



GREEN ROOFS UP!

SAMEN VOOR MEER KWALITATIEVE GROENDAKEN

EINDRAPPORT

DEEL 2. VERDUURZAMEN GROENDAKSUBSTRAAT

TETRA project met financiële ondersteuning van VLAIO

Een samenwerking tussen Hogeschool PXL, WTCB en UHasselt

2020-2022

AGENTSCHAP
INNOVEREN &
ONDERNEMEN



Vlaanderen
is ondernemen

Onderzoekspartners

Volgende onderzoekspartners werkten mee aan dit onderzoek:



Van Mechelen Carmen - Projectcoördinator; Onderzoek PXL Bio-Research

De Vocht Alain - Onderzoekshoofd expertisecel PXL Bio-Research

Gyselinck Thomas - Onderzoek PXL Bio-Research

Gilissen Koen - Onderzoek PXL Smart ICT

Martens Ward - Onderzoek PXL Smart ICT

Vreys Frederik - Onderzoekshoofd cluster Elektronische Engineering



Noirfalis Edwige - Sectorale Coördinator Technische Comités en Hoofdprojectleider Isolatie, dichting en daken

Mahieu Eddy - Afdelingshoofd Technisch Advies

Wastiels Lisa - Labohead Milieuprestatie

Vrijders Jeroen - Labohead en Program Manager Duurzame & Circulaire Oplossingen

de Roissart Eléonore - Onderzoekster Labo Duurzame & Circulaire Oplossingen



Lizin Sébastien - Assistant professor in environmental economics

Moons Toon - Onderzoeksmidewerker en onderwijsassistent Economie en Beleidmanagement (PEC)

Sallaerts Laura - Onderzoeker Centrum Overheid en Recht (CORE)



Kadering

Groendaken zijn zeer breed toepasbaar en de vraag hiernaar blijft stijgen. Een logisch gevolg hiervan is dat er de laatste decennia verschillende ondernemingen mee op de kar van deze groendak 'revolutie' zijn gesprongen. Terwijl de publieke sector, goed voor 75% van de aanvraag voor een groendak, een belangrijke rol speelt in deze bloeiende economische sector, woedt er een hevige concurrentiestrijd tussen de bedrijven. De keuze van het type groendak en de vegetatie hangt af van de dialoog tussen de opdrachtgever, de (tuin)architect, eventueel de ecooloog en de bedrijven die de werkzaamheden en het onderhoud uitvoeren. De groendaksector kaart aan dat deze groendak 'revolutie' heeft geleid tot een sterke versnippering van de beschikbare kennis. Er is geen uniformiteit meer qua materialen, geen overzicht en te weinig kwaliteitsbewaking van de producten op de markt, de bestaande richtlijnen zijn verouderd en laten te weinig ruimte voor innovatie.

Een tweede probleem is dat veelal geopteerd wordt voor de meest goedkope oplossing, namelijk een extensief groendak met vetplanten op een zo dun mogelijke laag substraat. Dit systeem heeft zeker zijn plaats in het marktaanbod, vooral wanneer de draagkracht van het gebouw beperkt is. In het kader van klimaatrobustheid van steden zijn er alternatieve groendaksystemen (o.a. dikker substraat, meer biodiversiteit) die meer uitgesproken voordelen bieden, zeker wat betreft wateropvang, temperatuurmitigatie en afvang fijn stof!

Last but not least stelt de groendaksector ook de duurzaamheid van zijn eigen materialen in vraag. Zo bestaat het substraat grotendeels uit poreus gesteente (vaak lavagesteente) afkomstig uit Duitsland. Dit is a) niet duurzaam te noemen omdat het materiaal niet lokaal ontgonnen en dus duurder is en b) er dreigt een naderende uitputting van de groeves. Er is dus dringend nood aan alternatieve, lokale materialen voor gebruik in groendaksubstraat, die liefst ook nog eens passen binnen het verhaal van de circulaire economie.

Doelstellingen

Het project GREEN ROOFS UP! heeft als globaal doel om een transitie teweeg te brengen die zal zorgen voor meer kwaliteit, uniformiteit en innovatie in de groendaksector. Zowel de ondernemingen als het stadsklimaat en milieu zullen positief beïnvloed worden door toepassing van goed onderbouwde richtlijnen en kennisverhoging rond alternatieve groendaksystemen en duurzamere substraatmaterialen. Kennisuitwisseling tussen ondernemingen en onderzoekers staat in deze transitie centraal.

Doel 1: Vernieuwing richtlijnen

Formuleren en verspreiden van realistische, onderbouwde richtlijnen die meer uniformiteit in de groendaksector en een verschuiving naar meer functionele groendaksystemen in de hand werken. De rode draad doorheen het project is het updaten van de bestaande richtlijnen uit de Technische Voorlichting (WTCB, 2006). Dit doen we via thematische werkgroepen. Het resultaat is een meteen toepasbaar adviesrapport.

Doel 2: Verduurzamen groendaksubstraat

De groendaksector opties bieden om hun substraten te verduurzamen met lokale materialen. Bouwmaterialen uit de circulaire economie worden geselecteerd en getest voor toepassing in groendaksubstraat. Voor ieder materiaal wordt een milieuprofiel opgesteld en zal een businessplan opgemaakt worden waarmee fabrikanten uit de doelgroep marktgericht kunnen innoveren.

Doel 3: Demonstratie groendaksystemen ikv klimaatrobustheid

Via een kwantitatieve benadering de functionaliteit in termen van klimaatrobustheid van verschillende standaard en alternatieve groendaksystemen achterhalen. Een demodak met verschillende groendaksystemen wordt geïnstalleerd en opgevolgd.

Begeleidingsgroep



Groendakindustrie

Green Building Projects bv
EcoWorks
IBIC bv
Tectum Group
Natuuroof bv
Vice Verda bvba
Zolderse Dakprojecten
EMC Green Roofs
Groenpalet bv
Sedum Extra bvba
Canopy

(Groen)aannemers / ontwerpers

Clement Karl bvba
Kringkels nv
Stiersco bvba
Van Vlieden
Zicht op groen
GR&OM

Beleid

Stad Gent; Dienst Milieu en Klimaat
Provincie Limburg; Dienst Milieu en Natuur
OVAM
Departement Omgeving

Federaties/Verenigingen

Belgische Federatie Dak- en Gevelgroen (BFDG)
Confederatie Bouw; Cluster Complementaire Bedrijven (FEDECOM)
Belgische Federatie Groenvoorzieners (BFG-FBEP)
Vlaamse Confederatie Bouw
Groen Groeien

Kennisinstellingen/Innovatie

Proefcentrum Sierteelt (PCS)
COPRO vzw
Consortium TETRA WonderWalls
KU Leuven Afdeling Bos, Natuur en Landschap
Sioen Industries nv
Federal Eco Foam bv

Sector aan het woord

‘Aanleg van kwalitatieve groendaken, biodiversiteit en waterbuffering zijn voor ons speerpunten om naar te werken.’ **Belgische Federatie Gevel- en Dakgroen**

‘Dagelijks komen wij lastenboeken tegen waarbij verschillende opbouwen door elkaar worden voorgesteld. De Belgische markt heeft nood aan bijschaving van de kennis rond extensieve en intensieve groendaken.’ **EMC Green Roofs**

De groendakaanleg moet degelijk gebeuren zodat de werking en de positieve effecten in het kader van de strijd tegen klimaatopwarming en verbeterd wooncomfort optimaal tot uiting komen.’ **Groenpalet**

Termen als duurzaamheid, stormwatermanagement, klimaatverandering en biodiversiteit zijn aan de orde van de dag. We moeten blijven experimenteren en innoveren voor een groenere wereld.’ **SedumExtra**

INHOUD

1	Inleiding	9
2	Selectie van alternatieve substraten uit urban mining.....	10
2.1	Technische kenmerken klassiek substraatmateriaal	10
2.2	Technische kenmerken alternatieve materialen.....	11
2.2.1	Gemalen rode baksteen	11
2.2.2	Gerecycleerd menggranulaat + cellenglas.....	12
2.2.3	Gebroken dakpannen + cellenglas	13
2.3	Conclusie technische kenmerken	14
3	Levenscyclusanalyse of LCA	14
3.1	Inleiding	14
3.2	Scope.....	15
3.3	Milieu-impact referentiesubstraat.....	16
3.3.1	Samenstelling	16
3.3.2	Resultaten	17
3.4	Milieu-impact alternatieve substraatmaterialen	18
3.5	Conclusie LCA	19
4	Marktstudie.....	20
4.1	Marktstudie klassiek substraatmateriaal	20
4.1.1	Vraag en aanbod	20
4.1.2	Prijs.....	21
4.2	Marktstudie gemalen rode baksteen	21
4.2.1	Vraag.....	22
4.2.2	Aanbod	22
4.2.3	Prijs.....	22
4.2.4	Conclusie marktstudie gemalen rode baksteen	23
4.3	Marktstudie gerecycleerd menggranulaat + gebroken cellenglas	23
4.3.1	Vraag.....	23
4.3.2	Aanbod	23
4.3.3	Prijs.....	24
4.3.4	Conclusie marktstudie gerecycleerd menggranulaat + cellenglas	24
4.4	Marktstudie dakpannen + gebroken cellenglas	25

4.4.1	Vraag.....	25
4.4.2	Aanbod	25
4.4.3	Prijs.....	26
4.4.4	Conclusie marktstudie dakpannen + gebroken cellenglas.....	26
4.5	Vergelijking marktstudie alternatieve materialen	26
5	Conclusie	28
6	Literatuur	29
7	Bijlage.....	31

Lijst met figuren

Figuur 1 Samenstelling proefvlakken alternatieve materialen	9
Figuur 2 LCA van een bouwproduct, gebouwelement of gebouw, volgens EN 15804:2012+A2:2019 (CEN, 2019).	15
Figuur 3 Milieu-impact van 1 m ³ referentiesubstraat per levenscyclusfase	17
Figuur 4 Relatieve bijdrage van de grondstoffen aan de milieu-impact (1 m ³ substraat)	18
Figuur 5 Vergelijking milieu-impact substraten verdeeld over de levenscyclusfasen per m ³ substraat	19
Figuur 6 Jaarlijkse groei extensieve groendaken in m ²	20
Figuur 7 Verdeling afvalstromen Maes Recycling.....	25

Lijst met tabellen

Tabel 1 Technische kenmerken klassiek substraatmateriaal (op basis van gemiddelden van verschillende commerciële groendaks substraten beschikbaar op de Europese markt)	11
Tabel 2 Technische kenmerken gemalen rode baksteen.....	11
Tabel 3 Technische kenmerken gerecycleerd menggranulaat en cellenglas.....	13
Tabel 4 Technische kenmerken gebroken dakpannen en cellenglas	14
Tabel 5 Reikwijdte, LCA-parameters en methodologie gebruikt binnen deze studie.	16
Tabel 6 De verschillende grondstoffen voor groendaks substraten met hun herkomst en transport en de gebruikte Ecoinvent records.	17
Tabel 7 B2B en B2C prijzen lavagesteente	21
Tabel 8 B2B en B2C prijzen gemalen rode baksteen.....	23
Tabel 9 B2B prijzen gerecycleerd menggranulaat en gebroken cellenglas	24
Tabel 10 B2B prijs dakpannen en gebroken cellenglas.....	26
Tabel 11 Potentiële vraag, beschikbaar aanbod en B2B prijs alternatieve materialen.....	26

1 INLEIDING

In het kader van doelstelling 2 van het “TETRA Green Roofs Up!”-project, om de groendaksector opties te bieden om hun substraten te verduurzamen met lokale materialen, werden vier urban mining bouwmaterialen geselecteerd en getest in drie alternatieve groendaksubstraten. In dit hoofdstuk zal voor ieder gekozen materiaal aan de hand van een Life Cycle Assessment (LCA) een milieuprofiel uitgewerkt worden. Hiernaast is voor elk materiaal ook een marktstudie uitgevoerd waarmee fabrikanten uit de doelgroep marktgericht kunnen beslissen om te innoveren of niet.

Momenteel bestaat het substraat grotendeels uit poreus gesteente (vaak lavagesteente) afkomstig uit het Eifelgebied in Duitsland. We verwachten dat dit niet duurzaam kan genoemd worden aangezien het materiaal niet lokaal ontgonnen wordt en dus duurder is en ten tweede dreigt er een naderende uitputting van de groeves (Vijayaraghavan 2016). Er is dus dringend nood aan alternatieve substraatmaterialen. Urban mining kan hiertoe ingezet worden. Hierbij worden gebruikte materialen uit bestaande gebouwen gewonnen en vervolgens hergebruikt. Uit een groep van tien potentiële alternatieve materialen werden vier materialen gekozen om verder getest te worden: gebroken rode baksteen, gerecycleerd gemengd gebroken dakpannen (dakpannen) en gebroken cellenglas. De samenstelling van de substraten met deze alternatieve materialen is op onderstaande figuur te zien.

Gemalen rode baksteen (90%)	Gerecycleerd gemengd aggregaat (45%)	Gebroken dakpannen (45%)
	Gebroken schuimglas (45%)	Gebroken schuimglas (45%)
Compost (10%)	Compost (10%)	Compost (10%)
Alternatief substraat 1	Alternatief substraat 2	Alternatief substraat 3

FIGUUR 1 SAMENSTELLING PROEFVLAKKEN ALTERNATIEVE MATERIALEN

Figuur 1 laat zien dat in het eerste proefvlak enkel gebroken rode baksteen wordt gebruikt als alternatief materiaal, in combinatie met een kleine hoeveelheid compost. Hiernaast wordt in de andere twee proefvlakken gebroken cellenglas gebruikt in combinatie met gerecycleerd menggranulaat of gebroken dakpannen. Hier zijn twee redenen voor. Ten eerste zijn het gerecycleerd menggranulaat en de gebroken dakpannen beide materialen met een hoog gewicht, waardoor het dak te zwaar zou worden als het substraat voor 90% uit deze materialen zou bestaan. Hierdoor moeten deze materialen dus gecombineerd worden met een lichter materiaal, namelijk cellenglas. Hiernaast compenseert cellenglas ook voor de minder ideale technische kenmerken van de andere materialen. Dit wordt verder in secties 2.2.2. en 2.2.3. besproken.

2 SELECTIE VAN ALTERNATIEVE SUBSTRATEN UIT URBAN MINING

Voor de selectie van alternatieve materialen afkomstig uit urban mining processen, werd hun beschikbaarheid en hun potentieel voor gebruik in groendaksubstraat bepaald op basis van hun technische eigenschappen. Hiervoor werden in eerste instantie de essentiële technische eigenschappen van de minerale fractie van groendaksubstraat opgezocht. Op basis hiervan werden vervolgens alternatieve substraatmaterialen met gelijkaardige technische kenmerken voorgesteld. Dit wordt in onderstaande sectie toegelicht.

2.1 TECHNISCHE KENMERKEN KLASSIEK SUBSTRAATMATERIAAL

Dit deel bespreekt de technische kenmerken van de minerale fractie van groendaksubstraten. De Duitse FLL richtlijnen werden geraadpleegd om informatie op te zoeken over de belangrijkste en minder essentiële technische eigenschappen van de materialen. De FLL richtlijnen worden in Duitsland erkend als de 'krijtlijnen' voor het plannen, aanleggen en onderhouden van groendaken (Breuning and Yanders 2008).

De FLL richtlijnen beschouwen het groendaksubstraat als één geheel. Echter zijn de commercieel beschikbare groendaksubstraten hoofdzakelijk opgebouwd uit een minerale fractie (90-95 volume%) aangevuld met een kleine organische fractie (5-10 volume%). De bedoeling van deze studie is om alternatieven voor de minerale fractie te vinden. Daarom beschouwen we hier enkel de eigenschappen die sterk beïnvloed worden door deze minerale fractie. Onder deze eigenschappen horen: bulkdensiteit, porositeit, waterdoorlaatbaarheid en waterretentie. Eigenschappen zoals pH, hoeveelheid organisch materiaal en nutriënten werden niet nader beschouwd, omdat ze meer beïnvloed worden door de organische fractie dan de minerale fractie. Ook korrelgrootte werd niet als een limiterende parameter beschouwd omdat het door fysische processen van de minerale fractie eenvoudig kan wijzigen.

Bulkdichtheid is een fysieke eigenschap van materialen die berekend wordt door het gewicht van een materiaal te delen door het volume dat het materiaal inneemt. Het geeft weer hoeveel kg een materiaal per m³ weegt. Porositeit is het volume van leegtes in een materiaal in vergelijking met het totale volume van dit materiaal. Dit wordt uitgedrukt in % volume van het materiaal. Waterdoorlaatbaarheid geeft weer hoeveel mm water er door het materiaal kan stromen per minuut. Dit hangt sterk samen met de porositeit van het materiaal. Waterretentie geeft aan hoeveel water een materiaal kan vasthouden in verhouding tot zijn volume. Deze eigenschap hangt ook sterk samen met de porositeit van het materiaal. Het wordt opnieuw uitgedrukt in % volume van het materiaal.

Tabel 1 toont de technische eigenschappen die als essentieel worden beschouwd om de minerale fractie voor groendaksubstraten te selecteren. Zowel de FLL richtlijnen als een indicatie van commerciële groendaksubstraten 'kenmerken klassiek substraat' worden in de tabel weergegeven. De 'kenmerken klassiek substraat' zijn gemiddelde waarden en werden voor dit project berekend door technische fiches van verschillende commerciële groendaksubstraten in Europa te vergelijken.

TABEL 1 TECHNISCHE KENMERKEN KLASSEK SUBSTRAATMATERIAAL (OP BASIS VAN GEMIDDELDEN VAN VERSCHILLENDE COMMERCIËLE GROENDAKSUBSTRATEN BESCHIKBAAR OP DE EUROPESE MARKT)

Belangrijke technische kenmerken	Kenmerken klassiek substraat	Richtlijnen FLL
Bulkdichtheid	750-1100 kg/m ³	/
Porositeit	50-75 % van volume substraat	35-65
Waterretentie	20-50 % van volume substraat	≥ 10
Waterdoorlaatbaarheid	0,30-70 mm/min	0,6-70
Minder belangrijke technische kenmerken		
pH-waarde	6-8.5 pH	6-8,5 pH
Verdeling deeltjesgrootte	Maximale grote deeltjes: 12 mm	/
Aanwezigheid organisch materiaal	<65 g/l	<65 g/l

2.2 TECHNISCHE KENMERKEN ALTERNATIEVE MATERIALEN

Na een screening van vijftien potentiële materialen afkomstig uit urban mining processen beschikbaar in België (zie Bijlage) werden vier materialen geselecteerd op basis van hun technische eigenschappen.

Er werd vastgesteld dat de eigenschappen van materialen uit urban mining processen niet geheel voldeden aan de FLL-vereisten. Daarom werd in sommige gevallen als alternatief substraat gekozen voor een mix van verschillende materialen, met eigenschappen die elkaar aanvullen. Uiteindelijk werden drie alternatieve substraten samengesteld, opgebouwd uit vier verschillende urban mining materialen en compost.

In de volgende secties worden de alternatieve substraatmengsels verder beschreven en worden de eigenschappen ervan toegelicht.

2.2.1 GEMALEN RODE BAKSTEEN

Het eerste substraat dat besproken wordt, is het substraat bestaande uit 90% rode baksteen en 10% compost. Rode baksteen is een materiaal dat rijkelijk aanwezig is als urban mining materiaal. Dit materiaal wordt bovendien in andere landen al gebruikt als substraat voor extensieve groendaken (Molineux, Fentiman et al. 2009). Uit onderzoek van het WTCB blijkt ook dat de belangrijke technische kenmerken van gemalen rode baksteen in lijn liggen met de belangrijke kenmerken van het klassieke substraat zoals te zien in Tabel 2.

TABEL 2 TECHNISCHE KENMERKEN GEMALEN RODE BAKSTEEN

Belangrijke technische kenmerken	Kenmerken klassiek substraatmateriaal	Kenmerken gemalen rode baksteen
Bulkdichtheid	750-1100 kg/m ³	830 kg/m ³
Porositeit	50-75% van volume substraat	47.45% van volume substraat
Waterretentie	20-50% van volume substraat	11.5-20.7% van volume substraat
Waterdoorlaatbaarheid	0.30-70 mm/min	/
Minder belangrijke technische kenmerken		
pH-waarde	6-8.5 pH	8.81-9.21 pH
Verdeling deeltjesgrootte	Maximale grote deeltjes: 12 mm	Aanpasbaar bij samenstelling substraat
Aanwezigheid organisch materiaal	<65 g/l	2.47 g/l

Uit de resultaten blijkt dat de pH-waarde van gemalen rode baksteen net buiten het interval van te verkiezen pH-waardes ligt. Hiernaast is er ook te weinig organisch materiaal aanwezig. Deze problemen kunnen echter gemakkelijk opgelost worden door de toevoeging van compost in het volledige substraat. De hoeveelheid compost zou 10% moeten uitmaken van het totale substraat. Uit eerder onderzoek blijkt dat een toevoeging van 10% organisch materiaal ideaal is voor een stabiele groei van de planten in vergelijking met een hoeveelheid van 0%, 25% of 50% (Nagase and Dunnett 2012). Een substraat bestaande uit een hoge concentratie aan organische stoffen kan op korte termijn een weelderige groei teweegbrengen. In periodes van droogte heeft een grote hoeveelheid aan organisch materiaal echter een averechtse werking aangezien planten meer transpireren en sneller droogtestress ondervinden.

Op basis van de technische kenmerken zou dus beslist kunnen worden dat een substraat bestaande uit 90% gemalen rode baksteen en 10% compost een goed alternatief voor het klassieke substraat is.

2.2.2 GERECYCLEERD MENGGRANULAAT + CELLEGLAS

Het tweede substraat dat gekozen werd, bestaat voor 45% uit gerecycleerd menggranulaat, 45% cellenglas en 10% compost. Menggranulaat is bouwafval dat aan enkele voorwaarden moet voldoen om zich te onderscheiden van ander bouwafval. Ten eerste moet de korrelgrootte tussen de 0-40 mm liggen. Hiernaast mag het percentage aan beton slechts 45% zijn ¹. Ten derde mag de mate van verontreiniging niet groter zijn dan 5%. Ten slotte zal het materiaal niet snel verbrijzelen en is het 8 tot 9.5 keer meer waterabsorberend dan andere soorten granulaat, zoals puur betongranulaat (Rijksoverheid 2022). Mengaggregaat is tot slot een eenvoudig te verkrijgen materiaalstroom uit urban mining processen. Het wordt algemeen geproduceerd in inerte recyclingfaciliteiten (bij 'crushers' of 'brekers').

Cellenglas is een anorganisch isolerend materiaal dat wordt gemaakt op basis van gerecycleerd glas. Het is een zeer hard, maar zeer licht isolatiemateriaal. Het wordt momenteel niet als pure afvalstroom teruggewonnen uit urban mining praktijken. Het kan echter gemakkelijk gescheiden worden van andere afvalstromen op afbraaklocaties, of teruggewonnen worden op productielocaties als productieafval of productiefouten.

In Tabel 3 zijn de technische eigenschappen van menggranulaat en cellenglas te vinden.

¹ Conform PTV406 is voor menggranulaat vereist dat er minstens 50% beton-natuursteen in zit, en max. 50% baksteen

TABEL 3 TECHNISCHE KENMERKEN GERECYCLEERD MENGGRANULAAT EN CELLENGLAS

Belangrijke technische kenmerken	Waarden klassiek substraat	Waarden gerecycleerd menggranulaat	Waarden cellenglas
Bulkdichtheid	750-1100 kg/m ³	1400 kg/m ³	310 kg/m ³
Porositeit	50-75% van volume substraat	/	82.2%
Waterretentie	20-50% van volume substraat	~10% van volume substraat	29.8% van volume substraat
Water-doorlaatbaarheid	0.30-70 mm/min	/	Niet-doorlaatbaar
Minder belangrijke technische kenmerken			
pH-waarde	6-8.5 pH	10.8 pH	7.9 pH
Verdeling deeltjesgrootte	Maximale grote deeltjes: 12 mm	Aanpasbaar bij samenstelling substraat	Aanpasbaar bij samenstelling substraat
Aanwezigheid organisch materiaal	<65 g/l	/	36.2 g/l

Het alternatieve substraat bestaat uit een mix van gemengd aggregaat en gebroken cellenglas waardoor de eigenschappen van beide materialen in evenwicht gebracht wordt. De hoge dichtheid en lage porositeit van gemengd aggregaat wordt zo namelijk gecompenseerd door de lage dichtheid en hoge porositeit van cellenglas. Er dient opgemerkt te worden dat, aangezien de porositeit van cellenglas niet continu is, het totale poriënvolume niet toegankelijk is voor water. Enkel de oppervlakkige poriën zijn toegankelijk voor water. Daarom moet voor een hoge watercapaciteit worden gestreefd naar een lage deeltjesgrootte voor cellenglas en een hogere deeltjesgrootte voor menggranulaat, zodat de korrelgrootte en de verdeling ervan binnen het bereik blijft dat wordt geadviseerd door de FLL richtlijnen. De toevoeging van 10% compost zal ook helpen om enerzijds de waterretentie van het substraat te verhogen, en anderzijds de vrij hoge pH van het mengaggregaat te bufferen. De mix van 45% mengaggregaat, 45% gebroken cellenglas en 10% compost zal naar verwachting eigenschappen hebben die in de buurt komen van de optimale eigenschappen voor groendaken.

2.2.3 GEBROKEN DAKPANNEN + CELLENGLAS

Als derde alternatief substraat werd een substraat gekozen dat voor 45% uit dakpannen bestaat, 45% uit cellenglas en 10% compost. Dakpannen worden momenteel niet als pure afvalstroom teruggewonnen in urban mining praktijken. Ze kunnen echter gemakkelijk gescheiden worden van andere afvalstromen tijdens het slopen van daken. Ze kunnen ook verkregen worden via de markt voor hergebruik van materialen (weliswaar aan een hogere prijs), of teruggewonnen worden op productielocaties als productieafval of productiefouten. In Tabel 4 zijn de technische eigenschappen van gebroken dakpannen en cellenglas te vinden.

TABEL 4 TECHNISCHE KENMERKEN GEBROKEN DAKPANNEN EN CELLENGLAS

Belangrijke technische kenmerken	Waarden klassiek substraat	Waarden gebroken dakpannen	Waarden cellenglas
Bulkdichtheid	750-1100 kg/m ³	2250-2290 kg/m ³	310 kg/m ³
Porositeit	50-75% van volume substraat	/	82.2%
Waterretentie	20-50% van volume substraat	9% (fijngemalen) / 11% (ruwgemalen)	29.8% van volume substraat
Water-doorlaatbaarheid	0.30-70 mm/min	/	Niet-doorlaatbaar
Minder belangrijke technische kenmerken			
pH-waarde	6-8.5 pH	/	7.9 Ph
Verdeling deeltjesgrootte	Maximale grote deeltjes: 12 mm	/	Aanpasbaar bij samenstelling substraat
Aanwezigheid organisch materiaal	<65 g/l	/	36.2 g/l

Uit de analyse van het WTCB blijkt dat gebroken dakpannen een te lage watercapaciteit en een te hoge bulkdichtheid vertonen. Deze negatieve eigenschappen kunnen opnieuw gecompenseerd worden door cellenglas te gebruiken als tweede materiaal voor het alternatieve substraat waardoor er een mogelijks goed alternatief substraat tot stand komt.

2.3 CONCLUSIE TECHNISCHE KENMERKEN

Uit de analyse van de technische criteria is af te leiden dat geen enkel van de gekozen alternatieve materialen een perfect technisch equivalent is voor lavagesteente. Het valt wel op dat gemalen rode baksteen geen toevoeging van andere materialen nodig heeft om vergelijkbare belangrijke technische kenmerken te hebben. De andere mindere belangrijke kenmerken die niet voldoen aan de eisen van een goed substraatmateriaal kunnen gemakkelijk beïnvloed worden bij de productie van het substraat (door bvb. toevoeging van organisch materiaal zoals compost en fysische processen om een optimale korrelgrootteverdeling te bekomen). Hiermee vermoeden we reeds dat gemalen rode baksteen het gemakkelijkste materiaal zal zijn om te gebruiken voor groendaksubstraten. De waarnemingen en effecten van de alternatieve substraten op de plantengroei worden besproken in 'Eindrapport Deel 3'.

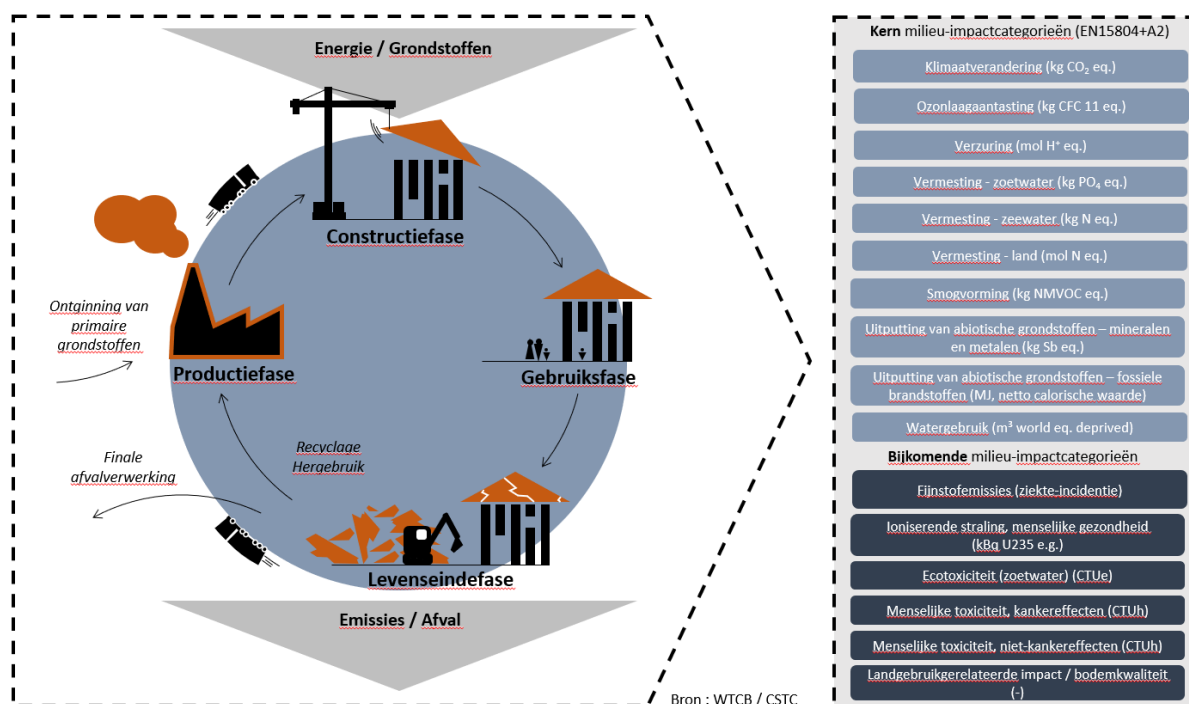
3 LEVENSCYCLUSANALYSE OF LCA

3.1 INLEIDING

De milieu-impact van groendaken wordt berekend met behulp van levenscyclusanalyse of LCA. Deze analyse beschouwt een product of gebouwelement over zijn volledige levenscyclus, vanaf de ontginning en de verwerking van de grondstoffen, over de productie, het transport naar de werf, de plaatsing op de bouwplaats, het gebruik en onderhoud, tot aan de afbraak en de finale verwerking van het afval op het einde van de levensduur (zie Figuur 2). Voor elke levenscyclusfase wordt de impact op een aantal milieu-impactindicatoren berekend en uitgedrukt aan de hand van een specifieke eenheid per indicator. De resultaten kunnen vervolgens omgerekend worden tot een ééngetalsscore. De impact wordt weergegeven onder de vorm van een milieuprofiel. Door verschillende alternatieven voor een product of gebouwelement met elkaar te vergelijken

kunnen milieuverantwoorde keuzes gemaakt worden en kunnen optimalisatiemogelijkheden geïdentificeerd worden.

Belangrijk om weten is dat LCA enkel inzicht geeft in de “globale” impact op het leefmilieu. LCA houdt geen rekening met lokale effecten, zoals hinder (bv. lawaai), lokale emissies en gezondheidseffecten (bv. tijdens de plaatsing of het gebruik) of lokale beschikbaarheid van grondstoffen. Dit wil zeggen dat de (positieve) lokale effecten van planten op groendaken (bv. opname van CO₂, fijn stof en vervuilende stoffen) niet opgenomen zijn in een klassieke LCA.



FIGUUR 2 LCA VAN EEN BOUWPRODUCT, GEBOUWELEMENT OF GEBOUW, VOLGENS EN 15804:2012+A2:2019 (CEN, 2019).

Voor de uitvoering van de LCA-studies in dit rapport werd gebruik gemaakt van de LCA-methode volgens de Europese norm EN 15804:2012+A2:2019 (CEN, 2019), die sinds eind juni 2021 ook gebruikt wordt in de TOTEM tool². Deze methode laat toe om de milieu-impact van bouwmaterialen, gebouwelementen en gebouwen te berekenen aan de hand van 16 milieu-impactindicatoren, waarbij de totale milieu-impact uitgedrukt wordt als een enkelvoudige score (weergegeven in punten) (zie Figuur 2). Voor de weging wordt gebruik gemaakt van de PEF weegfactoren (Sala et al., 2019; Sala et al., 2018).

3.2 SCOPE

In Tabel 5 worden de reikwijdte, de belangrijkste parameters en de methodologie van de LCA-studies, die uitgevoerd werden in dit project, weergegeven. Als functionele eenheid werd gekozen voor 1 m³ substraat. De analyses zijn cradle-to-grave (van wieg tot graf), wat wil zeggen dat alle levenscyclusfasen mee in rekening gebracht worden.

De modellering van de groendaken en hun onderdelen gebeurde met behulp van de LCA-software SimaPro³ en de LCI-databanken Ecoinvent⁴ en Agribalyse⁵.

² www.totem-building.be

³ www.simapro.com

⁴ www.ecoinvent.org

⁵ <https://doc.agribalyse.fr/documentation>

TABEL 5 REIKWIJDTE, LCA-PARAMETERS EN METHODOLOGIE GEBRUIKT BINNEN DEZE STUDIE.

Functionele eenheid	1m ³ substraat
Allocatie en systeemgrenzen	Volgens NBN EN 15978 (CEN, 2011) LCA van wieg tot graf met de volgende modules: A1-A3: productie A4: transport naar werf A5: installatie op werf B2: onderhoud B4: vervangingen C1-C4: EOL
Scenario's	Scenario's voor transport van bouwmaterialen (module A4), installatie van bouwmaterialen op de werf (module A5), en EOL (modules C1-C4) zijn representatief voor België (OVAM, 2020) of specifiek voor de specifieke onderdelen.
LCA-software	SimaPro v9.1.0.11
LCI-databank	Ecoinvent v3.6, Allocation, cut-off by classification) Agribalyse 3

3.3 MILIEU-IMPACT REFERENTIESUBSTRAAT

3.3.1 SAMENSTELLING

Voor voorliggende studie wordt een standaard extensief groendak als referentie gebruikt. Een van de lagen van dergelijk groendak is het substraat. Wat het substraat betreft, blijkt dat de samenstelling van groendaksubstraten verschilt van merk tot merk en dat de fabrikanten de juiste samenstelling ervan niet zomaar vrijgeven. Daarom werd er voor deze studie een representatief referentiesubstraat voor groendaken met extensieve vegetatie samengesteld op basis van informatie uit de literatuur en bevestigd via een consultatie bij de fabrikanten uit de gebruikersgroep van het project (zie **Error! Reference source not found.**). Groendaksubstraten bestaan meestal uit een minerale en een organische fractie, waarbij voor de minerale fractie vaak gebruik gemaakt wordt van puimsteen en/of lava (lapillus), terwijl de organische fractie meestal bestaat uit compost en/of turf. De verschillende grondstoffen voor de substraten worden op verschillende locaties ontgonnen of geproduceerd en vervolgens getransporteerd naar de substraatfabrikanten in Vlaanderen (zie

Tabel 6). Daarna worden zij bij de substraatfabrikant in de juiste verhoudingen samengevoegd tot een specifiek groendaksubstraat voor extensieve groendaken⁶. De compositie van het volume van een conventioneel groendaksubstraat (= referentiesubstraat) bestaat uit 50% puimsteen, 40% lapillus (of lavagesteente), 5% compost en 5% turf. De densiteit van het groendaksubstraat wordt in de deze studie vastgelegd op 875kg/m³ voor het referentiesubstraat. Voor het transport van het substraat van de substraatfabriek naar de werf wordt een gemiddelde afstand van 100 km genomen. Er wordt uitgegaan van een manuele installatie op de werf. Tot slot wordt er in deze studie van uitgegaan dat het substraat op het einde van zijn levensduur afgevoerd zal worden naar een sorteerinstallatie voor sorteren en vervolgens grotendeels hergebruikt zal worden (eventueel na opnieuw mengen of toevoegen van organisch materiaal). Slechts een kleine fractie (5%) zal gestort worden.

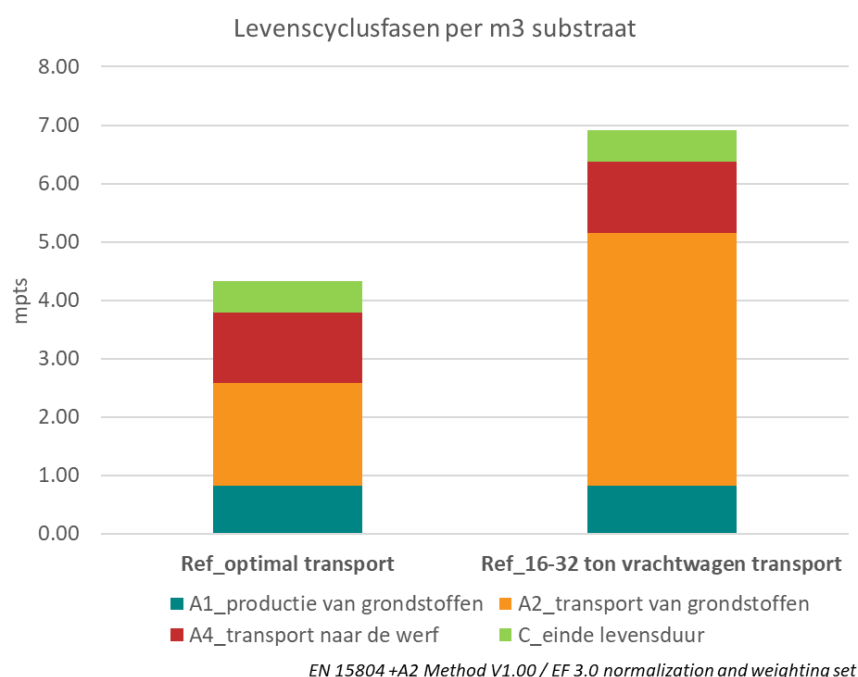
⁶ Samenvoegen en mengen van grondstoffen wordt hier niet mee ingerekend wegens gebrek aan specifieke milieu-informatie voor dit proces.

TABEL 6 DE VERSCHILLENDE GRONDSTOFFEN VOOR GROENDAKSUBSTRATEN MET HUN HERKOMST EN TRANSPORT EN DE GEBRUIKTE ECOINVENT RECORDS.

Grondstof	Herkomst	Transportafstand	Transportmiddel
Puimsteen	Eifelgebied, Duitsland	446 km ⁷	Binnenschip
Lapillus / lava	Eifelgebied, Duitsland	446 km ⁸	Binnenschip
Turf	Letland	2570 km ⁹ 100km	Zeeschip Vrachtwagen 16-32 ton
Compost	Lokaal	25 km ¹⁰	Vrachtwagen 16-32 ton

3.3.2 RESULTATEN

De resultaten van de LCA-studie tonen aan dat transport een belangrijke factor speelt in de milieu-impact van het substraat (Figuur 3). Lapillus en puimsteen dienen namelijk te worden ingevoerd vanuit het Eifelgebied in Duitsland en turf vanuit Letland (Riga). Dit transport wordt in het ideaal scenario voornamelijk via boot en binnenvaart georganiseerd. Zowel het transport van de grondstoffen als het transport naar de werf zijn duidelijk zichtbaar in de totale milieu-impact van het substraat en zijn samen verantwoordelijk voor ongeveer 70% van de milieu-impact van de substraatlaag (zie links in de grafiek). Wanneer dezelfde grondstoffen met vrachtwagens over het land zouden worden vervoerd, stijgt de totale milieu-impact van het substraat met een factor van 1,6 (zie rechts in de grafiek).



FIGUUR 3 MILIEU-IMPACT VAN 1 M³ REFERENTIESUBSTRAAT PER LEVENSCYCLUSFASE

De resultaten weergegeven per onderdeel van het substraat tonen aan dat de impact van de onderdelen niet proportioneel is met de verhoudingen in het mengsel (zie Figuur 4). Zo is turf verantwoordelijk voor ongeveer 20% van de impact, hoewel het slechts 5% van het volume uitmaakt. Dit komt onder andere door de aard van de verschillende materialen. Turf op zichzelf is een fossiele brandstof, het gebruik ervan heeft daarom een negatief

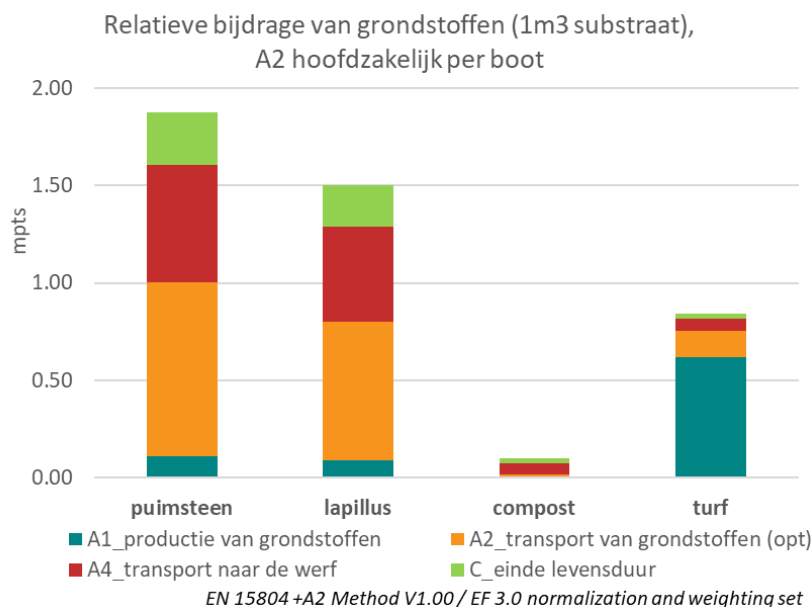
⁷ (Federaal planbureau, 2019, p58.)

⁸ ibidem

⁹ Geschatte afstand per boot over zee vanuit Letland naar Vlaanderen.

¹⁰ Op basis van de verspreiding van composteerinstallaties in Vlaanderen.

effect op de uitputting van fossiele brandstoffen. Bij puimsteen en lapillus wordt duidelijk dat voornamelijk het transport bepalend is voor de milieu-impact. De impact van compost is eerder beperkt aangezien dit een grondstof is die gerecupereerd wordt uit tuinafval (en dus geen productie-impact kent) en bovendien het transport lokaal kan worden voorzien over kleine afstanden. De resultaten tonen aan dat het belangrijk is naar de impact van ieder onderdeel te kijken en op basis hiervan de samenstelling te gaan optimaliseren.



FIGUUR 4 RELATIEVE BIJDRAGE VAN DE GRONDSTOFFEN AAN DE MILIEU-IMPACT (1 M³ SUBSTRAAT)

3.4 MILIEU-IMPACT ALTERNATIEVE SUBSTRAATMATERIALEN

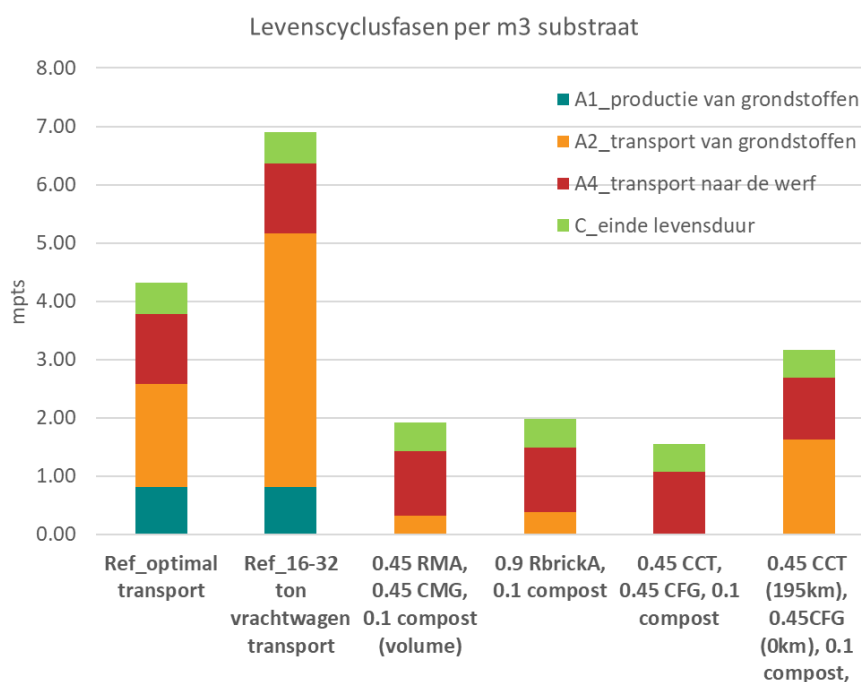
Zoals in deel 2 beschreven worden 3 alternatieve substraten verder in detail onderzocht. Deze alternatieve substraten bestaan allen voornamelijk uit secundaire materialen gerecupereerd via 'urban mining'. Aangezien deze materialen gewonnen kunnen worden uit afvalstromen, zal er geen productie-impact plaatsvinden.

Een eerste alternatief substraat bestaat uit 90% gemalen rode baksteen en 10% compost. Bij de selectie van rode baksteen zal de focus niet worden gelegd op productie-afval bij baksteenfabrikanten, veroorzaakt door bijvoorbeeld slechte kwaliteit of reststukken, maar op sloopafval. Dit sloopafval wordt bekomen bij de afbraakwerken van gebouwen. In de praktijk blijkt het niet eenvoudig om rode baksteen te kunnen splitsen van het puin, waardoor er vaak gemixt baksteengranulaat wordt gebruikt. De intentie is om in de toekomst de afvalstromen beter te splitsen waardoor men enkel rode bakstenen kan recyclen uit het afbraakpuin.

Figuur 5 toont de milieu-impact van de verschillende alternatieve substraten getest in dit project. De milieu-impact van het substraat bestaande uit gerecycleerde baksteen (RbrickA) ligt aanzienlijk lager dan de impact van het eerder besproken conventionele referentiesubstraat. Naast het vermijden van de productie-impact ligt ook de impact gelinkt aan het transport veel lager omdat men deze secundaire grondstoffen lokaal in Vlaanderen kan vinden. Beide factoren dragen bij tot een daling van meer dan 50% van de milieu-impact ten opzichte van het referentiesubstraat.

Gelijkaardige conclusies kunnen getrokken worden voor de andere alternatieve substraten. Voor het substraat bestaande uit 45% gerecycleerde menggranulaat (RMA), 45% gebroken cellenglas (CMG) en 10% compost dient geen productie-impact in rekening worden gebracht aangezien het gerecycleerde menggranulaat en gebroken cellenglas beide hun *end of life point* hebben bereikt. Het derde alternatief substraat bestaat uit 45% gebroken dakpannen (CCT), 45% gebroken cellenglas (CFG) en 10% compost. De dakpannen worden net als de andere

alternatieve materialen verworven uit de afbraakwerken van daken. Hierdoor moet er opnieuw geen rekening worden gehouden met de productie-impact van de dakpannen.



EN 15804+A2 Method V1.00 / EF 3.0 normalization and weighting set

FIGUUR 5 VERGELIJKING MILIEU-IMPACT SUBSTRATEN VERDEELD OVER DE LEVENSCYCLUSFASEN PER M³ SUBSTRAAT

3.5 CONCLUSIE LCA

Het staafdiagram in Figuur 5 vat de resultaten van de LCA-studie samen. De twee linkse staven tonen de milieu-impact van het referentiesubstraat wanneer het enerzijds optimaal (per boot) en anderzijds door middel van een vrachtwagen getransporteerd wordt. Het transport is in beide gevallen verantwoordelijk voor het grootste aandeel in de milieu-impact. Bovendien heeft de keuze van het transportmiddel zelf (boot of vrachtwagen) nog een sterke invloed op de totaalimpact.

In de drie volgende staven is de milieu-impact van verschillende alternatieve substraten gewonnen via 'urban mining' te zien. Voor elk alternatief substraat daalt de milieu-impact met ongeveer 50% ten opzichte van het referentiesubstraat. Hierbij valt op dat de impact van de productie van grondstoffen niet in rekening moet gebracht worden aangezien de alternatieve substraten uit gerecupereerde materialen bestaan. Hiernaast daalt ook de transportimpact aanzienlijk, omdat er gebruik gemaakt wordt van lokale materialen en de transportafstanden dus aanzienlijk beperkt worden.

Om nogmaals aan te geven dat het transport van de materialen een grote invloed heeft op de milieu-impact, geeft de laatste staaf weer wat de milieu-impact zou zijn van het substraat bestaande uit gebroken dakpannen en gebroken cellenglas als één van de materialen van het substraat over lange afstand (vanuit het buitenland) vervoerd zou worden. De milieu-impact zou nog steeds dalen, maar slechts met ongeveer 25%.

4 MARKTSTUDIE

4.1 MARKTSTUDIE KLASSIEK SUBSTRAATMATERIAAL

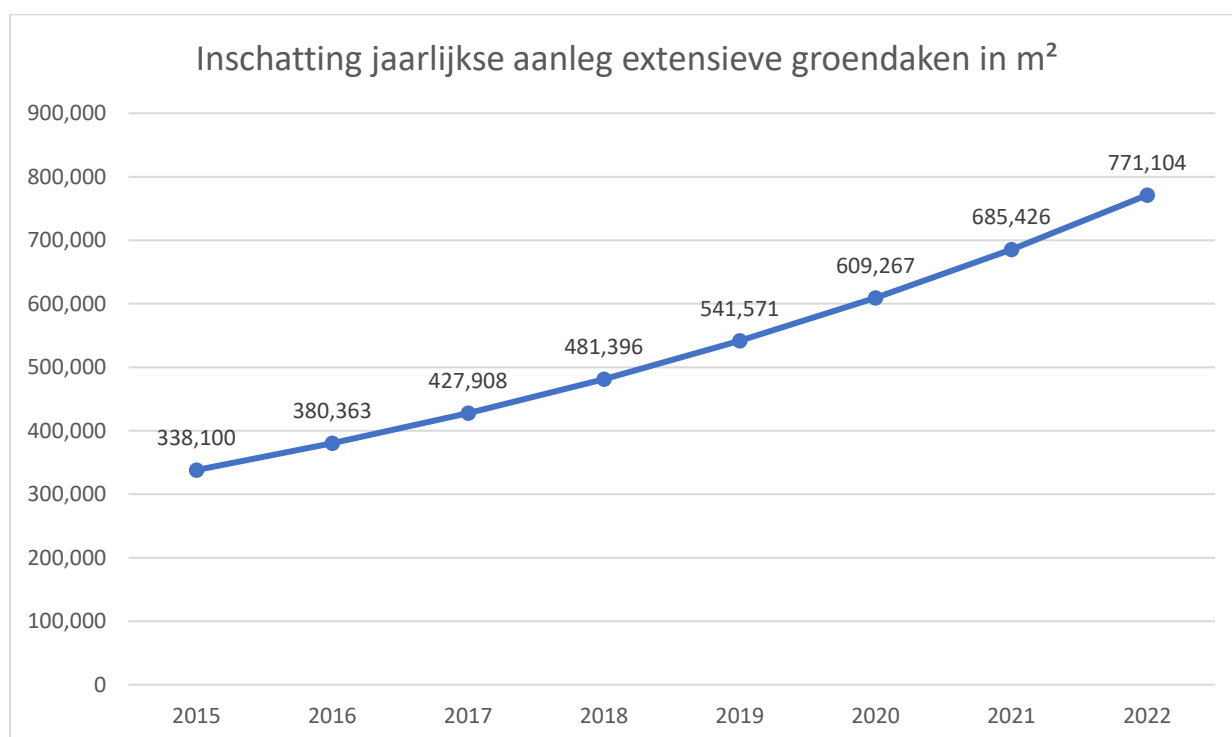
Om te onderzoeken of de alternatieve substraten een potentiële markt kunnen hebben, zal eerst de markt van het huidige substraat onderzocht worden. Deze marktstudie bestaat uit onderzoek naar: de vraag naar het substraat, het aanbod ervan en de prijs in Vlaanderen. Na de marktstudie van het klassieke substraat zal een marktstudie uitgevoerd worden voor elk alternatief substraat. De cijfers van deze marktstudies zullen uiteindelijk vergeleken worden met de cijfers die gevonden werden voor het klassieke substraat. In deze marktstudies worden enkel uitspraken gedaan over de substraten die nodig zijn voor extensieve groendaken. De bekomen cijfers zijn bovendien altijd benaderingen.

De resultaten werden bekomen door zowel desk research van UHasselt studenten, als door interviews van de studenten met verschillende stakeholders.

4.1.1 VRAAG EN AANBOD

In het volgende deel wordt het aantal m² groendak dat jaarlijks in Vlaanderen wordt geplaatst, ingeschat. Deze hoeveelheid wordt uiteindelijk omgezet in ton.

Uit cijfers daterend van 2015 blijkt dat er jaarlijks 338 100 m² extensieve groendaken in Vlaanderen aangelegd worden (Dehondt 2017). Het is echter belangrijk om rekening te houden met de exponentiële groei van de markt. In een nieuwsartikel van de VRT stelde Yves Heirman, van de Belgische Federatie Groenvoorzieners, dat de hoeveelheid aangelegd groendak in de afgelopen zeven jaar groeide met 10 à 15% exponentieel groeide per jaar (Driessche 2021). Hieruit kunnen we afleiden dat de gemiddelde jaarlijkse groei 12,5% bedraagt. Op basis van deze gegevens werd Figuur 6 opgesteld.



FIGUUR 6 JAARLIJKSE GROEI EXTENSIEVE GROENDAKEN IN M²

Uit Figuur 6 blijkt dat de vraag naar extensieve groendaken in 2022 in Vlaanderen naar schatting 771.104 m² bedroeg.

We kunnen veronderstellen dat de jaarlijkse groei van de groendaksector in de toekomst dezelfde trend zal aanhouden of zelfs zal toenemen. Verschillende projecten hebben de doelstelling om de hoeveelheid groendaken in de toekomst te doen toenemen. Een van deze projecten is bijvoorbeeld “Ecocities”. Dit project heeft de doelstelling om ervoor te zorgen dat tegen 2026 vijftien procent van de nieuwbouwdaken groen zijn in tegenstelling tot zeven procent in 2020. In verband met bestaande daken doelen ze op een groendakaandeel van vijf procent betreffende de bestaande daken, in vergelijking met minder dan één procent in 2020 (Perneel 2020).

Vanuit stadsbesturen komen stilaan ook verplichtingen om daken groen te maken. In Antwerpen zal het bijvoorbeeld verplicht zijn om een groendak te plaatsen bij nieuwbouw als het dak aan enkele voorwaarden voldoet (Stad Antwerpen 2022). Naar de toekomst toe zullen waarschijnlijk meer en meer steden dergelijke regelgeving toepassen om de problematiek ten gevolge van de klimaatverandering, zoals watervoorziening en -beheersing, biodiversiteit en temperatuurmitigatie, te bestrijden. Hiernaast worden burgers ook meer en meer klimaatbewust waardoor ze meer geneigd zullen zijn om groendaken aan te leggen.

Als er in 2022 ongeveer 771.104 m² groendaksubstraat werd aangelegd, kan er aan de hand van de gemiddelde dikte van 0,08 m van een groendaksubstraat vaststellen dat er 61 688 m³ substraat in 2022 nodig zou zijn om te kunnen voldoen aan de vraag. Een substraat voor een extensief groendak weegt volgens de WTCB 875 kg per m³, waardoor we kunnen concluderen dat er in 2022 naar schatting een vraag van 53.977 ton substraat voor extensieve groendaken zou zijn.

Het aanbod van het klassieke substraatmateriaal is tot nu toe nog geen probleem geweest voor groendakplaatser. Ze merken wel op dat de prijs van het materiaal jaarlijks stijgt, wat kan wijzen op een dalende beschikbaarheid.

4.1.2 PRIJS

De aankoop prijs van lavagesteente van de geïnterviewde substraatproducenten lag tussen de 30 euro en 35 euro/ton. Het lavagesteente wordt in Duitsland aangekocht en per schip aangeleverd om de kosten van transport zo laag mogelijk te houden. De producenten haalden wel aan dat de prijs van lavagesteente jaar na jaar stijgt. Sommige respondenten zijn daarom ondertussen zelf op zoek naar alternatieven. De reden waarom lavagesteente zo duur wordt, is volgens de producenten te wijten aan zowel de stijgende transportkosten als de ontginning die onder druk komt te staan. Nadat lavagesteente geleverd is, hebben de respondenten ook verdere bewerkingskosten. Het lavagesteente moet bijvoorbeeld nog gezeefd en verder getransporteerd worden.

Wanneer men de online prijslijsten van verkopers van groendaksubstraten bekijkt, kan men zien dat de prijs/ton van lavagesteentesubstraat tussen de 130 en 180 euro/ton ligt voor particulieren. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat de kost van het transporteren van dit substraat tussen de 70 en 130 euro/ton ligt. De totale kostprijs ligt dus tussen de 200 en 310 euro/ton. In onderstaande tabel zijn de prijzen B2B en B2C terug te vinden.

TABEL 7 B2B EN B2C PRIJZEN LAVAGESTEENTE

Categorie	Prijs
B2B	30 – 35 euro/ton
B2C (volledig substraat)	200 – 310 euro/ton

4.2 MARKTSTUDIE GEMALEN RODE BAKSTEEN

Aangezien de materialen voor de alternatieve substraten bekomen zullen worden via urban mining, zal het potentiële aanbod bepaald worden op basis van rode bakstenen uit de afbraak van gebouwen en niet op basis van productie-uitval, zoals bijvoorbeeld gebakken stenen die niet voldoen aan kwaliteitseisen of reststukken van verzaagde bakstenen bij baksteenbedrijven. De bouwsector veroorzaakt jaarlijks zo een 15 miljoen ton of 8,3 miljoen m³ bouw- en sloopafval in Vlaanderen, waarbij dit voor meer dan 90% op gewichtsbasis uit steenachtige

materialen bestaat, zoals beton, baksteen en dakpannen. Volgens de Belgische Baksteenfederatie wordt er vandaag in België meer dan 95% van het afval van afbraakwerken gerecycleerd. Een duidelijke hoeveelheid aan rode baksteen is echter niet beschikbaar.

4.2.1 VRAAG

Bij een rondvraag bij groendakbedrijven over het gebruik van gemalen rode bakstenen, vermeldde een van de groendakbedrijven dat ze tegenwoordig meer en meer de overgang aan het maken zijn naar duurzamere materialen, waaronder gebroken/gemalen bakstenen. De leveranciers van deze alternatieve, duurzamere materialen creëren ook substraten die bestaan uit kleikorrels, witveen en groencompost. Een andere contactpersoon haalde dan weer aan dat ze geen toekomst zien in gemalen rode bakstenen, omdat ze van mening zijn dat het materiaal drainageproblemen zou veroorzaken. Hieruit blijkt dat er wel degelijk vraag is naar alternatieve materialen om groendaksubstraten mee te maken, maar dat er twijfel is over de technische eigenschappen van de materialen.

Om de nodige hoeveelheid gemalen rode baksteen voor het aanleggen van alle extensieve groendaken in 2022 te berekenen, werden de volgende stappen gezet: Aangezien het alternatieve substraat voor 90% uit gemalen rode baksteen zal bestaan en er 0,080 m³ substraat per vierkante meter groendak nodig is, zal er $90\% \cdot 0,080 \text{ m}^3 = 0,072 \text{ m}^3$ aan gemalen rode baksteen nodig zijn per vierkante meter groendak. Uit eerdere berekeningen bleek dat er in 2022 bij benadering 61 688 m³ aan substraat werd gebruikt voor extensieve groendaken. De dichtheid van rode baksteen is 830 kg/m³. Hieruit volgt dat er $61\,688 \text{ m}^3 \cdot 830 \text{ kg/m}^3 = 51.201.040 \text{ kg} = 51.201,04 \text{ ton}$ gemalen baksteen in 2022 beschikbaar zou moeten geweest zijn om de groendaken aan te leggen.

4.2.2 AANBOD

Het beschikbaar aanbod van gemalen rode baksteen is moeilijk te bepalen. Uit de gesprekken met de stakeholders blijkt dat er veel bedrijven zijn die sloop- en afbraakmateriaal verzamelen, verwerken en verkopen maar dat weinig bedrijven zuivere rode baksteen aanbieden. In Meerhout, Antwerpen bevindt zich Algemene BouwAfval Recyclage (ABAR). Zij beschikken doorgaans over ongeveer 5.000 tot 6.000 ton zuiver rode baksteengranulaat van 0 tot 20 mm en 10.000 ton zuiver rode baksteengranulaat van 20 tot 40 mm. Voor de rest werden enkel bedrijven gevonden die een menggranulaat met gemalen baksteen aanbieden. Dit wordt bevestigd door de Baksteenfederatie. Zij geeft aan dat bakstenen enkel op kleine schaal ontmanteld en ontdaan worden van mortelresten. Op grote schaal worden bakstenen gereduceerd tot granulaten in breekinstallaties, waarna ze gebruikt worden voor funderingswerken. Er wordt wel aangehaald dat een ander recyclageproduct van baksteen de rode “gemalen baksteen” is die gebruikt wordt voor het bekleden van tennisvelden (Baksteenfederatie 2020). Een voorbeeld van een dergelijk bedrijf is Tennis-Brick. Zij bieden siergrind aan met een beschikbare hoeveelheid van ongeveer 1.000 ton. Zij gebruiken wel enkel bakstenen afkomstig van productie-afval, wat dus niet afkomstig is van urban mining.

We kunnen dus besluiten dat het aanbod aan fijn gemalen rode baksteen waarschijnlijk nog niet groot genoeg is om de volledige markt van groendaken te voorzien. Veel rode baksteen wordt momenteel verwerkt in gemengde granulaten en puin. Om een grotere hoeveelheid aan gemalen rode baksteen ter beschikking te hebben, moeten de verwerkers van bouwafval aangespoord worden om specifiek rode bakstenen af te scheiden van ander steenachtig bouwafval om het daarna te zeven en breken. Dit zal enkel gedaan worden als het financieel aantrekkelijk is om dit te doen. Een van de stakeholders die gemalen baksteen produceert, haalde wel aan dat het voor hen om aanzienlijke hoeveelheden granulaat zou moeten gaan om van zeef te veranderen. Een tot twee ton zou economisch niet interessant zijn. Het zou dan moeten gaan om enkele honderden ton aan materiaal.

4.2.3 PRIJS

De prijs bij ABAR voor één ton aan zuiver baksteengranulaat met een diameter van 0 mm tot 20 mm kost 5 euro/ton, voor granulaat met een diameter van 20 mm tot 40 mm is de prijs 3 euro/ton. Hierbij moeten echter ook de transportkosten bijgeteld worden als het granulaat niet opgehaald wordt. De prijs is afhankelijk van de

regio waar het geleverd moet worden. Transport naar Hasselt zou bijvoorbeeld 100 euro bedragen. Deze transportprijs is voor eenmalig vervoer van het granulaat, we kunnen ervan uitgaan dat dit bedrag lager zal liggen wanneer een substraatproducent op regelmatige basis bakstenen aankoopt.

Tennisbrick biedt ook grind aan in twee formaten: van 5 tot 10 millimeter, dit kost zo een 85 euro per ton. Het tweede formaat is van 0 tot 25 millimeter, wat 65 euro/ton kost. Hier moeten echter ook de transportkosten nog bijgeteld worden. Bovendien zijn dit B2B prijzen.

De aankoopprijs van baksteengranulaat voor substraatproducenten ligt dus aanzienlijk lager dan lavagesteente. Voor particulieren liggen de prijzen ook lager. Tabel 6 vat de prijzen samen. Er dient wel opgemerkt te worden dat de mengeling gemalen rode baksteen voor B2B categorie bestaat uit grover materiaal dat nogmaals gemalen zou moeten worden indien het gebruikt zou worden als alternatief substraatmateriaal. De mengeling voor de categorie B2C bestaat uit gemalen rode baksteen waarvan de deeltjes wel al voldoende klein zijn. De kost van 3euro/ton voor de B2B categorie zal dus waarschijnlijk een onderschatting zijn van de prijs van het alternatieve substraat aangezien dit materiaal meer behandeld zal moeten worden. Deze prijzen kunnen echter wel als een indicatie dienen van de te verwachten prijs voor het alternatieve substraatmateriaal.

TABEL 8 B2B EN B2C PRIJZEN GEMALEN RODE BAKSTEEN

Categorie	Prijs
B2B	3 euro/ton
B2C	65 euro/ton

4.2.4 CONCLUSIE MARKTSTUDIE GEMALEN RODE BAKSTEEN

Op basis van de geschatte prijzen van het alternatieve substraat, kunnen we stellen dat het een aantrekkelijk alternatief voor het huidige groendaksubstraat is. Het is echter onduidelijk of de beschikbare hoeveelheid aan gemalen baksteen die aan de voorwaarden van het alternatief substraat voldoet. Er zijn momenteel slechts enkele bedrijven die een zuiver rode baksteengranulaat aanbieden.

4.3 MARKTSTUDIE GERECYCLEERD MENGGRANULAAT + GEBROKEN CELLENGLAS

4.3.1 VRAAG

Aangezien dit substraat bestaat uit 45% menggranulaat en 45% cellenglas, zal van elk van deze materialen 27.759,6 m³ moeten zijn om aan de vraag in 2022 te kunnen voldoen. Dit komt neer op 27.759,6 m³ * 1400 kg/m³ = 38.863.440 kg = 38.863,44 ton menggranulaat en 27.759,6 m³ * 310 kg/m³ = 8.605.476 kg = 8.605,48 ton cellenglas.

Uit interviews bleek dat groendakproducenten hun twijfels hadden over de kwaliteit van het menggranulaat aangezien de kwaliteit hiervan volgens hen heel hard kan variëren.

4.3.2 AANBOD

Het blijkt dat verschillende leveranciers ongeveer een jaarlijkse vraag naar menggranulaat ervaren tussen de 70.000 en 100.000 ton per vestiging. Deze vraag kon elke leverancier vlot beantwoorden. Uit de literatuur blijkt dat in 2020 ongeveer 6,5 megaton aan menggranulaat werd geproduceerd. Hieruit blijkt dat er ruim voldaan wordt aan de potentiële vraag naar menggranulaat als materiaal voor een alternatief substraat.

Uit een interview met Didier Vercruyssen, huidig Senior Project Leader bij Pittsburgh Corning Europe en hiervoor fabrieksdirecteur van de productievestiging in Tessenderlo, blijkt dat de productievestiging in Tessenderlo jaarlijks 250 000 m³ cellenglas produceert en dat 10 tot 15% van deze productie afkomstig is van productieafval en zuiver bouwafval dat opnieuw fijn vermalen wordt en geherintroduceerd kan worden als grondstof in het productieproces. Hieruit kunnen we concluderen dat de in Vlaanderen beschikbare afvalstroom van cellenglas

ongeveer $12,5\% \cdot 250.000 \text{ m}^3 = 31.250 \text{ m}^3$ bedraagt. Aangezien de dichtheid van cellenglas 100 kg/m^3 bedraagt, kan de afvalstroom van cellenglas geschat worden op $31.250 \text{ m}^3 \cdot 100 \text{ kg/m}^3 = 3.125.000 \text{ kg} = 3.125 \text{ ton}$ per jaar. Didier Vercruyssen benadrukte echter wel dat het aandeel bouwafval dat hergebruikt wordt voor productie erg laag is in vergelijking met het aandeel productieafval dat hergebruikt kan worden. Dit is te wijten aan het feit dat cellenglas een bouw materiaal is met een levensduur van tussen de 20 tot 30 jaar. Aangezien cellenglas pas op regelmatige basis gebruikt wordt sinds 1970-1980, is er nog niet veel bouwafval beschikbaar om opnieuw te gebruiken. Wanneer vervolgens gepolst werd naar het samenwerkingsverband tussen bouwafvalverwerkingsbedrijven (zoals 'de Maes Recycling Group') en Pittsburgh Corning Europe, blijkt dat afvalverwerkingsbedrijven het bouwafval van cellenglas gratis afleveren bij Pittsburgh Corning Europe. Dit blijkt voor bouw afvalverwerkingsbedrijven in de buurt haalbaar omwille van het feit dat het transporteren van bouwafval zeer strikt gereguleerd is.

4.3.3 PRIJS

Aan de hand van interviews met verschillende leveranciers van aggregaten werd een bereik van prijzen voor een aggregaat bekomen, namelijk 2,17-8 euro/ton. Dit bereik ontstond vanwege de verschillende kwaliteiten van de granulaten en de materialen die erin verwerkt zijn.

Deze prijzen zijn exclusief de transportkosten. Afhankelijk van de leverancier worden de transportkosten per ton aangerekend of werken ze met een vaste kost. Gemiddeld gezien is er een vaste transportkost van 125 euro per vracht. Deze kosten zullen waarschijnlijk opnieuw verlaagd kunnen worden wanneer een producent op regelmatige basis aggregaat aankoopt.

Aangezien het bouwafval van cellenglas gratis door de bouwafvalverwerkingsbedrijven aan de fabriek wordt geleverd, is hier geen aankoop prijs voor beschikbaar. We kunnen wel veronderstellen dat de aankoop prijs van deze materialen gelijk zou zijn aan de kosten die de fabriek uitspaart door cellenglas nieuw te produceren. Deze prijs is voor ons echter niet bekend. Pittsburgh Corning vermeldde dat ze voor hun normale transport een kost aanrekenen van 90 euro per vracht per uur. Tabel 7 vat de prijzen samen.

TABEL 9 B2B PRIJZEN GERECYCLEERD MENGGRANULAAT EN GEBROKEN CELLENGLAS

Categorie	Prijs
B2B (gerecycleerd menggranulaat)	2,17 – 8 euro/ton
B2B (gebroken cellenglas)	≥ kostprijs productiemateriaal

Op basis van prijs kunnen we ook concluderen dat het materiaal voor het alternatieve substraat veel lager ligt dan de klassieke materialen.

4.3.4 CONCLUSIE MARKTSTUDIE GERECYCLEERD MENGGRANULAAT + CELLENGLAS

Op basis van de geschatte prijzen van de alternatieve substraten, kunnen we stellen dat het alternatieve substraat een aantrekkelijk alternatief is voor het huidige groendaksubstraat. Het aanbod aan gerecycleerd menggranulaat dat voldoet aan de voorwaarden voor het alternatieve substraat zal waarschijnlijk ook zeker voldoende zijn. Het probleem ligt echter bij de beschikbare hoeveelheid cellenglas. Dit materiaal is nog niet in grote hoeveelheden beschikbaar als urban mining materiaal omwille van twee redenen. Ten eerste omdat er nog niet veel gebouwen met dit materiaal als isolatiemateriaal afgebroken moeten worden. Ten tweede wordt het beschikbare materiaal van afbraakwerken door afvalverwerkers meteen geleverd aan de productiefaciliteiten van cellenglas. Hierdoor zou de productie van het alternatieve substraat concurreren met de productie van het bronmateriaal.

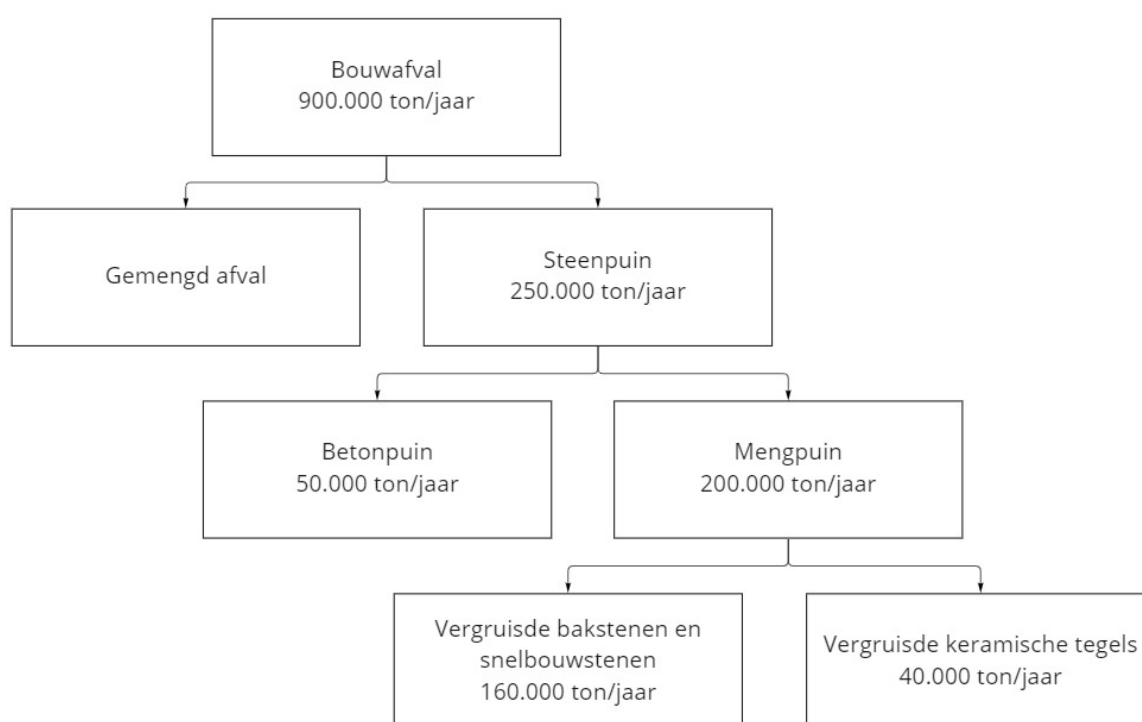
4.4 MARKTSTUDIE DAKPANNEN + GEBROKEN CELLEGLAS

4.4.1 VRAAG

De berekening voor de vraag naar dakpannen en gebroken cellenglas verloopt op dezelfde manier als voor het gerecycleerde menggranulaat en gebroken cellenglas. Er moet dus 27.759,6 m³ aan gebroken dakpannen beschikbaar zijn om de vraag voor groendaksubstraten volledig te kunnen beantwoorden. Dit komt neer op $27.759,6 \text{ m}^3 \cdot 2270 \text{ kg/m}^3 = 63.014.292 \text{ kg} = 63.014,29 \text{ ton}$ dakpannen en $27.759,6 \text{ m}^3 \cdot 310 \text{ kg/m}^3 = 8.605.476 \text{ kg} = 8.605,48 \text{ ton}$ cellenglas.

4.4.2 AANBOD

Uit een interview met Maes Recycling blijkt dat vergruisde dakpannen niet apart worden verkocht. Echter kon de contactpersoon wel informatie verstrekken over hoe de afvalstromen met dakpannen momenteel verwerkt worden en voor welke toepassingen ze gebruikt worden. In Figuur 7 wordt schematisch weergegeven welke afvalstromen momenteel gescheiden worden.



FIGUUR 7 VERDELING AFVALSTROMEN MAES RECYCLING

In Figuur 7 is te zien dat 900 000 ton bouwafval per jaar ingezameld wordt. Dit bouwafval kan verdeeld worden in gemengd afval en steenpuin. Gemengd afval bestaat onder andere uit zand, metalen, gips, harde kunststoffen, glas, dakpannen, Ondanks dat het gemengd afval dakpannen bevat, worden deze momenteel niet gesorteerd of verder verwerkt. Het steenpuin afval dat onder meer bestaat uit bakstenen, dakpannen en beton, wordt echter wel verder uitgesorteerd in betonpuin, 50.000 ton/jaar, en mengpuin, 200.000 ton/jaar. Het betonpuin bestaat uit zuiver beton en wordt vergruisd via een breker. Deze afvalstroom wordt gebruikt in de wegenbouw. Mengpuin bestaat anderzijds uit bakstenen, snelbouwstenen en dakpannen. Ook deze afvalstroom wordt vergruisd via een breker. Dit puin wordt in industriële toepassingen gebruikt en wordt zelfs gratis geleverd indien het in grote hoeveelheden wordt afgenomen. In totaal verwerkt Maes Recycling Group 200 000 ton mengpuin per jaar.

Uit de schatting van Figuur 7 kunnen we besluiten dat $40\,000/900\,000 = 4,44\%$ van het bouwafval van de Maes Recycling group uit vergruisde dakpannen bestaat. Wanneer we deze gegevens vervolgens extrapoleren, gegeven dat de bouwsector in Vlaanderen jaarlijks 15 miljoen ton bouwafval produceert (OVAM 2021), kunnen we besluiten dat de afvalstroom van vergruisde dakpannen naar schatting 666.667 ton in Vlaanderen bedraagt.

Hieruit volgt dat er ruim voldaan zou worden aan de potentiële vraag ($63.014,29\text{ ton} + 8.605,48\text{ ton} = 71.619,77\text{ ton}$) naar dakpannen voor het alternatieve substraat.

4.4.3 PRIJS

Om een inschatting te maken van de prijs indien de dakpannen apart ingezameld en verbrijzeld worden, kan de assumptie gemaakt worden dat de prijs vergelijkbaar zou zijn met het uitsorteren en vergruizen van beton, aan 5 euro per ton (Tabel 8). De transportkosten van het materiaal zouden rond de 125 euro liggen. Deze kosten zullen waarschijnlijk opnieuw verlaagd kunnen worden wanneer een producent op regelmatige basis aggregaat aankoopt. De berekening van de prijs van het cellenglas verloopt idem als de berekening bij het deel over het gerecycleerd mengaggregaat met cellenglas. In totaal zal de prijs van het alternatieve substraat waarschijnlijk onder de prijs van het klassieke substraat liggen.

TABEL 10 B2B PRIJS DAKPANNEN EN GEBROKEN CELLENGLAS

Categorie	Prijs
B2B (dakpannen)	5 euro/ton
B2B (gebroken cellenglas)	≥ kostprijs productiemateriaal

4.4.4 CONCLUSIE MARKTSTUDIE DAKPANNEN + GEBROKEN CELLENGLAS

Zoals de andere materialen, zal de prijs van het alternatieve substraat waarschijnlijk onder de prijs van het klassieke substraat liggen. Het aanbod aan dakpannen zou ook meer dan voldoende zijn. Dit materiaal moet echter wel nog steeds apart gesorteerd worden bij de verwerking van bouwafval. Hiernaast is er opnieuw de kwestie van de beschikbaarheid van cellenglas als materiaal.

4.5 VERGELIJKING MARKTSTUDIE ALTERNATIEVE MATERIALEN

In Tabel 9 is een vergelijking van de markstudies van de verschillende alternatieve materialen te vinden.

TABEL 11 POTENTIËLE VRAAG, BESCHIKBAAR AANBOD EN B2B PRIJS ALTERNATIEVE MATERIALEN

Materiaal	Potentiële vraag	Beschikbaar aanbod	B2B prijs (excl. transport)
Gemalen rode baksteen	51.201,04 ton	6.000 ton – 7.000 ton	3 euro/ton
Gerecycleerd mix aggragaat	38.863,44 ton	6.500.000 ton	2,17–8 euro/ton
Dakpannen	63.014,29 ton	666.667 ton	5 euro/ton
Gebroken cellenglas	8.605,48 ton	3.125 ton	≥ kostprijs productiemateriaal

In deze tabel is te zien dat het huidige aanbod van gemalen rode baksteen en gebroken cellenglas te laag is om aan de huidige vraag naar groendaksubstraten te kunnen voldoen. De voornaamste reden waarom het aanbod gemalen rode baksteen dat geschikt is als substraatmateriaal zo laag is, is omdat deze baksteen nog niet goed

genoeg gesorteerd en verwerkt wordt door afvalverwerkingsbedrijven. Momenteel worden verschillende soorten bakstenen namelijk samengevoegd in menggranulaten. Afvalverwerkingsbedrijven zouden dus aangespoord moeten worden om rode baksten te scheiden van andere soorten bakstenen om ze daarna verder te verwerken tot substraatmateriaal. De lage beschikbare hoeveelheid aan cellenglas is te wijten aan het feit dat het afbraakmateriaal meteen verwerkt wordt in het productieproces. Hierdoor kan van het beschikbare aanbod cellenglas in de tabel momenteel geen materiaal aangekocht worden door substraatproducenten. Omdat er geen cellenglas beschikbaar is, kunnen de alternatieve substraten met cellenglas als materiaal niet op korte termijn geproduceerd worden. Er zou dus een alternatief voor cellenglas gezocht kunnen worden om deze substraten toch te produceren.

Ondanks dat er momenteel niet voldoende beschikbaar aanbod is om meteen al het groendaksubstraat te vervangen, kan er mogelijks wel door substraatfabrikanten begonnen worden aan het opstarten van een bijkomende productielijn met 'duurzaam/lokaal groendaksubstraat'.

De prijs van de alternatieve materialen (exclusief transport) ligt ver onder de aankoop prijs van lavagesteente voor substraatproducenten (30-35 euro/ton). Hierbij dient de opmerking echter gemaakt te worden dat als de vraag naar deze materialen zou stijgen door het gebruik in substraten, de prijs van de materialen zou kunnen beginnen te stijgen.

5 CONCLUSIE

Uit de verschillende analyses blijkt dat rode gemalen baksteen het meeste beloftevolle materiaal is (uit de onderzochte alternatieven) om gebruikt te kunnen worden als materiaal voor een alternatief groendaksubstraat. De belangrijke technische criteria van dit materiaal liggen sterk in lijn met diegene van lavagesteente waardoor het niet samengevoegd moet worden met andere materialen. Bovendien zijn de minder belangrijke kenmerken die niet in lijn liggen met de kenmerken van lavagesteente eenvoudig op te lossen wanneer het substraat wordt geproduceerd door toevoeging van organisch materiaal.

Uit de levenscyclusanalyses blijkt dat vooral het transport van de substraten een belangrijke rol speelt in de milieu-impact ervan. Naar milieu-impact toe bestaan er slechts geringe verschillen tussen de verschillende onderzochte alternatieve groendaksubstraten. Zolang de secundaire grondstoffen in het substraat van lokale oorsprong zijn en dus geen lange afstanden moeten afleggen om verder verwerkt te worden, zal de milieu-impact aanzienlijk lager zijn dan die van lavagesteente dat wel over grote afstanden moet worden getransporteerd worden.

Uit de marktanalyse blijkt bovendien dat een substraat van gemalen rode baksteen het meest waarschijnlijk is om zo snel mogelijk geproduceerd te kunnen worden aangezien er al enkele bedrijven zijn die gemalen rode baksteen aanbieden tegen een aanzienlijk lagere prijs/ton dan lavagesteente. Als het voor andere bedrijven financieel aantrekkelijk wordt om gemalen rode baksteen aan te bieden als substraatmateriaal, zal het aanbod ervan voldoende stijgen om te kunnen voldoen aan de vraag naar het alternatieve substraat. Voor de andere substraten zou zowel het steenachtige materiaal, als het gebroken cellenglas beschikbaar moeten zijn. Vooral de beschikbaarheid van cellenglas is zeer laag en zal waarschijnlijk zo blijven aangezien het afvalmateriaal snel hergebruikt wordt in de productie. Bovendien is er nog niet veel afbraakmateriaal beschikbaar in Vlaanderen door de lange levensduur van het materiaal.

6 LITERATUUR

Baksteenfederatie (2020). "Recyclage en hergebruik." from <https://www.baksteen.be/duurzaamheid-en-circulariteit/levenscyclus/1951/recyclage-en-hergebruik/>.

Breuning, J. and A. Yanders (2008). "Introduction to the FLL Guidelines for the Planning, Construction and Maintenance of Green Roofing." Green Roofing Guideline: 9.

CEN - European Committee for Standardization (2011). "EN 15978:2011 - Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method"

CEN - European Committee for Standardization (2019). "EN 15804:2012+A2:2019 Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction"

Dehondt, Y. (2017). "GROENDAKEN: ONBEKEND IS ONBEMIND." from <https://www.waterbewustbouwen.be/artikel/593/groendaken-onbekend-is-onbemind/>.

Driessche, V. V. (2021). Steeds meer vraag naar groendaken: "Wateroverlast van de voorbije weken bewijst noodzaak". VRT.

Federaal planbureau (2019). "Vooruitzichten van de transportvraag in België tegen 2040".

Molineux, C. J., et al. (2009). "Characterising alternative recycled waste materials for use as green roof growing media in the UK." Ecological Engineering **35**(10): 1507-1513.

Nagase, A. and N. Dunnett (2012). "Amount of water runoff from different vegetation types on extensive green roofs: Effects of plant species, diversity and plant structure." Landscape and urban planning **104**(3-4): 356-363.

OVAM (2020). "Environmental profile of building elements (update 2020)".

OVAM (2021). "URBAN MINING IN VLAANDEREN: Hoe waarde creëren met het sluiten van materiaalstromen?".

Perneel, S. (2020). "Groen-blauwe steden."

Rijksoverheid (2022). "Richtlijn herstel en beheer (water)bodemkwaliteit." from <https://www.bodemrichtlijn.nl/Bibliotheek/bouwstoffen-en-afvalstoffen/puin-en-granulaten/eigenschappen-puin-en-granulaten/materiaaleigenschappen-men104284>.

Sala S., Beylot A., Corrado S., Crenna E., Sanyé-Mengual E, and Secchi M. (2019). "Indicators and Assessment of the environmental impact of EU consumption. Consumption and Consumer Footprint for assessing and monitoring EU policies with Life Cycle Assessment", Luxembourg: Publications Office of the European Union, ISBN 978-92-79-99672-6, doi:10.2760/403263, JRC114814

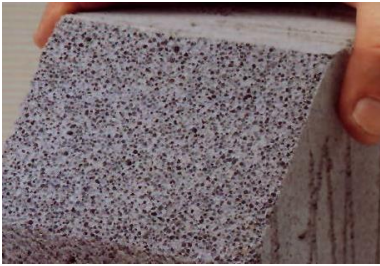
Sala, S., Cerutti, A.K., and Pant, R. (2018). "Development of a weighting approach for Environmental Footprint". European Commission, Joint Research Centre, Publication Office of the European Union, Luxembourg. ISBN 978-92-79-68041-0.

Stad Antwerpen (2022). Artikel 38 Groendaken.

Vijayaraghavan, K. (2016). "Green roofs: A critical review on the role of components, benefits, limitations and trends." Renewable and sustainable energy reviews **57**: 740-752.

7 BIJLAGE

Een eerste stap om materiaal/materialen uit urban mining processen te vinden voor gebruik als alternatieve minerale fractie in groendaks substraten, is het opsommen van alle mogelijke materialen uit urban mining. De technische eigenschappen en beschikbaarheid van deze materialen werden opgezocht, wat resulteerde in een selectie van acht materialen voor diepgaander onderzoek naar technische eigenschappen. Uiteindelijk werden vier materialen gekozen om deel uit te maken van de drie alternatieve groendaks substraten.

Material	Pro's	Con's	Selected for tests ?
Rubber crumbs  https://www.ubuy.vn/en/product/10MTWFWS-50-lb-bags-of-rubber-crumb-synthetic-turf-infill-material-for-turf-fringe-sport-fields	Although not common on the Belgian recycling market, it has multiple uses (tires, sports pitch, floor covering in playgrounds, etc) thus could be fairly available	Non-inert (polymer) Possible contamination or leaching issues Supplementary cleaning step might be required Low porosity thus high drainage	No
Autoclaved aerated concrete  https://www.buildinggreen.com/news-article/autoclaved-aerated-concrete-aac-will-us-ever-lighten	Lightweight Porous Available (production errors, mono-flow in démolition or contaminant in inert recycling)	Low compression strength Possible sulphate leachate issues	No
Clay and sewage sludge ash pellets Or ash pellets (from recycled newspaper)  https://feeco.com/wp-content/uploads/2015/03/fly-ash.png	Lightweight pellets Porous	Non-inert Possible pH or leaching issues Energy-demanding processing step required (pelletisation) Not available	No

Drywall  https://thumbs.dreamstime.com/b/victoria-british-columbia-canada-gypsum-wall-board-piled-up-awaiting-shipping-processing-recycling-plant-gypsum-wall-149248138.jpg	Available (production errors, mono-flow in démolition or contaminant in inert recycling)	Non-inert Possible pH or sulphate leaching issues Low porosity	No
Lumber cuttings  https://www.plantamnesty.org/event/webinar-science-based-strategies-for-using-wood-chips-with-clay-antieu/	Lightweight Available	Non-inert Rapid bio-degradation leading to loss of substrate volume, compaction and instability	No
Glass cullet  https://www.oem.knaufinsulation.com/fr/our-quality-challenge-to-recycle-more-used-glass	Available (glass recycling) Inert	Low porosity High density	No
Crushed asphalt  https://dirtsoilandmore.com/materials/driveway-and-parking-area/crushed-asphalt/	Available (asphalt recycling) Inert	Possible contamination issues Low porosity High density	No

Metallurgical slabs  https://www.bhs-sonthofen.com/fr/recyclage-and-environnement/solutions/processus-pour-la-recuperation-de-metaux/scories-metalliques-et-d-usines-siderurgiques	Available	Possible contamination issues Low porosity High density	No
Mineral insulation (glass wool or mineral wool)  https://www.silca-online.de/en/thermal-insulation/mineral-wool-boards/silcamin.html	Inert Relatively available (production errors, mono-flow in démolition) Lightweight Porous	Too lightweight Low resistance to compression leading to loss of substrate volume, compaction and instability	No
Crushed ceramic roof tiles  https://www.dreamstime.com/photos-images/broken-clay-red-roof-tiles.html	Inert Relatively available (production errors, mono-flow in démolition)	Low porosity High density	Yes (in combination with other material)
Crushed porcelain  https://kleincoinc.com/aggregate/kci-crushed-porcelain/	Inert Relatively available (production errors, mono-flow in démolition)	Low porosity High density	No

Concrete aggregate  https://www.tradecowall.be/produits/gravillons-de-debris-beton-20-31-5/	Inert Easily available (concrete recycling)	Low porosity High density	No
Brick aggregate  https://snyderlawncare.com/portfolio-items/products-3/	Inert Available (inert recycling)	Fairly low porosity Fairly high density	Yes
Mixed aggregate  https://www.tradecowall.be/produits/grave-de-prescalpage-mixtes-0-8-ce/Ye	Inert Easily available (inert recycling)	Low porosity High density	Yes (in combination with other material)
Crushed foamglass  https://en.wikipedia.org/wiki/Foam_glass	Inert Relatively available (production errors, mono-flow in démolition) Relatively porous No pH or leachate issues	Too lightweight	Yes (in combination with other material)