Steunpunt beleidsrelevant onderzoek 3de generatie

Duurzaam Materialenbeheer

ECONOMISCHE KOSTENANALYSE VAN SELECTIEVE INZAMELING EN SORTERING MINERALE WOL AFVAL

Gillabel Jeroen, Vanassche Stella & Vercalsteren An

Het steunpunt Duurzaam Materialenbeheer brengt zes belangrijke kennisinstellingen samen: KU Leuven, Universiteit Antwerpen, Universiteit Gent, Universiteit Hasselt, HUBrussel en VITO.

Rapportnummer: n°20

Categorie: Korte termijn opdracht

Leuven, 25 februari 2016

**Het rapport zal een definitieve publicatiedatum toegekend krijgen twee weken na notificatie van de interne en externe stuurgroep van het Steunpunt*

Gelieve naar deze publicatie te verwijzen als volgt:
Economische kostenanalyse van selectieve inzameling en sortering minerale wol afval, Gillabel J., Vanassche S., Vercalsteren A., rapport nummer 20, 2016.

Voor meer informatie over deze publicatie jeroen.gillabel@vito.be; stella.vanassche@vito.be; an.vercalsteren@vito.be

Deze publicatie kwam tot stand met de steun van de Vlaamse Gemeenschap, Programma Steunpunten voor Beleidsrelevant Onderzoek.

In deze publicatie wordt de mening van de auteur weergegeven en niet die van de Vlaamse overheid. De Vlaamse overheid is niet aansprakelijk voor het gebruik dat kan worden gemaakt van de opgenomen gegevens.

Template ontworpen door HIVA – KU Leuven

© 2016 STEUNPUNT DUURZAAM MATERIALEN BEHEER, KASTEEL ARENBERG 44, BUS 2450, B-3001 HEVERLEE

Inhoud

Managementsamenvatting **iv**

1. Inleiding **7**

2. Doel en aanpak van de studie **8**
2.1 Doel 8
2.2 Afbakening scope en aanpak 8

3. Huidige inzamel- en verwerkingsketen voor minerale wol in Vlaanderen **10**
3.1 Minerale wol afkomstig van particulieren via het recyclagepark 11
3.2 Containerfirma's en afvalverwerkende bedrijven 11
3.3 Bouwbedrijven 12

4. Mogelijke inzamel- en voorbehandelingsketens voor recyclage van minerale wol **13**
4.1 Kwaliteitsvereisten voor recyclage van minerale wol afval 13
4.2 Mogelijke ketens voor inzameling en voorbehandeling minerale wol met oog op recyclage 14

5. Afbakening inzamelketens voor kostenanalyse **17**
5.1 Basisscenario huidige praktijk 17
5.2 Recyclagescenario's 17
5.2.1 Sorteer- en bewerkingsstappen 17
5.2.2 Scenario recyclagepark 18
5.2.3 Scenario's professionele inzameling 19

6. Kostenanalyse voor inzameling en voorbehandeling van minerale wol afval **20**
6.1 Algemene parameters 20
6.1.1 Densiteit van minerale wol 20
6.1.2 Vermeden kosten voor storten of verbranden 20
6.2 Oorsprong en afvoer 21
6.2.1 Inzameling van plaatsing- en sloopafval via recyclagepark 21
6.2.2 Inzameling sloop- en plaatsingsafval via professionele bedrijven 25
6.3 Resultaten kostenanalyse 26
6.3.1 Inzameling plaatsing- en sloopafval via recyclagepark 26
6.3.2 Inzameling plaatsings- en sloopafval via professionele bedrijven 31

7. Conclusies **33**

8. Bibliografie **35**

Managementsamenvatting

Op vraag van OVAM en de sector van minerale wol producenten bracht het Steunpunt Duurzaam Materialenbeheer (SuMMa) de huidige keten van minerale wol in kaart, en maakte een inschatting van de toekomstige evolutie van de minerale wol afvalstroom (Vercalsteren et al, 2014). Het onderzoek richtte zich op steenwol en glaswol, met een focus op bouwtoepassingen. Voorliggend rapport bouwt verder op dit onderzoek, met als doel het verkennen van de economische kosten verbonden aan het inzamelen, voorbehandelen en transporteren van minerale wol afvalstromen tot aan de poort van de recyclagefaciliteit.

Het doel van deze studie is het maken van een eerste inschatting van de economische kosten en baten (= vermeden kosten ten opzichte van verbranden of storten) van het selectief inzamelen, eventueel voorbehandelen en transporteren richting recyclagefaciliteiten van minerale wol afvalstromen afkomstig van particuliere en professionele plaatsings-, renovatie en sloopwerkzaamheden. Aangezien selectieve inzameling, uitsortering en recyclage van post-productie minerale wol afval vandaag niet of nauwelijks gebeurt, zijn er weinig concrete cijfers voorhanden om nauwkeurige inschattingen te maken. De uitwerking van deze studie is gebaseerd enerzijds op de beschikbaarheid van de nodige data, en anderzijds op praktijk inzichten over welke stappen nodig en haalbaar zijn. Deze praktijk inzichten zijn afkomstig van verschillende bedrijven actief in de minerale wol keten, alsook van het proefproject voor selectieve inzameling van minerale wol op recyclageparken (project uitgevoerd door OVAM, de stad Gent, IVAGO, ECOV vertegenwoordigd door SITA en de producenten van minerale wol van 1 juli tot 30 november 2015).

De resultaten van deze studie moeten dan ook gezien worden als een eerste verkenning van welke mogelijkheden er al dan niet zijn, en wat de grootte-orde is van de eraan verbonden kosten. Deze informatie kan de OVAM, producenten van minerale wol en andere actoren in de minerale wol keten helpen bij het nemen van verdere stappen in de richting van het ontwikkelen van een gesloten kringloop voor minerale wol. Bovendien konden de kosten en baten verbonden aan het recyclageproces zelf niet worden meegenomen in het onderzoek wegens gebrek aan publiek beschikbare data over de minerale wol productie- en recyclageprocessen. Hierdoor kunnen de resultaten niet vanuit een levenscyclusperspectief beoordeeld worden.

In een eerste stap werd, in samenwerking met de producenten van minerale wol, onderzocht wat de kwaliteitsvereisten zijn waaraan minerale wol afval moet voldoen om ingezet te kunnen worden in bestaande recyclageprocessen. Uit dit onderzoek bleek dat zowel voor glaswol als voor steenwol gelijkaardige criteria gelden, met als enige verschil dat het verwijderen van vliezen niet nodig is voor de recyclage van steenwol. Minerale wol van kwaliteit type 1 vereist dat vliezen of andere materialen die deel uitmaakten van het originele product verwijderd worden. Uit het lopende proefproject met selectieve inzameling van minerale wol op de Gentse recyclageparken kon afgeleid worden dat het verwijderen van deze vliezen praktisch en economisch niet haalbaar blijken. Dit betekent dat indien de recyclage minerale wol afval van kwaliteit type 1 vereist, de recycleurs of producenten van minerale wol de kosten voor het verwijderen van de vliezen zullen moeten dragen. Indien deze kost te hoog is om het sluiten van de keten economisch haalbaar te maken, kunnen de producenten ook overwegen om het probleem aan te pakken via aanpassingen aan het productdesign.

Uit het proefproject bleek verder dat het ingezamelde minerale wol afval voldoet aan de vereisten voor kwaliteit type 2. Dit betekent dus dat er geen extra reinigingsstap voorzien moet worden. Aangezien het ingezamelde afval op de recyclageparken bestaat uit een mix van plaatsings- en sloopafval, gaan we er van uit dat ook sloopafval afkomstig van professionele bedrijven aan type 2 voldoet. Verder praktijkonderzoek moet uitwijzen of deze veronderstelling klopt. Op basis van de kennis uit het proefproject, aangevuld met informatie verkregen bij enkele bouwfirma's en afvalbedrijven, werden specifieke inzamel- en transportscenario's uitgewerkt voor minerale wol afval dat vrijkomt op recyclageparken (sloop- en plaatsingsafval gemengd), bij bouwbedrijven (plaatsingsafval) en bij afvalinzamelaars (plaatsings- en sloopafval apart). Er werd geen scenario uitgerekend waarbij de minerale wol via na-sortering uit gemengd werf- of sloopafval wordt gehaald, omdat dit enkel praktisch en economisch haalbaar blijkt als het onderdeel uitmaakt van een reeds bestaande sorteerlijn. Hierdoor kunnen geen specifieke kosten toegewezen worden voor na-sortering aan minerale wol.

Aangezien de cijfers waarop de kostenanalyse gebaseerd is, gepaard gaan met belangrijke aannames en onzekerheden, geven de resultaten van de analyse enkel grootte-ordes weer van de te verwachten reële kosten. Desalniettemin kunnen er uit deze resultaten enkele voorzichtige conclusies getrokken worden.

Ten eerste kan de algemene conclusie getrokken worden dat de selectieve inzameling en transport naar recyclage via recyclageparken een netto meerkost (grootte-orde 100€/ton tot 500 €/ton) betekent ten opzichte van de situatie vandaag. De kost wordt voor een belangrijk deel bepaald door het transport, waarbij het lage soortelijke gewicht en de grote ruimtelijke spreiding van een relatief klein in te zamelen volume een ernstig nadeel vormen. Het samenpersen van het afval voor transport lijkt evenmin een oplossing omdat de grote ruimtelijke spreiding veel (dure) perscontainers vereist, terwijl er per container maar een kleine hoeveelheid afval te verwerken is. Hierbij dient opgemerkt te worden dat bij de berekeningen in deze studie werd uitgegaan van het apart transporteren van het minerale wol afval. Combinatie van het transport van het minerale wol afval met het transport van zware afvalstromen (bijvoorbeeld bovenop een vracht bouwpuin), zou de economische haalbaarheid ten goede komen.

Verder blijkt dat de totale kost voor inzameling op het recyclagepark sterk bepaald wordt door de eventuele kost om extra ruimte (of personeel) in te zetten voor deze inzameling. Er kan dus geen algemene uitspraak gedaan worden over de te verwachte kosten van selectieve inzameling op het recyclagepark zonder kennis over de individuele mogelijkheden ervan.

Daarnaast is duidelijk dat zelfs met een hoger aanbod aan minerale wol afval dan vandaag, de grootte-orde van de in te zamelen hoeveelheden minerale wol afval op de recyclageparken een kosten-efficiënte werking moeilijk maakt. Een aanpak waarbij de inzameling beperkt wordt tot een kleiner aantal goed gekozen parken kan een antwoord bieden op dit probleem, al moet dit afgewogen worden tegen de extra kosten en praktische bezwaren op vlak van communicatie naar de burger.

Voor de scenario's waarbij het minerale wol afval ingezameld wordt door private bedrijven, valt de kost per ton lager uit dan voor het duurste scenario met inzameling via het recyclagepark. Dit is voornamelijk te wijten aan de gemaakte aanname dat het minerale wol afval bij de bron selectief wordt ingezameld. Een economisch haalbare recyclageketen voor minerale wol vereist dus de toepassing van selectieve sloop of bronscheiding van werfafval. Dit zijn systeemveranderingen die stapsgewijs en door

een ruime groep van actoren en beleidsmaatregelen gerealiseerd moeten worden. Zoals het project rond inzameling van minerale wol afval op recyclageparken aantoont, geven proefprojecten, waarbij producenten, afvalbedrijven, overheid en andere relevante stakeholders samenwerken, een stimulans om de nodige stappen te zetten in de richting van een gesloten kringloop voor bouwmaterialen.

Zelfs met selectieve inzameling van minerale wol afval op de werf, is er een aanzienlijke transportkost die overbrugd moet worden vooraleer transport naar recyclage economisch interessanter wordt dan verbranden of storten. In specifieke situaties wordt deze transportkost mogelijk gecompenseerd door de vermeden transportkosten bij de gemengde restfractie, maar dit kan niet veralgemeend worden. Of de resterende kost gedragen kan worden door de producenten of recycleurs, zal grotendeels bepaald worden door de evolutie van de prijzen van primaire grondstoffen die vervangen kunnen worden door minerale wol afval. Omdat cijfers over deze prijzen niet publiek beschikbaar zijn, kunnen hierover geen verdere uitspraken gedaan worden.

1. Inleiding

Om enerzijds meer materiaalkringlopen te sluiten en ze anderzijds beter of hoogwaardiger te sluiten, is het niet alleen relevant om de momenteel beschikbare reststromen onder de loep te nemen, maar ook om te kijken naar i) reststromen die in de (nabije) toekomst in grotere hoeveelheden beschikbaar zullen of kunnen komen en ii) hoe specifieke kleinere reststromen beter kunnen ingezameld worden om de kringloop te kunnen sluiten.

Minerale wol is een dergelijke reststroom: momenteel wordt deze reststroom niet of amper selectief ingezameld en/of gerecycleerd. Vandaag de dag wordt deze stroom mee verwerkt met de bulk waarin hij terecht komt. Naar de toekomst kan men overwegen om deze stroom beter/selectief in te zamelen. Bovendien zal er in de toekomst ook een grotere hoeveelheid van dit materiaal beschikbaar komen omwille van het toegenomen gebruik in de bouw als isolatiemateriaal. Selectieve inzameling biedt dan mogelijks potentieel om deze materiaalketen efficiënt te sluiten.

Op vraag van OVAM en de sector van minerale wol producenten bracht het Steunpunt Duurzaam Materialenbeheer (SuMMa) de huidige keten van minerale wol in kaart, en maakte een inschatting van de toekomstige evolutie van de minerale wol afvalstroom (Vercalsteren et al, 2015). Het onderzoek richtte zich op steenwol en glaswol, met een focus op bouwtoepassingen. Voorliggend rapport bouwt verder op dit onderzoek, met als doel het verkennen van de economische kosten verbonden aan het inzamelen, voorbehandelen en transporteren van minerale wol afvalstromen tot aan de poort van de recyclagefaciliteit.

2. Doel en aanpak van de studie

2.1 Doel

Het doel van deze studie is het maken van een eerste inschatting van de economische kosten en baten (= vermeden kosten ten opzichte van verbranden of storten) van het selectief inzamelen, eventueel voorbehandelen en transporteren richting recyclagefaciliteiten van minerale wol afvalstromen afkomstig van particuliere en professionele plaatsings-, renovatie en sloopwerkzaamheden.

Aangezien selectieve inzameling, uitsortering en recyclage van post-productie minerale wol afval vandaag niet of nauwelijks gebeurt, zijn er weinig concrete cijfers voorhanden om nauwkeurige inschattingen te maken. De resultaten van deze studie moeten dan ook gezien worden als een eerste verkenning van welke mogelijkheden er al dan niet zijn, en wat de grootte-orde is van de eraan verbonden kosten. Deze informatie kan de OVAM, producenten van minerale wol en andere actoren in de minerale wol keten helpen bij het nemen van verdere stappen in de richting van het ontwikkelen van een gesloten kringloop voor minerale wol. Bovendien konden de kosten en baten verbonden aan het recyclageproces zelf niet worden meegenomen in het onderzoek wegens gebrek aan publiek beschikbare data over de minerale wol productie- en recyclageprocessen. Hierdoor kunnen de resultaten niet vanuit een levenscyclusperspectief beoordeeld worden.

2.2 Afbakening scope en aanpak

In overleg met de stuurgroep[1] werd beslist om dit onderzoek te focussen op minerale wol afval afkomstig van *bouw en sloop* én op reeds gekende en *bewezen valorisatiemogelijkheden*. Omdat productie-afval grotendeels opnieuw wordt ingezet in de productieprocessen (momenteel wordt 66-75% van het productie-afval gerecycleerd binnen het productieproces (EURIMA, 2015)), wordt enkel het *post-productie afval* van glaswol en steenwol beschouwd.

Er worden drie momenten beschouwd waarop minerale wol afval vrijkomt, namelijk

i) snijresten tijdens plaatsing van minerale wol op de werf (zowel bij nieuwbouw als na-isolatie);
ii) sloopafval bij renovatie van woningen;
iii) sloopafval bij sloop van woningen.

In principe kan het minerale wol afval in alle gevallen zowel als een mono- als een gemengde stroom vrijkomen. Momenteel is het snijafval meestal een zuivere stroom, wat de valorisatiemogelijkheden verruimt, terwijl de sloopresten meestal als een gemengde fractie bij het ander bouw- en sloopafval vrijkomen. In hoofdstuk 3 wordt een beknopt overzicht gegeven van de huidige inzamel- en verwerkingsketen voor minerale wol in Vlaanderen. Voor een uitgebreide bespreking hiervan verwijzen we naar Vercalsteren et al, 2015.

[1] De uitvoering van deze opdracht werd opgevolgd door een stuurgroep bestaande uit vertegenwoordigers van: OVAM, FEBEM, Interafval, IVAGO, SITA, ROCKWOOl, ISOVER, URSA, KNAUF en EURIMA.

Vertrekkende van de verschillende bronnen van post-productie minerale wol afval enerzijds en de kwaliteitsvereisten voor de inzet van minerale wol afval in bestaande recyclageprocessen anderzijds, kunnen verschillende mogelijke toekomstscenario's voor inzamel- en voorbehandeling bedacht worden. In hoofdstuk 4 wordt eerst, op basis van kennis beschikbaar bij de producenten, ingeschat wat de kwaliteitsvereisten zijn waaraan het minerale wol afval moet voldoen om gerecycleerd te kunnen worden in vandaag bestaande recyclagetoepassingen. Vervolgens worden mogelijke modelketens voor inzameling en voorbehandeling uitgewerkt die minerale wol stromen kunnen opleveren die aan deze vereisten voldoen.

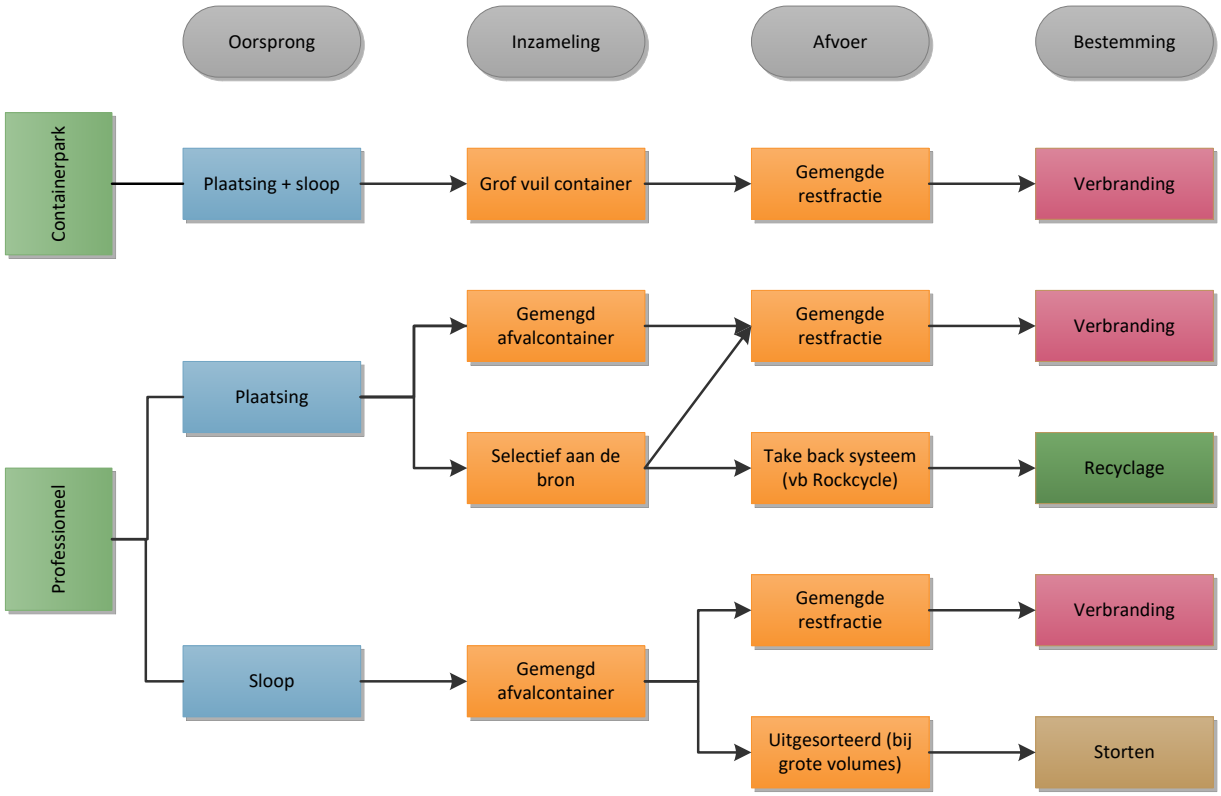
Niet alle mogelijke combinaties van inzameling, uitsortering en eventuele voorbehandeling zullen echter even realistisch zijn. Daarom wordt in hoofdstuk 5 een selectie gemaakt van 3 scenario's waarvoor een economische analyse gemaakt wordt in hoofdstuk 6. De selectie is gebaseerd enerzijds op de beschikbaarheid van de nodige data, en anderzijds op praktijk inzichten over welke stappen nodig en haalbaar zijn. Deze praktijk inzichten zijn afkomstig van verschillende bedrijven actief in de minerale wol keten, alsook van het proefproject voor selectieve inzameling van minerale wol op recyclageparken (project uitgevoerd door OVAM, de stad Gent, IVAGO, ECOV vertegenwoordigd door SITA en de producenten van minerale wol van 1 juli tot 30 november 2015).

De economische analyse in hoofdstuk 6 leidt tot de inschatting van de kosten (per ton minerale wol) voor de verschillende delen van de keten: inzameling, transport en eventuele voorbehandeling. Daarnaast worden ook de kosten berekend die vermeden worden omdat het minerale wol afval niet meer gestort of verbrand wordt. Tot slot worden in hoofdstuk 7 de voornaamste conclusies van deze studie samengevat.

3. Huidige inzamel- en verwerkingsketen voor minerale wol in Vlaanderen

Minerale wol afval binnen de scope van deze studie komt in principe vrij via drie kanalen: particulieren die plaatsingsafval of bouwafval afvoeren via het recyclagepark, afvalverwerkende bedrijven die bouwafval of plaatsingsafval ontvangen via containers verhuurd aan particulieren of via professionele bouw- en sloopwerken, en bouwbedrijven die plaatsingsafval van isolatiewerken afvoeren. De verschillende inzamelketens die momenteel gangbaar zijn worden schematisch weergegeven in Figuur 1.

Figuur 1: Huidige inzamelketens van minerale wol



3.1 Minerale wol afkomstig van particulieren via het recyclagepark

De hoeveelheid minerale wol die via de recyclageparken ingezameld wordt is momenteel slecht gekend omdat selectieve inzameling nergens wordt toegepast. Het proefproject met selectieve inzameling van minerale wol afval op 6 recyclageparken in en rond Gent leverde een ingezamelde hoeveelheid op van ongeveer 12 ton over een periode van ongeveer 3 maanden (de finale cijfers bij afloop van het project op 30 november 2015 waren nog niet bekend bij publicatie van dit rapport). Hierin zitten zowel snijresten van het plaatsen van minerale wol als minerale wol afval dat vrijkomt bij renovatie- of sloopwerkzaamheden, omdat deze 2 fracties niet apart werden ingezameld.

Hetgeen binnenkomt belandt ofwel bij het grof vuil, ofwel bij het bouw- en sloopafval. De inzameling van bouw- en sloopafval op de recyclageparken evolueert (omwille van de hogere kwaliteitseisen die het eenheidsreglement voor gerecycleerde granulaten vooropstelt, en dat via Copro of Certipro certificatie wordt gewaarborgd) naar een aparte inzameling van recycleerbaar steenpuin en een inzameling van ander bouw- en sloopafval dat ongewenst is bij de productie van gerecycleerde puingranulaten. Minerale wol komt dan in de container voor grofvuil, voor niet-recycleerbaar bouw- en sloopafval of voor inerte materialen terecht. Deze fractie wordt vervolgens afgevoerd naar afvalverbrandingsinstallaties, of naar stortplaatsen in geval van de container voor inert bouw- en sloopafval.

3.2 Containerfirma's en afvalverwerkende bedrijven

Minerale wol als onderdeel van bouw- en sloopafval komt bij afvalverwerkende bedrijven terecht via containers die gehuurd en gevuld worden door particulieren, of die gehuurd en gevuld worden door professionele bouw- of sloopbedrijven. Afhankelijk van het type werkzaamheden waarvoor containers worden ingezet (bouwwerkzaamheden of afbraakwerkzaamheden) gaat het ofwel om plaatsingsafval of om sloopafval. Aangezien afbraak- en bouwwerkzaamheden verschillende fases zijn die niet samen voorkomen in de tijd, en bovendien vaak uitgevoerd worden door verschillende aannemers, kan aangenomen worden dat plaatsingsafval van minerale wol en minerale wol afval van sloopwerken normaal gezien nooit samen afgevoerd worden via professionele inzamelaars.

Uit de communicatie van verschillende containerverhuurbedrijven en afvalinzamelaars met betrekking tot de verhuur van containers voor bouw- en sloopafval blijkt duidelijk dat isolatiemateriaal enkel wordt toegelaten in de gemengde restfractie. Dit afval wordt meer dan waarschijnlijk door het afvalverwerkende bedrijf afgevoerd als gemengd sloopafval dat naar verbranding gaat.

Bij grote sloopwerken door een afvalverwerkend bedrijf worden verschillende fracties selectief afgevoerd van de werf met oog op decontaminatie (Afgedankte Elektrische en Elektronische Apparaten, asbesthoudende stoffen, gevaarlijke stoffen) of na-gesorteerd voor valorisatie (steenpuin, metaal, gipskarton,…). Na verdere sortering van het bouw- en sloopafval op het afvalverwerkende bedrijf (afkomstig van eigen sloopwerken of van containers verhuurd aan derden) komt minerale wol

isolatie terecht in het gemengd sloopafval, dat naar verbranding wordt afgevoerd. Als het echter over grote hoeveelheden minerale wol gaat, worden ze afgevoerd naar een stortplaats aangezien minerale wol in principe geen brandbare afvalstof is. Aangezien de hoeveelheid minerale wol in het sloopafval in de nabije toekomst zal stijgen (Vercalsteren et al, 2015), zal de noodzaak om minerale wol af te voeren naar stortplaatsen toenemen.

3.3 Bouwbedrijven

Zoals hierboven aangegeven, voeren bouwbedrijven die isolatie plaatsen hun plaatsingsafval vaak af via gehuurde afvalcontainers voor bouw- en sloopafval. Zo komt dit afval meestal terecht in de gemengde restfractie van het bouw- en sloopafval. Bij na-isolatie van bestaande gebouwen kan het wel zijn dat de afgevoerde containers nagenoeg volledig uit minerale wol afval bestaat (bijvoorbeeld afkomstig van aannemers in dak-isolatie).

Er bestaan echter momenteel nog 2 andere praktijken in Vlaanderen. Voor steenwol bestaat de mogelijkheid om plaatsingsafval en sloopafval van alle producten die door ROCKWOOL verkocht worden, selectief te laten afvoeren via het Rockcycle systeem dat ROCKWOOL heeft opgezet in samenwerking met Van Gansewinkel. ROCKWOOL schat in dat het ingezamelde afval voor 70% uit plaatsingsafval bestaat, en voor 30% uit minerale wol afval afkomstig van afbraakwerken. Dit afval wordt verwerkt tot nieuwe ROCKWOOL producten. Daarnaast zijn er ook bouwbedrijven die hun eigen werfafval sorteren om zoveel mogelijk waarde te recupereren. Beneens heeft een zeer uitgebreid intern systeem voor selectieve inzameling en sortering aan de bron van het bouwafval dat ontstaat tijdens hun activiteiten. Bij Beneens wordt minerale wol plaatsings-afval selectief ingezameld in bigbags, en vervolgens op de eigen site samengeperst. Vervolgens komt het wel nog steeds terecht bij de gemengde restfractie omdat afvoer richting recyclage vandaag niet economisch haalbaar blijkt.

4. Mogelijke inzamel- en voorbehandelingsketens voor recyclage van minerale wol

4.1 Kwaliteitsvereisten voor recyclage van minerale wol afval

De producenten van minerale wol werd gevraagd om informatie te bezorgen over de vereisten waaraan minerale wol afval moet voldoen om ingezet te kunnen worden in bestaande recyclage-faciliteiten. Op basis van deze informatie werden volgende types minerale wol afval afgebakend die in aanmerking komen voor een of andere vorm van recyclage. Hierbij wordt er van uit gegaan dat steenwol en glaswol afval bij de bron van elkaar gescheiden worden.

Type 1:

- Droog
- Vrij van grove verontreiniging, zoals hout, ijzer, staal, nagels, …
- Vrij van vervuiling met chemische stoffen (e.g. olie, vetten, lijmen,…)
- Stof en kleine verontreiniging is aanvaardbaar
- De densiteit is geen relevante parameter, zuivere fracties mogen voor transport samengeperst worden

Type 2:

- Alle vereisten van Type 1
- Aanwezigheid van materialen die deel uitmaakten van het originele product (zoals verstevigend gaas, aluminium of bitumen bevestigingslagen,…) is aanvaardbaar.

Type 3:

- Droog
- Vrij van grove verontreiniging, zoals hout, ijzer, staal, nagels, …
- De densiteit is geen relevante parameter, zuivere fracties mogen voor transport samengeperst worden

Types 1 en 2 zijn geschikt voor inzet in productie van minerale wol producten. Het verschil tussen beide zit in de al dan niet aanwezigheid van andere materialen die deel uitmaakten van het minerale wol product zoals het op de markt is gekomen. Het kan gaan om aluminium flenzen, glasvezel vliezen, verstevigend gaas,… . Deze materialen kunnen voor bepaalde recyclagetoepassingen problematisch zijn, vooral in het geval van alu flenzen die niet compatibel zijn met het recyclageproces van glaswol. Voor recyclage van steenwol vormt de aanwezigheid van deze materialen geen probleem, en is er dus geen onderscheid tussen type 1 en 2. Type 3 komt niet in aanmerking voor recyclage tot minerale wol, maar wordt beschouwd als een representatieve kwaliteit voor recyclage-opties in andere toepassingen met minder strikte samenstellingsvereisten. De verschillen tussen de 3 types worden nog eens schematisch weergegeven in Tabel 1.

Deze indeling in 3 types is gekozen om de consequenties van de verschillende types minerale wol afval voor de nodige stappen in de voorbehandelingsketen te kunnen meenemen in de kostenanalyse. De vervuilingsgraad van de minerale wol, en de aan- of afwezigheid van andere materiaalsoorten (zoals aluminium) bepaalt immers mee de noodzaak om extra ontmantelingsstappen of reinigingsstappen te voorzien, en dus ook de kost ervan. Naast de gekozen indeling is ook de onderverdeling minerale wol

plaatsingsafval en minerale wol sloopafval relevant. Plaatsingsafval heeft in principe een grotere waarde voor de producenten, omdat de vervuilingsgraad normaliter beperkt is, en de herkomst van het materiaal gekend is. Technisch gezien is er echter op basis van de bovenstaande indeling geen nood aan aparte inzamel- en voorbehandelingsketens voor plaatsingsafval en sloopafval.

Tabel 1: overzicht kwaliteitsvereisten voor recyclage van minerale wol afval

Type 1	Type 2	Type 3
Droog, vrij van grove verontreiniging (hout, ijzer, staal, nagels,...)		
Densiteit is niet relevant, zuivere fracties mogen samengeperst worden voor transport		
Vrij van vervuiling met chemische stoffen (olie, vetten, lijmen)		
Stof en kleine verontreiniging aanvaardbaar		
Vrij van andere materialen die deel uitmaakten van product (gaas, flens,...)		

4.2 Mogelijke ketens voor inzameling en voorbehandeling minerale wol met oog op recyclage

In principe zijn er vele mogelijke ketens mogelijk om de inzameling en voorbehandeling van minerale wol afval zo te regelen dat de beoogde kwaliteitsvereisten voor recyclage gehaald worden. In de praktijk zullen sommige scenario's echter meer praktisch, structureel goedkoper, effectiever of minder risicovol zijn dan andere. Aangezien er momenteel nagenoeg geen recyclageketens voor minerale wol bestaan, is er weinig kennis en data beschikbaar om de meest geschikte ketens te definiëren. Daarom wordt in deze paragraaf een open overzicht gemaakt van een aantal modelketens voor de inzameling en voorbehandeling van minerale wol met oog op recyclage. Hierbij wordt vertrokken van de voornaamste bronnen van minerale wol afval zoals ze vandaag bestaan (zie hoofdstuk 3). Daar wordt vervolgens een combinatie van mogelijke inzamel-, sorteer- en bewerkingsstappen aan gekoppeld, om zo te komen tot een bepaalde kwaliteit van minerale wol afval zoals gedefinieerd in 4.1.

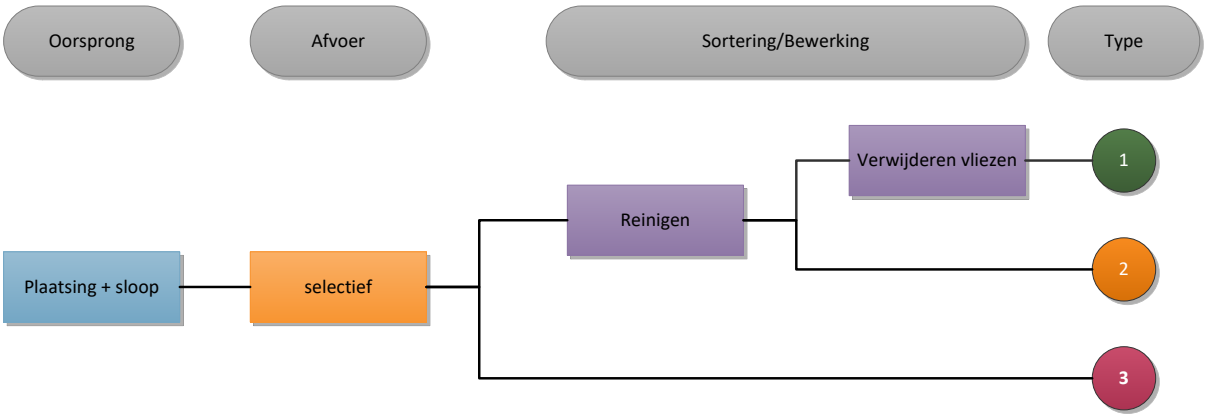
In hoofdstuk 5 wordt de verzamelde praktijk-kennis gebruikt om een selectie te maken van de meest realistische ketens in de huidige context. Voor deze ketens wordt vervolgens in hoofdstuk 6 een economische analyse gemaakt.

Voor alle scenario's wordt verondersteld dat steenwol en glaswol bij de bron gescheiden worden. Dit is essentieel om recyclage mogelijk te maken (zie ook hoofdstuk 3), en na-sortering van deze twee types minerale wol afval is niet haalbaar met de huidige beschikbare praktijken.

4.2.1.1 Inzameling via het recyclagepark

In het proefproject selectieve inzameling van minerale wol afval op recyclageparken wordt het minerale wol afval selectief ingezameld op 6 recyclageparken die onder het beheer vallen van IVAGO. Hierbij worden steenwol en glaswol bij de bron selectief ingezameld. Plaatsingsafval en sloopafval van minerale wol worden echter, om praktische redenen, niet gescheiden bij inzameling. In principe kan de kwaliteit van het ingezamelde afval zeer variabel zijn. Daarom kan het nodig zijn om extra reinigingsstappen toe te passen om type 2 te halen. Aangezien de vliezen die eventueel aanwezig zijn op de minerale wol niet worden verwijderd op het recyclagepark, dient dit nadien nog gedaan te worden indien het nodig is type 1 te bekomen. De mogelijke stappen om vanaf het ingezamelde afval tot aan de types te geraken zijn visueel weergegeven in Figuur 2.

Figuur 2: Mogelijke scenario's voor minerale wol afval van recyclageparken



4.2.1.2 Inzameling via private bedrijven

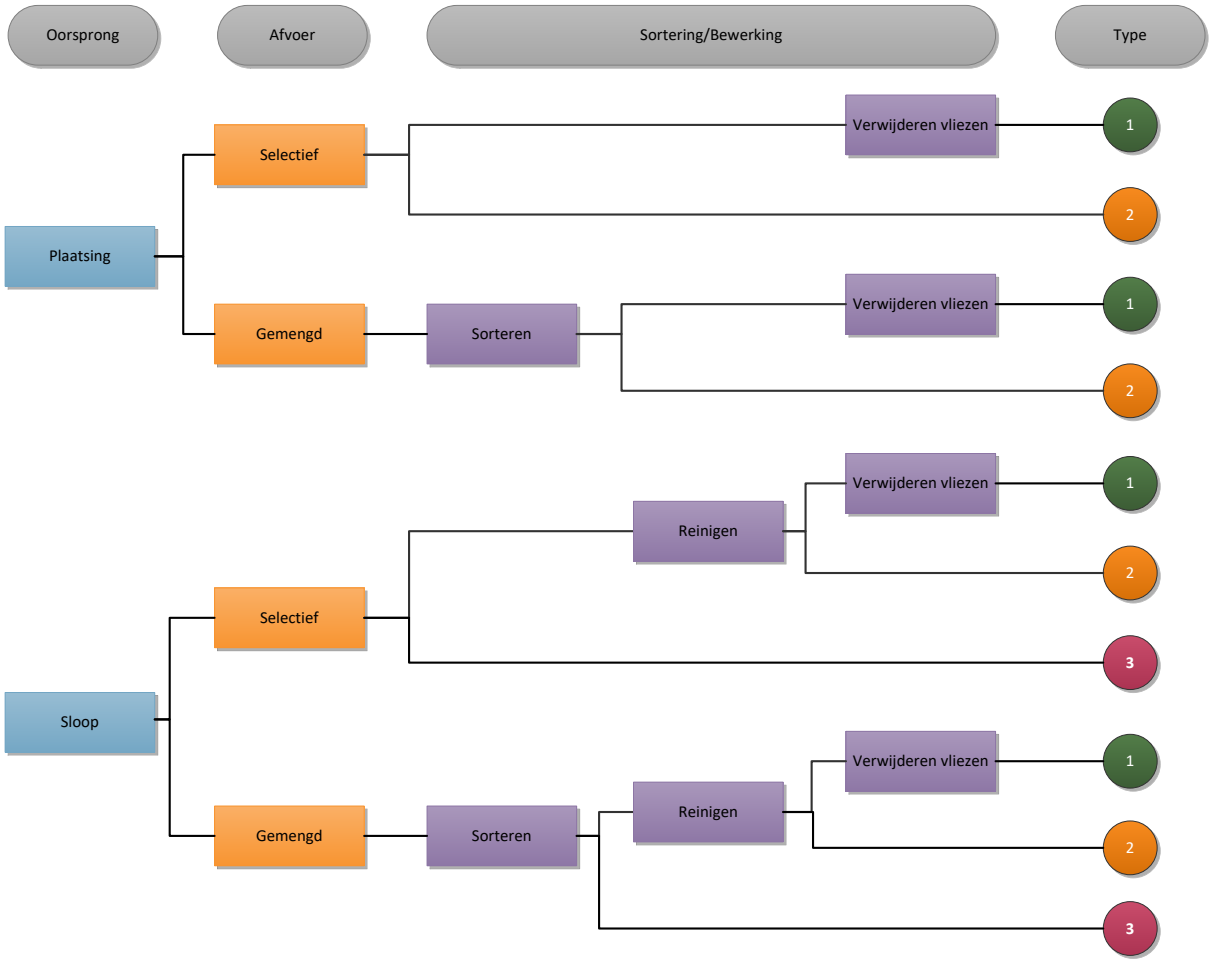
Voor het minerale wol afval dat vrijkomt via private inzamelaars, wordt aangenomen dat plaatsingsafval en sloopafval afzonderlijk worden ingezameld, omdat bouw- en sloopwerken doorgaans op verschillende momenten in het (ver)bouwproces plaatsvinden. Daarnaast onderscheiden we voor beide types afval een route die vertrekt van scheiding van het minerale wol afval van andere afvalstromen bij de bron (sortering van werfafval bij de bron, respectievelijk selectieve sloop), en een route die uitgaat van gemengde afvoer en na-sortering bij een afvalbedrijf.

Voor de route "selectieve inzameling van plaatsingsafval", kunnen we er van uit gaan dat de samenstelling voldoet aan de eisen van Type 2, aangezien het minerale wol afval al gescheiden is van andere grove verontreinigingen, en in principe vrij is van fijne of chemische vervuiling. Om Type 1 te bekomen, dient er nog wel een bewerkingsstap toegevoegd te worden om de vliezen van de minerale wol te verwijderen.

Voor de route "gemengde inzameling van plaatsingsafval", is er in de eerste plaats na-sortering nodig om het minerale wol afval te scheiden van grove verontreiniging. Nadien gelden dezelfde mogelijkheden als voor de vorige route.

Voor het sloopafval geldt dezelfde logica (selectieve sloop of na-sortering, verwijdering vliezen of niet), met de bijkomende mogelijkheid dat het nodig kan zijn om het afval nog een bepaalde reiniging te laten ondergaan om aan de vereisten van type 1 of 2 te voldoen. De kans bestaat immers dat het afval vermengd is geraakt met andere afvalstromen (door verlijming bij de constructie, door aantasting tijdens de gebruiksfase, door beperkingen bij de sloop,…). Om aan type3 te voldoen, volstaat de selectieve sloop of na-sortering van het minerale wol afval.

Figuur 3: Mogelijke scenario's voor minerale wol afval van professionele inzamelaars



5. Afbakening inzamelketens voor kostenanalyse

De modelketens die beschreven werden in het vorige hoofdstuk zijn te beschouwen als een algemeen kader voor de ontwikkeling van werkelijke recyclageketens voor minerale wol. Om te komen tot realistische ketens die alle noodzakelijke stappen omvatten op de meest kosten-efficiënte manier, is kennis nodig uit de praktijk. Zo moet de kwaliteit van het vrijkomende afval in de praktijk getest worden aan de criteria voor recycleerbaarheid, moet een inschatting gemaakt kunnen worden over de praktische en economische haalbaarheid van na-sortering, enzovoort. Een deel van deze kennis kon gehaald worden uit het proefproject op de recyclageparken. Dit werd aangevuld met kennis uit de praktijk die verzameld werd bij minerale wol producenten, bouwbedrijven, sloopbedrijven en afvalbedrijven. Aangezien geen van de beschreven stappen in de modelketens vandaag al tot de gangbare praktijk horen, is de bekomen informatie afkomstig van een beperkt aantal spelers, en dan nog veelal pioniers.

In dit hoofdstuk worden, op basis van de verzamelde praktijkkennis, uit de modelketens scenario's gekozen waarvoor een economische kostenanalyse kan worden uitgevoerd. De keuzes die hierbij gemaakt worden zijn deels bepaald door hetgeen de beperkte praktijkkennis ons leert over de stappen die nodig of mogelijk zijn, en deels door de noodzaak om ons te beperken tot die scenario's waarvoor zinvolle economische parameters gevonden kunnen worden.

5.1 Basisscenario huidige praktijk

Om de vermeden kosten te kunnen inschatten, wordt een basisscenario naar voor geschoven dat de huidige praktijk weergeeft. Voor het basisscenario gaan we uit van de standaard inzamelpraktijken bij sloopbedrijven en afvalverwerkende bedrijven en particulieren via het recyclagepark zoals beschreven in hoofdstuk 3. Aangezien het grootste gedeelte van de minerale wol wordt afgevoerd in een gemengde fractie die verwerkt wordt in een verbrandingsinstallatie, vormt dit ook de bestemming in het basisscenario. Bestaande selectieve inzamelsystemen op initiatief van producenten (bv. Rockcycle) worden niet mee opgenomen in het basisscenario.

Bij het vrijkomen van grotere hoeveelheden minerale wol afval op eenzelfde werf wordt het minerale wol afval uiteindelijk afgevoerd naar een stortplaats. Dit zal in de toekomst frequenter voorkomen. Het storten van minerale wol afval wordt daarom als variant van het basisscenario meegenomen.

5.2 Recyclagescenario's

5.2.1 Sorteer- en bewerkingsstappen

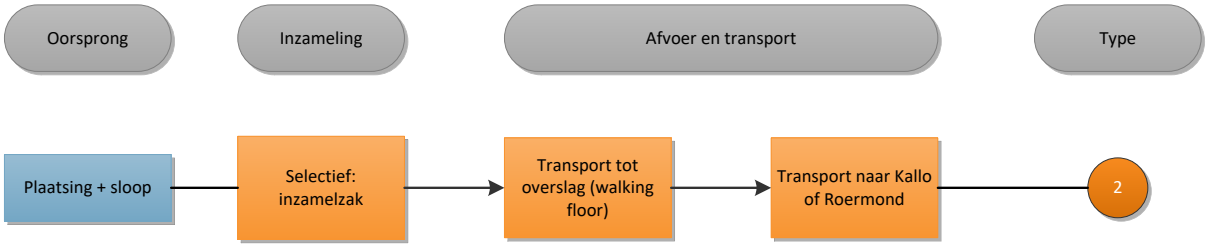
Uit de ervaringen van de deelnemers aan het proefproject is gebleken dat het reinigen en verwijderen van vliezen praktisch niet haalbaar is. Het vergt intensieve handenarbeid, waarvoor de kost niet opweegt tegen de mogelijke baten. Bovendien zijn de werkomstandigheden voor deze activiteit vrij zwaar, omdat voldoende maatregelen getroffen moeten worden om hinder van opvliegende vezels te beperken. Type 1 kan dus momenteel niet bereikt worden, en een reinigingsstap wordt dan ook niet

meegenomen in de scenario's. Dit betekent dat indien de recyclage minerale wol afval van type 1 vereist, de recycleurs of producenten van minerale wol de kosten voor het verwijderen van de vliezen zullen moeten dragen. Indien deze kost te hoog is om het sluiten van de keten economisch haalbaar te maken, kunnen de producenten ook overwegen om het probleem aan te pakken via aanpassingen aan het productdesign.

Uit het proefproject blijkt daarnaast dat het ingezamelde minerale wol afval voldoet aan de vereisten voor type 2. Dit betekent dus dat er geen extra reinigingsstap voorzien moet worden. Aangezien het ingezamelde afval op de recyclageparken bestaat uit een mix van plaatsings- en sloopafval, gaan we er van uit dat ook sloopafval afkomstig van professionele bedrijven aan type 2 voldoet. In de kostenanalyse hoeft dus geen reinigingskost opgenomen te worden.

5.2.2 Scenario recyclagepark

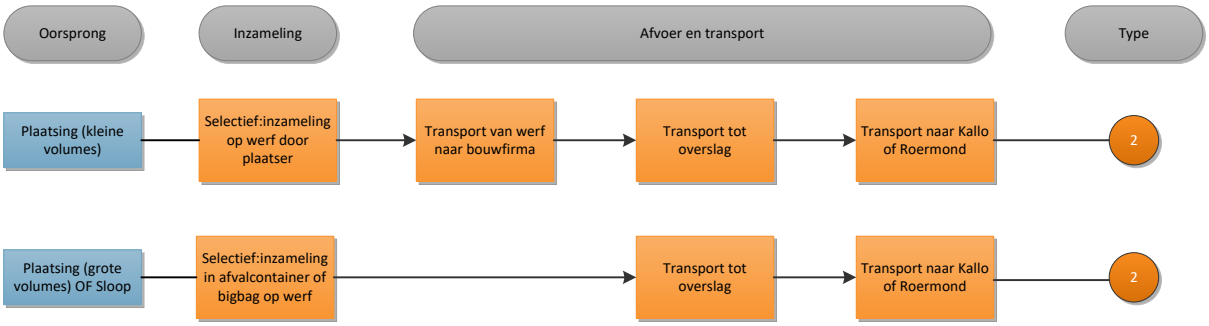
Het gekozen scenario voor minerale wol afval dat ingezameld wordt op het recyclagepark wordt hieronder weergegeven.



Op het recyclagepark wordt minerale wol ingezameld in zakken van 600 liter. De gevulde zakken worden bij het recyclagepark opgehaald en getransporteerd naar een overslagstation met een vrachtwagen uitgerust met een walking floor met een inhoud van 90m^3. Na sortering van de zakken glaswol en steenwol in het overslagstation, moeten deze getransporteerd worden naar een recyclagefaciliteit of een producent die de minerale wol kan inzetten in een productieproces. In het proefproject gaat het glaswol afval naar de site van ISOVER in Etten-leur, en het steenwol afval naar de site van ROCKWOOL in Roermond. Deze locaties worden dan ook als finale bestemming genomen in het scenario.

5.2.3 Scenario's professionele inzameling

Voor minerale wol afvalstromen die vertrekken bij professionele inzameling van plaatsings- of sloopafval, worden 2 scenario's uitgewerkt.



Een eerste scenario is gebaseerd op een algemene sortering van werfafval aan de bron, een praktijk zoals bij bouwfirma Beneens wordt toegepast. Hierbij wordt plaatsingsafval van minerale wol al dan niet selectief afgevoerd van de bouwwerf naar de site van de bouwfirma. Daar wordt het afval selectief gehouden, en door een afvalbedrijf afgevoerd naar een overslagstation. Van daar wordt dezelfde route gevolgd als in het recyclagepark scenario.

Een tweede scenario gaat uit van selectieve inzameling van grote hoeveelheden plaatsingsafval of sloopafval op de bouw- of sloopwerf. In dit geval wordt het minerale wol afval rechtstreeks afgevoerd in bigbags of containers naar een overslagstation, vanwaar het verder gaat naar de recyclagefaciliteit.

Het is in de praktijk zeker niet altijd mogelijk om bronscheiding van minerale wol sloopafval te realiseren. Indien dit niet mogelijk is, wordt de minerale wol samen met ander bouw- en sloopafval afgevoerd naar een containerbedrijf of afvalverwerker. Als het over voldoende grote hoeveelheden minerale wol gaat, kan via na-sortering mogelijk nog een relatief zuivere fractie minerale wol bekomen worden. Aangezien deze na-sortering niet specifiek voor minerale wol alleen gebeurt, zouden de sorteerkosten toegewezen moeten worden aan de verschillende fracties (dus ook bv steenpuin) die vrijkomen voor recyclage. Omdat dit niet mogelijk is op basis van de beschikbare informatie, wordt in de kostenanalyse geen na-sortering opgenomen.

6. Kostenanalyse voor inzameling en voorbehandeling van minerale wol afval

6.1 Algemene parameters

6.1.1 Densiteit van minerale wol

De densiteit van de ingezamelde minerale wol heeft een invloed op de uiteindelijke kostprijs van het inzamelsysteem. Aangezien minerale wol een relatief licht product is kan de kostprijs van het transport per ton hoog oplopen. De densiteit van nieuw product ligt binnen de volgende ranges[2]:

- Steenwol: 30-200 kg/m^3
- Glaswol 11-45 kg/m^3; gewogen gemiddelde densiteit[3] 16,5 kg/m^3 (met verstevigde aluminium folie 23 kg/m^3 maken 5% uit van de output in 2010)

Müller et al. (2010) rapporteert een bulk densiteit van 0,15 g/cm^3 (150 kg/m^3). Dit is naar alle waarschijnlijkheid een samengeperste fractie.

Voor de berekeningen gaan we in eerste instantie uit van dezelfde waarden gebruikt in de inschatting van de aanwezigheid van minerale wol in het Vlaamse woningenpark. Hierbij is een dichtheid van 40 kg/m^3 als basis genomen.

In principe is het mogelijk om het minerale wol afval met behulp van een perscontainer samen te persen en zo de transportkosten per ton te doen dalen. Een perscontainer vergt echter ook een aanzienlijke investering, die slechts zelden zal opwegen tegen de gedaalde transportkosten omdat de hoeveelheden minerale wol afval die op 1 plaats verzameld worden (recyclagepark, bouwfirma of afvalinzamelaar) relatief klein zijn. Het voorbeeld van Beneens, dat minerale wol afval samenperst als onderdeel van de eigen afvalsorteerpraktijk, is vandaag eerder een uitzondering omdat de perscontainer niet specifiek voor de verwerking van minerale wol alleen werd aangekocht.

6.1.2 Vermeden kosten voor storten of verbranden

De kosten voor het verbranden of storten van minerale wol vormen een vermeden kost in de scenario's waar minerale wol afval ingezameld wordt met als doel het voor recyclage aan te bieden.

De afvoer vanaf de recyclageparken gebeurt in het basisscenario voornamelijk naar verbranding. Daarnaast kan het minerale wol afval afgevoerd worden naar een stortplaats als het terecht komt in de fractie inert afval. OVAM (2015a) geeft aan dat de prijs voor afvalverbranding kan variëren van 60 tot 130 €/ton met een gemiddelde van 104 €/ton. Wanneer de huishoudelijke afvalstoffen verbrand worden in een installatie van een intergemeentelijke vereniging waarvan de desbetreffende gemeente

[2] http://www.knaufinsulation.rs/en/comparative-characteristics-stone-and-glass-mineral-wool
[3] http://www.bau-epd.at/wp-content/uploads/2014/11/EPD-AT_ISOVER_Ecoinvent_20140508-English.pdf

vennoot is, gelden de lage tarieven. We gaan uit van het gemiddelde tarief. De milieuheffing voor het verbranden van afvalstoffen in een daartoe vergunde installatie bedraagt in 2015 8,15 €/ton (OVAM, 2015b). De totale gemiddelde kost voor de verbranding van een ton minerale wol afval komt dan (afgerond) neer op 112 €/ton.

Voor het storten gaan we uit van het gemiddelde tarief van 2014[4] voor storten op een categorie 2 stortplaats van 49,69 €. De milieuheffing voor het storten van niet-brandbare afvalstoffen bedraagt 46,56 € voor 2015 (OVAM, 2015b). De totaalkost hiervoor is 96,25 €.

Gezien de prijzen voor verbranden of storten relatief dicht bij elkaar liggen gaan we voor de berekeningen uit van één gemiddelde kost van 104 €/ton.

6.2 Oorsprong en afvoer

6.2.1 Inzameling van plaatsing- en sloopafval via recyclagepark

Hoeveelheden

In het voorgaande onderzoek (Vercalsteren et al., 2014) werd de evolutie van minerale wol afval dat vrijkomt bij sloop van woningen ingeschat tot 2050, gebaseerd op 3 scenario's met verschillende slooppercentages voor woningen. De gemiddelde jaarlijkse hoeveelheid ligt voor de 3 scenario's tussen 3.526 en 4.771 ton minerale wol. Een groot deel van dit minerale wol afval afkomstig uit particuliere woningen zal mogelijk via professionele kanalen worden ingezameld, aangezien de sloop van een woning vaak uitbesteed wordt aan een sloopbedrijf. Bij gebrek aan meer gedetailleerde gegevens nemen we een hoeveelheid van 4.000 ton als uitgangspunt. Daarnaast passen we een gevoeligheidsanalyse toe tot 7.500 ton per jaar (maximum jaarlijkse hoeveelheid in 2050 uit de scenario's).

Kosten gerelateerd aan het recyclagepark

De kosten voor de inzameling op het recyclagepark bestaan grotendeels uit 3 componenten: (a) het ruimtegebruik op het recyclagepark met daaraan gerelateerd de exploitatiekosten en loonkostenrecyclagepark. (b) de aankoop of huurprijs van de recipiënten en (c) het transport naar een overslagstation.

De inschatting van de kosten verbonden aan de inzameling op het recyclagepark gebeurt hoofdzakelijk op basis van de studie van AKRON uit 2004 die ook de basis vormde voor het toetsingskader inzake selectieve inzameling van afvalstromen opgesteld door Gellynck et al (2006) en de toetsing voor de inzameling van harde kunststoffen via het containerpark (OVAM, 2013). Aangezien de cijfers reeds gedateerd zijn, updaten we ze waar mogelijk door een bevraging van stakeholders of door toepassing van inflatiecijfers.

[4] De gemiddelde tarieven zijn momenteel nog niet beschikbaar voor 2015

a) Ruimtegebruik

Voor het ruimtegebruik op recyclageparken gaat AKRON uit van 288 recyclageparken in Vlaanderen met een nuttige oppervlakte (die eenduidig kan toegewezen worden aan een afvalfractie) van 413 m^2. Per recyclagepark is er gemiddeld 2,62 VTE aan recyclageparkwachters aangesteld. De kostendata en de update ervan zijn weergegeven in de onderstaande tabel.

Tabel 2: Gemiddelde kosten voor exploitatie en arbeid bij recyclageparken

	Gegevens Akron	Update	Werkwijze update
Exploitatiekost	82.209 €/jaar	107.014 €/jaar	Consumptieprijsindex 2004-2014[5]
Loonkost	28.623 € /jaar per VTE	35.890 € /jaar per VTE	Index conventionele arbeiderslonen[6]

Wanneer we bovenstaande gegevens toepassen op de gemiddelde nuttige oppervlakte van een recyclagepark komt dit neer op een jaarlijkse kost van 487 €/m^2 nuttige oppervlakte.

Het inzamelsysteem voor minerale wol afval op de recyclageparken in het proefproject bestaat uit een ophangsysteem voor zakken van 600l. Per recyclagepark zijn er 2 ophangsystemen met overkapping nodig met een aankoopprijs van 380,66 euro per stuk. Deze systemen nemen in het totaal ongeveer een oppervlakte in van 2m op 4m of 8m^2. Op recyclageparken waar nog nuttige oppervlakte vrij is zal de extra kost voor het gebruik van ruimte voor de inzameling van minerale wol afval in de realiteit eerder miniem zijn. Op andere recyclageparken zal er extra ruimte moeten worden vrijgemaakt. Dit gaat mogelijk ten koste van andere activiteiten of opslagruimte waardoor er bijvoorbeeld meer transport nodig is. In dit geval zullen we de kost benaderen aan de hand van de geüpdatete kostenberekening van AKRON.

Verder is er nog opslagruimte nodig om de volle zakken te stockeren tot het transport naar het overslagstation. Afhankelijk van de hoeveelheden die opgeslagen moeten worden, kan dit oplopen tot 20 m^2. Het is echter onduidelijk of deze opslagruimte ook hoort bij de nuttige oppervlakte zoals opgegeven in het AKRON kostenmodel. Vandaar nemen we deze oppervlakte niet mee in de berekening.

IVAGO geeft ten slotte nog aan dat in het kader van de inzameling van glaswol en steenwol via het recyclagepark ook een significante kost verbonden is aan communicatie en opleiding. Enerzijds is er de communicatie met de burgers waarbij ze op de hoogte gebracht moeten worden van de inzameling recyclageparken de manier waarop ze het minerale wol afval moeten aanleveren. Anderzijds is er voldoende opleiding nodig voor de parkwachters. Uit de ervaringen op het terrein blijkt dat het onderscheid tussen (vervuild) glaswol en steenwol niet altijd eenvoudig visueel vast te stellen is. Het

[5] http://statbel.fgov.be/nl/statistieken/cijfers/economie/consumptieprijzen/consumptieprijsindexen/
[6] http://www.werk.belgie.be/moduleDefault.aspx?id=7390

is echter moeilijk om een juiste inschatting te maken van deze kosten dus we houden deze uit de berekening.

b) Kost van de recipïenten

In het proefproject worden zakken met een inhoud van 600l gebruikt met een kostprijs van 0,72 € per zak. Indien we een vullingspercentage van 75% veronderstellen (450l aan 40 kg/m^3)zou dit een kost van 40€ per ton betekenen. IVAGO en Sita geven aan dat de gevulde zakken van deze grootte echter moeilijk te hanteren zijn voor het manipuleren ervan op het recyclagepark en het laden van de vrachtwagen bij ophaling. Een meer werkbaar systeem zou bijgevolg met kleinere zakken werken waarvan de kostprijs uitgedrukt per ton minerale wol waarschijnlijk hoger ligt. Zakken van 240l zouden 6kg minerale wol afval kunnen bevatten[7]. Bij een prijs per stuk van 0,5 € per zak zou dit neerkomen op een kostprijs van 83 €/ton.

Kosten voor transport van het recyclagepark naar de sorteerder of overslag

De gevulde zakken worden bij het recyclagepark opgehaald en getransporteerd naar een overslagstation met een vrachtwagen uitgerust met een walking floor met een inhoud van 90m^3. In het proefproject werden 6 recyclageparken aangedaan in 5 uur inclusief het laden van de vrachtwagens op het recyclagepark. Volgens berekeningen met Google Maps bedraagt de rijtijd om deze 6 recyclageparken te bezoeken ongeveer 1u 17min. De totale laad- en lostijd bedraagt dan 3u 43min of 32min per laad- of losbeurt. Per ophaalronde werd er in het totaal ongeveer 2 ton minerale wol afval opgehaald. Per ton is er (in het geval van IVAGO) dus een tijdsbesteding van 2,5u. Aan een kostprijs van 65 €/u[8] voor een vrachtwagen met chauffeur betekent dit een transportkost van 163 €/ton minerale wol afval.

Indien slechts op een beperkt aantal recyclageparken minerale wol zou ingezameld worden is het misschien niet mogelijk om de ritten te combineren zoals in het proefproject. De kostenberekening van Gellynck et al (2006) geeft aan dat de afstand van een recyclagepark naar een overslagstation gemiddeld 15,4 km bedraagt aan een snelheid van 40 km/u (en rekent met een tijd voor van 22,5 min voor laden of lossen). In het totaal zou een rit (h/t) van een overslagstation naar een recyclagepark inclusief laden en lossen (aan 32 min per laadbeurt) bijgevolg 1,8 uur innemen of 119€ kosten. Bij een volle walking floor (2 ton) zou dit dus een kostprijs van 60 €/ton betekenen. Dit veronderstelt wel dat er op één recyclagepark 2 ton per rit kan worden ingezameld. Dit zal praktisch moeilijk haalbaar zijn omwille van de lange tijd die nodig zal zijn om zulke hoeveelheid in te zamelen en de nodige opslagcapaciteit op het recyclagepark zelf. Indien er minder dan 2 ton per rit wordt ingezameld stijgt de kostprijs per ton. Wanneer er bv. twee recyclageparken zouden aangedaan worden met een afstand van 10 km ertussen is de totale tijd van de rit heen, 3 keer laden of lossen en de rit terug 3,27 uur. De kost loopt dan op tot € 213 per rit. Indien hierbij 2 ton minerale wol afval zou opgehaald zijn geeft dit een kost van 106 €/ton.

Voor de berekeningen gaan we uit van een gemiddelde kostprijs van 163€/ton. Deze kost zou geoptimaliseerd kunnen worden door op minder recyclageparken minerale wol in te zamelen. De ophaling van het minerale wol afval wordt dan geconcentreerd op één locatie zodat er minder

[7] Inschatting Sita
[8] Inschatting Sita

kilometers gereden moeten worden. De kostprijzen van 60 €/ton en 106 €/ton kunnen gebruikt worden in alternatieve scenario's. Anderzijds kan deze kost ook stijgen door lokale omstandigheden, zoals bijvoorbeeld in de Vlaamse Ardennen waar de lokale verkeersituatie en ruimtelijke ordening ervoor kan zorgen dat de ritten langer zijn dan gemiddeld.

Kosten voor transport van overslag naar de recyclage-installatie

Na sortering van de zakken glaswol en steenwol moeten deze getransporteerd worden naar een recyclagefaciliteit of een producent die het minerale wol afval kan inzetten in een productieproces. Aangezien er weinig bekend is over de mogelijke afzet bij verschillende producenten gaan we ervan uit dat het minerale wol afval terug afgeleverd wordt bij de producenten van enerzijds glaswol en anderzijds steenwol. Glaswol wordt in dit geval getransporteerd tot de productiesite van ISOVER in Etten-leur en steenwol naar de productiesite van ROCKWOOL in Roermond.

De transportkost is sterk afhankelijk van de afstand van de overslag naar de productiesite. We benaderen de gemiddelde afstand door de gemiddelde afstand te berekenen tussen de Vlaamse provinciehoofdsteden en de productiesites. Voor de afvoer van glaswol naar Etten-leur bedraagt de gemiddelde afstand (heen en terug) 231 km en voor de afvoer van steenwol bedraagt deze afstand 318km. Het transport kan geoptimaliseerd worden zodat er 4 ton minerale wol afval per transport vervoerd kan worden. Sita geeft aan dat de kost om dit vanuit de site in Gent tot in Kallo te vervoeren 185 € bedraagt voor een afstand van 92 km. Als we dit extrapoleren naar de afstand van 231 km is dit 116 €/ton en bij de afstand van 318 km is dit 160€/ton.

Vermeden transportkosten

De inzameling van minerale wol afval voor recyclage brengt niet enkel extra transportkosten met zich mee, maar er wordt ook transport uitgespaard doordat er minder minerale wol in de restfracties terecht komt. Sita schat dat door minerale wol uit de restfracties te weren ongeveer 1/6 van de transporten richting sorteercentra, en vervolgens richting stortplaats of verbrandingsinstallatie vermeden kunnen worden. Eén zo een vermeden transport zou overeenkomen met 2,5 ton minerale wol vanuit de lokale overslagcentra naar sorteercentra (voor Sita in Tienen en Antwerpen) en vervolgens naar de verbrandingsinstallatie of stortplaats. Voor de concrete situatie van het proefproject schatten we de afstand richting sorteercentra op gemiddeld 98 km heen en terug (provinciehoofdsteden naar Tienen of Antwerpen). De afstand naar het dichtstbijzijnde stort of verbrandingsoven (Remo of Indaver) schatten we op 59 km heen en terug, samen 157 km. Aan hetzelfde tarief als het transport naar de recyclage installatie hierboven beschreven, komt dit neer op 316 €/transport van 2,5 ton minerale wol, of 126 €/ton vermeden transportkost. Vermits dit cijfer gebaseerd is op de beschikbare cijfers uit het proefproject, moet dit gezien worden als een ruwe schatting van de grootte-orde van de vermeden transportkost. De echte kost is sterk afhankelijk van de specifieke logistieke context, en van het aandeel minerale wol afval in het volume en/of gewicht van de fractie waarmee het minerale wol afval wordt afgevoerd naar verbrandingsinstallatie of stortplaats.

6.2.2 Inzameling sloop- en plaatsingsafval via professionele bedrijven

Selectieve inzameling

De economische kost om minerale wol selectief te houden aan de bron bij plaatsing en sloop is erg moeilijk in te schatten en is erg afhankelijk van de situatie op de werf. Bij grote werven of op plaatsen waar er veel ruimte is kunnen aparte containers of bigbags geplaatst worden om de verschillende fracties apart te houden. Bij werven in stedelijk gebied is het vaak omwille van plaatsgebrek dat de selectieve inzameling van de verschillende fracties die vrij komen bemoeilijkt wordt. Het selectief houden van minerale wol bij plaatsing of sloop past idealiter in een breder beleid van selectieve inzameling van werfafval of selectieve sloop. In dit geval is de kost van het selectief houden van minerale wol op de werf geen extra kost. Bouw- en sloopbedrijven geven aan dat deze fractie automatisch afgezonderd wordt als de andere fracties apart worden gehouden. Gezien deze vaststelling gaan we ervan uit dat het afzonderen van minerale wol afval op de werf, indien gekaderd in uitgebreidere selectieve inzameling van werfafval of selectieve sloop, op zich geen extra kosten met zich meebrengt.

Voor de inzameling is het wel nodig om een aparte container te voorzien aan een kost van 50 €/maand of bigbags aan te kopen aan een prijs van 4 €/stuk[9] voor 1m^3. Bij een dichtheid van 40kg per m^3 zou dit voor de bigbags een kost opleveren van 100 €/ton MW. In het geval van een container van 30 m^3, uitgaande van een minimum huur van 50 €, geeft dit een kost van 42€/ton.

Kosten voor transport van de werf naar een overslagstation

Voor kleinere werven zou het in bepaalde gevallen een optie zijn om het minerale wol afval apart te houden in een bigbag en deze bovenop het restafval te vervoeren om de logistieke kosten te drukken. Bij grotere werven zou minerale wol apart vervoerd kunnen worden in bigbags of containers. Wanneer de bigbags op de werf moeten worden opgehaald gaan we ervan uit dat deze kosten in dezelfde grootteorde liggen als deze van de ophaling bij het recyclagepark, namelijk 163 €/ton MW.

In een tweede optie gaan we ervan uit dat het bedrijf dat de isolatie plaatst, zelf het snijafval terug mee neemt naar het eigen bedrijfsterrein. Een afvalinzamelaar haalt daar de volle vrachten op en brengt het naar de overslag. Hiervoor nemen we de kostprijs van 60€/ton zoals berekend bij de recyclageparken voor 1 rit met een gevulde walking floor vrachtwagen. Voor het ophalen van een container van 30m^3 gaan we uit van een rit van 30,8 km (h/t), snelheid van 40 km/u en een laad en lostijd van in het totaal 45 min[10]. Dit geeft een kost per ton van 82 €.

Kosten voor transport van overslag naar de productieplant

Eens de minerale wol bij een overslagstation is, zijn de kosten voor het transport naar recyclage/productie dezelfde als voor het recyclagepark scenario. Deze wordt ingeschat op gemiddeld 67 €/ton voor transport van glaswol naar Etten-leur (134 km) en gemiddeld 160€/ton voor transport naar Roermond.

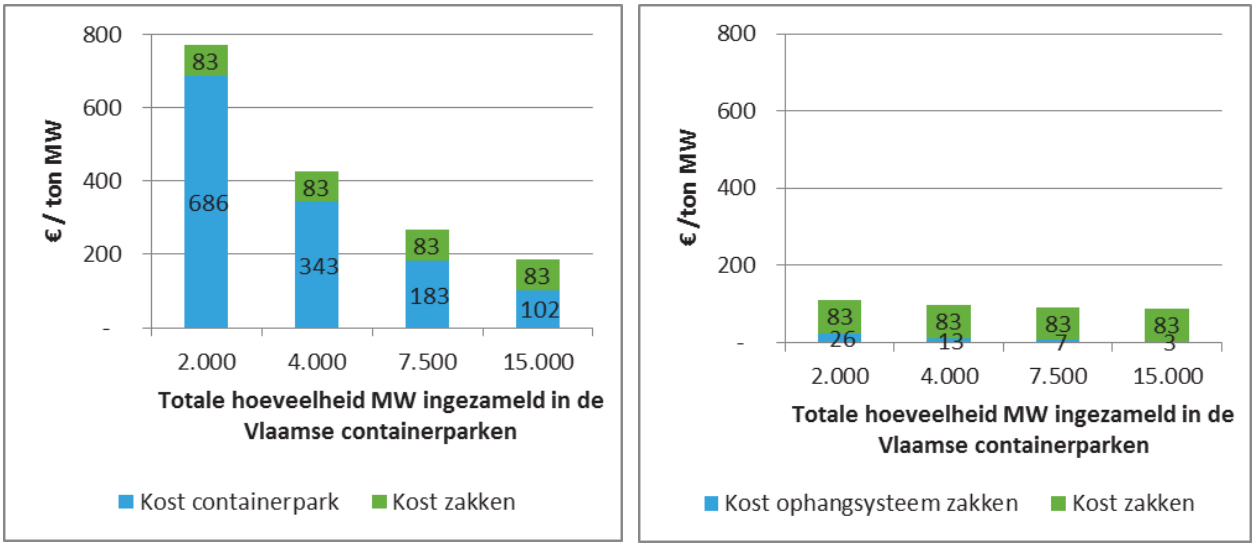
[9] http://www.bigbagswarehouse.nl/
[10] Akron(2004) kostenmodel veronderstelt 22,5 min per laad of losbeurt bij het ophalen van containers

6.3 Resultaten kostenanalyse

6.3.1 Inzameling plaatsing- en sloopafval via recyclagepark

Inzameling op het recyclagepark

Figuur **4** geeft een overzicht van de kosten voor inzameling via de 339[11] recyclageparken waarbij de totale ingezamelde hoeveelheid minerale wol varieert tussen 2.000 en 15.000 ton per jaar. 4.000 ton per jaar is hierbij volgens de voorstudie de gemiddelde hoeveelheid die tussen nu en 2050 zal vrijkomen. Gespreid over 339 recyclageparken gaat het dan over 14 ton per recyclagepark per jaar.



Figuur 4: Kosten voor inzameling op het recyclagepark met verschillende veronderstellingen over de totale hoeveelheid MW die ingezameld zal worden

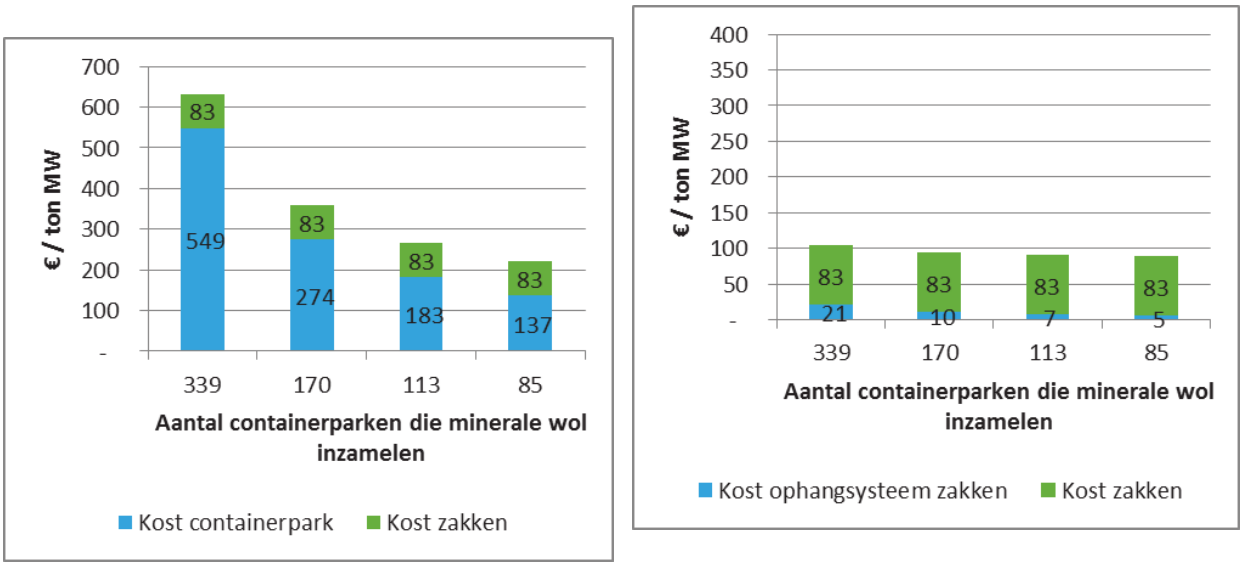
In de linkse staafdiagrammen zijn de geschatte kosten voor het gebruik van 8m^2 nuttige oppervlakte in het recyclagepark meegenomen. Indien er echter nog vrije ruimte beschikbaar is op de recyclageparken, is dit niet representatief voor de meerkost van inzameling van minerale wol. Deze laatste optie benaderen we door in de rechtse staafdiagrammen enkel de kost voor het ophangsysteem en de zakken in rekening te brengen. In dit overzicht zijn de kosten verbonden aan communicatie met de burgers en de opleiding van de parkwachters niet inbegrepen.

De kostenberekening voor inzameling op het recyclagepark (

[11] Dit cijfer geeft het huidige aantal recyclageparken in Vlaanderen weer (bron: Interafval), en ligt hoger dan het aantal gebruikt in het rapport van AKRON (2004).

Figuur **4**) toont dat de hoeveelheid ingezameld afval een sterke invloed heeft op de inzamelkost indien de selectieve inzameling van minerale wol afval op het recyclagepark extra ruimte of personeel vereist. Indien dit niet het geval is, is de kost relatief onafhankelijk van de totale hoeveelheid minerale wol die aangeleverd wordt.

Aangezien de verwachtte hoeveelheid minerale wol die vrijkomt relatief laag is wanneer deze over alle recyclageparken wordt gespreid, is het ook een mogelijkheid om deze slechts in een beperkt aantal recyclageparken in te zamelen waardoor de kost per ton aanzienlijk kan dalen in het geval dat de kost voor ruimtegebruik in het recyclagepark wordt meegeteld. In Figuur 5 wordt weergegeven hoe de kost evolueert als het aantal recyclageparken met inzameling daalt. Dit kan echter verwarring creëren bij de burger en vereist meer communicatie om bekend te maken waar de minerale wol kan worden gebracht. Verder kan dit er ook toe leiden dat een deel van de minerale wol van particulieren toch terug bij de restfractie terecht komt.



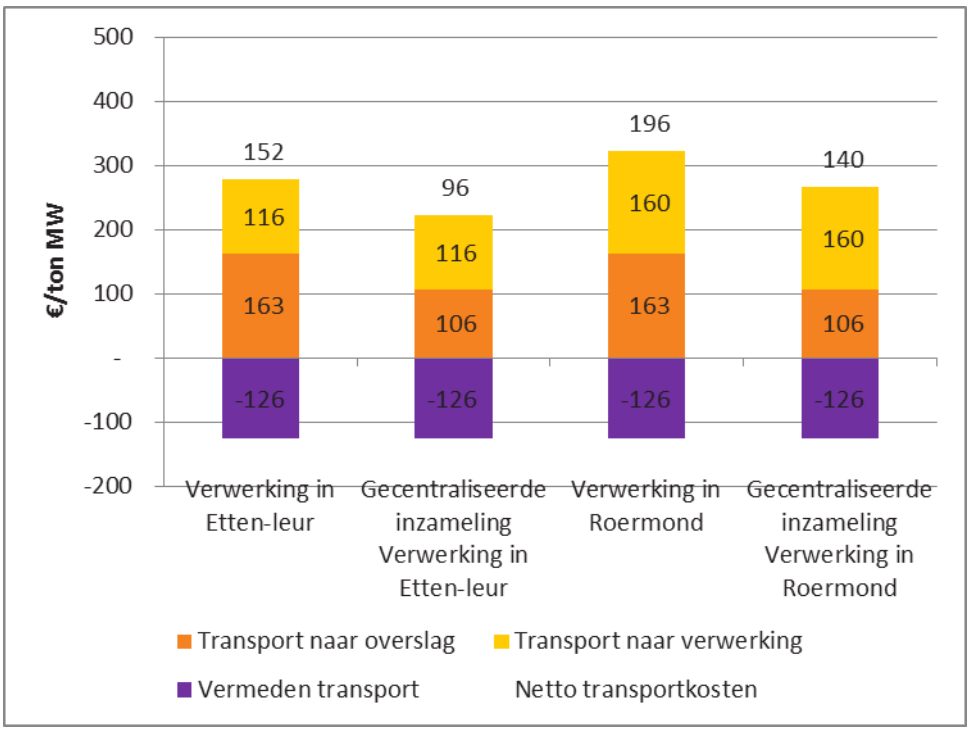
Figuur 5: Kosten voor inzameling op het recyclagepark met verschillende veronderstellingen over het aantal recyclageparken dat minerale wol inzamelt (totale hoeveelheid minerale wol afval ingezameld is steeds 2.500 kg)

Transport naar overslag en verwerking

Voor het transport naar overslag houden we het gemiddelde aan van 163€/ton (zie Figuur 6). Daarnaast zetten we de situatie waar er slechts een beperkt aantal recyclageparken instaan voor de inzameling van minerale wol. Wanneer we in een meer gecentraliseerde inzameling bijvoorbeeld slechts 1/3 van de recyclageparken (96 van 288) laten instaan voor de inzameling van minerale wol afval heeft dit in het voorbeeld van Gent uit het proefproject tot gevolg dat er 2 van de 6 recyclageparken zouden moeten worden aangedaan. In de veronderstelling dat er dan nog steeds 2 ton per rit kan worden ingezameld geeft dit een kost van 106 €/ton.

De uiteindelijke recyclage van de minerale wol zal waarschijnlijk echter op specifieke locaties gebeuren. Indien dit op een centrale locatie in Vlaanderen plaatsvindt lijkt de gemiddelde afstand tot

Etten-leur representatief. Voor grotere afstanden nemen we het voorbeeld van Roermond. Ten slotte wordt ook de vermeden transportkost van 126€/ton in rekening gebracht.



Figuur 6: Kosten voor transport naar overslag en verwerking

Kosten voor inzameling en transport inclusief vermeden kost van afvalverbranding of storten

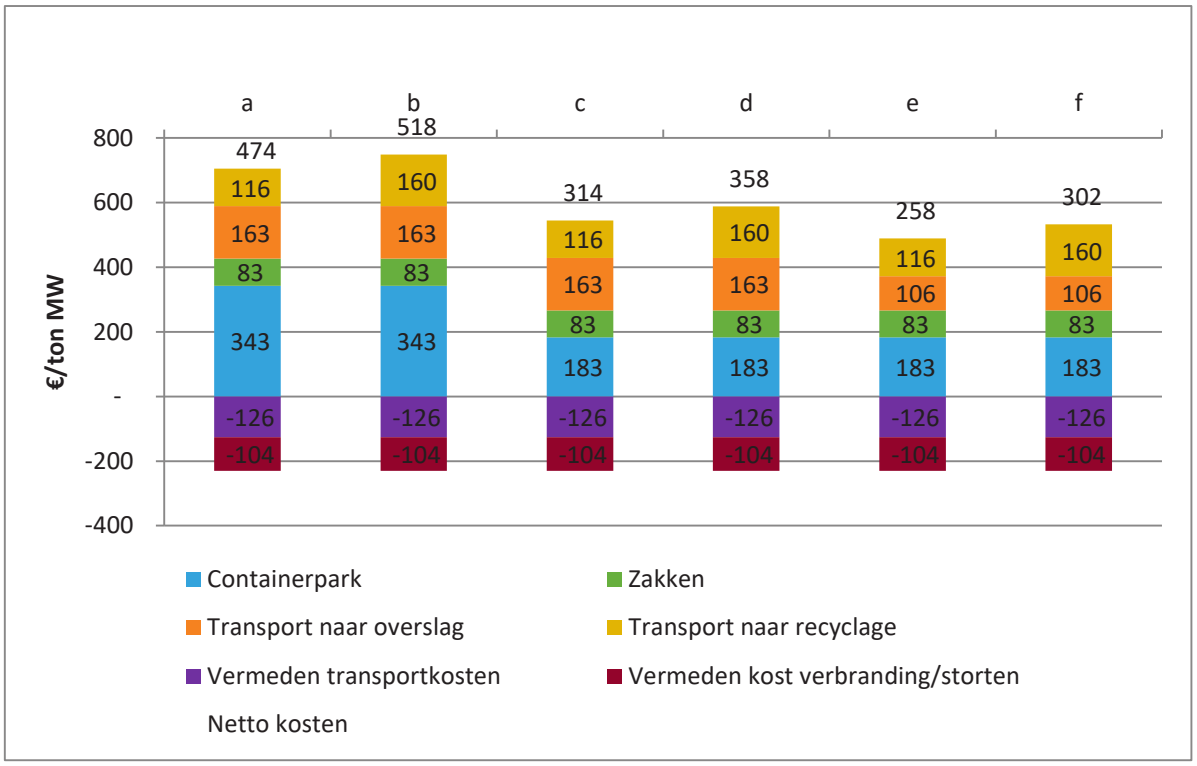
Zoals hierboven beschreven hangt de totale kost van de inzameling van minerale wol van verschillende factoren af. In Figuur 7 en Figuur 8 trachten we de kosten van enkele van de meest waarschijnlijke modaliteiten in te schatten. In de realiteit zal de kost van deze modaliteiten ook nog erg kunnen variëren afhankelijk van:

- De hoeveelheid die effectief wordt ingezameld op een recyclagepark
- De lokale situatie met betrekking tot ruimte op het recyclagepark, frequentie van de ophaling (de kostenberekeningen gaan uit van een 'vol' transport van 2 ton) , afstand naar overslag, verkeerssituatie,…

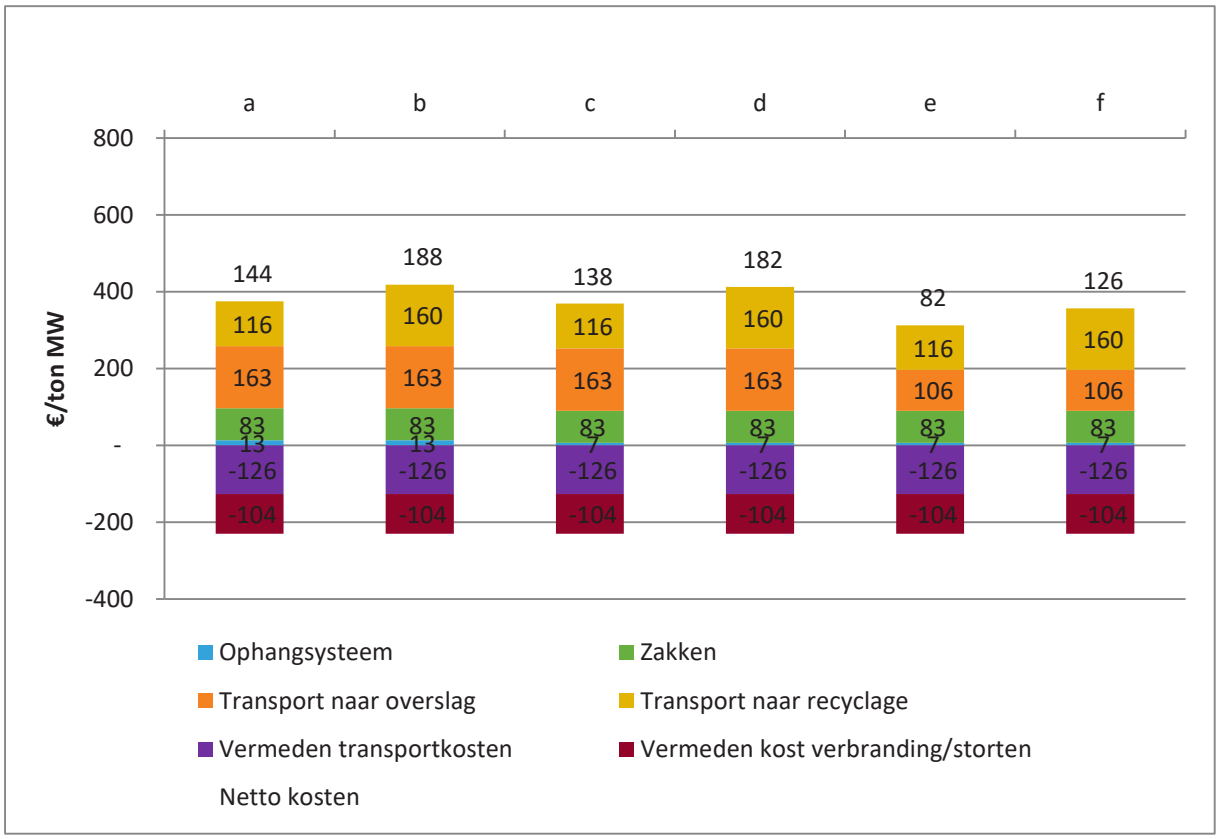
De verschillende opties die zijn weergegeven in de onderstaande figuren zijn:

Situatie	Totaal jaarlijks volume minerale wol afval	Aantal recyclageparken waarover inzameling verdeeld wordt	Locatie recycling plant
A	2.500	339	Etten-leur
B	2.500	339	Roermond
C	7.000	339	Etten-leur
D	7.000	339	Roermond
E	2.500	113	Etten-leur
F	2.500	113	Roermond

Figuur 7 gaat ervan uit dat de kosten voor ruimtegebruik (exploitatie en arbeid) worden meegeteld in het kostenplaatje, Figuur 8 geldt onder de aanname dat er nog vrije ruimte is op het recyclagepark voor de inzameling van minerale wol.



Figuur 7: Netto kosten voor de inzameling van MW via recyclageparken volgens verschillende veronderstellingen en modaliteiten – inclusief kosten voor ruimtegebruik recyclagepark



Figuur 8: Netto kosten voor de inzameling van MW via recyclageparken volgens verschillende veronderstellingen en modaliteiten – exclusief kosten voor ruimtegebruik recyclagepark

De totale netto kost voor de inzameling en het transport van minerale wol afval via recyclageparken toont een grote variatie (grootte-orde 100 €/ton tot 500 €/ton) afhankelijk van de nood aan extra ruimte en personeel op het recyclagepark, de totale hoeveelheid ingezamelde minerale wol, en het aantal recyclageparken waarover deze hoeveelheid verdeeld wordt.

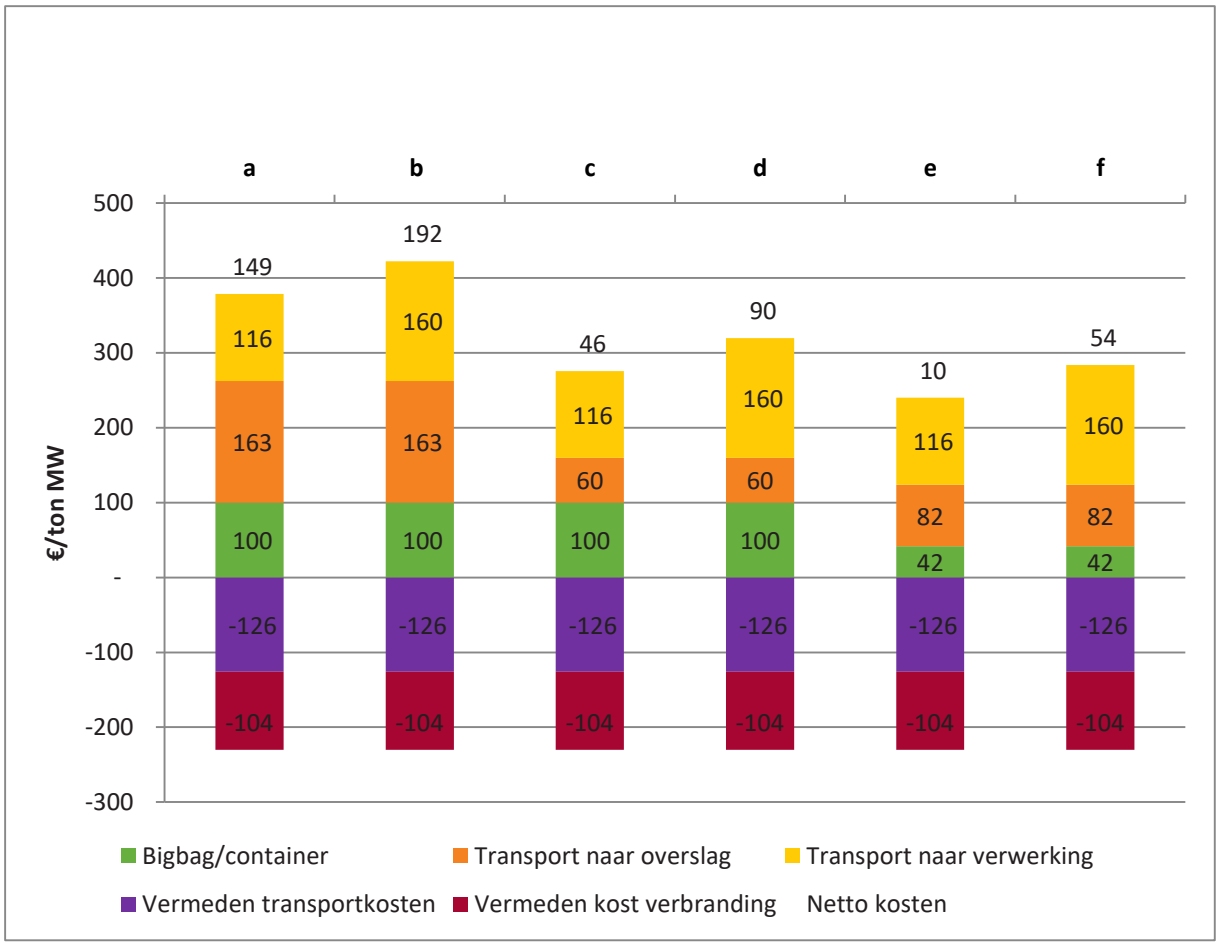
6.3.2 Inzameling plaatsings- en sloopafval via professionele bedrijven

De verschillende concrete scenario's waarvoor de kosten werden berekend zijn:

Situatie	Inzameling	Transport	Locatie recycling plant
A	Bigbags op werf	Via overslag	Etten-leur
B	Bigbags op werf	Via overslag	Roermond
C	Bigbag op werf	Eerst naar bedrijfsterrein, dan via overslag	Etten-leur
D	Bigbag op werf	Eerst naar bedrijfsterrein, dan via overslag	Roermond
E	Container op werf	Via overslag	Etten-leur
F	Container op werf	Via overslag	Roermond

In Figuur 9 worden de berekende kosten voor deze scenario's weergegeven. Zoals uitgelegd in hoofdstuk 5, werd er geen scenario uitgerekend waarbij het minerale wol afval gemengd met andere afvalstoffen wordt afgevoerd en vervolgens wordt uitgesorteerd. De hier weergegeven kosten gaan dus uit van bronscheiding in het geval van plaatsingsafval, en van selectieve sloop in het geval van sloopafval. De haalbaarheid van deze afvalscheiding is afhankelijk van verschillende factoren zoals:

- beschikbaarheid van plaats om de fracties gescheiden op te slaan op de werf in afwachting van transport
- de economische voordelen van het gescheiden houden van de andere fracties
- schaal van de werf
- …



Figuur 9: Netto kosten voor de inzameling van MW via private kanalen volgens verschillende veronderstellingen en modaliteiten zoals weergegeven in de tekst

De netto kost voor inzameling en transport van minerale wol afval via private bedrijven varieert tussen 10 €/ton en bijna 200 €/ton, afhankelijk van de keuze om containers dan wel bigbags te gebruiken op de werf. De netto kost voor inzameling van plaatsingsafval via de het bedrijfsterrein van plaatsers en vervolgens een afvalinzamelaar valt tussen deze twee uitersten. Gezien de sterk vereenvoudigde aannames op vlak van transport-afstanden, kan de reële kost voor de hier besproken ketens sterk variëren al naargelang het afval verre afstanden moet afleggen, of eerder korte afstanden in grotere hoeveelheden. Als het afval samen met zware afvalstromen (zoals puin) kan getransporteerd worden, zal de netto kost voor de besproken scenario's bovendien gevoelig lager liggen.

7. Conclusies

Deze studie had als doel om de economische haalbaarheid te verkennen voor het opzetten van selectieve inzameling en voorbehandeling van minerale wol afval met het oog op recyclage. Omdat dit vandaag nauwelijks gebeurt, is er slechts weinig praktijkkennis of data beschikbaar om een volwaardige economische kostenanalyse te kunnen uitvoeren. Bovendien zijn er in theorie vele configuraties mogelijk om recyclageketens op te zetten: inzameling via recyclageparken, via werfcontainers, al dan niet gescheiden aan de bron,… .

Daarom werd in een eerste stap in samenwerking met de producenten van minerale wol onderzocht wat de kwaliteitsvereisten zijn waaraan minerale wol afval moet voldoen om ingezet te kunnen worden in bestaande recyclageprocessen. Uit dit onderzoek bleek dat zowel voor glaswol als voor steenwol gelijkaardige criteria gelden, met als enige verschil dat het verwijderen van vliezen niet nodig is voor de recyclage van steenwol (zie Tabel 1). Minerale wol van kwaliteit type 1 vereist dat vliezen of andere materialen die deel uitmaakten van het originele product verwijderd worden. Uit het lopende proefproject met selectieve inzameling van minerale wol op de Gentse recyclageparken kon afgeleid worden dat het verwijderen van deze vliezen praktisch en economisch niet haalbaar blijken. Dit betekent dat indien de recyclage minerale wol afval van kwaliteit type 1 vereist, de recycleurs of producenten van minerale wol de kosten voor het verwijderen van de vliezen zullen moeten dragen. Indien deze kost te hoog is om het sluiten van de keten economisch haalbaar te maken, kunnen de producenten ook overwegen om het probleem aan te pakken via aanpassingen aan het productdesign.

Uit het proefproject bleek verder dat het ingezamelde minerale wol afval voldoet aan de vereisten voor kwaliteittype 2. Dit betekent dus dat er geen extra reinigingsstap voorzien moet worden. Aangezien het ingezamelde afval op de recyclageparken bestaat uit een mix van plaatsings- en sloopafval, gaan we er van uit dat ook sloopafval afkomstig van professionele bedrijven aan type 2 voldoet. Verder praktijkonderzoek moet uitwijzen of deze veronderstelling klopt.

Op basis van de kennis uit het proefproject, aangevuld met informatie verkregen bij enkele bouwfirma's en afvalbedrijven, werden specifieke inzamel- en transportscenario's uitgewerkt voor minerale wol afval dat vrijkomt op recyclageparken (sloop- en plaatsingsafval gemengd), bij bouwbedrijven (plaatsingsafval) en bij afvalinzamelaars (plaatsings- en sloopafval apart). Er werd geen scenario uitgerekend waarbij de minerale wol via na-sortering uit gemengd werf- of sloopafval wordt gehaald, omdat dit enkel praktisch en economisch haalbaar blijkt als het onderdeel uitmaakt van een reeds bestaande sorteerlijn. Hierdoor kunnen geen specifieke kosten toegewezen worden voor na-sortering aan minerale wol.

Aangezien de cijfers waarop de kostenanalyse gebaseerd is, gepaard gaan met belangrijke aannames en onzekerheden, geven de resultaten van de analyse enkel grootte-ordes weer van de te verwachten reële kosten. Desalniettemin kunnen er uit deze resultaten enkele voorzichtige conclusies getrokken worden.

Ten eerste kan de algemene conclusie getrokken worden dat de selectieve inzameling en transport naar recyclage via recyclageparken een netto meerkost (grootte-orde 100€/ton tot 500 €/ton) betekent ten opzichte van de situatie vandaag. De kost wordt voor een belangrijk deel bepaald door

het transport, waarbij het lage soortelijke gewicht en de grote ruimtelijke spreiding van een relatief klein in te zamelen volume een ernstig nadeel vormen. Het samenpersen van het afval voor transport lijkt evenmin een oplossing omdat de grote ruimtelijke spreiding veel (dure) perscontainers vereist, terwijl er per container maar een kleine hoeveelheid afval te verwerken is. Hierbij dient opgemerkt te worden dat bij de berekeningen in deze studie werd uitgegaan van het apart transporteren van het minerale wol afval. Combinatie van het transport van het minerale wol afval met het transport van zware afvalstromen (bijvoorbeeld bovenop een vracht bouwpuin), zou de economische haalbaarheid ten goede komen.

Verder blijkt dat de totale kost voor inzameling op het recyclagepark sterk bepaald wordt door de eventuele kost om extra ruimte (of personeel) in te zetten voor deze inzameling. Er kan dus geen algemene uitspraak gedaan worden over de te verwachte kosten van selectieve inzameling op het recyclagepark zonder kennis over de individuele mogelijkheden ervan.

Daarnaast is duidelijk dat zelfs met een hoger aanbod aan minerale wol afval dan vandaag, de grootte-orde van de in te zamelen hoeveelheden minerale wol afval op de recyclageparken een kosten-efficiënte werking moeilijk maakt. Een aanpak waarbij de inzameling beperkt wordt tot een kleiner aantal goed gekozen parken kan een antwoord bieden op dit probleem, al moet dit afgewogen worden tegen de extra kosten en praktische bezwaren op vlak van communicatie naar de burger.

Voor de scenario's waarbij het minerale wol afval ingezameld wordt door private bedrijven, valt de kost per ton lager uit dan voor het duurste scenario met inzameling via het recyclagepark. Dit is voornamelijk te wijten aan de gemaakte aanname dat het minerale wol afval bij de bron selectief wordt ingezameld. Een economisch haalbare recyclageketen voor minerale wol vereist dus de toepassing van selectieve sloop of bronscheiding van werfafval. Dit zijn systeemveranderingen die stapsgewijs en door een ruime groep van actoren en beleidsmaatregelen gerealiseerd moeten worden. Zoals het project rond inzameling van minerale wol afval op recyclageparken aantoont, geven proefprojecten, waarbij producenten, afvalbedrijven, overheid en andere relevante stakeholders samenwerken, een stimulans om de nodige stappen te zetten in de richting van een gesloten kringloop voor bouwmaterialen.

Zelfs met selectieve inzameling van minerale wol afval op de werf, is er een aanzienlijke transportkost die overbrugd moet worden vooraleer transport naar recyclage economisch interessanter wordt dan verbranden of storten. In specifieke situaties wordt deze transportkost mogelijk gecompenseerd door de vermeden transportkosten bij de gemengde restfractie, maar dit kan niet veralgemeend worden. Of de resterende kost gedragen kan worden door de producenten of recycleurs, zal grotendeels bepaald worden door de evolutie van de prijzen van primaire grondstoffen die vervangen kunnen worden door minerale wol afval. Omdat cijfers over deze prijzen niet publiek beschikbaar zijn, kunnen hierover geen verdere uitspraken gedaan worden.

8. Bibliografie

Akron (2004) Kostprijsberekening voor de inzameling van huishoudelijke afvalstoffen op containerparken: een analyse in het kader van de aanvaardingsplicht.

Eurima (2015): www.eurima.be, laatst bezocht op 16/12/2015.

Gellynck X., Verhelst P., Van Huylenbroeck G., Buysse J., Verstraete W., Windey K., Lavrysen L., en Van Landeghem H. (2006) Opmaken van een toetsingskader voor de kwalitatieve en kwantitatieve evaluatie van het beleid inzake de selectieve inzameling van afvalstromen. Universiteit Gent.

Müller A., Leydolph B., Stanelle K., Recycling Mineral Wool Waste – Technologies for the Conversion of the Fiber Structure, Interceram 59 (2010) [1] 39-45

OVAM (2013) Toetsing selectieve inzameling van harde kunststoffen via het containerpark. Rapport beschikbaar op: http://www.ovam.be/sites/default/files/20140127_Toetsing_Select_inzameling_harde_kunststoffen_containerpark.pdf

OVAM (2015a) Tarieven en capaciteiten voor storten en verbranden. Actualisatie tot 2014. Rapport beschikbaar op: http://www.ovam.be/sites/default/files/atoms/files/T%20%26%20C%202014.pdf

OVAM (2015b) Tarieven milieuheffingen 2015, laatst geconsulteerd op 16/12/2015: http://www.ovam.be/sites/default/files/atoms/files/tarieven%20milieuheffingen%202015_0.pdf

Vercalsteren A., Van der Linden A. en Gillabel J. (2015) Onderzoek over het sluiten van de materiaalketen van minerale wol, rapport nr 14, Steunpunt Duurzaam Materialenbeheer