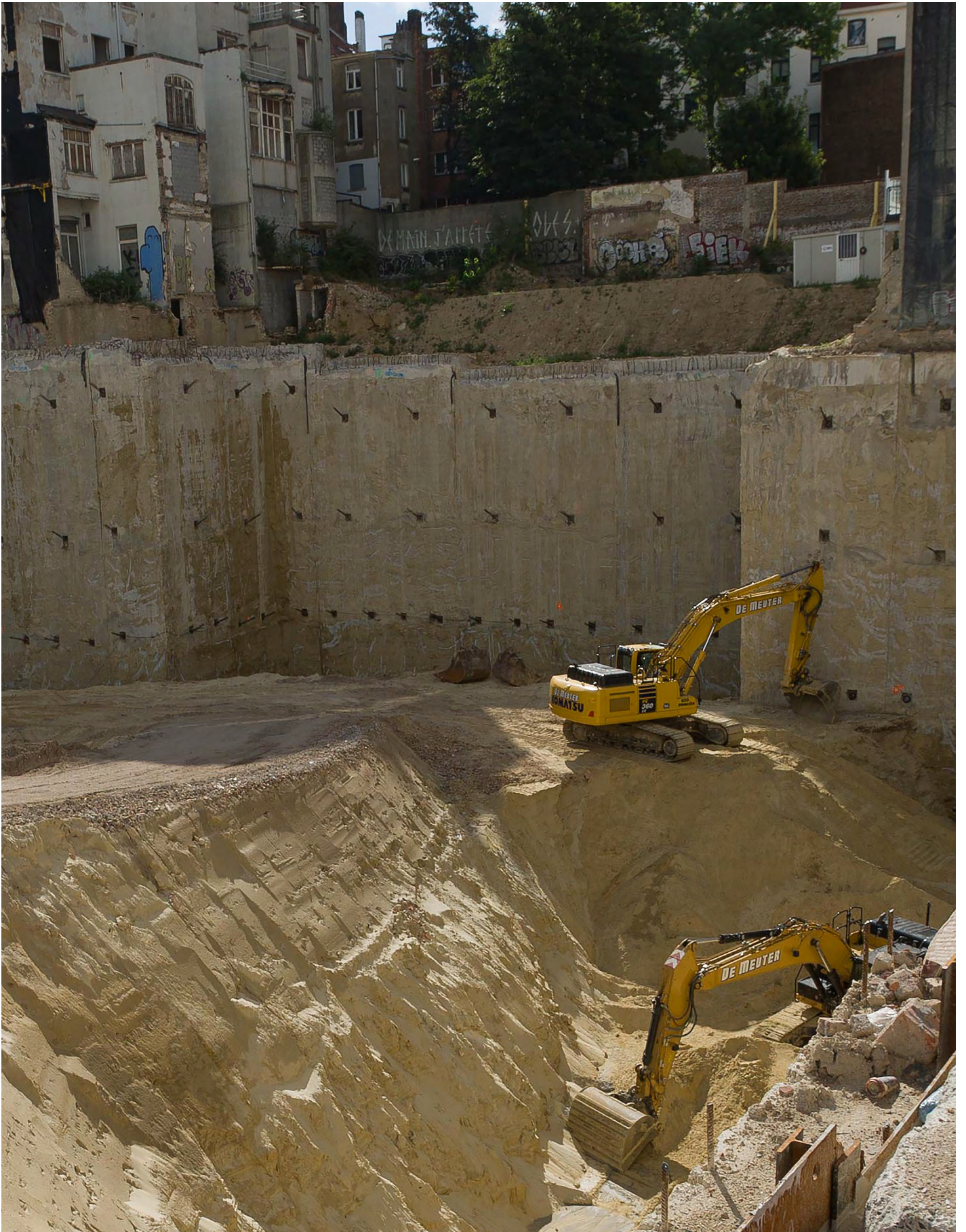
Léém bouwmaterialen zijn circulair in bestemming: ze zijn oneindig herbruikbaar of recycleerbaar zonder kwaliteitsverlies.

In wezen gebruikt leembouw de zachte laag van de aarde (die «horizont B» of «niet-organische bodem» wordt genoemd) om constructies voor menselijk gebruik te maken. Na het einde van de levenscyclus van het gebouw kunnen de bouwmaterialen van Léém terugkeren naar de zachte laag van de aarde ("zero waste"), of ze kunnen opnieuw worden omgevormd tot Léém bouwmaterialen (hergebruik).

Parameter: Circulair in oorsprong betekent het vermijden van het gebruik van primaire grondstoffen, dewelke de Milieu-impactscore verlaagt vanwege minder milieubelasting in de productfase A1 en andere (zie ook sectie 2.1.6).

Circulair in bestemming betekent het vermijden van afval in de Levensfase D en het genereren van voordelen in module D, dewelke de Milieu-impactscore verlaagt.





[25] The hidden cost of transportation of construction materials: An overview, Journal of Engineering Design and Technology

2.1.3 Lokale herkomst en minimaal transport

In plaats van minerale reststromen ver weg te transporteren van bouwplaatsen en tegelijkertijd primaire grondstoffen aan te voeren van verre groeves, houdt BC materials de keten kort en de transporten dichtbij. Wij voorzien onze grondstoffen bij lokale bouwplaatsen, waardoor zowel afvaltransporten als transporten van primaire grondstoffen worden vermeden.

Léém bouwmaterialen zijn lokaal: we voorzien ons bij bouwplaatsen in de buurt en leveren via korte ketens.

Omdat Léém bouwmaterialen bij hun productie geen stookproces hebben, worden er alleen fossiele brandstoffen gebruikt bij de verschillende transporten van grondstoffen en bouwmaterialen.

Het minimaliseren en kort houden van deze transporten maakt de kern uit van ons circulaire grondstof- en productiemodel. Natuurlijk biedt dit ook economische voordelen, aangezien transportkosten ongeveer 39%-58% van de totale logistieke kosten van een bouwplaats uitmaken en tussen 4%-10% van de verkoopprijs van het gebouw [25]. We leveren met een actieradius van 250 kilometer, omdat het overschrijden van deze radius de impact van de materialen minder ecologisch maakt.

Parameter: Lokale processen betekent dat het transport van zware grondstoffen en bouwmaterialen wordt vermeden, wat de milieu-impactscore verlaagt vanwege minder impact in de productfase A2, de constructiefase A4 en de levenseindefase C2.



[26] Diagnosis of the State of the Territory in Flanders
[27] Beleidsplan Ruimte Vlaanderen
[28] Schéma de développement du territoire (SDT),

2.1.4 Schaarste aan ruimte

België heeft de hoogste score voor indicatoren van “Urban Sprawl”, en binnen de Europese context wordt bijna het hele gebied als stedelijk beschouwd [26]. Bijgevolg is ruimte schaars en streeft de Vlaamse regering ernaar om tegen 2040 een netto nul-opname van nieuwe ruimte wettelijk vast te leggen [27], en de Waalse regering tegen 2050 [28]. Mede in dit perspectief heeft BC materials gekozen om maximaal gebruik te maken van bestaande infrastructuur, bestaande afvalstromencentra en bestaande logistieke mogelijkheden in plaats van nieuwe productieruimte in te nemen of te werken vanuit ruimteverslindende groeves. Deze aanpak heeft tevens een vervangingseffect op veel bouwmaterialen, en de filosofie van Léém hierbij is dat Léém bouwmaterialen geen nieuwe infrastructuur nodig heeft, maar net de infrastructuur van de standaard bouwmaterialen gebruikt.

Léém behoeft geen groeves, noch nieuwe fabrieken.

Léém heeft geen nieuwe ruimte nodig, en dit heeft uiteraard een positief effect op de veerkracht van bestaande ecosystemen en het behoud van habitats en diersoorten, want onze aanpak en onze materialen vermijden nieuwe stortplaatsen, nieuwe grondstoffen en groeves, of het aansnijden van nieuwe ruimtes.



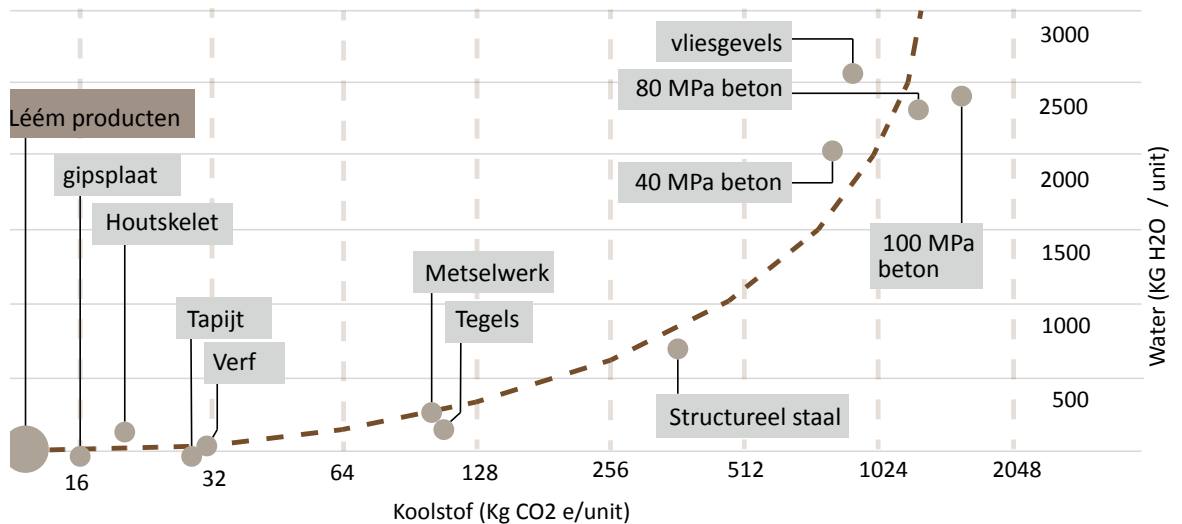
[29] Embodied water' is the latest challenge for the building industry

2.1.5 waterverbruik

Naast het gebruik van minerale grondstoffen, heeft de bouwsector ook een grote voetafdruk van waterverbruik. Tegenwoordig vindt 38% van het waterverbruik tijdens de levenscyclus van een gebouw plaats voordat iemand ooit een kraan open draait in een afgewerkt gebouw [29]: Er worden grote hoeveelheden zoet water gebruikt voor de productie van beton, staal en glas, zoals te zien is in de onderstaande grafiek.

Léem bouwmaterialen hebben geen grote hoeveelheden water nodig, in tegenstelling tot klassieke bouwmaterialen. Het gebruikte water wordt tijdens het droogproces teruggegeven aan de waterkringloop van onze planeet.

Léem bouwmaterialen worden echter deels geproduceerd met gerecupereerd regenwater en de meeste kunnen met een zeer beperkte hoeveelheid water worden geproduceerd. Bovendien verdampt het meeste toegevoegde water weer via een proces van luchtdroging in de atmosferische waterkringloop.



BRON: SLATTERY

Water per koolstofuitstoot van bouwmaterialen

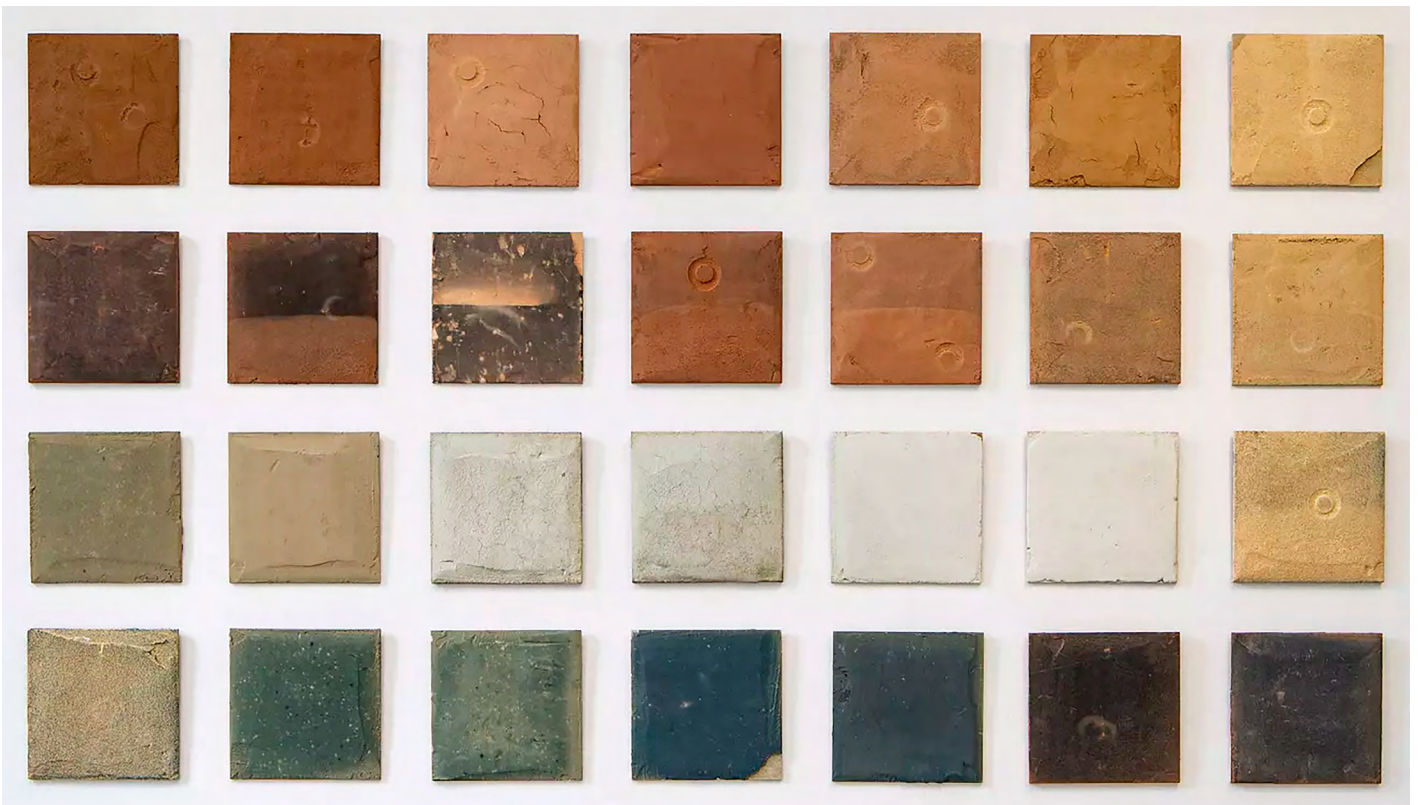
2.1.6 Milieu-impactscore en EPD

Zodra een levenscyclusanalyse of LCA – zie sectie 2 voor een inleiding – voor een bouw materiaal is voltooid, kan het door een bedrijf worden gedeclareerd in de vorm van een Environmental Product Declaration (EPD), zodat het kan worden gebruikt in software om de LCA van een gebouw te berekenen. In België heet deze software «TOTEM» (totem-building.be). Op de website van TOTEM kan men meer in detail lezen over de berekeningsrichtlijnen van LCA van bouwmaterialen en gebouwen.

Léém bouwmaterialen hebben een uitstekende milieu-impactscore: 10 tot 20 keer beter dan de huidige standaard bouwmaterialen

BC materials heeft specifieke LCA-screenings uitgevoerd voor Léém bouwmaterialen. Omdat Léém bouwmaterialen koolstofneutraal, circulair en lokaal zijn, hebben ze een milieu-impact die vele malen lager is dan die van gebakken materialen, beton of andere materialen die veel fossiele brandstoffen verbruiken. De specifieke waarden voor de verschillende bouwmaterialen van Léém worden vermeld in de respectieve Technische Fiches die kunnen worden gedownload op leem.works.

Parameter: Bij de algemene milieu-impact evaluatie kiezen we voor 2 parameters : de naar onze mening belangrijkste indicator «Aardopwarmingsvermogen – fossiel » en de Algemene Milieu-impactscore.



2.2 Duurzaamheid op niveau van gebouw en binnenklimaat

[10] Sustainable Building with Earth.

2.2.1 Een gezond binnenklimaat

De kwaliteit van binnenlucht is gemiddeld 2,5 tot 5 keer slechter dan buitenlucht (Vlaamse overheid & VITO, 2010) en dat terwijl we 90% van onze tijd binnen doorbrengen (European Environment Agency, 2022). Ongezonde binnenlucht kan veroorzaakt worden door bouwmaterialen die schadelijke stoffen uitstoten. Hieronder vallen vloermaterialen vloeren en hun coatings, binnenwanden en meubels, muren en muurbekleding, isolatiematerialen, verf, vernis, kitten en lijmen, dampschermen, houtconserveringsmiddelen, technische installaties en materialen die aggregaten en additieven bevatten. [10] (p.415)

Léém bouwmaterialen gebruiken natuurlijke, minerale, niet-vervuilde grondstoffen voor een gezond binnenklimaat.

Daarentegen zijn onze uitgegraven aardes vrij van vervuiling en toxische stoffen, na testen op parameters volgens OVAM Vlarebo (Vlaams Gewest) en Normes d'intervention (Brussels Gewest), met extra testen op PCB's en asbest. In totaal worden 51 vervuilingparameters getest, zoals zware metalen, koolwaterstoffen, minerale oliën, anorganische componenten, vluchtige organische componenten, PCB's en asbest. Deze parameters worden twee keer getest, één keer bij het uitgraven en één keer bij het omzetten in bouwmaterialen. Op deze manier is BC materials er absoluut zeker van dat voor de bouwmaterialen van Léém onverstoorde, onvervuilde, "onaangeraakte" geologische bodems worden gebruikt. Deze natuurlijk gevormde gronden zijn vrij van schadelijke stoffen en worden «aanbevolen op basis van de principes van de bouwbiologie». [10] (p.415)

Een stap verder is zelfs om te wijzen op de kation-bindende eigenschappen van kleideeltjes in Léém bouwmaterialen: oppervlakken van Léém bouwelementen met open poriën hebben een hoge adsorptiecapaciteit voor externe toxische en niet-toxische deeltjes, met of zonder geureffecten. Léém bouwmaterialen integreren deze deeltjes in hun kleimineraalstructuur, waardoor ze worden geneutraliseerd en/of de geuren onwaarneembaar worden. Er zijn echter grenzen aan de absorberende capaciteit. [10] (p.518)

2.2.2 VOC-emissies

Naast het bevestigen dat grondstoffen niet vervuild zijn, kan vervuiling ook gecontroleerd worden bij bouwmaterialen aan de hand van het gehalte aan vluchtige organische stoffen (VOC's), die als gas vrijkomen uit deze bouwmaterialen. VOC's omvatten een verscheidenheid aan chemische stoffen, waarvan sommige op korte en lange termijn schadelijke effecten kunnen hebben op de gezondheid. Over het algemeen zijn de concentraties van veel VOC's binnen hoger (tot 5 keer hoger, zie sectie 2.2.1) dan buiten. De bouwmaterialen van Léém bevatten echter geen vluchtige organische stoffen en dragen dus bij tot een gezond binnenklimaat.

Léém bouwmaterialen zorgen voor een gezond binnenklimaat: ze verbeteren de luchtkwaliteit en bevatten geen vluchtige organische stoffen.

Parameter: Totale VOC-emissies worden gemeten in microgram per kubieke meter lucht. Zero-VOC emissies worden gedeclareerd als de meting lager is dan genormeerde drempelwaardes, zoals het geval is voor Léém bouwmaterialen.



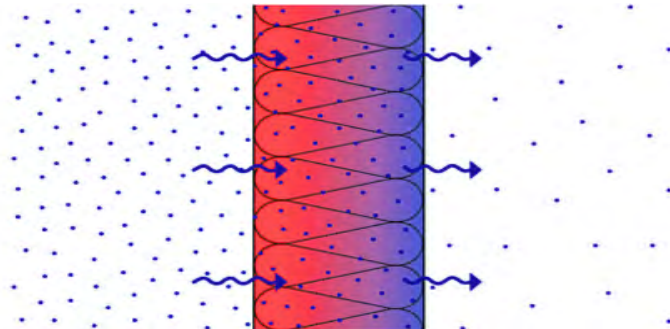
2.2.3 Hydrisch comfort

Door koken, douchen en kuisen voegt een gemiddeld gezin elke dag 10 liter vocht toe aan het binnenklimaat. Ongeveer 10–50% van alle gebouwen heeft tegenwoordig last van overmatig vocht. Mensen die in vochtige huizen wonen hebben 40% meer kans om astma en andere aandoeningen aan de luchtwegen te ontwikkelen. Ook virussen, zoals COVID-19, doen het goed in een te vochtige (of te droge) omgeving (MIT, 2022).

Optimale vochtigheidsniveaus binnenshuis zijn in balans – niet te hoog, niet te laag – tussen 40–60% relatieve vochtigheid. Hieronder beschrijven we verschillende manieren waarop Léém bouwmaterialen kunnen helpen om vochtuishouding te verbeteren.

a. Vochtighedsregulering binnenshuis

Door de hygroscopische eigenschappen van het materiaal en de open poriënstructuur kan vocht als vloeistof of gas in een bouwelement terecht komen. Afhankelijk van de verschillen in vochtigheid, temperatuur en dampdruk tussen het Léém bouwelement en het aangrenzende medium, kan vocht door het Léém bouwelement worden getransporteerd, erin worden opgeslagen en weer worden afgegeven. Het Léém bouwelement en zijn directe omgeving bewegen voortdurend in de richting van een hygroscopisch evenwicht. Dit wordt ook wel het principe van de «ademende» muur genoemd.



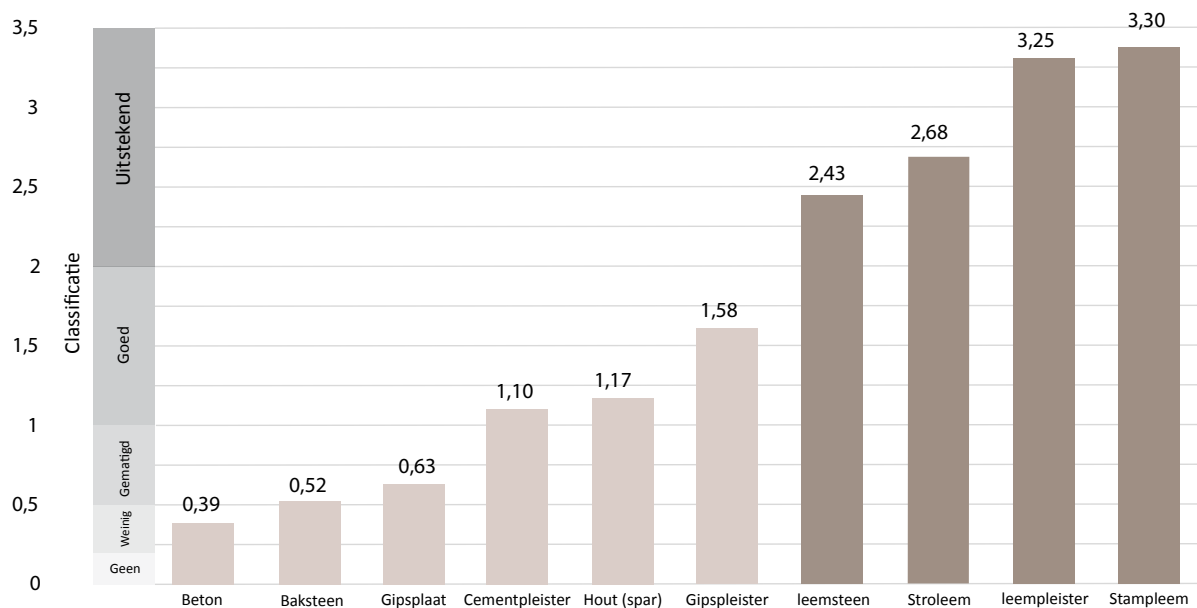
Principe van dampmigratie naar buiten toe voor een koude klimaat

«Ademen» betekent dat de waterdamp («luchtvochtigheid») door het poreuze bouw materiaal diffundeert. Deze eigenschap wordt aangegeven met de waterdampdiffusieweerstandsfactor μ . De waarde μ is een dimensieloze verhouding die de diffusiedichtheid van de waterdamp in een bouw materiaal vergelijkt met die in een luchtlaag met een equivalente dikte sd . Stilstaande lucht heeft een μ -waarde van 1. De sd -waarde geeft de vereiste dikte van de luchtlaag aan om dezelfde diffusieweerstand te hebben als het gespecificeerde bouw materiaal met een laagdikte d . Dit maakt het mogelijk om bouwlagen van verschillende diktes te vergelijken:

$$sd = \mu \times d$$

Een lage μ wijst op een gemakkelijk vochttransport door het bouw materiaal.

Vochtbufferwaarden (Moisture Buffer Value, MBV) zijn een andere maat die het vermogen van een bouw materiaal om vocht te reguleren kan bepalen. Over het algemeen is de vochtbufferwaarde omgekeerd evenredig met het waterdampweerstandsgetal: een hoge MBV is gekoppeld aan een lage μ .



Vergelijking van vochtregulatiecapaciteit van leembouwmaterialen

[7] Guide de conception et de construction.
 [9] Earth Masonry: Design and Construction Guidelines.
 [10] Sustainable Building with Earth.

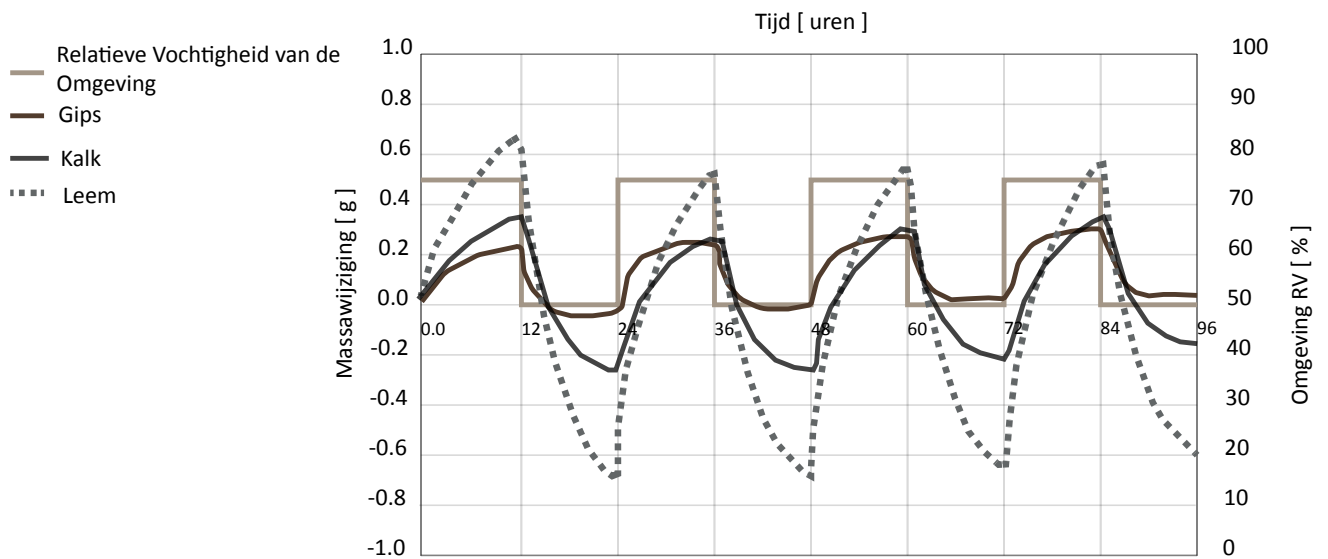
Léém bouwmaterialen hebben lage waterdampdiffusieweerstandsfactoren μ tussen 5 en 10 en hoge vochtbufferwaarden MBV tussen 2,2 en 3. Dit heeft 2 gunstige effecten:

- Vochtregulering op korte termijn: een Léém bouw materiaal kan snel overtollig vocht absorberen via het oppervlak (de eerste 10–15 millimeter), waardoor onmiddellijke schommelingen in de relatieve vochtigheid worden beperkt, bijvoorbeeld in badkamers. [9] (p.74–75)
- Vochtregulering op lange termijn: een Léém bouw materiaal is in staat om vocht te reguleren tussen de ruimtes aan weerszijden van de muur. Hoe dikker de muur, hoe meer vocht hij kan opnemen en reguleren over een langere periode.[9] (p.74–75) Daarom kan de behoefte aan luchtverversing worden beperkt tot andere behoeften, zoals de afvoer van CO₂. Deze eigenschap beperkt dus de risico's van condensatie en schimmel. [7] (p.78–79)

Studies uitgevoerd door Minke en Holl/Ziegert [10] (p.408) tonen aan dat leembouwmaterialen aanzienlijk betere prestaties leveren dan conventionele bouwmaterialen die kalk, gips of cement als basismateriaal gebruiken.

Bovendien kan de eerste 15 mm van een leembouw materiaal 300 g water absorberen in 48 uur wanneer de relatieve vochtigheid toeneemt van 50 tot 80%. (Ter vergelijking: hout absorbeert 100 g en een gebakken baksteen absorbeert 30 g onder dezelfde omstandigheden) [9] (p.74–75)

Parameters: Het waterdampdiffusieweerstandsgetal μ vergelijkt de diffusiedichtheid van de waterdampstroom in een bouw materiaal met die gevonden in een luchtlag van een equivalente dikte s_d . (Stilstaande lucht heeft een μ -waarde van 1.)
 De vochtbufferwaarde MBV geeft de hoeveelheid water aan die wordt getransporteerd (adsorptie of desorptie) in of uit een materiaal per open oppervlak, gedurende een bepaalde periode, wanneer het wordt blootgesteld aan variaties in de relatieve vochtigheid van de omringende lucht.



Mass change of plasters when exposed to changing relative humidity

[12] Relevance of Earthen Plasters for Eco Innovative, Cost-Efficient and Healthy Construction

Resultaten (Fig. 32.1) tonen aan dat leempleisters in combinatie met houtvezelplaten worden gekenmerkt door een uitstekende waterdampadsorptiecapaciteit, die tot drie keer hoger is in vergelijking met gipsplaten, zoals ook wordt aangetoond in (Minke 2012; Eckerman en Ziegert 2006). [12] (p.375)

b. Vochtevenwichtsgehalte en het effect op andere bouwmaterialen

[9] Earth Masonry: Design and Construction Guidelines.
[10] Sustainable Building with Earth.

Equilibrium moisture refers to the average moisture content of the building element in its specific use context. This level is rarely exceeded or undercut under standard conditions in indoor spaces (40–70 % RH, +20 °C) [10] (p.407) Léém building materials have values between 0,5 and 2 % of equilibrium moisture. This is low compared to other building materials, and as such, earth building materials can help dry out and keep dry other materials in a building, e.g. in wood construction systems. "If the earth material of the building element is always kept dry and the two building materials are permanently bonded, allowing effective diffusion, a diffusion of the equilibrium moisture content from the wood to the earth material develops: the earth material keeps the wood dry and has a preservative effect. This property is particularly interesting for reducing the risk of mold or insect attack in wood" [10] (p.408) et [9] (p.75)

Parameters: Equilibrium moisture refers to the moisture content of the building element which gradually sets in as the average value for the building's useful life.



Léem bouwmaterialen reguleren de luchtvochtigheid en zijn goed voor iedereen die in deze ruimtes woont en werkt.



Léem bouwmaterialen houden andere bouwmaterialen droog.

2.2.4 Wamtecomfort

Een klimaat wordt als ideaal en comfortabel beschouwd wanneer het menselijk lichaam in thermische balans is met zijn omgeving. De manier waarop een persoon klimaat waarneemt, verschilt afhankelijk van leeftijd, lichaamsopbouw, geslacht, dieet en het vermogen om zich aan het klimaat aan te passen. Het binnenklimaat wordt vooral beïnvloed door de volgende factoren:

- Luchttemperatuur
- Warmtetraling van omliggende oppervlakken
- Relatieve luchtvochtigheid
- Luchtbeweging

Hieronder wordt aangetoond hoe Léém bouwmaterialen een positieve invloed hebben op het thermische comfort via drie van deze vier factoren.

a. Thermische inertie, amplitudedemping en faseverschuiving

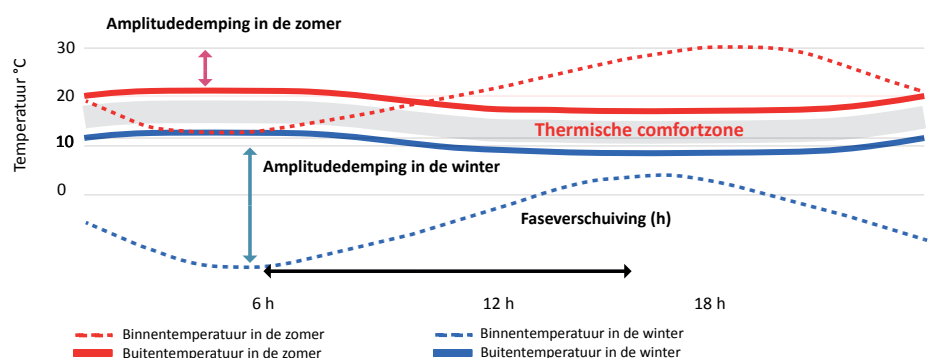
In periodes met snelle schommelingen in dagmaxima en nachtminima, voorkomt de thermische inertie van bepaalde bouwmaterialen dat het interieur van het gebouw te snel afkoelt of opwarmt. Hoe hoger de warmteopslagcapaciteit C van een bouwelement en hoe lager de warmteoverdrachtscoëfficiënt Λ , hoe beter de effectiviteit in termen van warmteopslag en -koeling. Het quotiënt van beide waarden wordt het thermische inertie van een bouw materiaal genoemd: de eigenschap van een materiaal dat de mate van traagheid uitdrukt waarmee de temperatuur die van de omgeving bereikt.

Léém bouwmaterialen brengen thermische inertie.

Als we naar het buiten- en binnenoppervlak van een bouwelement kijken, zien we dat buitentemperatuuramplitudes die door het bouwelement gaan aan de binnenkant verzwakt raken: dit wordt temperatuuramplitudedemping genoemd. Het tijdsverschil tussen buiten- en binnenpieken van temperatuuramplitudes wordt faseverschuiving genoemd.

In een gematigd klimaat zoals West-Europa moeten samengestelde muren zorgen voor een goede isolatie enerzijds en een goede warmteopslagcapaciteit anderzijds. Léém bouwmaterialen bieden dit laatste vanwege hun hoge massa, wat helpt om warmte in de winter en koudte in de zomer op te slaan bij lichte gebouwen zoals houten constructies.

Parameters: Het quotiënt van warmteopslagcapaciteit C en thermische geleidbaarheid Λ bepalen de mate van traagheid waarmee de temperatuur van een bouw materiaal die van de omgeving bereikt, ook wel thermische traagheid genoemd. Uit deze waarden kunnen temperatuuramplitudedemping en faseverschuiving worden berekend.



[11] Wienerberger. Rouge. La Force.

Schema thermische comfortzone [11] (p.101)

[1] Guide des bonnes pratiques de la construction en terre crue - Brique de terre.

[10] Sustainable Building with Earth.

b. Thermische effusiviteit en thermische diffusiviteit

De thermische effusiviteitscoëfficiënt b van een materiaal beschrijft hoeveel warmte uit het menselijk lichaam wordt verwijderd wanneer een persoon het materiaal fysiek aanraakt. Hoe hoger de thermische effusiviteitscoëfficiënt b , hoe meer warmte uit het lichaam wordt verwijderd en hoe koeler het materiaal aanvoelt. In kamers met hoge luchttemperaturen blijven bouwelementen met oppervlaktelagen met een hoge thermische effusiviteitscoëfficiënt "koel" voor een langere periode. Zware bouwmaterialen zoals natuursteen, beton en staal hebben hoge b -waarden, terwijl de waarden voor lichte bouwmaterialen zoals hout of kurk dienovereenkomstig lager zijn.

Bouwmaterialen van Léém hebben een gemiddelde thermische effusiviteit en lijken daarom "warmer" aan te voelen bij aanraking. [1] (p.19) en [10] (p.402)

Léém bouwmaterialen voelen warm aan.

De thermische diffusiviteitscoëfficiënt a van een materiaal beschrijft de snelheid waarmee een materiaal warmte van de ene kant van een muur naar de andere kan overbrengen.

Bouwmaterialen van Léém hebben een gemiddelde tot hoge thermische diffusiviteit en brengen daarom in de winter opgevangen zonnewarmte over naar binnen, en bevorderen omgekeerd goed koel comfort in de zomer.

Parameters: Thermische effusiviteitscoëfficiënt b en thermische diffusiviteitscoëfficiënt a .



c. Warmtecomfort door regulering van luchtvochtigheid

De relatieve luchtvochtigheid binnenshuis is een belangrijke factor voor het thermische comfort van mensen: bij dezelfde warme of koude temperatuur zal een binnenklimaat met een hogere relatieve luchtvochtigheid warmer respectievelijk kouder aanvoelen.

Léém bouwmaterialen helpen bij het bereiken van een goed warmtecomfort door de luchtvochtigheid in balans te brengen

Omdat Léém bouwmaterialen de luchtvochtigheid reguleren (zie sectie 2.2.2), dragen ze bij aan een hoger thermisch comfort.

- Door de luchtvochtigheid in de zomer te verlagen, zorgen Léém bouwmaterialen ervoor dat de binnenruimtes koeler aanvoelen.
- Door de luchtvochtigheid in de winter te verhogen, zorgen Léém bouwmaterialen ervoor dat de binnenruimtes warmer aanvoelen.

Parameter: Het waterdampdiffusieweerstandsgetal μ vergelijkt de diffusiedichtheid van de waterdampstroom in een bouw materiaal met die gevonden in een luchtlaag van een equivalente dikte s_d . (Stilstaande lucht heeft een μ -waarde van 1.) Zie ook sectie 2.2.2

2.2.5 Luchtdichtheid

Een algemene vereiste om verwarmingsenergie te verminderen is de luchtdichtheid van de buitenste bouwschil. Volgens de Lehmbau Regeln worden leembouwmaterialen met een dichtheid van 900 kg/m³ of meer als luchtdicht beschouwd. [15] (p.100) Voor materialen met lagere dichtheden moet het bouwelement worden bedekt met een pleister. [4] (p.17) Een minimum van 10 mm

Léém bouwmaterialen maken uw gebouw luchtdicht.

Léém pleister wordt door Buildwise beschouwd als luchtdicht. [22] (p.53)

Parameter: De luchtdichtheid bij luchtdruk 50Pa geeft het debiet van lucht die per uur en per vierkante meter uit de ruimte ontsnapt.

[4] . ATEx A 2990_V1. Maçonnerie de remplissage
[15] Rapport d'essai Nr. PB 128 001 2022 (Blocs).
[22] NIT 284: Les enduits intérieurs.



2.2.6 Brandveiligheid

Brandveiligheid van bouwmaterialen wordt grotendeels bepaald door 2 eigenschappen : brandreactie en brandweerstand.

a. Brandreactie

Brandreactie of brandgedrag beschrijft hoe een materiaal reageert in contact met vuur, meer specifiek met betrekking tot de brandbaarheid.

Léém bouwmaterialen zijn onbrandbaar.

Het wordt niet alleen beïnvloed door het materiaaltipe, maar ook door de vorm, het specifieke oppervlak en de massa. In het algemeen is de onbrandbaarheid (brandreactieklasse A1 = MO) van leembouwmaterialen gegarandeerd als aan een van de volgende voorwaarden wordt voldaan [9] (p.87):

- Minder dan 1% organische bestanddelen [18] (p.19), [19] (p.13), [9] (p.87), [8] (p.19) et [24] (p.15)
- Dichtheid van minstens 1700 kg/m³ [9] (p.87)
- Specifieke brandtestgegevens [9] (p.87)

Parameter: De brandreactieklasse bestaat uit de klassen A1-F met toenemende brandbaarheid zoals gedefinieerd in EN13501. Over het algemeen zijn Léém bouwmaterialen onbrandbaar (A1).



[1] Guide des bonnes pratiques de la construction en terre crue - Brique de terre.

[9] Earth Masonry: Design and Construction Guidelines.

[11] Rouge. La Force.

b. Brandweerstand

“De brandwerendheid REI van een muur wordt uitgedrukt in uren en geeft aan hoe lang de muur weerstand zal bieden in geval van brand. Dit betekent dat de muur zijn stabiliteit (R) en weerstand tegen vlammen (E) behoudt en dat de temperatuur aan de andere kant van de muur onder een drempelwaarde blijft die wordt bepaald door de isolatie (I), waardoor wordt voorkomen dat voorwerpen in een gebied dat niet door brand wordt beïnvloed, ontbranden door stralingswarmte.» [11] (p.49)

Léém bouwmaterialen Léém bieden een hoge brandweerstand.

Over het algemeen kan worden gesteld dat minerale materialen op basis van klei uitstekende brandwerende eigenschappen hebben: [11] (p.49)

- Brandstabiliteit (R): Chemisch gezien wordt de stabiliteit van Léém bouwmaterialen niet vernietigd door de brand, aangezien deze vervolgens gebakken kleimaterialen worden [1] (p.20)
- Weerstand tegen vlammen en rook (E): Door het bakken van de oppervlaktelaag wordt een beschermende korst gevormd. [1] (p.20)
- Thermische isolatie (I): Er ontstaat een poreus netwerk dat de thermische isolatie bevordert. Dit fenomeen verklaart ook gedeeltelijk de goede thermomechanische eigenschappen met betrekking tot brandstabiliteit. [1] (p.20)

Er moet echter aandacht worden besteed aan de bescherming van brandwerende wanden tegen bluswater door sprinklersystemen en dergelijke, hetzij met een beschermende afwerking, hetzij met een voldoende dikte om oppervlakte-erosie veroorzaakt door water onder druk te weerstaan. [9] (p.87)

Parameter: Brandweerstand, aangeduid als de minuten brandwerendheid in relatie tot stabiliteit R, vlamdichtheid E en thermische isolatie I.



Brandweerstandstest bij CERIB op metselwerkwand in leemsteen van 9,5 cm dikke voor en na 50 minuten brandblootstelling [7] (p.160)

2.2.7 Akoestisch comfort

Luchtgeluid is geluid dat zich door de lucht verplaatst, bijvoorbeeld veroorzaakt door menselijke spraak. Bouwelementen kunnen op 2 manieren relevant zijn voor het dempen van luchtgeluid:

a. Geluidstransmissie via de lucht:

- Geluidstransmissie via de lucht: Akoestische testen voor de transmissie van luchtgeluid onderzoeken de oppervlaktedichtheid van een bouwelement (de massa van de materialen in g op basis van 1 m² van het bouwelement), evenals de buigstijfheid en dichtheid. De geluidsreductie-index R beschrijft de luchtgeluidsisolatie van de bouwelementen. Deze wordt berekend aan de hand van het verschil in geluidsniveau tussen twee ruimtes, meestal de bronruimte en de ontvangende ruimte. De belangrijkste referentiewaarde voor de beoordeling van luchtgeluidsisolatie is de gewogen geluidsreductie-index R_w [dB] als een individuele en vereenvoudigde waarde voor bouwelementen [10] (p.419–420)
- Absorptie van luchtgeluid: De akoestische eigenschappen van leembouwmaterialen worden nog steeds onvolledig begrepen en vergt verdere testen. Omdat Léém bouwmaterialen een open porositeit hebben, wordt de akoestische absorptiecapaciteit a priori als goed beschouwd. Dit komt omdat een deel van de akoestische energie wordt omgezet in wrijvingswarmte wanneer de geluidsgolven de lucht in de poriën in beweging brengen. De absorptiecapaciteit van het materiaal zal daarom des te groter zijn als de afwerking de poriën open laat, zonder het oppervlak glad te maken. De toevoeging van vezels aan de bodem verhoogt de open porositeit van het materiaal, wat ook een gunstige factor is. Bovendien neemt de absorptie bij lage frequenties toe naarmate de dikte van het materiaal toeneemt. [7] (p.67)

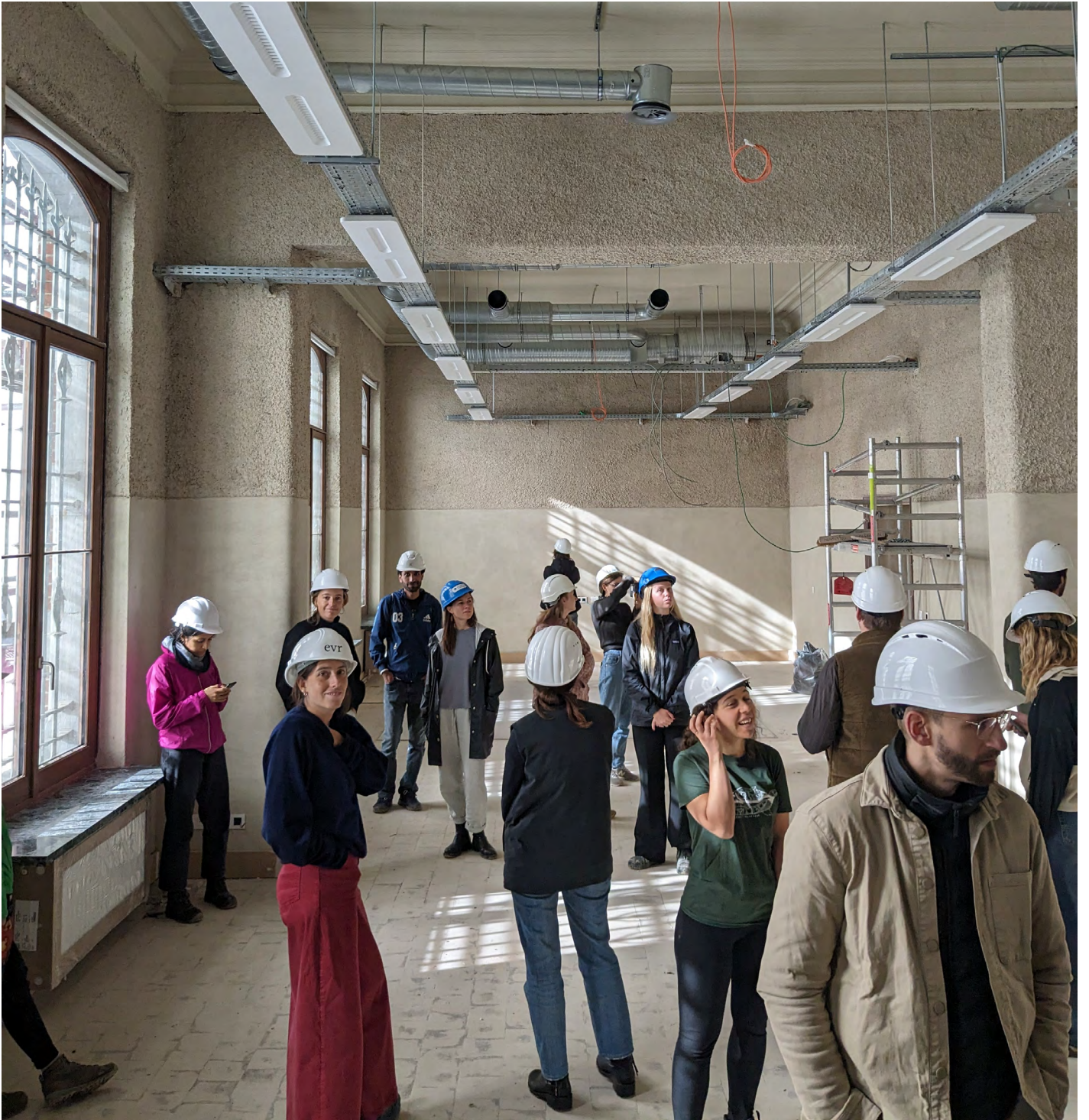
b. Structuurgeluid:

Geluid dat zich voortplant door vaste materialen, bijvoorbeeld contactgeluid. Als Léém bouwmaterialen een hoge dichtheid hebben, zullen ze beter zijn in het dempen van structuurgeluid.

Door de evenwichtige combinatie van een hoge oppervlaktedichtheid en porositeit behalen Léém bouwmaterialen uitstekende resultaten op het gebied van geluidsisolatie. Naden tussen bouwmaterialen die niet volledig zijn opgevuld en scheuren zijn echter zwakke punten voor geluidsisolatie.

Léém bouwmaterialen hebben uitstekende akoestische eigenschappen.

Parameter: Luchtgeluidsisolatie wordt gemeten aan de hand van de gewogen geluidsreductie-index R_w met toevoeging van een correctiefactor voor laagfrequent geluid Ctr.



2.2.8 Lange levensduur

De levensduur van een bouw materiaal kan worden geschat aan de hand van het aantal jaren dat het meegaat, zonder een specifieke ingreep van buitenaf (sloop,...). In de Rijn-Maas-Schelde-delta die het gebied ten noorden van Frankrijk, België, Luxemburg, Nederland en delen van Duitsland bevatten, hebben aarden gebouwen hun duurzaamheid eeuwenlang bewezen. Deze werden voornamelijk gemaakt van leembouwtechnieken zoals stroleem en vlitswerk, stamleem, adobe metselwerk en pleisterwerk. Vandaag de dag maken deze gebouwen nog steeds een groot deel uit van het huidige gebouwenbestand, vooral in Noord-Frankrijk en Duitsland. In Weilburg, Duitsland, staat een voorbeeld van een zeven verdiepingen hoog gebouw in dragende stamleem muren, gebouwd in 1830. In Hasselt, België, werd het 16e-eeuwse Tackoen-huis gebouwd in vakwerk met een kolfvulling.. Bovendien zijn veel Europese gebouwen die op de werelderfgoedlijst van Unesco staan, gemaakt met leembouwtechnieken, zoals het Alhambra in Spanje, gebouwd tussen de 13e en 15e eeuw. Ook worden in België en Nederland nog steeds aarden gebouwen uit de 15e tot 18e eeuw gebruikt door families.

Dit gebruik van leembouwtechnieken door de eeuwen heen toont zowel het potentieel als de realiteit van een lange levensduur aan, die langer is dan de beperkte levenscyclus van 50 jaar die momenteel wordt toegekend in berekeningen van levenscyclusanalyses.

Léém bouwmaterialen staan in deze traditie van lange levensduur, en tegelijkertijd zijn ze ook getest en gecertificeerd volgens onze nieuwste hedendaagse kennis. De resultaten van deze testen zijn te vinden in de Technische Fiches van de verschillende Léém bouwmaterialen, downloadbaar op de website leem.works . Het is het geheel van al deze testen dewelke de levensduur aantoont. Bepaalde specifieke testen geven echter een gedetailleerd idee van de levensduur van aanraakbare Léém bouwmaterialen: abrasietests en impacttests.

Léém bouwmaterialen zijn bestand tegen slagimpact en slijtage en hebben een lange levensduur.

Abrasie is het proces van schrapen of afslijten van het oppervlak van het bouw materiaal. Impact is het proces van plotselinge plaatselijke breuk van het bouw materiaal. Beide zijn te wijten aan slijp- en impactkrachten, schokken, ... De abrasie- en impactweerstand wordt beïnvloed door de mate van slijp- en impactkracht, de sterkte en gladheid van het oppervlak en de eigenschappen van de gebruikte aarde (cohesiesterkte, korreldistributie, korrelvorm en hoekigheid) en de aggregaten.

Parameter: Mechanische sterkteparameters inclusief abrasieweerstand (slijtvastheid) en impactweerstand (slagvastheid)
Levenscyclusanalyse die de levenscyclus van 50 jaar omvat voor Léém bouwmaterialen, dit is hetzelfde voor andere standaardmaterialen.

1. Vernacular geramd aardegebouw,
Weilburg, Germany



2. Vernaculair lel en beklad gebouw
Hasselt, Belgium.



2.2.9 Geen blootstelling aan (Radon) straling

Alle levende wezens op aarde, inclusief mensen, worden blootgesteld aan natuurlijke hoogenergetische (ioniserende) straling. Ongemodificeerde natuurlijke blootstelling bestaat uit kosmische en aardse straling en de opname van radioactief materiaal (ingenomen met voedsel). Er is tevens gemodificeerde natuurlijke blootstelling voor mensen in de vorm van bouwmaterialen en door inademing van radon in gebouwen, evenals door de mens veroorzaakte blootstelling zoals kunstmatige straling op het gebied van medische diagnostiek en therapie of als gevolg van rampen (Tsjernobyl, Fukushima,...). [10] (p.421-424)

Léém bouwmaterialen hebben geen radioactiviteit.

Bodems (klei, leem, silt, zand, gravels) kunnen over het algemeen worden beschouwd als «vrij» van natuurlijke blootstelling aan straling. (Met uitzondering van bronnen in rotsen die Radon-straling bevatten.) [10] (p.421-424) In die zin zijn Léém bouwmaterialen onschadelijk in termen van straling en worden ze dus beschouwd als stralingsvrij. (Dit is niet altijd het geval voor andere bouwmaterialen, zoals gips, dat stralingsniveaus heeft boven de referentiewaarde die als ongevaarlijk wordt beschouwd).

Parameter: Activiteitsconcentratie-index I is een indicator van radioactiviteit van bouwmaterialen.

2.2.10 Bescherming tegen Hogefrequentie Electromagnetische straling

Draadloze gegevensoverdracht en cellulaire technologie maken gebruik van hoogfrequente golven in het bereik van tenminste 10-100 kHz over het hele MHz-bereik tot 150-300 GHz. De overdracht wordt mogelijk gemaakt door een uitgebreid systeem van zenders. Dit genereert hoogfrequente elektromagnetische straling die, voor de meest voorkomende functies van cellulaire communicatie en GPS, in het frequentiebereik van 890-2170 MHz ligt. De kenmerken van HF-golven zijn vergelijkbaar met die van lichtgolven: bij impact met een object, zoals een gebouw, worden ze weerkaatst of gaan ze door het object heen, afhankelijk van de aard van het materiaal.

Léém bouwmaterialen beschermen tegen straling.

In vergelijking met andere minerale bouwmaterialen hebben Léém bouwmaterialen ($\rho_d = 1600 \text{ kg/m}^3$) een aanzienlijk hoog dempingseffect in vergelijking met verticaal geperforeerde gebakken bakstenen ($\rho_d = 1200 \text{ kg/m}^3$) en kalkzandsteenblokken ($\rho_d = 1800 \text{ kg/m}^3$) van dezelfde dikte. [10] (p.425)



3.

Richtlijnen omtrent levenseinde



Afvalbeheer is goed ingeburgerd in Europa, en meer specifiek in België. Er zijn afvalrichtlijnen en -verordeningen opgesteld om te controleren hoe standaard (bouw)materialen zoals PUR, beton, aluminium, staal, ... aan het einde van hun levensduur moeten worden verwijderd, gerecycled of hergebruikt.

Het Léém gamma wil de voordelen van leembouw op het gebied van afvalbeheer naar voren brengen. Bouwen met Léém materialen betekent lokaal bouwen recht uit de zachte korst van de aarde zonder deze chemisch te veranderen: het blijft in wezen aarde, getransformeerd in een specifieke vorm. Dit betekent dat er minimale tot geen energie wordt toegevoegd voor recycling of hergebruik. Ook het concept van verwijdering wordt op zijn kop gezet: Léém bouwmaterialen zijn omkeerbaar, wat betekent dat Léém bouwmaterialen aan het einde van hun levensduur «teruggeven» kunnen worden aan de zachte korst van de aarde. Dit vernaculaire, low-tech scenario voor het einde levensduur is niet mogelijk voor andere standaard bouwmaterialen die momenteel op de markt zijn: hoe kunnen we PUR, beton, aluminium en staal «teruggeven» aan onze planeet?

In dit hoofdstuk 3 bekijken we hoe omkeerbare Léém bouwmaterialen passen in onze huidige afvalrichtlijnen en regelgevingskaders. We stellen ook verschillende scenario's aan het einde van de levenscyclus voor die specifiek zijn voor Léém bouwmaterialen: een Take-Back programma voor Closed Loop Recycling, en de unieke hergebruikmogelijkheden van bouwmaterialen van Léém.

Opvolging van deze gesloopte stromen Léém bouwmaterialen is noodzakelijk voordat deze einde levensduur scenario's mogelijk zijn. Om de mogelijkheden van Léém bouwmaterialen aan het einde van hun levenscyclus in de onderstaande paragrafen te schetsen, gebruiken we het werk van Dr. Horst Schröder zoals naar voren gebracht in zijn werk «Duurzaam bouwen met aarde» [10].



3.1 Legaal kader

We beperken ons hier tot het vermelden van de legale kaders die van kracht zijn wanneer men bouwmaterialen wil afvoeren, recycleren of herbruiken.

Legaal kader in Europa:

De algemene beginselen met betrekking tot afval zijn momenteel vastgelegd in Richtlijn 2008/98 van het Europees Parlement en de Raad van 19 november 2008 betreffende afvalstoffen. Hieronder valt ook bouw- en sloopafval, dit zijn «afvalstoffen die geproduceerd [worden] door bouw- en sloopactiviteiten» (art. 3, 2^{quater}) Kaderrichtlijn afvalstoffen.

Legaal kader in België:

In België valt het afvalbeleid onder de bevoegdheid van de gewesten. Deze hebben de Kaderrichtlijn afvalstoffen omgezet, met hun eigen nuances of bijzonderheden.

In Vlaanderen:

Het Vlaamse decreet van 23 december 2011 betreffende het duurzaam beheer van materiaalkringloop en afvalstoffen («Materialendecreet») neemt de Kaderrichtlijn afvalstoffen over, waaruit het de definitie van «afvalstof» hanteert. De Vlaamse afvalcatalogus is terug te vinden in bijlage 2.1 van het besluit van de Vlaamse regering tot vaststelling van het Vlaams reglement betreffende het duurzaam beheer van materiaalkringlopen en afvalstoffen («Vlarema»). De relevante Vlaamse regionale administratie is de «OVAM». Bij de aanvraag van een omgevingsvergunning voor bepaalde sloop-, ontmantelings- en renovatiewerken is een 'Sloopopvolgingsplan' verplicht.

Het sloopopvolgingsplan is een hulpmiddel om selectief te slopen en selectief in te zamelen op de werf.

In Wallonie:

Het Waalse decreet van 27 juni 1996 betreffende afvalstoffen (« het waalse afvaldecreet») neemt de Kaderrichtlijn afvalstoffen vrij getrouw over, en neemt hieruit de definitie van «afvalstof» letterlijk over.

Een besluit van de Waalse regering van 10 juli 1997 («AGW-catalogus») legde de «Waalse afvalcatalogus» vast met afvalcodes op basis van de Europese afvalstoffenlijst.

Legaal kader in Brussel:

De Brudalex (Bruxelles/Brussel-Déchets-Afvalstoffen-LEX) biedt het Brussels Hoofdstedelijk Gewest een wettelijk kader aan om over te schakelen op een circulaire economie, door de administratieve rompslomp te verminderen en de selectieve ophaling en het hergebruik van afvalstoffen te stimuleren. Brudalex 2.0, dat op 23 juni 2022 is goedgekeurd, wijzigt het vorige besluit van 2016 en versterkt de overgang van het Gewest naar een meer circulaire economie.

3.2 Sloop

[10] Sustainable Building with Earth.
Springer International Publishing

De eerste actie in een scenario voor het einde levensduur van Léém bouwmaterialen is de sloop van de bouwelementen. Dit moet op een bepaalde manier gebeuren, zodat de scenario's Closed Loop Recycling en Hergebruik mogelijk worden.

«Constructies gemaakt van leembouwmaterialen worden gesloopt met behulp van mechanische methoden. De methoden moeten een gerichte recuperatie van correct gesorteerde sloopmaterialen voor recyclage mogelijk maken, in dit geval leemstenen, leemmortel, gestabiliseerde leemstenen, gestabiliseerde leemmortel, leempleister, ... [...] Bij sloopwerken aan leembouwelementen ontstaat doorgaans een grote hoeveelheid stof die een bedreiging vormt voor de gezondheid van de arbeiders. Om het stof uit de lucht weg te nemen, kunnen de te slopen bouwelementen met water worden besproeid. Dit moet zorgvuldig gebeuren vanwege de oplosbaarheid in water van de leembouwmaterialen en het mogelijke risico op vermenging van de leembouwmaterialen met andere sloopmaterialen.» [10] (p.507)

Als dit op de juiste manier wordt gedaan, kan stof worden vermeden, wat de milieu-impact van het betreffende Léém bouw materiaal aanzienlijk verlaagt (in de indicator «Particulate Matter» van een LCA-analyse).

Als er specifiek wordt gedacht aan het hergebruik van Léém bouwmaterialen, zijn de algemene principes van sloop voor hergebruik van toepassing: beheersbare logistiek, eenvoudige ontmanteling in termen van bereikbaarheid van de elementen, ontmantelingsmogelijkheden met betrekking tot aangrenzende materiaallagen, belastingsomstandigheden, ...

3.3 Voorwaarden voor recyclage van Léém bouwmaterialen

[10] Sustainable Building with Earth.
Springer International Publishing

Stortmogelijkheden worden steeds schaarser en duurder. Bouwafval vertegenwoordigt verreweg het grootste deel van het totale afvalvolume. Een vermindering van het jaarlijkse volume bouwafval zou aanzienlijk kunnen bijdragen tot een vermindering van de vraag naar stortinfrastructuur. [10] (p.510) Closed Loop Recycling- en Hergebruikstrategieën kunnen aanzienlijk bijdragen aan het verminderen van de hoeveelheid bouwafval. Er zijn echter voorwaarden om dit mogelijk te maken.

De voorwaarden [10] (p.511-512) voor hergebruik of recycling van bouwmaterialen zijn:

Technische geschiktheid:

De technische geschiktheid van Léém bouwmaterialen hangt grotendeels af van de zuiverheid van het materiaal dat tijdens de sloop is verkregen. [...]. Wat de bruikbaarheid betreft, zijn er tot nu toe geen technische vereisten met gekwantificeerde criteria voor gerecycleerde leemmateriale geformuleerd. [10] (p.512)

Milieuveiligheid:

Tijdens de levensduur van het gebouw of de constructie kunnen de leembouwelementen worden blootgesteld aan een aantal stoffen. Dit kan het hergebruik van deze leembouwmaterialen beperken of uitsluiten. In sommige gevallen kan deze blootstelling zelfs leiden tot problemen met de milieuveilige verwijdering van de materialen. Hieronder vallen:

- Zouten
- Luchtvervuilende stoffen
- Droogrot en schimmel
- Hygiënische problemen, zoals de binding van geuren en ziektekiemen in ontmantelde veestallen. [10] (p.512-513)

[10] (p.512-513)

Meer specifiek: «De kristallisatie van zouten in een bouwelement, vaak gekoppeld aan een opeenhoping van vocht, leidt tot een toename van het volume. De volumetoename en de herhaalde vries-dooicycli vernietigen de structurele sterkte van de leembouwmaterialen in de aangetaste zone. De lagere sterkte van leembouwmaterialen in vergelijking met bakstenen en cementblokken leidt tot een sneller verval van het materiaal. Schelpachtige afschilfering van de losgeraakte gebieden leidt tot een verzwakking van de structureel effectieve doorsnede van de dragende buitenmuren (Fig. 5.13). Als gevolg hiervan wordt het met zout beladen materiaal aan de buitenkant vrijwel verpulverd. Door de chemisch veranderde kleimineralen gaan de plastische eigenschappen (en ook de cohesiesterkte van de materiaal) grotendeels verloren. Dit beperkt of verhindert het hergebruik van het materiaal als gerecyclede aarde.» [10] (p.429)

BC materials heeft een interne kwaliteitscontroleprocedure om de technische geschiktheid en milieuveiligheid van gerecyclede Léém bouwmaterialen vast te stellen.

[10] Sustainable Building with Earth.
Springer International Publishing

Hoogte cm	Diagram	Naam	Chemische Formule	Oplosbaarheid per 100 ml water
50		Calciumnitraat	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	226
		Natriumnitraat	NaNO_3	92
		Calciumchloride	CaCl_2	75
		Haliet	NaCl	39
		Kaliumchloride	KCl	24
20		Glauber's zout	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	92
		Magnesiumsulfaat	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	71
		Kaliumnitraat	KNO_3	13
0		Gips	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.3

Types en verspreiding van schadelijke zouten rond de fundering en muuraanzet [10] (p.429)

3.4 Scenario's voor einde levensduur

[10] Sustainable Building with Earth.
Springer International Publishing

Als de voorwaarden voor recycling of hergebruik worden nageleefd, zijn er verschillende scenario's mogelijk aan het einde levensduur van een Léém bouw materiaal:

Hergebruik: Hergebruik van leemstenen voor leemsteen metselwerk, waarbij de leemstenen voor hetzelfde doel worden gebruikt, vormt de hoogst mogelijke strategie voor waardebehoud en is dus het meest wenselijk. Dit is te danken aan het feit dat het verwerkte werk (entropie) dat werd toegepast op het leembouw materiaal behouden blijft in het «gevormde» bouw materiaal zelf.» [10] (p.520) De gerecupereerde leemsteen is al klaar om opnieuw te worden gemetseld op dezelfde (of een andere) bouwplaats. Hetzelfde principe geldt voor andere Léém bouw materialen zoals Léém Pleister, die van de muur kan worden geschraapt en ter plaatse opnieuw kan worden gemengd met water en kan worden aangebracht zonder kwaliteitsverlies: er is geen recycling interventie nodig door een materiaal producent zoals BC materials.

Closed Loop Recycling: Closed Loop Recycling is een recycleerproces waarbij een gefabriceerd product zonder noemenswaardige afbraak of afval weer wordt gerecycleerd tot zichzelf of tot een soortgelijk product. Het recyclen van Léém bouw materialen in een gesloten kringloop kan gebeuren door ze te vermalen of te breken en opnieuw te vormen, al dan niet gemengd met nieuwe Léém grondstoffen. In Closed Loop Recycling worden nieuwe Léém bouw materialen (deels) gemaakt van gesloopte Léém bouw materialen met minimale energietoevoeging: het is een energiezuinige Closed Loop Recycling.

Open Loop Recycling: Open Loop Recycling is een recycleerproces dat de verwijdering van afval uitstelt door gefabriceerde producten om te zetten in zowel nieuwe secundaire grondstoffen als afvalproducten. Voor Léém bouw materialen zou men zich soortgelijke processen kunnen voorstellen als bijvoorbeeld het wassen van overtollig vers beton, om bepaalde fracties zand en grind terug te winnen terwijl het fijnere materiaal wordt verwijderd. Open Loop Recycling voor Léém bouw materialen is dus een technische mogelijkheid, maar er moet worden bekeken of het opzetten van een dergelijk proces een toegevoegde waarde heeft voor het milieu en/of de economie.

Downcycling: Downcycling is een recycleerproces waarbij het resulterende product een lagere waarde heeft dan het oorspronkelijke. Gerecycleerde Léém bouw materialen (bv. Die met schade door zouten) kunnen in een proces van downcycling ook worden gebruikt als vulmateriaal in de bodeminfrastructuurwerken. Hetzelfde geldt voor Léém bouw materialen die besmet zijn met sporen van droogrot of die komen uit agrarische gebouwen. [10] (p.520-522) De te downcyclen materialen moeten voldoen aan de limieten van milieubelastende stoffen voor bodemgebruik volgens de richtlijnen en voorschriften van de 3 Belgische gewesten.

Verwijdering van Léém bouw materialen: «Zelfs als alle recyclingmaatregelen worden geïntensiveerd, is het niet altijd mogelijk om resterende leembouw materialen terug te brengen in de materiaalkringloop. In dit geval kan de verwijdering ervan als 'inert afval' niet worden vermeden.» [10] (p.522) In termen van verwijderingsscenario's is het informatief om 4 categorieën Léém bouw materialen te onderscheiden:

- Bodemhoudend: bevat enkel natuurlijke klei, silt, zand en grind: Léém Pleisters, Léém Vormstenen, Léém Mortel
- Cellulosehoudend: bevat cellulose bovenop natuurlijke klei, silt, zand en grafk: Léém Dunpleister, Léém Verf, Léém Lijmmortel
- Gerecycleerd–betonhoudend: bevat gerecycleerd beton bovenop natuurlijke klei, silt zand: Léém Mengsel Stampleem
- Cementhoudend: bevat cement bovenop natuurlijke klei, silt, zand en gerecycled beton: Léém Persstenen

Nu kan men zich de vraag stellen of Léém bouwmaterialen waarvan is getest dat ze alleen uit aarde bestaan (bodemhoudende, en misschien ook cellulosehoudende Léém bouwmaterialen) eerder als «bodem» dan als «inert afval» moeten worden behandeld. Immers, voor bodem zijn verschillende minder impactvolle verwijderingsstrategieën beschikbaar: landschapsarchitectuur, agrarisch gebruik, ... of een terugkeer naar de zachte aardkorst. Het huidige wettelijke kader in België laat deze verwijderingsstrategie echter niet toe. We zijn van mening dat dit onderwerp op de maatschappelijke tafel moet komen wanneer de leembouwsector aan belang en marktaandeel wint.

Voorlopig moedigen we zoveel mogelijk aan om Léém bouwmaterialen te Hergebruiken of het Léém Take-Back programma te gebruiken voor Closed Loop Recycling (zie paragraaf 3.5).

De tabel hieronder toont enkele mogelijke toepassingen van gerecycleerde Léém bouwmaterialen:

No.	Leembouw materiaal	Hergebruik door ontmanteling	Hergebruik door voorbereiding + vorming	Closed Loop Recycling at BC materials	Downcycling	Opmerking
1	Stampleem		✓	✓	✓	
2	Stroleem		✓		✓	
3	Stroleem met vlitswerk		✓		✓	
4	Lichtleem				✓	
5	losse vulling	✓				
6	Gevormde leemstenen	✓	✓	✓	✓	
7	Geperste gestabiliseerde leemstenen	✓		✓	✓	
8	Leemplaten	✓			✓	Houd rekening met oppervlaktecoating
9	Leemmortel		✓	✓	✓	Houd rekening met oppervlaktecoating
10	Leempleister		✓	✓	✓	Houd rekening met oppervlaktecoating

mogelijke recyclage van leembouwmaterialen [10] p.520

3.5 Take-back programma van Léém

Voor Léém Pleisters, Léém Mortels, Léém Stenen, Stampléém en Léém Dekvloer heeft BC Materials een Take-Back-programma opgezet, enkel als deze vrij zijn van niet-leembouwmaterialen, vrij van schadelijke stoffen (NI en NA van Brussels Gewest en Vlaams Gewest Vlarebo), asbest, PCB, PFAS en zouten (DIN18945). Dit zijn de voorwaarden voor «terugname» in afzonderlijke stromen voor de volgende Léém bouwmaterialen:

Léém Vormstenen:

Gerecupereerde, onbeschadigde Léém Vormstenen moeten handmatig worden ontdaan van vastzittende mortelresten. Ze moeten worden gestapeld en opgeslagen op Europalet, beschermd tegen weersinvloeden. BC Materials beoordeelt welke stenen kunnen worden geaccepteerd voor Hergebruik en welke voor Closed Loop Recycling.

Léém Persstenen:

identiek aan Léém Vormstenen

Léém Pleister, Léém Mortel:

Gerecupereerde Léém Pleister, Léém Mortel moet vrij zijn van andere bouwmaterialen en worden gebracht in bigbags of na goedkeuring in bulk.

Léém Metselwerk:

Gerecupereerde gesloopt metselwerk van leemstenen met resten van leemmortel moet vrij zijn van andere bouwmaterialen en worden gebracht in bigbags of, na goedkeuring, in bulk.

Stampléém:

Gerecupereerde stampléem moet vrij zijn van andere bouwmaterialen en worden gebracht in bigbags of, na goedkeuring, in bulk.

Léém Dekvloer:

Gerecupereerde aangestampte aarde moet vrij zijn van andere bouwmaterialen en worden gebracht in bigbags of na goedkeuring in bulk.

3.6 LCA-baten van Closed Loop Recycling en hergebruik

Een levenscyclusanalyse van een bouw materiaal is een kwantificeerbare evaluatie van de milieu-impact in de eenheid van millipunten (zie Sectie 2). In een levenscyclusanalyse volgens EN 15804 hebben de einde-levensduurscenario's "Closed Loop Recycling" en "Hergebruik" gunstige effecten in de modules A1-A3, C1-C4 en D:

Module A1 voordelen:

Geen of minder primaire grondstoffen nodig bij gebruik van gerecupereerde materialen als secundaire grondstoffen.

Module A2 en A3 voordelen:

Geen impact op transport of productie bij hergebruik van Léem bouwmaterialen.

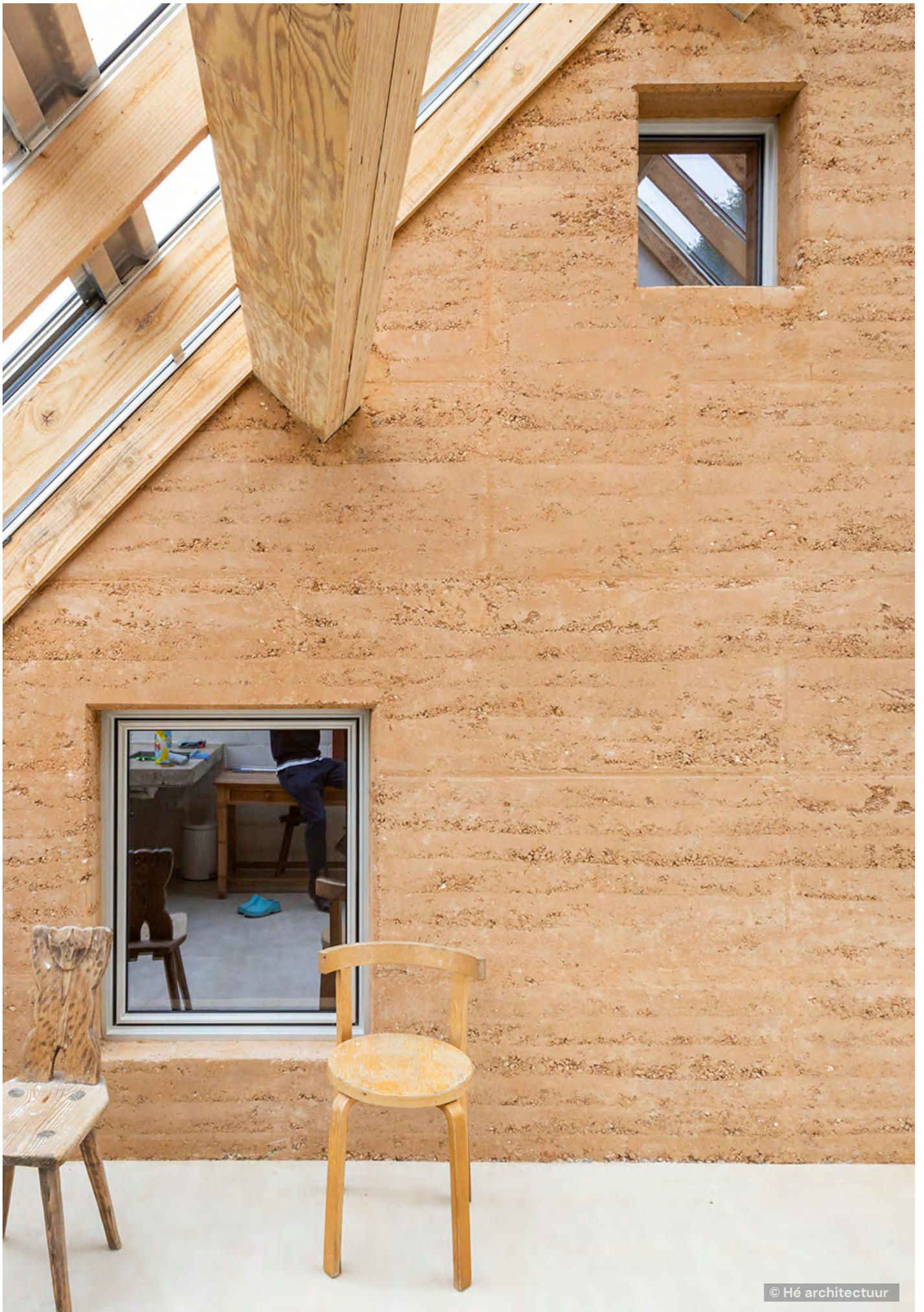
Module C1-C4 voordelen:

De middelen die nodig zijn voor het recupereren van een Léem bouw materiaal als secundaire grondstof worden bepaald als inputfactoren in modules C1-C3. Deze middelen zijn minder dan wanneer deze materialen zouden worden weggegooid en er nieuwe materialen zouden moeten worden geproduceerd van 100% primaire grondstoffen. Vanzelfsprekend wordt fase C4 Verwijdering ook geëlimineerd. Wanneer de materialen op de juiste manier worden bevochtigd, wordt in module C1 de indicator voor "Particulate Matter" aanzienlijk verlaagd omdat stofproductie wordt voorkomen.

Module D baten:

De netto outputfactoren van enerzijds Closed Loop Recycling of Hergebruik van de gerecupereerde secundaire grondstoffen en anderzijds de substitueerbare primaire grondstoffen voor de productie van een Léem bouw materiaal worden geëvalueerd.

Een lagere milieu-impact is de belangrijkste drijfveer om over te gaan tot Hergebruik of Closed Loop Recycling van Léem bouwmaterialen.



© Hé architectuur

4.

Bibliografie

1. Confédération de la construction en terre crue. Guide des bonnes pratiques de la construction en terre crue – Brique de terre. Edited by Ministère de la cohésion des territoires et des relations avec les collectivités territoriales. Ministère de la transition écologique et solidaire, 15 octobre 2020.
2. CSTB, and Briques Technic Concept. ATEx A BTC 2957_V1. Murs porteurs BTCS. 5 octobre 2021.
3. CSTB, and SCIC Cycle Terre. ATEx 2991_V1. Parement intérieur. 1 février 2022.
4. CSTB, and SCIC Cycle Terre. ATEx A 2990_V1. Maçonnerie de remplissage. 1 février 2022.
5. CSTB, and SCIC Cycle Terre. Cloisons BTC. 10 Mai 2021.
6. CSTC. NIT 271. Exécution des maçonneries.
7. Cycle Terre. Guide de conception et de construction. Mai 2021.
8. Institut allemand de normalisation. DIN 18940. Maçonnerie porteuse en terre crue. octobre 2022.
9. Morton, Tom. Earth Masonry: Design and Construction Guidelines. IHS BRE Press, 2008.
10. Schroeder, Horst. Sustainable Building with Earth. Springer International Publishing, 2015.
11. Wienerberger. Rouge. La Force.
12. Klinge, Andrea, and al. "Chapitre 32: The Relevance of Earthen Plasters for Eco Innovative, Cost-Efficient and Healthy Construction—Results from the EU-Funded Research Project [H]house." *The Extracellular Matrix: Methods and Protocols*, edited by Davide Vigetti and Achilleas D. Theocharis, Springer New York, 2019, pp. 371-382.
13. Klinge, Andrea, and al. NATURALLY VENTILATED EARTH TIMBER CONSTRUCTIONS (Conference Expanding Boundaries: Systems Thinking for the Built Environment). Conference paper. Zurich, 15-17 June 2016.
14. SIPIZ Laboratoire d'incendie, and Terrabloc. Rapport d'essai Nr. PB 128 001 2022 (Blocs). 24 octobre 2022.
15. SIPIZ Laboratoire d'incendie, and Terrabloc. Rapport de test Nr. PB 128 001 2021 (Plaques). 5 juillet 2021.
16. Empa, and Terrabloc. Rapport d'essai n° 5214027285 (Terraplaç). 1 juillet 2021.
17. Dachverband Lehm e. V. Lehmbauregeln. 3. Auflage, Vieweg + Teubner ed., 2009.

18. Institut allemand de normalisation. DIN 18945: Blocs de terre – Exigences, essai et étiquetage. Décembre 2018.
19. Institut allemand de normalisation. DIN 18946: Mortier de terre pour maçonner – Exigences, essai et étiquetage. December 2018.
20. Graham, C.W., et al. MOVEMENT COEFFICIENTS OF COMPRESSED EARTH MASONRY UNITS. 10th Canadian Masonry Symposium, Banff, Alberta, June 8 – 12, 2005, June 2005.
21. Sutton, Andy, et al. "Unfired clay masonry." Edited by University of Bath. Information paper, vol. 16/11.
22. CSTC. NIT 284: Les enduits intérieurs. Novembre 2022.
23. GUILLAUD, H. (2006) TRAITE DE CONSTRUCTION EN TERRE. Place of publication not identified: PARENTHESSES EDITIONS.
24. Institut allemand de normalisation. DIN 18947: Mortier de terre pour enduit – Exigences, essai et étiquetage. Décembre 2018.
25. Shakantu, Winston, et al., The hidden cost of transportation of construction materials: An overview, Journal of Engineering Design and Technology 1(1):103–118, December 2003
26. Pisman, A., Vanacker, S. (2021). Diagnosis of the State of the Territory in Flanders. Reporting About New Maps and Indicators Differentiating Between Urban and Rural Areas Within Flanders. In: Smart and Sustainable Planning for Cities and Regions. SSPCR 2019. Green Energy and Technology. Springer, Cham.
27. Beleidsplan Ruimte Vlaanderen, <https://omgeving.vlaanderen.be/nl/beleidsplan-ruimte-vlaanderen>
28. Schéma de développement du territoire (SDT), https://lampspw.wallonie.be/dgo4/site_amenagement/amenagement/sdt
29. Bleby, Michael, Embodied water' is the latest challenge for the building industry, <https://www.afr.com/property/commercial/construction-s-next-cost-challenge-embodied-water-20230328-p5cvvm>
30. A. Janssen, L. Delem, L. Wastiels, and J. Van Dessel, Rapport n° 17 : Principes et aspects importants pour le choix de matériaux de construction durables, 2016

5. Erkenningen en credits

Deze Algemene Gids van Léém is een compilatie door BC Materials van de meest recente onderzoekspublicaties, technische goedkeuringen en normen in Duitsland en Frankrijk, aangevuld met specifiek extra onderzoek en ervaring door BC Materials en Buildwise met betrekking tot een Benelux-context. Het zou niet mogelijk geweest zijn zonder de inbreng van volgende mensen. Met dank aan

Dr.-Ing. Horst Schröder voor zijn gedegen boek "Sustainable building with earth" en zijn baanbrekende werk aan het EPD-framework van leembouwmaterialen, en Ing. Stephan Jörchel van Dachverband Lehm bau voor zijn facilitering.

Deze gids is gefinancierd door het EU - NextGeneration EU-fonds.



**Gefinancierd door
de Europese Unie**

NextGenerationEU

We hebben ons best gedaan om alle verwijzingen naar tekst en afbeeldingen in deze gids duidelijk te maken. Als er geen verwijzing wordt gevonden, kan BC materials worden beschouwd als de auteur. Neem contact met ons op via info@bcmaterials.org als u tekst of afbeeldingen ontdekt waarnaar niet of verkeerd wordt verwezen.

Alle inhoud in deze gids die is gemaakt door BC materials valt onder een Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License. Neem eerst contact met ons op als u deze inhoud voor commerciële doeleinden wilt gebruiken.

