



Onderzoek naar mogelijke nieuwe bouwconcepten en het effect ervan op het gebruik van oppervlaktedelfstoffen

BESTEK VLA09-3.2

Voor

**VLAAMSE OVERHEID - DEPARTEMENT LEEFMILIEU, NATUUR EN ENERGIE
AFDELING LAND EN BODEMBESCHERMING, ONDERGROND EN
NATUURLIJKE RIJKDOMMEN (ALBON)**

Dienst Natuurlijke Rijkdommen

**Eindrapport
Mei 2010**

Door

In samenwerking met

WTCB Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf 	VITO Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek 	K.U.Leuven Katholieke Universiteit Leuven 
--	---	--



Onderzoek naar mogelijke nieuwe bouwconcepten en het effect ervan op het gebruik van oppervlaktedelfstoffen

BESTEK VLA09-3.2

Voor

**VLAAMSE OVERHEID - DEPARTEMENT LEEFMILIEU, NATUUR EN ENERGIE
AFDELING LAND EN BODEMBESCHERMING, ONDERGROND EN
NATUURLIJKE RIJKDOMMEN (ALBON)**

Dienst Natuurlijke Rijkdommen

**Eindrapport
Mei 2010**

Dit rapport werd opgesteld door:

	An Janssen , Onderzoeker, Labo Duurzame Ontwikkeling Katrien Putzeys , Adjunct Laboheofd Duurzame Ontwikkeling
	Wim Debacker , Onderzoeker, Unit Transitie Energie en Milieu Theo Geerken , Projectcoördinator, Projectgroep Product en Technologie
	Karen Allacker , Departement ASRO, Ontwerp- en Bouwmethodiek Frank De Troyer , Professor, Departement ASRO, Ontwerp- en Bouwmethodiek

Inhoudstafel

Inhoudstafel.....	5
Lijst van figuren	9
Lijst van tabellen.....	13
Inleiding	15
1 Fase 1 - Inventarisatie van nieuwe duurzame bouwconcepten.....	18
1.1 Fase 1a - Identificatie en beschrijving van nieuwe bouwconcepten ...	18
1.1.1 Inleiding.....	18
1.1.2 Houtskeletbouw	19
1.1.3 Bio-ecologisch bouwen	21
1.1.4 Metaalbouw.....	25
1.1.5 Maximale recyclage (Cradle to Cradle).....	27
1.1.6 Industrieel, Flexibel en Demontabel bouwen (IFD).....	33
1.2 Fase 1b – Marktaandeel van nieuwe bouwconcepten ten opzichte van traditionele woningbouw	39
1.2.1 Inleiding.....	39
1.2.2 Houtskeletbouw	39
1.2.3 Bio-ecologisch bouwen	40
1.2.4 Metaalbouw.....	42
1.2.5 Maximale recyclage	43
1.2.6 Industrieel, Flexibel en Demontabel bouwen (IFD).....	44
2 Fase 2 - Evaluatie van nieuwe duurzame bouwconcepten	45
2.1 Fase 2a – Milieu-evaluatie van nieuwe bouwconcepten in vergelijking met traditionele woningbouw.....	45
2.1.1 Inleiding.....	45
2.1.2 Resultaten van de literatuurstudie aangaande milieu-effecten van nieuwe bouwconcepten	46
2.1.2.1 <i>Environmental Improvement Potentials of Residential Buildings (IMPRO-Building)</i>	<i>46</i>
2.1.2.2 <i>Optimisation of extremely low energy residential buildings</i>	<i>46</i>
2.1.2.3 <i>ArDuCoKlei-project: Levenscyclusanalyse (LCA) van ‘wieg-tot-graf’ – Binnenwand en buitenwand</i>	<i>47</i>
2.1.2.4 <i>Onderzoek inzake de duurzaamheid van houtbouwsystemen en de groeiverwachting van deze markt, Eindrapport</i>	<i>48</i>
2.1.2.5 <i>Sustainability and lifecycle analysis for residential buildings.....</i>	<i>49</i>
2.1.2.6 <i>Is Ecological living sustainable ? A case study from two Swedish villages in South Sweden</i>	<i>49</i>
2.1.2.7 <i>BRE Green Guide.....</i>	<i>50</i>
2.1.2.8 <i>Conclusies van de literatuurstudie aangaande milieueffecten van nieuwe bouwconcepten</i>	<i>50</i>
2.1.3 Methodologische aanpak van de milieu-evaluatie	50
2.1.3.1 <i>Levenscyclusanalyse en levenscyclus van een gebouw.....</i>	<i>51</i>
2.1.3.2 <i>SuFiQuaD.....</i>	<i>52</i>
2.1.3.3 <i>Aanpassingen van het SuFiQuaD model voor deze studie</i>	<i>58</i>
2.1.3.4 <i>Milieu-evaluatie van de bouwconcepten.....</i>	<i>61</i>
2.1.4 Resultaten van de analyse van een vrijstaande woning	64

2.1.4.1	<i>Beschrijving van de geanalyseerde woning</i>	64
2.1.4.2	<i>Globale milieu-impact van de woning</i>	72
2.1.4.3	<i>Milieu-impact van de verschillende bouwelementen</i>	76
2.1.4.4	<i>Detailanalyse van de buitenwand</i>	77
2.1.4.5	<i>Conclusies voor de milieu-impact van de vrijstaande woning</i>	81
2.1.5	Resultaten van de analyse van een rijwoning	82
2.1.5.1	<i>Beschrijving van de geanalyseerde woning</i>	82
2.1.5.2	<i>Globale milieu-impact van de woning</i>	84
2.1.5.3	<i>Milieu-impact van de verschillende bouwelementen</i>	87
2.1.5.4	<i>Detailanalyse van de vloer op volle grond</i>	87
2.1.5.5	<i>Detailanalyse van de buitenwand</i>	89
2.1.5.6	<i>Conclusies voor de milieu-impact van de rijwoning</i>	91
2.1.6	Resultaten van de analyse van een appartement	92
2.1.6.1	<i>Beschrijving van de geanalyseerde woning</i>	92
2.1.6.2	<i>Globale milieu-impact van de woning</i>	93
2.1.6.3	<i>Milieu-impact van de verschillende bouwelementen</i>	96
2.1.6.4	<i>Detailanalyse van de verdiepingsvloer</i>	96
2.1.6.5	<i>Conclusies voor de milieu-impact van het appartement</i>	98
2.1.7	Conclusies voor de milieu-impact van de verschillende bouwconcepten	98
2.2	Fase 2b - Effecten van nieuwe bouwconcepten op het grondstoffenverbruik	99
2.2.1	Inleiding	99
2.2.2	Resultaten van de literatuurstudie aangaande de effecten van nieuwe bouwconcepten op het gebruik van oppervlaktedelfstoffen	99
2.2.2.1	<i>Onderzoek inzake de duurzaamheid van houtbouwsystemen en de groeiverwachting van deze markt, Eindrapport</i>	99
2.2.2.2	<i>Life cycle analysis of a residential home in Michigan</i>	99
2.2.2.3	<i>Meer halen uit materialen</i>	100
2.2.2.4	<i>Conclusies van de literatuurstudie aangaande de effecten van nieuwe bouwconcepten op het verbruik van oppervlaktedelfstoffen</i>	101
2.2.3	Methodologische aanpak voor de evaluatie van het verbruik van oppervlaktedelfstoffen	101
2.2.3.1	<i>Primaire oppervlaktedelfstoffen in Vlaanderen</i>	102
2.2.3.2	<i>Primaire oppervlaktedelfstoffen binnen SuFiQuaD</i>	103
2.2.3.3	<i>Uitbreiding van het SuFiQuaD model voor deze studie</i>	104
2.2.3.4	<i>Analyse van het verbruik van primaire oppervlaktedelfstoffen van de bouwconcepten</i>	107
2.2.4	Resultaten van de analyse van een vrijstaande woning	108
2.2.4.1	<i>Overzicht verbruik van oppervlaktedelfstoffen op woningniveau</i>	108
2.2.4.2	<i>Verbruik van oppervlaktedelfstoffen voor de verschillende bouwelementen</i>	111
2.2.4.3	<i>Detailanalyse van de buitenwand</i>	114
2.2.4.4	<i>Conclusies voor het verbruik van oppervlaktedelfstoffen van de vrijstaande woning</i>	119
2.2.5	Resultaten van de analyse van een rijwoning	120
2.2.5.1	<i>Overzicht verbruik van oppervlaktedelfstoffen op woningniveau</i>	120
2.2.5.2	<i>Verbruik van oppervlaktedelfstoffen voor de verschillende bouwelementen</i>	122
2.2.5.3	<i>Detailanalyse van de vloer op volle grond</i>	124

2.2.5.4	<i>Detailanalyse van de buitenwand</i>	126
2.2.5.5	<i>Conclusies voor het verbruik van oppervlaktedelfstoffen van de rijwoning</i>	128
2.2.6	Resultaten van de analyse van een appartement.....	128
2.2.6.1	<i>Overzicht verbruik van oppervlaktedelfstoffen op woningniveau..</i>	128
2.2.6.2	<i>Verbruik van oppervlaktedelfstoffen voor de verschillende bouwelementen</i>	130
2.2.6.3	<i>Detailanalyse van de verdiepingsvloer</i>	132
2.2.6.4	<i>Conclusies voor het verbruik van oppervlaktedelfstoffen van het appartement</i>	133
2.2.7	Conclusies voor het verbruik van oppervlaktedelfstoffen voor de verschillende bouwconcepten.....	134
2.3	Fase 2c - Toekomstscenario's voor het groeipotentieel van nieuwe bouwconcepten	137
2.3.1	Inleiding.....	137
2.3.2	Sterkte-Zwakte analyse	137
2.3.2.1	<i>Houtskeletbouw</i>	138
2.3.2.2	<i>Bio-ecologisch bouwen</i>	139
2.3.2.3	<i>Metaalskeletbouw</i>	139
2.3.2.4	<i>Maximale recyclage</i>	140
2.3.2.5	<i>Industrieel, Flexibel en Demontabel bouwen (IFD)</i>	140
2.3.3	Toekomstscenario's voor 2020	141
2.3.3.1	<i>Evolutie van de woningbouw tegen 2020</i>	141
2.3.3.2	<i>Evolutie van de bouwconcepten tegen 2020</i>	144
2.3.4	Impact van de toekomstscenario's.....	147
2.3.4.1	<i>Milieu-impact</i>	147
2.3.4.2	<i>Impact op het verbruik van primaire oppervlaktedelfstoffen</i>	151
3	Fase 3 - Conclusies voor het beleid	160
3.1	Fase 3a - Nieuwe bouwconcepten in Noordwest Europa	160
3.1.1	Inleiding.....	160
3.1.2	Houtskeletbouw	161
3.1.2.1	<i>Toepassing en marktaandeel van houtskeletbouw in een aantal Noordwest-Europese landen</i>	161
3.1.2.2	<i>Toepassing en beleid aangaande houtskeletbouw in Zweden</i>	162
3.1.3	Bio-ecologisch bouwen	164
3.1.3.1	<i>Toepassing en marktaandeel van bio-ecologisch bouwen in een aantal Noordwest-Europese landen</i>	164
3.1.3.2	<i>Toepassing en beleid aangaande bio-ecologisch bouwen in Oostenrijk</i>	164
3.1.4	Metaalbouw.....	166
3.1.4.1	<i>Toepassing en marktaandeel van metaalbouw in een aantal Noordwest-Europese landen</i>	166
3.1.4.2	<i>Toepassing en beleid aangaande metaalbouw in Groot-Brittannië</i>	167
3.1.5	Maximale recyclage of cradle-to-cradle (C2C).....	171
3.1.5.1	<i>Toepassing en marktaandeel van cradle-to-cradle bouwen in een aantal Noordwest-Europese landen</i>	171
3.1.5.2	<i>Toepassing en beleid aangaande cradle-to-cradle bouwen in Nederland</i>	171
3.1.6	IFD bouwen.....	173

3.1.6.1	<i>Toepassing en marktaandeel van IFD bouwen in een aantal Noordwest-Europese landen</i>	<i>173</i>
3.1.6.2	<i>Toepassing en beleid aangaande IFD bouwen in Nederland.....</i>	<i>173</i>
3.1.7	Conclusies aangaande de toepassing en het marktaandeel van nieuwe bouwconcepten in Noordwest-Europa.....	175
3.2	Fase 3b - Beleidsopties in functie van een duurzaam voorraadbeheer	176
3.2.1	Inleiding.....	176
3.2.2	Belangrijkste resultaten en conclusies in verband met de milieu-impact en het primaire oppervlaktedelfstoffen-gebruik van nieuwe bouwconcepten	176
3.2.3	Aanbevelingen voor mogelijke beleidsopties voor een duurzaam voorraadbeheer in Vlaanderen	180
	Referenties	184
	Lijst van bijlagen.....	193
	Bijlage 1 - Consultatiefiche.....	197
	Bijlage 2 - Lijst van gecontacteerde experts	199
	Bijlage 3 - Gedetailleerd overzicht van de resultaten voor de vrijstaande woning.....	200
	Bijlage 4 - Gedetailleerd overzicht van de resultaten voor de rijwoning	223
	Bijlage 5 - Gedetailleerd overzicht van de resultaten voor het appartement.....	242

Lijst van figuren

- Figuur 1: Voorbeeld 1 - Illustratie van de opbouw van een houtskeletbouwwoning [2]
- Figuur 2: Voorbeeld 2 - Vrijstaande woning in houtskeletbouw [2]
- Figuur 3: Voorbeeld 3 - Vrijstaande woning in houtskeletbouw [1]
- Figuur 4: Voorbeelden 4 & 5 - Renovatie en nieuwbouw in houtskeletbouw [4]
- Figuur 5: Voorbeelden 1 & 2 - Vrijstaande of halfopen bio-ecologische eengezinswoningen [8]
- Figuur 6: Voorbeeld 3 - Vrijstaande houtskeletbouwwoning met gedeeltelijke strobaleinvulling en leembepoelstering, 95 % hernieuwbare materialen [12]
- Figuur 7: Voorbeeld 4 - Bio-ecologische rijwoning [15]
- Figuur 8: Voorbeelden 1 & 2 - Illustratie van de opbouw van een metaalskeletbouwwoning [16][18]19]
- Figuur 9: Voorbeeld 3 - Vrijstaande woning in staalskelet [19]
- Figuur 10: Voorbeelden 4 & 5 - Rijwoningen en appartementen in staalskelet [17]
- Figuur 11: Voorbeeld 1 - Illustratie van een ééngzinswoning opgebouwd uit kringloop-producten - Recyhouse te Limelette [28]
- Figuur 12: Voorbeeld 2 - Illustratie van meergezinswoningen (wijk), Tweewaters, Leuven [29]
- Figuur 13: Voorbeeld 3 - Illustratie van C2C principes op masterplan niveau, Almere, Nederland [24]
- Figuur 14: Voorbeeld 1 - Van kantoorgebouw naar appartementsgebouw - Renovatie en herbestemming van de 2-Torenwijk – Hasselt [35]
- Figuur 15: Voorbeeld 2 – Flexibele woningbouwconcepten [33]
- Figuur 16: Voorbeeld 3 - RVT met herverkavelbare structuur met dragende wanden [36]
- Figuur 17: Illustratie van de levenscyclus van een gebouw [56]
- Figuur 18: Illustratie van de elementenmethode binnen het SuFiQuaD project
- Figuur 19: Plannen (gelijkvloers en eerste verdieping) en illustratie van de geanalyseerde vrijstaande woning.
- Figuur 20: Aangepast plan (gelijkvloers) van de geanalyseerde woning.
- Figuur 21: Vergelijking van de totale milieu-impact van de vrijstaande woning met K42 ten opzichte van K32, met verdeling in levenscyclusfasen (ecopunten per m² vloer en per jaar)
- Figuur 22: Vergelijking initiële milieu-impact versus levenscyclus milieu-impact van de vrijstaande woning (ecopunten per m² vloer en per jaar)
- Figuur 23: Vergelijking van de milieu-impact per milieu-indicator voor de vrijstaande woning (ecopunten per m² vloer voor de volledige levensduur)
- Figuur 24: Vergelijking van de milieu-impact per milieu-indicator voor de vrijstaande woning (ecopunten per m² vloer en per jaar)
- Figuur 25: Totale milieu-impact voor de vrijstaande woning, met verdeling in levenscyclus-fasen (ecopunten per m² vloer en per jaar).
- Figuur 26: Vergelijking voor de vrijstaande woning van de milieu-impact van de bouwelementen op woningniveau voor de verschillende bouwconcepten (ecopunten per m² vloer en per jaar)
- Figuur 27: Detailanalyse milieu-impact van 1 m² buitenwand van de referentie vrijstaande woning (ecopunten per jaar)
- Figuur 28: Detailanalyse milieu-impact van 1 m² buitenwand van de houtskelet vrijstaande woning (ecopunten per jaar)

- Figuur 29: Detailanalyse milieu-impact van 1 m² buitenwand van de bio-ecologische vrijstaande woning (ecopunten per jaar)
- Figuur 30: Detailanalyse milieu-impact van 1 m² buitenwand van de basisoplossing van de metaalskeletbouw vrijstaande woning – zinken beplating (ecopunten per jaar)
- Figuur 31: Detailanalyse milieu-impact van 1 m² buitenwand van de variant van de metaalskeletbouw vrijstaande woning – buitenpleister op isolatie (ecopunten per jaar)
- Figuur 32: Detailanalyse milieu-impact van 1 m² buitenwand van de vrijstaande woning met maximale recyclage (ecopunten per jaar)
- Figuur 33: Detailanalyse milieu-impact van 1 m² buitenwand van de IFD vrijstaande woning (ecopunten per jaar)
- Figuur 34: Plannen (gelijkvloers en eerste verdieping) en illustratie van de geanalyseerde rijwoning.
- Figuur 35: Vergelijking initiële milieu-impact versus levenscyclus milieu-impact van de rijwoning (ecopunten per m² vloer en per jaar)
- Figuur 36: Vergelijking van de milieu-impact per milieu-indicator (ecopunten per m² vloer en per jaar)
- Figuur 37: Totale milieu-impact voor de rijwoning, met verdeling in levenscyclusfasen (ecopunten per m² vloer en per jaar)
- Figuur 38: Vergelijking voor de rijwoning van de milieu-impact van de bouwelementen op woningniveau voor de verschillende bouwconcepten (ecopunten per m² vloer en per jaar)
- Figuur 39: Detailanalyse milieu-impact van 1 m² vloer op volle grond van de referentie rijwoning (ecopunten per jaar)
- Figuur 40: Detailanalyse milieu-impact van 1 m² vloer op volle grond van de houtskeletbouw rijwoning (ecopunten per jaar)
- Figuur 41: Detailanalyse milieu-impact van 1 m² vloer op volle grond van de bio-ecologische rijwoning (ecopunten per jaar)
- Figuur 42: Detailanalyse milieu-impact van 1 m² buitenwand van de referentie rijwoning (ecopunten per jaar)
- Figuur 43: Detailanalyse milieu-impact van 1 m² buitenwand van de houtskeletbouw rijwoning (ecopunten per jaar)
- Figuur 44: Detailanalyse milieu-impact van 1 m² buitenwand van de bio-ecologische rijwoning (ecopunten per jaar)
- Figuur 45 : Plannen (geanalyseerd appartement) en illustratie van het appartementsgebouw
- Figuur 46: Vergelijking initiële milieu-impact versus levenscyclus milieu-impact van het appartement (ecopunten per m² vloer en per jaar)
- Figuur 47: Vergelijking van de milieu-impact per milieu-indicator voor het appartement (ecopunten per m² vloer en per jaar)
- Figuur 48: Totale milieu-impact voor het appartement, met verdeling in levenscyclusfasen (ecopunten per m² vloer en per jaar)
- Figuur 49: Vergelijking voor het appartement van de milieu-impact van de bouwelementen op woningniveau voor de verschillende bouwconcepten (ecopunten per m² vloer en per jaar)
- Figuur 50: Detailanalyse milieu-impact van 1 m² verdiepingsvloer van het referentie appartement (ecopunten per jaar)
- Figuur 51: Detailanalyse milieu-impact van 1 m² verdiepingsvloer van het appartement met maximale recyclage (ecopunten per jaar)
- Figuur 52: Berekening van het aandeel los zand en breeksand in Vlaanderen [85]

- Figuur 53: Vergelijking voor de vrijstaande woning van het totale verbruik van oppervlaktedelfstoffen voor de verschillende bouwconcepten (kg per m² vloer per jaar)
- Figuur 54: Vergelijking voor de vrijstaande woning van het totale verbruik van zand, met opdeling in levenscyclusfasen (kg per m² vloer per jaar)
- Figuur 55: Vergelijking voor de vrijstaande woning van het totale verbruik van klei en leem, met opdeling in levenscyclusfasen (kg per m² vloer per jaar)
- Figuur 56: Vergelijking voor de vrijstaande woning van het totale verbruik van grind en grove granulaten, met opdeling in levenscyclusfasen (kg per m² vloer per jaar)
- Figuur 57: Vergelijking van het verbruik van zand per bouwelement voor de vrijstaande woning (kg per m² vloer per jaar)
- Figuur 58: Vergelijking van het verbruik van klei en leem per bouwelement voor de vrijstaande woning (kg per m² vloer per jaar)
- Figuur 59: Vergelijking van het verbruik van grind en grove granulaten per bouwelement voor de vrijstaande woning (kg per m² vloer per jaar)
- Figuur 60: Detailanalyse van het verbruik van oppervlaktedelfstoffen van 1m² buitenwand van de referentie vrijstaande woning per levenscyclusfase (kg per jaar)
- Figuur 61: Detailanalyse van het verbruik van oppervlaktedelfstoffen van 1 m² buitenwand van de houtskeletbouw vrijstaande woning per levenscyclusfase (kg per jaar)
- Figuur 62: Detailanalyse van het verbruik van oppervlaktedelfstoffen van 1 m² buitenwand van de bio-ecologische vrijstaande woning per levenscyclusfase (kg per jaar)
- Figuur 63: Detailanalyse van het verbruik van oppervlaktedelfstoffen van 1 m² buitenwand van de basisoplossing van de metaalskeletbouw vrijstaande woning per levenscyclusfase (kg per jaar)
- Figuur 64: Detailanalyse van het verbruik van oppervlaktedelfstoffen van 1 m² buitenwand van de variant van de metaalskeletbouw vrijstaande woning per levenscyclusfase (kg per jaar)
- Figuur 65: Detailanalyse van het verbruik van oppervlaktedelfstoffen van 1 m² buitenwand van de vrijstaande woning met maximale recyclage per levenscyclusfase (kg per jaar)
- Figuur 66: Detailanalyse van het verbruik van oppervlaktedelfstoffen van 1 m² buitenwand van de IFD vrijstaande woning per levenscyclusfase (kg per jaar)
- Figuur 67: Vergelijking voor de rijwoning van het totale verbruik van oppervlaktedelfstoffen voor de verschillende bouwconcepten (kg per m² vloer per jaar)
- Figuur 68: Vergelijking voor de rijwoning van het totale verbruik van oppervlaktedelfstoffen, met opdeling in levenscyclusfasen (kg per m² vloer per jaar)
- Figuur 69: Vergelijking van het verbruik van zand per bouwelement voor de rijwoning (kg per m² vloer per jaar)
- Figuur 70: Vergelijking van het verbruik van klei en leem per bouwelement voor de rijwoning (kg per m² vloer per jaar)
- Figuur 71: Vergelijking van het verbruik van grind en grove granulaten per bouwelement voor de rijwoning (kg per m² vloer per jaar)
- Figuur 72: Detailanalyse van het verbruik van oppervlaktedelfstoffen van 1 m² vloer op volle grond van de referentie rijwoning per levenscyclusfase (kg per jaar)

- Figuur 73: Detailanalyse van het verbruik van oppervlaktedelfstoffen van 1 m² vloer op volle grond van de houtskeletbouw rijwoning per levenscyclusfase (kg per jaar)
- Figuur 74: Detailanalyse van het verbruik van oppervlaktedelfstoffen van 1 m² vloer op volle grond van de bio-ecologische rijwoning per levenscyclusfase (kg per jaar)
- Figuur 75: Detailanalyse van het verbruik van oppervlaktedelfstoffen van 1 m² buitenwand van de referentie rijwoning per levenscyclusfase (kg per jaar)
- Figuur 76: Detailanalyse van het verbruik van oppervlaktedelfstoffen van 1 m² buitenwand van de houtskeletbouw rijwoning per levenscyclusfase (kg per jaar)
- Figuur 77: Detailanalyse van het verbruik van oppervlaktedelfstoffen van 1 m² buitenwand van de bio-ecologische rijwoning per levenscyclusfase (kg per jaar)
- Figuur 78: Vergelijking voor het appartement van het totale verbruik van oppervlaktedelfstoffen voor de verschillende bouwconcepten (kg per m² vloer per jaar)
- Figuur 79: Vergelijking voor het appartement van het verbruik van oppervlaktedelfstoffen, met opdeling in levenscyclusfasen (kg per m² vloer per jaar)
- Figuur 80: Vergelijking van het verbruik van zand per bouwelement voor het appartement (kg per m² vloer, per jaar)
- Figuur 81: Vergelijking van het verbruik van klei en leem per bouwelement voor het appartement (kg per m² vloer, per jaar)
- Figuur 82: Vergelijking van het verbruik van grind en grove granulaten per bouwelement voor het appartement (kg per m² vloer per jaar)
- Figuur 83: Detailanalyse van het verbruik van oppervlaktedelfstoffen van 1m² verdiepingsvloer van het referentie appartement (kg per jaar)
- Figuur 84: Detailanalyse van het verbruik van oppervlaktedelfstoffen van 1m² verdiepingsvloer van het appartement met maximale recyclage (kg per jaar)
- Figuur 85: Aantal nieuwbouwwoningen in Vlaanderen van 1996 tot 2009, met aanduiding van een trendlijn, die de evolutie in deze periode weergeeft [84]
- Figuur 86: Evolutie van de bevolking in Vlaanderen tussen 2000 en 2008, met prognose voor de bevolkingsevolutie tot 2020 [55]
- Figuur 87: Evolutie van de gemiddelde gezinsgrootte in Vlaanderen tussen 1991 en 2008 [82]
- Figuur 88: Evolutie van het aandeel gebouwde woningen per woningtype op de totale hoeveelheid nieuwbouwwoningen per periode
- Figuur 89: Totale aantallen nieuwbouwwoningen per woningtype in 2008 en in 2020
- Figuur 90: Illustratie van een appartementsgebouw uit houtskelet te Växjö, Zweden [117].
- Figuur 91: Het nieuwe bio-ecologische gemeenschapscentrum van Ludesch als voorbeeld-project in het kader van het Haus der Zukunft [135]
- Figuur 92: Illustratie van 23 woningen, opgebouwd uit staalskelet, in het Allerton Bywater woonproject te Castleford, West Yorkshire [156].
- Figuur 93: Cub Homes als voorbeeld van modulaire, geprefabriceerde, stalen woningen in Groot-Brittanië [167].
- Figuur 94: Illustratie van het nieuwe C2C gebouw voor het Nederlands Instituut voor Ecologie te Wageningen (NIOO-KNAW) [179].

Figuur 95: Illustratie van twee IFD demonstratieprojecten in Nederland [183][184][185][186].

Lijst van tabellen

- Tabel 1: Voorkeurmateriaal voor bio-ecologisch bouwen [7]
- Tabel 2: Criteria voor Cradle-to-Cradle certificatie [26]
- Tabel 3: Overzicht van de Eco-Indicator 99 en de CML milieu-indicatoren, alsook specifieke emissies en hun bijhorende eenheden [60][61][66]. Legende: DALY: Disability Adjusted Life Years; PDF: Potentially Disappeared Fraction.
- Tabel 4: Overzicht van normalisatiefactoren en weegfactoren, zoals toegepast binnen de Eco-Indicator 99 methode [60].
- Tabel 5: Overzicht van de in dit project geanalyseerde woningvarianten en bouwconcepten
- Tabel 6: Overzicht van algemene gegevens met betrekking tot de geanalyseerde vrijstaande woning
- Tabel 7: Opbouw van de geanalyseerde vrijstaande woningen: referentie, houtskeletbouw en bio-ecologische houtskeletbouw
- Tabel 8: Opbouw van de geanalyseerde vrijstaande woningen: metaalskeletbouw, maximale recyclage en IFD
- Tabel 9: Overzicht van de veronderstelde levensduur voor de verschillende gevelafwerkingen
- Tabel 10: Overzicht van algemene gegevens met betrekking tot de geanalyseerde rijwoning
- Tabel 11: Specifieke opbouw van de bouwelementen van de rijwoning voor de drie beschouwde bouwconcepten
- Tabel 12: Overzicht van algemene gegevens met betrekking tot het geanalyseerde appartement
- Tabel 13: Samenstelling van de paalfundering en het plat dak volgens de drie bouwconcepten, toegepast op het appartement
- Tabel 14: Overzicht van de productie en de import en export van primaire oppervlakte-delfstoffen in en naar Vlaanderen, zoals opgenomen in het Algemeen Oppervlakedelfstoffenplan (AOD) [85].
- Tabel 15: Overzicht van de verdeling van de relevante Ecoinvent delfstoffenrecords over de verschillende delfstofindicatoren in de uitgebreide SuFiQuaD databank.
- Tabel 16: Benodigde hoeveelheden aan primaire oppervlakedelfstoffen voor 1 kg roestvast staal, 1 kg polyethyleenfolie en 1 kg baksteen [59].
- Tabel 17: Samenvatting van het verbruik van oppervlakedelfstoffen voor de verschillende bouwconcepten bij de vrijstaande woning (kg per m² vloer per jaar)
- Tabel 18: Verduidelijking SWOT analyse
- Tabel 19: SWOT analyse voor houtskeletbouw
- Tabel 20: SWOT analyse voor bio-ecologisch bouwen
- Tabel 21: SWOT analyse voor metaalskeletbouw
- Tabel 22: SWOT analyse voor maximale recyclage
- Tabel 23: SWOT analyse voor industrieel, flexibel en demontabel bouwen
- Tabel 24: Berekening van het aantal nieuwbouwwoningen in 2020

- Tabel 25: Evolutie in het aandeel van de verschillende woningtypes in het totaal aantal nieuwbouwwoningen
- Tabel 26: Huidig marktaandeel van de bouwconcepten, met onderscheid tussen eengezinswoningen en appartementen
- Tabel 27: Verwachte evolutie van het marktaandeel van de bouwconcepten tegen 2020 bij gelijke marktacceptatie, met onderscheid tussen eengezinswoningen en appartementen
- Tabel 28: Verwachte evolutie van het marktaandeel van de bouwconcepten tegen 2020 bij licht gestegen marktacceptatie, met onderscheid tussen eengezinswoningen en appartementen
- Tabel 29: Verwachte evolutie van het marktaandeel van de bouwconcepten tegen 2020 bij sterk gestegen marktacceptatie, met onderscheid tussen eengezinswoningen en appartementen
- Tabel 30: Overzicht van de totale milieu-impact per gebouwtype voor de verschillende bouwconcepten, uitgedrukt in ecopunten per m² vloer en per jaar
- Tabel 31: Overzicht van de milieu-impact voor de huidige marktsituatie van de bouwconcepten, uitgedrukt in ecopunten
- Tabel 32: Overzicht van de milieu-impact voor het toekomstscenario 2020 bij gelijk gebleven marktacceptatie, uitgedrukt in ecopunten
- Tabel 33: Overzicht van de milieu-impact voor het toekomstscenario 2020 bij licht gestegen marktacceptatie, uitgedrukt in ecopunten
- Tabel 34: Overzicht van de milieu-impact voor het toekomstscenario 2020 bij sterk gestegen marktacceptatie, uitgedrukt in ecopunten
- Tabel 35: Behoefteraming voor het jaarlijks verbruik van primaire oppervlaktedelfstoffen in Vlaanderen [85]
- Tabel 36: Overzicht van het verbruik van zand per gebouwtype voor de verschillende bouwconcepten, uitgedrukt in kg per m² en per jaar
- Tabel 37: Overzicht van het verbruik van klei en leem per gebouwtype voor de verschillende bouwconcepten, uitgedrukt in kg per m² en per jaar
- Tabel 38: Overzicht van het verbruik van grind en grove granulaten per gebouwtype voor de verschillende bouwconcepten, uitgedrukt in kg per m² en per jaar
- Tabel 39: Overzicht van het verbruik van oppervlaktedelfstoffen voor de huidige marktsituatie van de bouwconcepten
- Tabel 40: Overzicht van het verbruik van oppervlaktedelfstoffen voor het toekomstscenario 2020 bij gelijk gebleven marktacceptatie
- Tabel 41: Overzicht van het verbruik van oppervlaktedelfstoffen voor het toekomstscenario 2020 bij licht gestegen marktacceptatie
- Tabel 42: Overzicht van het verbruik van oppervlaktedelfstoffen voor het toekomstscenario 2020 bij sterk gestegen marktacceptatie
- Tabel 43: Marktaandeel van houtskeletbouw in een aantal Noordwest-Europese landen
[1][55][93][94][95][96][97][98][99][100][101][102][103][104][105][106][107][119].
- Tabel 44: Marktaandeel van metaalbouw in een aantal Noordwest-Europese landen
[16][17][97][106][137][138][139][140][141][142][143][144]

Inleiding

In het kader van duurzaam bouwen wordt vaak de term 'nieuwe, duurzame bouwconcepten' in de mond genomen. Wat daar exact mee bedoeld wordt, wordt vaak in het midden gelaten. Toch houden de begrippen 'duurzame' en 'nieuwe bouwconcepten' vele aspecten in.

In de meeste gevallen wordt een duurzame woning rechtstreeks verbonden met een energiezuinige woning, waarbij zowel een laag energieverbruik als het gebruik van hernieuwbare en/of milieuvriendelijke energiebronnen centraal staan. Toch dekt dit niet de volledige lading van een duurzame woning.

Duurzaam verwijst eveneens naar een lange levensduur van zowel de woning als haar samenstellende componenten. Daarnaast wordt ook het gebruik van duurzame bouwmaterialen verstaan onder dit begrip. Duurzame bouwmaterialen worden enerzijds gekenmerkt door een lange levensduur en beperkte onderhouds- en vervangingseisen en anderzijds door beperkte milieueffecten tijdens hun gehele levenscyclus (i.e. milieuvriendelijke materialen). Deze laatste zijn o.a. gerelateerd aan een beperkt grondstoffenverbruik dankzij de toepassing van gerecycleerde of hergebruikte basismaterialen en aan minder milieubelastende productie-, toepassings- en afvalverwerkingsprocessen. Ook een gezond en aangenaam binnenklimaat wordt regelmatig gekoppeld aan het gebruik van milieuvriendelijke en gezonde bouwmaterialen binnen de woning. Andere belangrijke aspecten van een duurzame woning zijn o.a. een rationeel waterverbruik, een rationeel afvalbeheer en flexibiliteit en aanpasbaarheid van de woning.

Wat het begrip 'nieuwe bouwconcepten' betreft, zijn er heel wat mogelijkheden. Er kan enerzijds uitgegaan worden van de toepassing van nieuwe constructiewijzen en gebouwwormen, zoals industrieel, flexibel en demontabel bouwen, compacter bouwen, gestapeld bouwen, bouwen met een langere levensduur dankzij, bijvoorbeeld, aanpasbaarheid en flexibiliteit, ... Anderzijds kan uitgegaan worden van het gebruik van andere, duurzamere en/of milieuvriendelijkere materialen, zoals biologische materialen, gerecycleerde materialen, sluiten van kringlopen (cradle to cradle of C2C), ... Ook een combinatie van beide uitgangspunten is mogelijk.

Binnen de woningbouw zijn vele nieuwe bouwconcepten mogelijk. Een groot aantal hiervan claimt duurzaam en milieuvriendelijk te zijn. Om een antwoord te bieden op de vraag of deze nieuwe bouwconcepten inderdaad een positieve invloed hebben op de duurzaamheid van een woning als geheel, worden in deze studie een vijftal nieuwe bouwconcepten binnen de Vlaamse woningbouw geselecteerd en via een objectieve benadering geëvalueerd wat betreft hun duurzaamheid.

Het gaat hier in concreto om houtskeletbouw, bio-ecologisch bouwen, metaalbouw, cradle-to-cradle of kringloop bouwen met focus op de maximale inzet van gerecycleerde materialen en industrieel, flexibel en demontabel bouwen. De keuze voor deze bouwconcepten is gebaseerd op de kennis en ervaring van de auteurs van deze studie, op recente evoluties binnen de Vlaamse en de Belgische woningbouwmarkt en op ervaringen wat betreft de toepassing van nieuwe bouwconcepten in het buitenland. Verder wordt ernaar gestreefd om zowel materiaalgebonden als bouwwijzegebonden nieuwe bouwconcepten in de studie op te nemen.

Dit neemt echter niet weg dat er ook andere nieuwe bouwconcepten en varianten bestaan, die in aanmerking zouden kunnen komen voor een verdere analyse.

Voorbeelden hiervan zijn gelijmde of isolerende baksteen, cellenbeton, kalkzandsteen, andere bio-ecologische materialen, ... Een volledige analyse van al deze mogelijke alternatieven valt echter buiten het bereik van deze studie.

Wat de analyse van de geselecteerde nieuwe bouwconcepten betreft, wordt in de eerste plaats een reeks van representatieve typewoningen geselecteerd en opgebouwd volgens zowel de traditionele bouwwijze als de nieuwe bouwconcepten. Vervolgens worden deze woningen met behulp van een levenscyclusanalyse geëvalueerd wat betreft hun milieueffecten. Door de resultaten voor de verschillende bouwconcepten onderling en met de traditionele woningbouw te vergelijken, kunnen ten slotte uitspraken gedaan worden over de globale milieubelasting van de verschillende bouwconcepten en over welke concepten als meest milieuvriendelijk uit de bus komen.

Naast hun effecten op het milieu, hebben alle geselecteerde bouwconcepten ook een rechtstreekse invloed op het materiaalgebruik binnen de woning, waarbij in meer of mindere mate een beroep gedaan wordt op primaire oppervlaktedelfstoffen. De nieuwe bouwconcepten worden dus gekenmerkt door een behoefte aan primaire oppervlaktedelfstoffen, die kan verschillen van concept tot concept.

Deze behoefte aan primaire oppervlaktedelfstoffen van de mogelijke nieuwe bouwconcepten binnen de woningbouw is van groot belang voor het huidige en het toekomstige beleid met betrekking tot oppervlaktedelfstoffen in Vlaanderen. Dit beleid streeft namelijk naar een duurzame ontginning en een zuinige en doelmatige aanwending van de beschikbare oppervlaktedelfstoffen, alsook naar een verhoogd gebruik van volwaardige alternatieven voor de oppervlaktedelfstoffen (vb. secundaire grondstoffen, uitgegraven bodem, hernieuwbare grondstoffen) en naar het maximale gebruik van afvalstoffen en bijproducten met als doelstelling de behoefte aan primaire grondstoffen in te perken.

Deze doelstellingen kunnen mede waargemaakt worden door de verhoogde toepassing van woningbouwconcepten, die ofwel primaire oppervlaktedelfstoffen zuiniger toepassen (vb. door middel van prefabricatie of industrialisatie), ofwel andere materialen dan producten op basis van primaire oppervlaktedelfstoffen gebruiken. Voorbeelden van zulke materialen zijn bouwproducten op basis van hernieuwbare primaire grondstoffen, zoals hout en andere biologische materialen, of op basis van gerecycleerde en recycleerbare materialen. Hierbij is het van belang dat bouwmaterialen op basis van primaire oppervlaktedelfstoffen vervangen worden door volwaardige alternatieven, die op technisch en milieuvlak minimum evenwaardig en liefst nog beter presteren dan de initiële bouwmaterialen, die wel degelijk een besparing van primaire grondstoffen met zich meebrengen én die op lange termijn continu en in voldoende mate beschikbaar blijven (vb. inheems hout). Anno 2010 worden reeds een hele reeks alternatieven voor primaire oppervlaktedelfstoffen binnen de woningbouw toegepast. Toch blijft hun aandeel vrij beperkt.

Om een antwoord te geven op de vraag of de in deze studie geselecteerde nieuwe bouwconcepten al dan niet voor een besparing aan primaire oppervlaktedelfstoffen kunnen zorgen en op die manier kunnen bijdragen aan een duurzaam verbruik van oppervlaktedelfstoffen in Vlaanderen, worden de vijf nieuwe bouwconcepten, naast hun milieu-impact, ook geëvalueerd wat betreft hun verbruik van primaire oppervlaktedelfstoffen. Voor elk van de woningtypes wordt per bouwconcept de grondstoffenbehoefte berekend en vergeleken met de grondstoffenbehoefte voor de traditionele woningbouw. Op die manier kunnen uitspraken gedaan worden over welke bouwconcepten de grootste delfstoffenbesparing met zich mee kunnen brengen.

Binnen deze analyse worden geen bijkomende aanpassingen ten gevolge van de toepassing van minerale en niet-minerale alternatieven voor de primaire oppervlakedelfstoffen (vb. gerecycleerde materialen, baggerspecie, grondverzet, secundaire materialen, ...) uitgevoerd, omdat dit buiten de scope van deze studie valt.

Tot slot van deze studie wordt op basis van de resultaten van de bovenstaande milieu- en grondstoffenanalyses van een vijftal nieuwe bouwconcepten binnen de Vlaamse woningbouw een reeks van concrete voorstellen aangaande mogelijke beleidsopties in functie van een duurzaam voorraadbeheer in Vlaanderen afgeleid.

De voorliggende studie wordt opgedeeld in de volgende drie onderzoeksfasen:

- Fase 1 bestaat uit een inventarisatie en gedetailleerde beschrijving van mogelijke nieuwe bouwconcepten en hun constructiemethoden in de (Vlaamse) woningbouw. Daarnaast wordt dieper ingegaan op het huidige marktaandeel van deze bouwconcepten binnen de Vlaamse woningbouw;
- Fase 2 bestaat uit een gedetailleerde evaluatie van de geïdentificeerde nieuwe bouwconcepten in vergelijking met de traditionele woningbouw op het vlak van hun milieueffecten en het gebruik van primaire oppervlakedelfstoffen. Tevens worden op basis van de resultaten van deze analyse mogelijke toekomstige evoluties in de toepassing van de bouwconcepten in Vlaanderen uitgewerkt en worden hun effecten op de milieu-impact en op het verbruik van oppervlakedelfstoffen geanalyseerd;
- In fase 3, ten slotte, wordt een overzicht gegeven van de markt en het beleid aangaande nieuwe bouwconcepten in Noordwest-Europa en worden een aantal concrete voorstellen gedaan voor beleidsopties m.b.t. een duurzaam grondstoffenvoorraadbeheer in Vlaanderen.

1 Fase 1 - Inventarisatie van nieuwe duurzame bouwconcepten

De eerste fase van deze studie is gericht op het inventariseren van een aantal nieuwe en vaak als duurzaam geclaimde bouwconcepten.

In deelfase 1a worden een vijftal nieuwe en als duurzaam bestempelde bouwconcepten voor woongebouwen geïdentificeerd en in detail beschreven.

In fase 1b wordt vervolgens bepaald welk het huidige marktaandeel is van deze nieuwe concepten binnen de Vlaamse woningbouwsector en in welke mate deze nieuwe bouwconcepten daadwerkelijk toegepast worden in Vlaanderen.

De resultaten van deze taken worden in de volgende paragrafen toegelicht.

1.1 Fase 1a - Identificatie en beschrijving van nieuwe bouwconcepten

*Auteurs: An Janssen, Katrien Putzeys – WTCB
Karen Allacker, Frank De Troyer – K.U.Leuven
Wim Debacker – VITO*

1.1.1 Inleiding

Het doel van deze deelfase is een overzicht op te stellen van de relevante nieuwe, als duurzaam bestempelde bouwconcepten, die steeds meer hun weg vinden naar de Vlaamse woningbouw of die het potentieel hebben om op de Vlaamse woningbouwmarkt te verschijnen.

Hiertoe worden een aantal concrete nieuwe bouwconcepten en constructiemethoden voor zowel eengezinswoningen als appartementsgebouwen geïdentificeerd, met name:

- Houtskeletbouw
- Bio-ecologisch bouwen
- Metaalbouw
- Cradle-to-cradle (C2C) of kringloop bouwen, gedefinieerd als de maximale inzet van gerecycleerde materialen
- Industrieel, flexibel en demontabel bouwen (IFD)

Voor elk van deze bouwconcepten werd informatie verzameld aan de hand van een vaste fichestructuur. Op basis hiervan wordt in de volgende paragrafen een beschrijving van het bouwconcept uitgewerkt, met informatie over de opbouw van de woning, de gebruikte constructiemethode(n) en materiaaleigenschappen, de toepasbaarheid voor de woningbouw (individueel en/of multi-residentieel) en een aantal voorbeelden vanuit binnen- en/of buitenland.

1.1.2 Houtskeletbouw

Algemene beschrijving

Definitie

Houtskeletbouw is een bouwsysteem, waarbij de dragende constructie van de woning hoofdzakelijk bestaat uit hout en van hout afgeleide materialen (plaatmaterialen).

Opbouw

De dragende wanden van de woning bestaan uit een houten skelet van verticale stijlen en horizontale regels, dat langs beide zijden bedekt wordt met plaatmateriaal. De holle ruimte tussen de wanden wordt opgevuld met akoestische en/of thermische isolatie. De binnenafwerking bestaat meestal uit een gipskarton- of gipsvezelplaat. Voor de buitenafwerking kan gekozen worden voor een gevelbekleding in hout of voor andere afwerkingen, zoals metselwerk, plaatmaterialen, bepleistering, leien, metaal, ...

De tussenvloeren zijn opgebouwd uit een houten roostering, mechanisch verstijfd met houten plaatmateriaal of met houten klossen. Tussen de roostering kan thermische isolatie geplaatst worden. De bekleding aan de onderzijde bestaat uit een plaatmateriaal (vb. gipskartonplaat). Aan de bovenzijde wordt meestal een zwevende vloer voorzien.

De structuur van het hellend dak bestaat uit houten gordingen en kepers of uit houten prefabspanen. De draagconstructie van het plat dak heeft eenzelfde opbouw als de tussenvloer.

De funderingen en de vloer van het gelijkvloers zijn de enige gebouwcomponenten, die meestal niet uit hout, maar wel uit traditionele steenachtige materialen (vb. metselwerk of beton) bestaan.

Constructiemethode(n) en materiaaleigenschappen

Constructiemethode(n)

Houtskeletbouwwoningen kunnen op de volgende wijzen geconstrueerd worden:

- Volledige opbouw op de werf van de dragende structuur (wanden, vloeren en daken) en de afwerking.
- Prefabricatie in het atelier van de dragende structuurelementen (wand- en vloerpanelen en spanen) en montage, verankering en afwerking op de werf.

Materiaaleigenschappen

Bij houtskeletbouw wordt de dragende structuur van een woning (vloeren, wanden, daken), alsook een groot deel van de afwerking opgebouwd uit hout en van hout afgeleide materialen, zoals:

- naaldhout uit Europa, de GOS-lidstaten en Noord-Amerika voor de structurele elementen;
- nieuwe, innovatieve materialen op basis van hout, zoals gelijmd-gelamineerd hout (GGH), Laminated Veneer Lumber (LVL), ..., voor de dragende structuren;

- van hout afgeleide plaatmaterialen, zoals Oriented Strand Board (OSB), multiplex, spaanplaat en houtvezelplaat, voor de vlakverstijving van de wanden en de (onder)vloeren;
- houten gevelbekleding en dakbedekking (vb. Noordamerikaanse Western red cedar gevelbeplanking of dakshingles uit kastanjehout).

Naast hout, worden ook andere materialen toegepast binnen een houtskeletbouw-woning, waaronder:

- beton voor de funderingen en de vloer op het gelijkvloers;
- andere plaatmaterialen, zoals gipsvezel- en gipskartonplaat, vezelcementplaat en calciumsilicaatplaat voor de dichting, isolatie, binnenafwerking, ...;
- traditionele gevelbekledingen, zoals gevelsteen, bepleistering, metalen platen, leien, ...;
- traditionele dakbedekkingen, zoals klei- en betondakpannen, leien en metalen dakbedekkingen.

Toepassingsmogelijkheden in de Vlaamse woningbouw

Houtskeletbouw kan in Vlaanderen toegepast worden in zowel nieuwe als gerenoveerde eengezinswoningen en appartementen:

- Eengezinswoningen: vooral open en halfopen bebouwing, minder rijwoningen¹.
- Appartementen : vooral lage tot middelhoge appartementsgebouwen¹.
- Renovatie: vooral uitbreidingen en optoppingen van bestaande woningen.

Concrete voorbeelden van woningen in binnen- en/of buitenland

Concrete voorbeelden van houtskeletbouwwoningen in Vlaanderen kunnen o.a. teruggevonden worden op de website van de Nationale Federatie der Zagerijen [4], alsook in een aantal specifieke studies aangaande houtskeletbouw.



Houten skelet, bedekt met plaatmateriaal, voor de wanden en houten spanten voor het dak



Binnenzicht met houten skelet, bedekt met plaatmateriaal, en houten balkenrooster voor de tussenvloer

Figuur 1: Voorbeeld 1 - Illustratie van de opbouw van een houtskeletbouwwoning [2]

¹ De eisen met betrekking tot de brandweerstand van woningscheidende wanden dragen ertoe bij dat houtskeletbouw minder wordt toegepast bij rijwoningen en appartementsgebouwen. Technisch gezien is het wel mogelijk, maar hiervoor moet een specifieke goedkeuring op basis van proefresultaten bekomen worden.

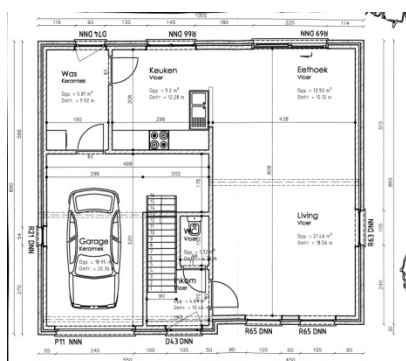


Buitenzicht van een houtskeletbouwwoning te Ruddervoorde

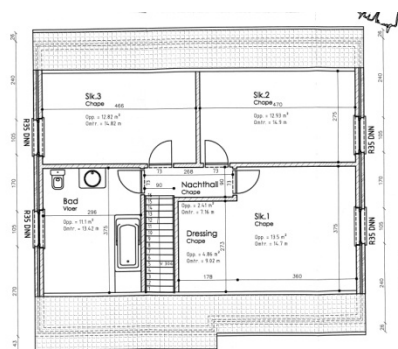


Grondplan gelijkvloers en verdieping van een houtskeletbouwwoning te Ruddervoorde

Figuur 2: Voorbeeld 2 - Vrijstaande woning in houtskeletbouw [2]



Grondplan gelijkvloers (Sibomat)



Grondplan verdieping (Sibomat)

Figuur 3: Voorbeeld 3 - Vrijstaande woning in houtskeletbouw [1]



Uitbreiding in houtskeletbouw van een rijwoning te Wevelgem



Passiefhuis in houtskeletbouw te Kettenis

Figuur 4: Voorbeelden 4 & 5 - Renovatie en nieuwbouw in houtskeletbouw [4]

1.1.3 Bio-ecologisch bouwen

Algemene beschrijving

Definities

“Bio-ecologisch bouwen” verwijst naar het optrekken van een gebouw, dat voor het overgrote deel bestaat uit bio-ecologische bouwmaterialen. “Bio-ecologische bouwmaterialen” bestaan uit (quasi) onuitputtelijke, natuurlijke (plantaardige, dierlijke en/of minerale) basisgrondstoffen, zonder of met zo weinig mogelijk chemische

toevoegstoffen, zonder zware milieubelasting en zonder schadelijke gevolgen voor de menselijke gezondheid [7].

Opbouw

De bouwmethode, die binnen dit ALBON project weerhouden wordt als representatief voor bio-ecologisch bouwen, is de bio-ecologische houtskeletbouw, waarbij de woning bijna volledig opgebouwd wordt uit onbehandeld hout en andere bio-ecologische (vooral nagroeibare en in mindere mate ook minerale) bouwmaterialen.

De dragende wanden van de woning worden opgebouwd uit een niet-verduurzaamd houten skelet, dat langs beide zijden bedekt wordt met een bio-ecologisch plaatmateriaal. De holle ruimte tussen de wanden wordt opgevuld met bio-ecologische akoestische en/of thermische isolatie (vb. papiervlokken, houtvezels, hennep, kurk, ...). Voor de buitenafwerking wordt gekozen voor een traditionele gevelsteen of voor bio-ecologische afwerkingen, zoals onbehandeld hout of een leem- of kalkpleister.

De tussenvloeren zijn opgebouwd uit een houten roostering, mechanisch verstijfd met houten plaatmateriaal of met houten klossen. Tussen de roostering kan een bio-ecologische thermische isolatie geplaatst worden (vb. papiervlokken, houtvezels, ...). De bekleding aan de onderzijde bestaat uit een bio-ecologisch plaatmateriaal (vb. houtvezelplaat), terwijl aan de bovenzijde meestal een zwevende vloer voorzien wordt. De vloerafwerking bestaat eveneens uit een bio-ecologisch materiaal (vb. kurk of linoleum).

De structuur van het hellend dak bestaat uit onbehandelde houten gordingen en kepers of uit houten prefab spanten. Wat de dakbedekking betreft, kan gekozen worden voor traditionele natuurlijke materialen (vb. kleidakpannen of natuurleien) of voor bio-ecologische materialen (vb. houten shingles of riet). De draagconstructie van het plat dak heeft eenzelfde opbouw als de tussenvloer.

De funderingen en de vloer van het gelijkvloers bestaan meestal niet uit hout, maar wel uit traditionele steenachtige materialen (vb. metselwerk of beton), hoewel ook een thermovloer, bestaande uit geëxpandeerde kleikorrels en traskalkmortel mogelijk is.

Constructiemethode(n) en materiaaleigenschappen

Constructiemethode(n)

Bio-ecologische houtskeletbouwwoningen kunnen op de volgende manieren geconstrueerd worden:

- Volledige opbouw op de werf van de dragende structuur (wanden, vloeren en daken) en de afwerking;
- Prefabricatie in het atelier van de dragende structuurelementen (wand- en vloerpanelen en spanten) en montage, verankering en afwerking op de werf.

Materiaaleigenschappen

Bio-ecologische woningen worden voor het overgrote deel opgetrokken uit bio-ecologische bouwmaterialen, zijnde [7]:

- Nagroeibare materialen, die volledig of voor het grootste deel bestaan uit grondstoffen, die uit de land- en bosbouw komen. Voorbeelden hiervan zijn vlas,

hennep, stro, schapenwol, kurk, riet, hout, papiervlokken, katoen, kokos, bamboe, zetmeel, lijnolie, ...

- Minerale of natuurlijke materialen, die voor het grootste deel bestaan uit oppervlaktedelfstoffen, zoals zand, leem, klei en water (wereldwijd ruim voorradig) en aardolieproducten en zeldzame metalen (wereldwijd beperkt voorradig).

Bouwmaterialen, gebaseerd op synthetische of (petro)chemische grondstoffen, behoren niet tot de bio-ecologische materialen en worden bijgevolg zoveel mogelijk vermeden.

Rekening houdend met het type materiaal, kunnen diverse bio-ecologische voorkeurmateriële voor de verschillende gebouwelementen gedefinieerd worden (met een eerste voorkeur voor nagroeibare materialen en een tweede voorkeur voor minerale materialen) (zie onderstaande tabel).

bouwelement	nagroeibare materialen	minerale of natuurlijke materialen
fundering / kelder	houten palen	baksteen, kalkzandsteen, beton
muren	hout, strobalen, stroleem, kalk-hennep	baksteen, kalkzandsteen, gipsblokken, betonsteen, cellenbeton, leemsteen, gewapend beton, metaal, natuursteen
afwerking muren	hout	kalk, leem- of gipspleister, baksteen, kalkzandsteen, beton, natuurleien, metaal
isolatiemateriaal	vlas, papiervlokken, houtvezels, schapenwol, kurk, kokos, katoen, hennep	rotswol, glaswol, cellenglas
onderdakmateriaal	houtvezelplaten	vezelcementplaten
overspanningen	hout	beton, staal
vloeren	hout	beton, welfsels, kleipotten, leem
afwerking vloeren	hout, kurk, linoleum, wollen tapijt, kokostapijt	tegels, leem, gespoten minerale vloer, natuursteen
verven	natuurverf op basis van plantaardige oliën	minerale verf, silicaatverf, witkalk
dakbedekking	riet, hout	kleidakpannen, betonpannen, vezelcementleien, natuurleien, metaal
rioleringsbuizen	-	gres, beton, gietijzer
regenwaterafvoer	hout	zink, koper, aluminium, inox
ramen en deuren	hout	aluminium, staal

Tabel 1: Voorkeurmateriële voor bio-ecologisch bouwen [7]

Toepassingsmogelijkheden in de Vlaamse woningbouw

Bio-ecologisch bouwen kan in Vlaanderen toegepast worden in zowel nieuwe als gerenoveerde eengezinswoningen en appartementen:

- Eengezinswoningen: vooral open en halfopen bebouwing, maar ook rijwoningen.
- Appartementen : vooral lage tot middelhoge appartementsgebouwen.
- Renovatie: vooral uitbreidingen en optoppingen van woningen.

Concrete voorbeelden van woningen in binnen- en/of buitenland

Concrete voorbeelden van bio-ecologische woningen in Vlaanderen kunnen o.a. teruggevonden worden op de website en in de publicaties van VIBE, alsook op de website van enkele architectenbureaus en handelaars, gespecialiseerd in bio-ecologisch bouwen en bio-ecologische bouwmaterialen [7][8][9][10][12][15].



Bio-ecologische eengezinswoning met houten gevelbekleding



Ecologische laagenergie woning te Wilsele, afgewerkt met gevelsteen

Figuur 5: Voorbeelden 1 & 2 - Vrijstaande of halfopen bio-ecologische eengezinswoningen [8]



Houtskeletbouw woning met gedeeltelijke strobaleenvulling en afwerking met houten beplanking en leempleister te Kamp C, Westerlo

Figuur 6: Voorbeeld 3 - Vrijstaande houtskeletbouwwoning met gedeeltelijke strobaleenvulling en leembepleistering, 95 % hernieuwbare materialen [12]



Bio-ecologische rijwoning afgewerkt met onbehandelde houten bekleding te Deurne

Figuur 7: Voorbeeld 4 - Bio-ecologische rijwoning [15]

1.1.4 Metaalbouw

Algemene beschrijving

Definitie

Metaalskeletbouw is een bouwsysteem, waarbij de dragende structuur van een woning volledig bestaat uit een metalen (in de meeste gevallen een stalen) skelet.

Opbouw

De dragende structuur van de woning bestaat uit een skelet van stalen kolommen en balken, dat aan beide zijden afgewerkt wordt. De thermische en/of akoestische isolatie wordt tussen en/of aan de buitenzijde van het staalskelet geplaatst. De buitenmuren worden tegen of rond het skelet bevestigd en zijn hierdoor niet-dragend. Ze bestaan uit een traditionele spouwmuur met gevelsteen of uit moderne gevelbekledingen, zoals metalen platen of sandwichpanelen, geïsoleerde betonpanelen, pleisterlaag op harde isolatie, plaatmaterialen,

De niet-dragende binnenwanden bestaan eveneens uit een skelet van stalen profielen, bedekt met een afwerking, waartussen akoestische en/of thermische isolatie geplaatst kan worden.

De tussenvloeren worden opgebouwd uit stalen profielen met hierop een stalen zwaluwstaartplaat met dekvloer of geprofileerde staalplaten met een gewapende betonnen deklaag. Thermische en/of akoestische isolatie kan geplaatst worden tussen de profielen.

De structuur van het hellend dak bestaat meestal uit stalen dakspanten of gordingen, met hierop dikwijls sandwichpanelen of geïsoleerde dakplaten. De draagconstructie van het plat dak heeft eenzelfde opbouw als de tussenvloer.

De funderingen en de vloer van het gelijkvloers zijn de enige gebouwcomponenten, die normaal gezien niet uit staal, maar wel uit traditionele steenachtige materialen (vb. metselwerk of beton) bestaan.

Constructiemethode(n) en materiaaleigenschappen

Constructiemethode(n)

Metaalskeletbouwwoningen kunnen op twee manieren geconstrueerd worden, namelijk:

- Volledige opbouw op de werf van de dragende structuur (wanden, vloeren en daken) en de afwerking.
- Prefabricatie in de fabriek van de dragende structuurelementen (wand- en vloerpanelen en dakspanten) en eventueel ook de gevelelementen en montage, verankering en afwerking op de werf.

Materiaaleigenschappen

Bij metaalskeletbouw wordt de dragende structuur van een woning (vloeren, wanden, daken), alsook een groot deel van de afwerking (gevel en dak) opgebouwd uit metaal (voornamelijk staal, maar ook aluminium, zink, koper en andere metalen worden gebruikt). De belangrijkste materiaaleigenschappen van deze metalen zijn:

- een hoog soortelijk gewicht
- quasi volledig recycleerbaar (maar dit noodzaakt wel nog altijd veel energie)
- al dan niet corrosiebestendig
- geleidbaar
- laten veel bewerkingen bij het productieproces toe
- grote trek- en druksterkte en stijfheid (elasticiteitsmodulus) van staal en aluminium
- eenzelfde uitzettingscoëfficiënt van staal in combinatie met beton
- enkel voldoende brandwerend na behandeling of afscherming van het metaal
- bestandheid van metalen gevel- en dakbedekkingen tegen ongewenste organismen (vb. mos)

Daarnaast worden ook andere materialen toegepast binnen een metaalskelet-bouwwoning, waaronder:

- beton voor de funderingen, de vloer op het gelijkvloers en de deklaag van de tussenvloeren
- plaatmaterialen, zoals gipskartonplaat, voor de bedekking van het staalskelet en voor de binnenaafwerking van de wanden en het plafond
- traditionele gevelbekledingen, zoals gevelsteen, bepleistering en plaatmaterialen
- traditionele dakbedekkingen, zoals klei- en betondakpannen en leien

Toepassingsmogelijkheden in de Vlaamse woningbouw

Metaalskeletbouw kan in Vlaanderen toegepast worden in zowel nieuwe als gerenoveerde eengezinswoningen en appartementen:

- Eengezinswoningen: alle gebouwtypes
- Appartementen: zowel lage tot middelhoge appartementsgebouwen als hoogbouw zijn mogelijk
- Renovatie: vooral uitbreidingen en optoppingen van bestaande woningen

De belangrijkste redenen hiertoe zijn de structurele capaciteit van staal en het mogelijke maatwerk, alsook de relatief grote flexibiliteit en aanpasbaarheid van de woning tijdens en na de bouw.

Concrete voorbeelden van woningen in binnen- en/of buitenland

Concrete voorbeelden van staalskeletbouwwoningen kunnen teruggevonden worden op de websites van het Staalinfocentrum, in de brochures van Bouwen met Staal en op de websites van bouwbedrijven, gespecialiseerd in metaalbouw [16][17][18][19][20].



Dragend staalskelet van een woning



Afwerking van het staalskelet met spouwmuur en gevelsteen

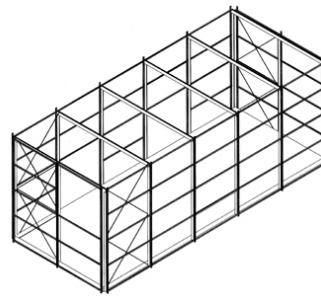


Plaatsen van prefab staalskelet gevelelementen

Figuur 8: Voorbeelden 1 & 2 - Illustratie van de opbouw van een metaalskeletbouwwoning [16][18]19]



Staalskeletbouwwoning te Overijse



Illustratie van het staalskelet van de woning te Overijse

Figuur 9: Voorbeeld 3 - Vrijstaande woning in staalskelet [19]



Rijwoningen in staalskelet te Basingstoke, Verenigd Koninkrijk



Appartementsgebouw in staalskelet te Helsinki, Finland

Figuur 10: Voorbeelden 4 & 5 - Rijwoningen en appartementen in staalskelet [17]

1.1.5 Maximale recyclage (Cradle to Cradle)

Algemene beschrijving

Cradle to Cradle (C2C) (Wieg tot Wieg) is een visie op duurzaam ontwerpen, bedacht door architect William McDonough en chemicus Michael Braungart. De kern van C2C ligt in het concept "afval is voedsel". Alle gebruikte materialen zouden na hun leven in het ene product, nuttig kunnen worden ingezet in een ander product. Hierbij zou geen kwaliteitsverlies mogen optreden en moeten alle restproducten hergebruikt kunnen worden of milieuneutraal zijn. Deze kringloop is dan compleet en afval is voedsel. De drie basisregels van Cradle to Cradle zijn "Afval = voedsel", "Zon is de energiebron" en "Respect voor Diversiteit" [24].

De drie basisregels worden als volgt ingevuld:

1. Afval = voedsel:

- Materialen en producten ontwerpen, zodat ze voedsel zijn voor andere systemen. Dit betekent materialen en producten ontwerpen, zodat ze steeds opnieuw kunnen gebruikt worden in technische of biologische systemen.
- Materialen en producten ontwerpen, die veilig zijn. Dit betekent materialen en producten ontwerpen, waarvan hun levenscyclus een "beneficial legacy" laten voor de menselijke of ecologische gezondheid.
- Creëren van en deelnemen aan systemen om de waarde van deze materialen en producten te verzamelen en te herwinnen.

2. Zon is de energiebron:

- De kwaliteit van energie is belangrijk. Gebruik hernieuwbare energie.

3. Respect voor diversiteit:

- Water is vitaal voor mensen en andere organismen. Beheer watergebruik om de kwaliteit te maximaliseren, promoot gezonde ecosystemen en blijf respectvol voor de lokale impacten van watergebruik.
- Gebruik sociale verantwoordelijkheid om de handelingen van een bedrijf en de stakeholderrelaties te leiden.

De toepassing van C2C binnen dit onderzoek is beperkt tot maximaal gebruik van gerecycleerde materialen.

Constructiemethode(n) en technische en materiaaleigenschappen

Constructiemethode(n)

De toepassing van het C2C principe in termen van maximaal gebruik van gerecycleerde materialen in de bouw is niet beperkt tot één specifieke constructiemethode. Dit kan zowel toegepast worden voor materialen, welke in situ worden verwerkt, als via prefabricatie. Indien naar het volledige C2C principe zou gestreefd worden, is demontabel bouwen een vereiste.

Technische eigenschappen

Wat de technische eigenschappen betreft, dienen de gerecycleerde producten binnen het C2C principe dezelfde prestatie te hebben als virgin materialen. Ze dienen dan ook aan dezelfde normen te voldoen als de traditionele bouwmaterialen.

Materiaaleigenschappen

De materialen en producten volgens het C2C principe worden ontwikkeld voor gesloten kringloopsystemen, waarin elk ingrediënt veilig en gunstig (beneficial) is. Dit betekent dat ze ofwel biologisch afbreekbaar zijn en de bodem herstellen, of dat ze volledig recycleerbaar zijn in hoogwaardige (high-quality) materialen voor opeenvolgende productgeneraties, opnieuw en opnieuw. Vermits gerecycleerde materialen echter soms een heterogene samenstelling hebben, kan dit een latere zo hoogwaardig mogelijke recyclage bemoeilijken, wat kan leiden tot “downcycling” in plaats van “recycling”. Het steeds opnieuw gebruiken van deze materialen in, bijvoorbeeld, technische systemen (één van de C2C principes) kan zo na één of meerdere gebruikscycli in het gedrang komen.

Sinds 1995 geeft McDonough Braungart Design Chemistry (MBDC) bedrijven de kans om hun materialen en producten te laten certificeren volgens de C2C principes. Zoals wordt aangegeven door MBDC, betekent deze certificering dat het bedrijf geopteerd heeft om die chemicaliën, materialen en processen te selecteren, welke gezond zijn en tot in het oneindige kunnen gerecycleerd worden. Als een materiaal of product voldoet aan de noodzakelijke criteria, ontvangt het een certificaat “basic”, “silver”, “gold” of “platinum”, welke samengevat zijn in onderstaande tabel [27].

Een lijst van gecertificeerde C2C materialen, waaronder bouwmaterialen, kan teruggevonden worden op de website www.mbdc.com/c2c/list.php?order=type. Een aantal voorbeelden zijn gevel- en dakbekleding in zink (Rheinzink), Ecorock

(alternatief voor gipskartonplaat), tapijttegels (Dessa), betonstenen (Allied Concrete Products) en kleidakpannen (ClayLite).

CRADLE TO CRADLE CERTIFICATION ^{CM} CRITERIA				
	Basic	Silver	Gold	Platinum
1.0 Materials				
All material ingredients identified (down to the 100 ppm level)	•	•	•	•
Defined as biological or technical nutrient	•	•	•	•
All materials assessed based on their intended use and impact on Human/Environmental Health according to the following criteria:				
<i>Human Health:</i>				
Carcinogenicity				
Endocrine Disruption				
Mutagenicity				
Reproductive Toxicity	•	•	•	•
Teratogenicity				
Acute Toxicity				
Chronic Toxicity				
Irritation				
Sensitization				
<i>Environmental Health:</i>				
Fish Toxicity				
Algae Toxicity				
Daphnia Toxicity				
Persistence/Biodegradation				
Bioaccumulation				
Ozone Depletion/Climatic Relevance				
<i>Material Class Criteria:</i>				
Content of Organohalogenes				
Content of Heavy Metals				
Strategy developed to optimize all remaining problematic ingredients/materials	•	•		
Product formulation optimized (i.e., all problematic inputs replaced/phased out)			•	•
No wood sourced from endangered forests			•	•
Meets Cradle to Cradle emission standards			•	•
All wood is FSC certified				•
Contains at least 25% GREEN assessed components				•
2.0 Material Reutilization/Design for Environment				
Defined the appropriate cycle (i.e., Technical or Biological) for the product and developing a plan for product recovery and reutilization	•	•	•	•
Well defined plan (including scope and budget) for developing the logistics and recovery systems for this class of product			•	•
Recovering, remanufacturing or recycling the product into new product of equal or higher value				•
Product has been designed/manufactured for the technical or biological cycle and has a nutrient (re)utilization score >= 50		•	•	•
Product has been designed/manufactured for the technical or biological cycle and has a nutrient (re)utilization score >= 65			•	•
Product has been designed/manufactured for the technical or biological cycle and has a nutrient (re)utilization score >= 80				•
3.0 Energy				
Characterized energy use and source(s) for product manufacture/assembly	•	•	•	•
Developed strategy for using current solar income for product manufacture/assembly		•	•	•
Using 50% current solar income for product final manufacture/assembly			•	•
Using 50% current solar income for entire product				•
4.0 Water				
Created or adopted water stewardship principles/guidelines		•	•	•
Characterized water flows associated with product manufacture			•	•
Implemented water conservation measures				•
Implemented innovative measures to improve quality of water discharges				•
5.0 Social Responsibility				
Publicly available corporate ethics and fair labor statement(s), adopted across entire company		•	•	•
Identified third party assessment system and begun to collect data for that system			•	•
Acceptable third party social responsibility assessment, accreditation, or certification				•

Tabel 2: Criteria voor Cradle-to-Cradle certificatie [26]

Binnen deze studie wordt gefocust op het maximaal gebruik van gerecycleerde materialen. Een uitgebreide lijst van gerecycleerde (in België voorhanden) bouwmaterialen met de bijhorende technische fiche is terug te vinden op de website van het Recyhouse (www.recyhouse.be). Voorbeelden hiervan zijn soepele vloerbekleding uit recuperatierubber (Regupol), betonmetselstenen op basis van cement, natuurlijk zand en bodemassen, afkomstig van de verbranding van huishoudelijk afval (AVI betonblokken), en vezelversterkte kunststofdakpannen (Emveka).

Toepassingsmogelijkheden in de Vlaamse woningbouw

De filosofie is door McDonough en Braungart al op planologisch-architectonische schaal praktisch uitgewerkt voor bedrijven en overheden in, bijvoorbeeld, Amerika en China en binnenkort ook in Nederland (Almere) [24]. Hieruit blijkt dat het maximaal toepassen van gerecycleerde materialen technisch mogelijk is voor alle woningtypes in Vlaanderen.

Concrete voorbeelden van woningen in binnen- en/of buitenland

Zoals eerder vermeld, wordt in de context van de huidige studie uitsluitend het aspect recyclage en/of recycleerbaarheid verder meegenomen. Een voorbeeld-project, waar dit concept tot het uiterste is toegepast, is de Recyhouse woning te Limelette.

Voorbeeld 1 – Recyhouse

Een experimenteel voorbeeld van een ééngezinswoning is het Recyhouse, dat door het WTCB gebouwd werd als demonstratiegebouw in het proefstation te Limelette (zie Figuur 11). Hoofdtak van het Recyhouse is alle bij het bouwproces betrokken partijen in te lichten omtrent de gebruiksmogelijkheden van kringloopproducten.

Het op punt stellen van het ontwerp duurde 5 jaar (1996-2001) en ontving steun van de Europese Commissie in het kader van het financiële instrument "Life" (DG Environnement). De woning is opengesteld in 2004. Recyhouse is opgebouwd uit een groot aantal nieuwe materialen, die uit gerecycleerd afval bestaan. Een aantal voorbeelden van deze materialen wordt geïllustreerd aan de hand van onderstaande foto's. Een volledige lijst van de gebruikte materialen met bijhorende technische fiche kan teruggevonden worden op de website van het Recyhouse (www.recyhouse.be).



Recyhouse demonstratieproject te Limelette



Keuken met kasten uit gerecycleerd karton gemaakt van drankverpakkingen



Buitenterras met tegels uit gerecycleerde gom, deur uit gerecycleerd PVC, boordplanken uit gerecycleerde samengeperste rotswol en bouwstenen uit beton met inoxlakken



Blokken van gebakken aarde met toegevoegd zaagslib van kalksteen en houtzaagsel, draineerplaat bestaande uit gerecycleerd PE-schuim, bedekt met een filtrerende mat uit materiaal van matrassen e.d.



Trap met leuning uit gerecycleerd staal en treden uit marmer met cement



Dragende constructie uit beton met zichtbare gebroken beton- en baksteen puingranulaten

Figuur 11: Voorbeeld 1 - Illustratie van een ééngezinswoning, opgebouwd uit kringloop-producten - Recyhouse te Limelette [28]

Voorbeeld 2 - Tweewaters te Leuven

De wijk Tweewaters in Leuven gaat op korte termijn in uitvoeringsfase. Dat betekent concreet dat materiaalkeuzes gemaakt zijn of moeten worden. De ontwikkelaar onderzoekt daarbij momenteel een C2C-aanpak.



Grondplan appartement 1



Grondplan appartement 2

Figuur 12: Voorbeeld 2 - Illustratie van meergezinswoningen (wijk), Tweewaters, Leuven [29]

Voorbeeld 3 – Almere (Nederland)

Om aan de uitbreidings- en ontwikkelingseisen van de noordelijke Randstad te voldoen, heeft de Nederlandse overheid, samen met Flevoland en Amsterdam, aan de stad Almere gevraagd om tot het jaar 2030 60.000 woningen te bouwen. De nieuwe woningen zullen zoveel mogelijk volgens de filosofie 'Cradle to Cradle' gebouwd worden.

De Almeerse wethouder Ruimtelijke Ordening Adri Duivesteijn wist McDonough en Michael Braungart te bewegen mee te doen aan de conceptualisering van de Almeerse bouwplannen. Cradle to Cradle is nu de basis van de zeven 'Almere Principles', het richtsnoer voor de groei-ontwerpen van Almere, dat ondertekend is door Duivesteijn, McDonough en VROM-minister Jacqueline Cramer. De zeven principes zijn, kort opgesomd:

- Koester diversiteit;
- Verbind plaats en context;
- Combineer stad en natuur;
- Anticipeer op verandering;
- Blijf innoveren;
- Ontwerp gezonde systemen;
- Mensen maken de stad.

Ieder principe wordt begeleid door een Cradle to Cradle-tekst van McDonough.



Figuur 13: Voorbeeld 3 - Illustratie van C2C principes op masterplan niveau, Almere, Nederland [24]

1.1.6 Industrieel, Flexibel en Demontabel bouwen (IFD)

Algemene beschrijving

Definitie

IFD staat voor 'Industrieel, Flexibel en Demontabel'. IFD bouwen is een manier van ontwerpen, ontwikkelen en bouwen, waarin via een geïntegreerde benadering industriële, flexibele en demontabele aspecten gezamenlijk een rol spelen. Dit richt zich niet enkel op het fysieke gebouw, maar ook op het geheel van het bouwproces en de organisatie eromheen.

Kenmerken en opbouw

[30][31][34]

Industrieel

Het belangrijkste uitgangspunt van industrieel bouwen is het vergroten van de efficiëntie van het bouwproces. Dit heeft betrekking op zowel de productie van gebouwelementen en bouwmaterialen als de bouwfase op de werf zelf. Kenmerkend voor industrieel bouwen is de grote standaardisatie van proces en organisatie. Dankzij de opgebouwde ervaringen wordt voortdurende verbetering en stroomlijning van het proces mogelijk. Het gaat met andere woorden om het zoveel mogelijk gebruik maken van herhaalbare technologie in een gestandaardiseerd proces.

Eén van de typische eigenschappen van industrieel bouwen is dat een gedeelte van het realisatieproces in de fabriek plaatsvindt. In plaats van in situ vervaardiging van gebouwelementen, wordt de productie ervan verschoven naar geconditioneerde ateliers, afgeschermd van weer en wind. Men gaat met andere woorden over tot de industriële prefabricage van elementen, zodat mensen, materialen en machines op een optimale manier kunnen ingezet worden. Zo kan het productieproces zoveel mogelijk gestandaardiseerd worden, zonder daarom te vervallen in standaard-producten.

Flexibel

Flexibel bouwen kan men beschouwen vanuit twee oogpunten. Enerzijds is er de aanpasbaarheid van de productie aan de gevarieerde wensen bij nieuwbouw en anderzijds zijn er de aanpassingsmogelijkheden van het gebouw tijdens zijn levensduur.

Flexibiliteit voor nieuwe gebouwen houdt in dat het gebouw en zijn onderdelen zodanig ontworpen en gerealiseerd worden dat er op allerlei niveaus aanpassingen mogelijk zijn. Hierdoor kan de gebruiker of de eigenaar het gebouw steeds aanpassen aan zijn huidige eisen en wensen. Bij de eerste ingebruikname veronderstelt dit een grote keuzevrijheid van de gebruiker tussen verschillende mogelijkheden, zonder de eventuele latere gebruikers in hun eisen te beperken. Flexibiliteit betekent immers ook aanpasbaarheid tijdens de levensduur, ofwel aan de veranderde eisen van de gebruiker, ofwel aan de eisen van een nieuwe gebruiker, bij een eventuele tweede of volgende gebruiksduur. Onder gebruiksduur wordt de periode verstaan, waarin het gebouw geschikt is voor het bedoelde gebruik. Dankzij flexibiliteit van het gebouw kan bijgevolg voldaan worden aan de steeds meer individuele wensen van gebruikers.

Vanuit dit oogpunt is het van belang om te denken aan een scheiding tussen elementen met verschillende levensduur. In de eerste plaats kan hierbij gedacht

worden aan een scheiding tussen de dragende structuur, met meestal een heel lange technische levensduur, en de afwerking, waarvoor de gebruiksduur vaak veel korter is. Dit komt sterk tot uiting bij, bijvoorbeeld, kantoorgebouwen, waar vaak gereorganiseerd wordt, waar andere gebruikers in komen, waar nieuwe technologieën moeten ingewerkt worden, enz. Ook voor de leidingen en installaties kan het een bewuste keuze zijn om deze los te koppelen van de andere gebouwonderdelen. Zo kan men vermijden dat men, bijvoorbeeld, leidingen instort, die vanuit functioneel oogpunt al na 10 jaar niet meer op de juiste plaats liggen, in een betonnen structuur, die misschien wel 100 jaar onveranderd in gebruik blijft. Een andere optiek kan zijn om van bij de bouw van het gebouw de nodige voorzieningen te treffen voor latere veranderingen in het gebouw, bijvoorbeeld door de installaties en het leidingennetwerk te overdimensioneren of door te werken met wachtleidingen.

Aan de andere kant is er flexibiliteit door variatie. Wanneer men streeft naar een steeds grotere efficiëntie en een toenemend rendement, dreigt het risico om te vervallen in standaardproducten en bijgevolg ook in standaardgebouwen. Het telkens opnieuw toepassen van dezelfde elementen kan immers resulteren in een zeer snelle, seriematige productie. Een 'standaardgebouw' is echter niet wat de klant wil. Integendeel, zowel bouwheer als architect streven er meestal naar om een uniek gebouw te verkrijgen, volledig aangepast aan de specifieke wensen voor het project.

Het is echter van belang het onderscheid te maken tussen standardelementen enerzijds en systeem- of conceptdenken anderzijds. Standardelementen liggen op voorhand vast, terwijl er bij conceptdenken wel mogelijkheid is voor variatie. Uiteraard moet men, wanneer men een gebouw (gedeeltelijk) wil opbouwen uit geprefabriceerde elementen, rekening houden met een aantal beperkingen, zoals maximale afmetingen en gewicht voor productie en transport. Los daarvan is er echter nog heel wat ruimte voor flexibele gebouwoplossingen. Totale bouwconcepten, zoals die door sommige prefab fabrikanten worden ontwikkeld, hebben meestal hun begrenzingspunten wat betreft flexibiliteit. Dit neemt niet weg dat er in vele gevallen wel kan gevarieerd worden met de in het concept voorziene elementen – toepassen van verschillende modules, variatie met breedte, dikte en/of lengte van de elementen, enzovoort. Zo kan men, door gebruik te maken van 'type'-elementen, toch heel uiteenlopende gebouwen verkrijgen. Een sector waarbij dit systeemdenken bij uitstek geïllustreerd wordt, is die van de keukens voor particulieren. Daar kan de klant kiezen uit een reeks van type-elementen, die kunnen geschakeld worden tot een uniek eindresultaat. Deze aanpak kan men zonder enige twijfel ook doortrekken naar volledige gebouwen.

Demontabel bouwen

Het uitgangspunt van demontabel bouwen is dat de verbindingen tussen de verschillende gebouwelementen demontabel ontworpen en gerealiseerd zijn. Hierdoor kunnen de componenten zoveel mogelijk onbeschadigd, zo min mogelijk vervuild met andere materialen en met zo min mogelijk schade aan omliggende componenten verwijderd worden. Dat maakt de gedemonteerde elementen met minimale inspanning van mens en machine geschikt voor hergebruik.

Demontabel bouwen stelt dus een bijkomende randvoorwaarde aan de verbindingen van de componenten. Alle verbindingen moeten goed doordacht zijn, zodat aangestorte verbindingen met beperkte inspanning te ontmantelen zijn. Daarvoor moeten de verbindingen bereikbaar zijn en blijven, op een zodanige manier dat ze gemakkelijk los te maken zijn. Wanneer voor de structuur van het gebouw gebruik gemaakt wordt van demontabele elementen, moet men voldoende aandacht

besteden aan de stijfheid van de constructie, aangezien deze misschien niet op de traditionele manier uit de verbindingen gehaald kan worden.

Het is een misverstand dat bij demontabel bouwen direct gesproken wordt over hele gebouwen, die uit elkaar moeten worden gehaald of kunnen worden verplaatst. Het demonteren van gebouwelementen kan tijdens verschillende fasen van de levensduur van het gebouw een meerwaarde bieden. Gedurende de gebruiksfase maken demontabele gebouwelementen het gemakkelijker om het gebouw aan te passen aan de veranderende wensen van de gebruikers van het gebouw. Hierdoor kan bespaard worden in verbouwingskosten, gezien de elementen opnieuw kunnen gebruikt worden in hetzelfde of in een ander gebouw. In dit geval is het wel noodzakelijk dat de verbindingen meerdere malen te demonteren en te monteren zijn. Daarnaast is demontabel bouwen een factor die reparatie- of onderhoudswerken sterk kan vereenvoudigen, want gemakkelijk bereikbaar en demonteerbaar betekent ook gemakkelijk vervangbaar.

Ook op het einde van de levensduur van het gebouw kunnen de gedemonteerde elementen eventueel opnieuw gebruikt worden in een nieuw gebouw. Demonteerbare gebouwelementen maken het bovendien gemakkelijker om bouw- en sloopaafval te scheiden, waardoor er meer mogelijkheden voor recycling zijn.

Constructiemethode(n) en materiaal- en technische eigenschappen

Constructiemethode(n)

Het concept is toepasbaar op zowel prefabricage als rationele bouw in situ.

Technische eigenschappen

Enerzijds zijn er de componenten die, als ze voldoen aan de geëiste technische prestaties (stabieleit, brandveiligheid, akoestische isolatie, ...), een lange technische levensduur hebben. Ze moeten dus ontworpen worden om lang functioneel bruikbaar te blijven. Anderzijds heeft men de onderdelen, die moeten kunnen omgebouwd worden om in te spelen op veranderende gebruikswensen. Demontage en hergebruik zijn hierbij sterke troeven.

Bouwmaterialen

Voor de drager (lange levensduur) zijn heel wat steenachtige materialen aangewezen (vb. beton, baksteen, ...), maar ook staal is mogelijk. Voor de afbouw (kortere functionele levensduur) zijn lichte materialen evident (vb. hout en plaatmateriaal, kastensystemen, afwerkingproducten, ...).

Toepassingsmogelijkheden in de Vlaamse woningbouw

Het fundamentele concept IFD is toepasbaar op de verschillende woningtypes in Vlaanderen (nl. eengezinswoningen en appartementsgebouwen) en zeker ook buiten de woningbouw.

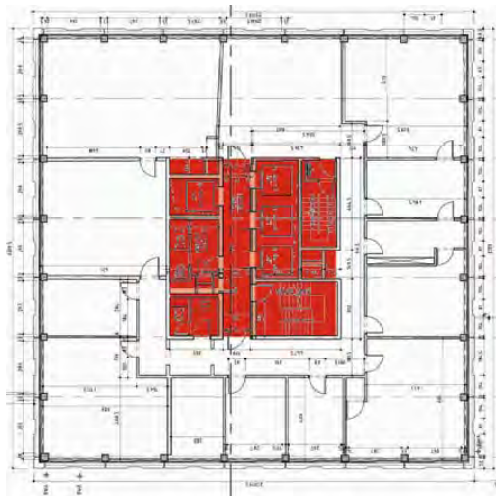
Concrete voorbeelden van woningen in binnen- en/of buitenland

Hierna worden drie voorbeelden gegeven van toepassingen van de principes van IFD bouwen:

- Voorbeeld 1: herbestemming van bestaande gebouwen
- Voorbeeld 2: scheiding van dragende structuur en inbouwafwerkingen

- Voorbeeld 3: aanpasbare woningen

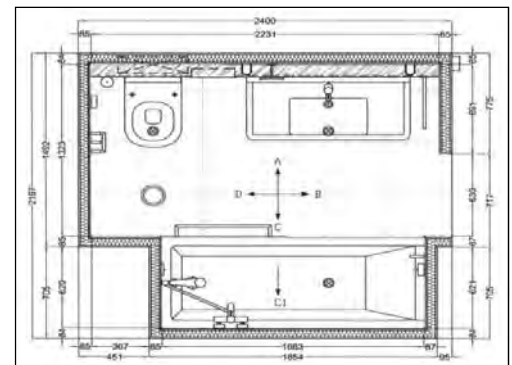
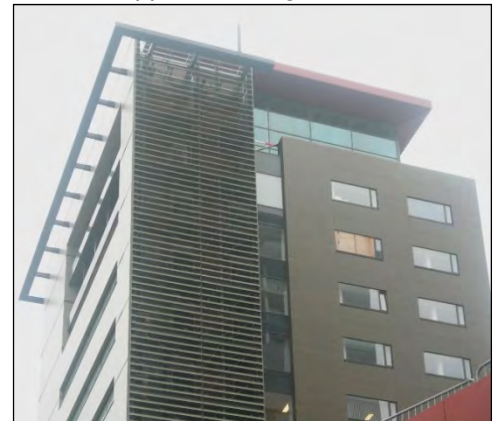
Voorbeeld 1 - Herbestemming van bestaande gebouwen



Vroeger kantoorgebouw



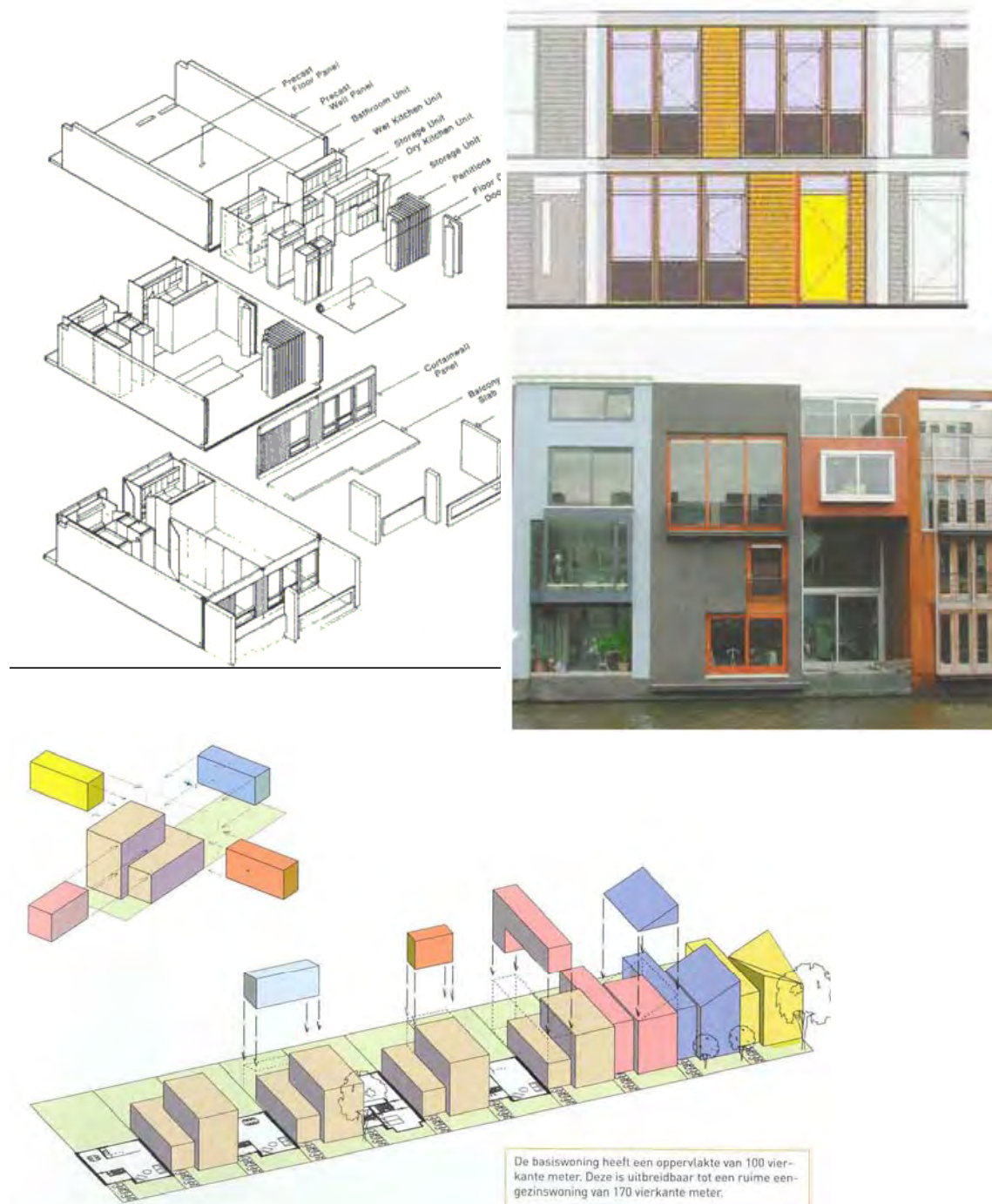
Nieuw appartementsgebouw



Hijsen en inbouwen van geprefabriceerde sanitaire cel

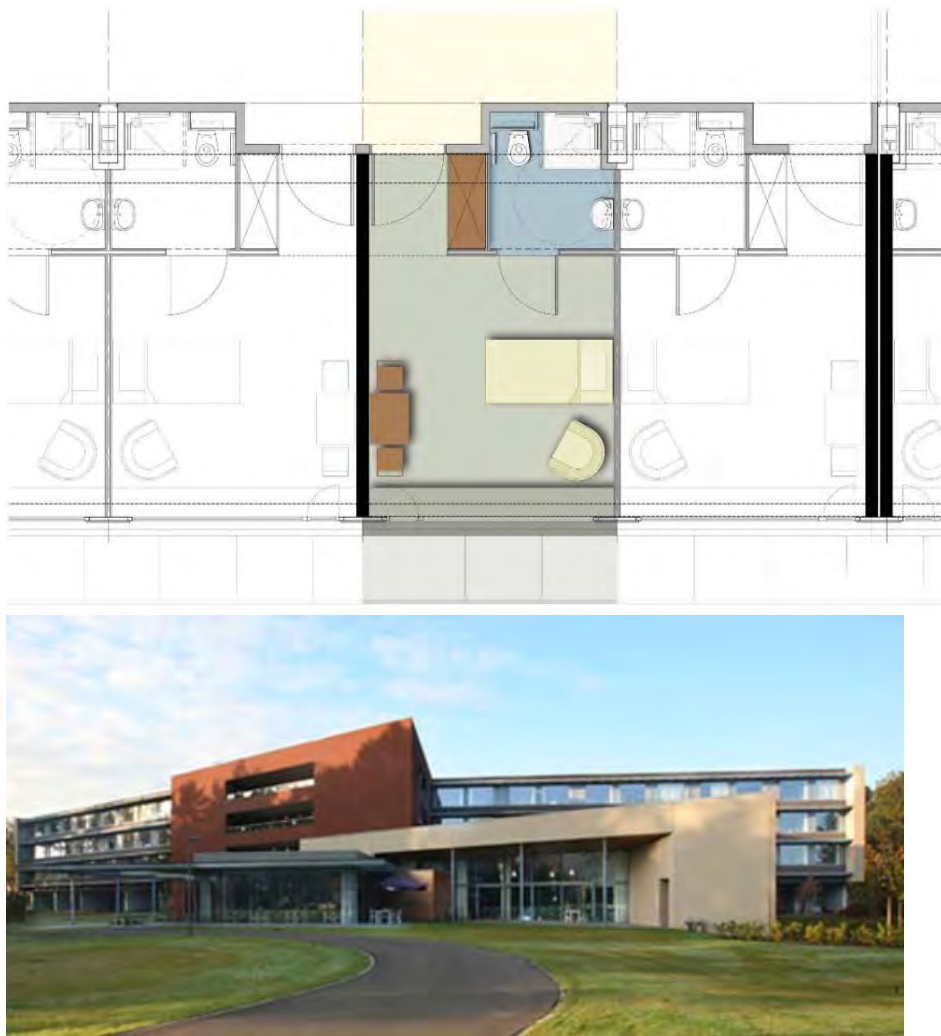
Figuur 14: Voorbeeld 1 - Van kantoorgebouw naar appartementsgebouw - Renovatie en herbestemming van de 2-Torenwijk – Hasselt [35]

Voorbeeld 2 - Drager en inbouwconcepten



Figuur 15: Voorbeeld 2 – Flexibele woningbouwconcepten [33]

Voorbeeld 3 - Aanpasbare rijwoningen



Figuur 16: Voorbeeld 3 - RVT met herverkavelbare structuur met dragende wanden [36]

1.2 Fase 1b – Marktaandeel van nieuwe bouwconcepten ten opzichte van traditionele woningbouw

Auteurs: An Janssen, Katrien Putzeys – WTCB

1.2.1 Inleiding

Het doel van fase 1b is om na te gaan in welke mate de geïdentificeerde nieuwe bouwconcepten momenteel een plaats op de Vlaamse woningbouwmarkt innemen. Hiervoor wordt het huidige marktaandeel van de nieuwe bouwconcepten ten opzichte van de traditionele woningbouw ingeschat. Daarnaast worden ook concrete voorbeelden van deze concepten geïdentificeerd en opgenomen in de beschrijving van de bouwconcepten (zie 1.1).

Om deze informatie te verzamelen werd een consultatie van een 20-tal experts opgestart. In de eerste plaats is hiervoor een fiche opgesteld met een duidelijk overzicht van de informatie, die via de consultatie verzameld zou moeten worden:

- Huidig belang van het bouwconcept voor de woningbouw in Vlaanderen
- Huidig marktaandeel van het bouwconcept in Vlaanderen
- Huidig marktaandeel van het bouwconcept in Noordwest-Europa
- Groeipotentieel van het bouwconcept, wat betreft de woningbouw in Vlaanderen voor de komende 10 jaar (2020)
- Opportuniteiten om de markt voor het bouwconcept te stimuleren
- Mogelijke knelpunten en belemmeringen voor de groei van het marktaandeel van het bouwconcept
- Randvoorwaarden voor de groei van het marktaandeel van het bouwconcept
- Redenen voor de verwachte evolutie van het marktaandeel van het bouwconcept voor de komende 10 jaar (2020)
- Andere opmerkingen i.v.m. het marktaandeel van het bouwconcept
- Concrete voorbeelden van woningen in Vlaanderen of België
- Concrete informatie over bouwwijze en/of toegepaste bouwtechnieken of details.

De gehanteerde fiche voor de consultatie wordt weergegeven in bijlage 1. De lijst van gecontacteerde experts wordt weergegeven in bijlage 2.

Als algemene conclusie kan gesteld worden dat de benodigde informatie niet onmiddellijk voorhanden is, in het bijzonder ontbreekt het concrete cijfermateriaal wat betreft marktaandeel. Daarom wordt in de volgende paragrafen getracht om via een kwalitatieve benadering, gebaseerd op de feedback van de geconsulteerde experts, toch een inschatting te maken van het marktaandeel en het toekomstpotentieel.

1.2.2 Houtskeletbouw

Een WTCB studie aangaande de houtbouwmarkt (houtskeletbouw, houtmassiefbouw en paal- en balkbouw) in Vlaanderen toont aan dat anno 2004 minimum 5.6% van alle nieuwbouw eengezinswoningen in Vlaanderen in houtbouw gerealiseerd werd, rekening houdend met enkel de Vlaamse aannemers gespecialiseerd in houtbouw. Bij het merendeel van deze woningen gaat het om houtskeletbouw. Voor de open bebouwingen bedroeg het aandeel van houtbouw zelfs bijna 10%. Destijds schatten de geconsulteerde bedrijven in dat het marktaandeel van houtbouw licht tot sterk zou toenemen in de komende jaren [1].

Tijdens de consultatie van de experts werd deze stijgende tendens bevestigd. Het marktaandeel van houtskeletbouw wordt anno 2009 ingeschat op 11 à 15% van de eengezinswoningen. Wat betreft appartementsgebouwen is het marktaandeel van houtskeletbouw echter zeer beperkt.

Alle gecontacteerde experts hebben aangegeven dat zij in de toekomst een sterke groei van het bouwen in houtskeletbouw verwachten. Als belangrijkste argument hierbij verwijzen zij naar het toegenomen belang van en de interesse voor de energieprestatie van gebouwen. Vooral de plaatsing van aanzienlijk dikke isolatielagen tussen het houtskelet, waardoor de dikte van de wand beperkt kan blijven, wordt aangehaald als een belangrijk voordeel van houtskeletbouw.

Ook het milieu-aspect wordt naar voor geschoven als een grote opportuniteit voor houtskeletbouw. Met name de CO₂-neutraliteit van hout en eveneens de verlaagde CO₂-emissies bij goed geïsoleerde woningen vormen hierbij argumenten. Ook het promoten van meer duurzame materialen zou volgens de experts ten gunste komen van houtskeletbouw, aangezien hout als natuurlijk materiaal gepromoot wordt als milieuvriendelijk. Bovendien is er ook steeds meer aandacht voor duurzame ontginning, onder meer dankzij de FSC en PEFC labels voor hout.

Een laatste element ten gunste van houtskeletbouw noemen de experts de mogelijkheden, die houtskeletbouw kan bieden bij renovatieprojecten. In het bijzonder wanneer een aanbouw bij of uitbreiding van een bestaande woning gepland wordt, biedt houtskeletbouw volgens de experts een goede oplossing.

Anderzijds werden tijdens de consultatie ook nog een aantal knelpunten in het licht gesteld, die de groei van houtskeletbouw kunnen afremmen. De vooroordelen, die er bestaan ten opzichte van houtskeletbouw, worden als één van de belangrijkste knelpunten vernoemd. Deze vooroordelen hebben meestal betrekking op de technische aspecten van het gebouw, meer bepaald de akoestische prestatie, brandveiligheid, de geringere technische levensduur, enz.

Een tweede aandachtspunt is volgens de experts de te beperkte vertegenwoordiging van houtskeletbouwprojecten in de sociale woningbouw en in overheidsgebouwen. Eén van de redenen hiervoor is dat het typebestek van de Vlaamse Maatschappij voor Sociaal Wonen (VMSW) te veel gericht zou zijn op de traditionele bouwwijze.

Tenslotte werd opgemerkt dat de technische documentatie over houtskeletbouw als verouderd wordt ervaren en zou geüpdatet moeten worden om ook de meer recente bouwtechnieken aan bod te laten komen. Het dient hierbij evenwel vermeld te worden dat het WTCB momenteel werkt aan een dergelijke vernieuwing van de STS 23 "Houtbouw".

1.2.3 Bio-ecologisch bouwen

Literatuurcijfers over het marktsegment van bio-ecologisch bouwen in Vlaanderen zijn niet voorradig. De verder gehanteerde cijfers zijn dus uitsluitend gebaseerd op de informatie, die verkregen werd van de gecontacteerde experts tijdens de consultatie.

De gecontacteerde experts zijn het erover eens dat bio-ecologisch bouwen in Vlaanderen beperkt is tot een nichemarkt. Wanneer men het concept vanuit zijn ruimste invalshoek benadert en dus ook het gebruik van traditionele materialen uit minerale grondstoffen (vb. baksteen, gips, kalk, ...) meerekent, wordt het marktaandeel ingeschat op 1 à 2% van de nieuwbouw eengezinswoningen. Bio-ecologisch bouwen is voor appartementsgebouwen nagenoeg onbestaande. Wel zijn er een aantal verbouwingen of persoonlijke afwerkingen van individuele appartementen gebeurd, maar ook dit aantal is verwaarloosbaar. Wat het marktaandeel betreft kan ten slotte vastgesteld worden dat individuele producten wel een groter marktaandeel kennen. Meestal gaat het dan om eerder traditionele materialen, zoals houtvezel onderdakplaten, linoleum, baksteen of kalkzandsteen.

Tijdens de consultatie vernoemden de experts verschillende opportuniteiten, die in de toekomst het concept van bio-ecologisch bouwen meer ingang zouden kunnen laten vinden in de Vlaamse woningbouw. De veranderende visie en het toegenomen belang van duurzaam bouwen worden ervaren als de belangrijkste opportuniteit. Vooral nu de overheid en de bouwsector meer en meer communiceren rond duurzaam bouwen, is een sterke toename van concepten, zoals bio-ecologisch bouwen, merkbaar. Ook de ondersteuning en de mogelijkheden voor het opstarten van nieuwe projecten binnen het kader van de transitiearena "Duurzaam Bouwen en Wonen" zijn hierin een belangrijke factor.

Hierbij aansluitend wordt de toegenomen aandacht voor de kwaliteit van het binnenmilieu door de experts gezien als een argument voor bio-ecologisch bouwen. Eén van de uitgangspunten van dit concept is immers het creëren van een gezond binnenklimaat, onder andere door het gebruik van natuurlijke materialen.

Ten slotte zijn er volgens de experts een aantal opkomende visies, zoals het Cradle-to-Cradle (C2C) concept en de principes van "bio-based economy", waarin sommige van de uitgangspunten van bio-ecologisch bouwen aan bod komen en die dus mee het concept kunnen stimuleren.

De gecontacteerde experts vermeldden tijdens de consultatie echter ook een aantal knelpunten, die een bredere toepassing van het concept van bio-ecologisch bouwen bemoeilijken. Als één van de belangrijkste knelpunten werden de vooroordelen over deze bouwwijze vernoemd, die aanwezig zouden zijn bij delen van de bouwsector en de wetenschappelijke wereld. Hierin is de laatste jaren wel een duidelijke verandering merkbaar naarmate de kennis over bio-ecologisch bouwen is toegenomen.

Een ander nadeel is de vrij beperkte beschikbaarheid van bio-ecologische bouwmaterialen in de brede distributiesector van bouwmaterialen. Dit impliceert dat enkel reeds geïnteresseerde bouwheren of aannemers op zoek zullen gaan naar deze materialen in de gespecialiseerde handelszaken.

Daarnaast zijn een aantal bio-ecologische bouwmaterialen aanzienlijk duurder voor de eindconsument dan traditionele bouwmaterialen. Hoewel dit niet het geval is voor alle bio-ecologische materialen, heeft dit volgens de experts toch een negatieve invloed voor de toepassing van bio-ecologisch bouwen in het algemeen. Als de bouwprofessionelen, die deze materialen aanbieden, concurrentieel willen blijven ten opzichte van andere bedrijven, die met traditionele materialen werken, resulteert dit in kleinere winstmarges voor deze professionelen. Ook dit zal het gebruik van bio-ecologische materialen uiteraard niet stimuleren.

Het laatste knelpunt, dat tijdens de consultatie naar voren werd gebracht, zijn de volgens de experts te lage ambitieniveaus op beleids- en uitvoeringsvlak (bijvoor-

beeld E-peil). Hierdoor wordt het streven naar hogere ambitieniveaus afgeremd en wordt de sector om de paar jaar opnieuw geconfronteerd met kleine verhogingen van de minimaal te behalen prestaties en/of andere aanpassingen. Indien meteen een hoog ambitieniveau vastgelegd zou worden, is de eerste stap misschien groter en in het begin wellicht moeilijker implementeerbaar, maar is er ook maar op één ogenblik een aanpassing vereist.

1.2.4 Metaalbouw

Bij metaalbouw dient een onderscheid gemaakt te worden tussen twee types, namelijk enerzijds een stalen draagstructuur bestaande uit balken, kolommen en windverbanden uit warmgewalst staal met daarbinnen een niet-dragende invulling, en anderzijds een skeletstructuur, gelijkaardig aan een houtskeletbouw, met koudgevormde profielen om de 60 cm, afgewerkt met een plaatmateriaal aan de binnenzijde en een gevelbekleding aan de buitenzijde.

Daarenboven dient er een onderscheid gemaakt te worden tussen de eengezinswoningen en de appartementsgebouwen. Wat betreft de appartementsgebouwen (meerverdiepingsbouw), wordt circa 15% van alle nodige kolommen, liggers en windverbanden uitgevoerd in staal. Dit betekent echter niet dat bouwen met staal in dit marktsegment een marktaandeel van 15% heeft, gezien ook andere bouwwijzen mogelijk zijn, waarbij niet gewerkt wordt met balken of kolommen.

Voor de markt van de eengezinswoningen is het bouwen van metaalskeletwoningen beperkt tot een zeer klein aandeel, zowel wat betreft de koudgevormde skeletstructuur, als wat betreft de grote stalen draagstructuur (die meestal zichtbaar gehouden wordt omwille van het esthetische effect). De voorbije jaren is er wel een stijgende tendens merkbaar in de particuliere woningbouw. Meestal is het bouwen met staal een bewuste keuze van bij de start van een project en er zijn dan ook bouwprofessionelen, die zich gespecialiseerd hebben in deze bouwwijze.

Een laatste aandachtspunt voor het marktaandeel van metaalbouw is ten slotte dat in het merendeel van de traditionele woningen eveneens een niet onbelangrijke hoeveelheid staal verwerkt wordt, hoewel men geen volledige staalstructuur gebruikt. Gemiddeld worden in een woning 3 stalen balken verwerkt, wat overeenkomt met 1 à 2 ton staal per woning.

Ook voor metaalbouw werden tijdens de consultatie een aantal opportuniteiten geïdentificeerd, die de toepassing van bouwen met staal zouden kunnen stimuleren. Het belangrijkste voordeel van staal is volgens de experts het feit dat staal voor bijna 100% kan gerecycleerd en/of hergebruikt worden. Gelet op de toenemende aandacht voor duurzaam materiaalgebruik, is dit een grote troef voor het bouwen met staal.

Andere opportuniteiten zijn de grote flexibiliteit en demonteerbaarheid van stalen structuren. Dit geldt voor de draagstructuur, waarbij een gebouw op het einde van de levensduur volledig kan gedemonteerd worden, wat hergebruik of recyclage van het staal vergemakkelijkt, maar nog belangrijker is de flexibiliteit van een binnenafwerking op basis van een niet-dragende staalstructuur (type metal-stud binnenwanden).

Dit laatste aspect heeft een bijkomende opportuniteit gecreëerd voor metaalbouw, die typisch is voor de Belgische bouwcontext, met name de “doe-het-zelf” cultuur.

Vaak worden woningen gebouwd, waarbij de verdere binnenafwerking door de bouwheer zelf wordt uitgevoerd, en binnen dit marktsegment is het bouwen met lichte stalen profielen, die licht zijn en hierdoor gemakkelijk hanteerbaar, een belangrijke speler.

Toch hebben de gecontacteerde experts tijdens de consultatie ook een aantal knelpunten vermeld, die ertoe bijdragen dat het bouwen met staal tot op heden vrij beperkt is in Vlaanderen.

In de eerste plaats werd opgemerkt dat er over metaalbouw te weinig kennis-overdracht gebeurt. Vanuit de sector zelf is er weinig communicatie en ook binnen de verschillende bouwgerelateerde opleidingen komt metaalbouw relatief weinig aan bod. Hierdoor is er in België weinig ervaring met metaalbouw en de bouwprofessionelen gaan bijgevolg deze bouwwijze niet onmiddellijk aanbieden als alternatief voor het traditionele bouwen. Dit heeft een vicieuze cirkel gecreëerd, waarbij de vraag naar, de ervaring met en het aanbod van metaalbouw beperkt zijn gebleven.

Een andere moeilijkheid, die aangehaald werd tijdens de consultatie, zijn de vaak strikte stedenbouwkundige voorschriften voor gebouwen, die de toepassing van staal als afwerkingsmateriaal voor gevel of dak onmogelijk maken. Volgens de experts zou hier meer vrijheid van keuze moeten bestaan, zodat de afweging tussen traditionele bouw en metalen bekleding steeds mogelijk blijft.

1.2.5 Maximale recyclage

Binnen de context van deze studie wordt het bredere concept van “cradle-to-cradle” denken beperkt tot het materialenluik, met name maximale recyclage ofwel het sluiten van de kringloop. De toepassing van gerecycleerde materialen is niet nieuw, dit op een doorgedreven manier doen op gebouwniveau is dit echter wel.

Tijdens de consultatie werd door de gecontacteerde experts terecht opgemerkt dat - in tegenstelling tot de hiervoor beschreven bouwconcepten - maximale recyclage geen duidelijk omlijnd concept is. Men kan bij de oprichting van een gebouw meer of minder gebruik maken van gerecycleerde materialen en men kan meer of minder gaan recyclen op het einde van de levensduur van een gebouw.

Bovendien is het niet zo eenvoudig te achterhalen of er al of niet gebruik gemaakt wordt van secundaire grondstoffen bij de productie van een bouw materiaal. Het komt vaak voor dat een producent hierover bewust niet communiceert, om negatieve reacties over eventuele minderwaardigheid van het resulterende bouw materiaal te vermijden.

Het bepalen van het marktaandeel van het concept “maximale recyclage” is nagenoeg onmogelijk omwille van de hierboven aangehaalde argumenten. Er bestaan wel cijfers over de verwerking van bouw- en sloopafval en die tonen aan dat het sluiten van de kringloop voor bouwmaterialen geen utopie is. In Vlaanderen wordt immers al meer dan 85 % van het bouw- en sloopafval gerecycleerd [37].

Het door WTCB uitgevoerde demonstratieproject Recyhouse [28] toont bovendien aan dat het in theorie mogelijk is om gebouwen te realiseren, die volledig uit gerecycleerde materialen zijn opgebouwd, hoewel hierbij dient benadrukt te worden

dat het niet voor alle producten vanzelfsprekend is om een gerecycleerd materiaal op de markt te vinden.

Ten slotte verwezen de gecontacteerde experts ook naar de C2C certificatie-databank van MBDC [26]. Deze geeft een overzicht van de C2C gecertificeerde materialen. Hierin zijn 17 productgroepen voor de bouw terug te vinden, o.a. isolatie, dakbedekking, vloerbedekkingen, muurafwerkingen, ... In totaal zijn er een 60 à 70-tal bouwproducten opgenomen in de databank, op een totaal van ongeveer 320.

De belangrijkste opportuniteit, die tijdens de consultatie naar voren werd geschoven, is de toenemende aandacht, die ook door alle belanghebbende partijen, inclusief de overheid, wordt besteed aan milieuverantwoord materiaalgebruik. Hierbij komt ook het C2C concept steeds vaker aan bod. Het OVAM overlegplatform "Milieuverantwoord materiaalgebruik en afvalbeheer in de bouw", gekoppeld aan de transitie-arena "Duurzaam Bouwen en Wonen", wordt eveneens gezien als een manier om het C2C concept van het sluiten van de kringloop meer ingang te laten vinden.

1.2.6 Industrieel, Flexibel en Demontabel bouwen (IFD)

IFD bouwen is een eerder conceptuele benadering van ontwerpen en bouwen. Dit kan op diverse manieren, met diverse constructies en materialen uitgewerkt worden. IFD is bijgevolg geen zwart/wit concept en dit maakt een inschatting van het huidige marktaandeel en de daadwerkelijke toepassing uiterst moeilijk. Een gebouwstructuur (drager) kan zeer flexibel of beperkter aanpasbaar zijn, prefabricage kan erg geïndustrialiseerd of nog erg ambachtelijk zijn, montage op de werf kan quasi industrieel gepland worden of veel meer stap per stap vastgelegd zijn, demontage kan mogelijk gemaakt worden zonder de componenten te beschadigen of vergt beperkt breekwerk, ... Er bestaat echter geen beoordelingskader om te kunnen uitmaken welk gebouw wel of niet "IFD" genoemd kan worden. In een toenemend aantal projecten komen aspecten van IFD bouwen aan bod, maar het is niet mogelijk om hieraan cijfers wat betreft marktaandeel te koppelen.

Desalniettemin werden toch een aantal opportuniteiten voor IFD bouwen geïdentificeerd door de gecontacteerde experts. Zo gaan zij ervan uit dat innovatieve uitvoeringstechnieken zullen gestimuleerd worden door de toegenomen kost voor het afvoeren van bouw- en sloopafval (meer demontabel bouwen) of door de promotie van bouwen in verstedelijkte gebieden (industriële prefabricatie met eenvoudige montage op de werf).

Daarnaast vermeldten de experts dat bij het streven naar duurzame gebouwen hoe langer hoe meer ook aandacht wordt besteed aan de waardering van flexibiliteit. Ook de evaluatie van de mate van alternatieve aanwendbaarheid van gebouwen (bijvoorbeeld ombouwen van kantoorgebouw tot woongebouw) zal flexibel ontwerpen stimuleren.

2 Fase 2 - Evaluatie van nieuwe duurzame bouwconcepten

In de tweede fase van dit project worden de vijf nieuwe en als duurzaam bestempelde bouwconcepten geëvalueerd op het vlak van hun milieueffecten met behulp van een levenscyclusanalyse (deelfase 2a – zie hoofdstuk 2.1) in vergelijking met de traditionele woningbouw.

Dankzij de gedetailleerde, kwantitatieve LCA-analyse van de verschillende bouwconcepten kunnen hieruit rechtstreeks conclusies getrokken worden aangaande het verbruik van primaire oppervlaktedelfstoffen in relatie tot de verschillende bouwconcepten (deelfase 2b – zie hoofdstuk 2.2). Op die manier kan nagegaan worden of en in welke mate de nieuwe concepten bijdragen tot een besparing in het verbruik van oppervlaktedelfstoffen.

Tot slot worden in deelfase 2c (zie hoofdstuk 2.3) potentiële toekomstscenario's voor de groei van de verschillende bouwconcepten uitgewerkt. Hierbij worden ook conclusies getrokken wat betreft het gerelateerde toekomstige grondstoffenverbruik bij deze mogelijke toekomstige ontwikkelingen.

2.1 Fase 2a – Milieu-evaluatie van nieuwe bouwconcepten in vergelijking met traditionele woningbouw

*Auteurs: An Janssen, Katrien Putzeys – WTCB
Karen Allacker, Frank De Troyer – K.U.Leuven
Wim Debacker – VITO*

2.1.1 Inleiding

In de eerste fase van deze studie werden een vijftal bouwconcepten voor de woningbouw geselecteerd als nieuwe en mogelijk duurzame concepten. In deze tweede fase wordt nagegaan of deze bouwconcepten inderdaad als duurzaam en milieuvriendelijk beschouwd kunnen worden.

Hiervoor wordt in de eerste plaats een literatuurstudie (zie 2.1.2) van bestaande onderzoeken uitgevoerd met als doelstelling een overzicht te krijgen van de globale milieueffecten van woongebouwen, die volgens de verschillende bouwconcepten opgetrokken zijn, en dit over hun volledige levenscyclus.

In de tweede plaats wordt een levenscyclusanalyse van de beschouwde bouwconcepten uitgevoerd met behulp van een specifiek aangepaste versie van het SuFiQuaD² model. Deze analyse laat toe om de globale milieueffecten van verschillende woningtypes volgens de verschillende bouwconcepten te bepalen en te vergelijken met de traditionele woningbouw.

² SuFiQuaD – Sustainability, Financial and Quality evaluation of Dwelling types – is een vierjarig onderzoeksproject, gesubsidieerd door de FOD Wetenschapsbeleid binnen het programma 'Science for Sustainable development' (2007-2010). Samenwerking tussen WTCB, K.U.Leuven en VITO.

In 2.1.3 wordt eerst een overzicht gegeven van de methodologische context van de uitgevoerde evaluatie. Hierin worden, onder andere, de uitgangspunten, basis-hypothesen en eventuele beperkingen van de analyses verduidelijkt. De daarop volgende paragrafen (2.1.4, 2.1.5 en 2.1.6) geven achtereenvolgens de gedetailleerde resultaten van de analyses voor een vrijstaande woning, een rijwoning en een appartement. Tot slot geeft paragraaf 2.1.7 de samenvattende conclusies met betrekking tot de vergelijking van de milieu-impact van de nieuwe bouwconcepten ten opzichte van de traditionele bouwwijze.

2.1.2 Resultaten van de literatuurstudie aangaande milieu-effecten van nieuwe bouwconcepten

Verschillende studies evalueren op de een of andere manier de milieu-effecten en/of duurzaamheid van verschillende woningtypes en/of verschillende bouwconcepten. Een overzicht van de conclusies van een aantal relevante studies wordt in de onderstaande paragrafen weergegeven.

2.1.2.1 *Environmental Improvement Potentials of Residential Buildings (IMPRO-Building)*

De doelstelling van de IMPRO-Building studie [38] bestaat uit het bepalen van verbeteropties op milieuvlak van bestaande en nieuwe woongebouwen in Europa door middel van een inventarisatie van de verschillende woningtypes (nl. eengezinswoningen, meergezinswoningen en hoogbouw), een levenscyclusanalyse van een reeks van representatieve woningen en een identificatie en analyse van de belangrijkste mogelijkheden tot verbetering.

Een vergelijking tussen de drie woningtypes toont aan dat hoogbouw op alle vlakken een kleinere milieu-impact heeft en een kleinere spreiding vertoont dan meer- en eengezinswoningen en dat nieuwe gebouwen betere milieuprestaties hebben dan bestaande gebouwen. Verder is er een duidelijke invloed van het klimaat, de gebouwworm en het isolatieniveau op het energieverbruik van de woningen. De gebruiksfase van de gebouwen heeft de grootste milieu-impact (tot 97%), maar de bouwphase kan ook belangrijk zijn (tot meer dan 50%). De levenseinde fase (EOL) bedraagt minder dan 5% van de totale milieubelasting. Het belang van de gebruiksfase neemt toe van eengezinswoningen over meergezinswoningen naar hoogbouw. De belangrijkste milieu-impact wordt veroorzaakt door het energieverbruik van de woningen.

Een vergelijking van de milieueffecten van een reeks van representatieve woningen in Midden-Europa toont aan dat het primaire energieverbruik en de global warming potential (GWP) de belangrijkste milieu-impactcategorieën zijn, terwijl de bijdrage van de woningen aan eutrofiëring, verzuring, fotochemische ozonvorming en ozondepletie slechts beperkt zijn. Verder toont deze vergelijking aan dat zowel oudere woningen als houtskeletbouwwoningen gekenmerkt worden door een hoger primair energieverbruik en een hogere GWP, terwijl nieuwbouwwoningen en hoogbouw voor beide indicatoren de laagste waarden hebben.

2.1.2.2 *Optimisation of extremely low energy residential buildings*

Deze doctoraatstudie [39] heeft tot doel om via levenscyclusanalyse (LCA) en levenscycluskostenanalyse (LCC) de optimale samenstelling van de gebouwschil en

de installaties te bepalen om een lage-energiewoning te bekomen in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest (BHG) en in Vlaanderen.

In het BIM project (BHG) wordt uitgegaan van zes referentiewoningen met traditionele opbouw, nl. een nieuwe en gerenoveerde rijwoning en een nieuw en gerenoveerd klein en groot appartementsgebouw. De evaluatie bestaat uit het bepalen van de effecten van de isolatie, de beglazing en de luchtdichtheid op het totale energieverbruik van de woning.

In het EL²EP project (Vlaanderen) wordt voor een aantal referentiewoningen (nl. rijwoning, driegevelwoning, vrijstaande woning en appartement) de invloed van energiebesparende maatregelen, zoals isoleren, op de initiële investering en op het energieverbruik bepaald met als doelstelling de beste maatregelen voor lage-energie- en passiefwoningen te identificeren. Hierbij wordt uitgegaan van drie bouwconcepten, nl. massieve baksteenmuren met isolatie aan de buitenkant, massieve baksteenmuren met spouw en houtskeletbouw. Uit de resultaten blijkt dat houtskeletbouw gekenmerkt wordt door het laagste energieverbruik en een betere score wat betreft global warming potential, maar een lagere nettowaarde in vergelijking met de woning met buitenisolatie. De traditionele woning met spouwmuur bevindt zich telkens tussen beide andere bouwconcepten in.

2.1.2.3 ArDuCoKlei-project: Levenscyclusanalyse (LCA) van 'wiegtot-graf' – Binnenwand en buitenwand

Het ArDuCoKlei project van de Belgische Baksteenfederatie (BBF) [40] heeft tot doelstelling de duurzaamheid van keramische bouwproducten (nl. bakstenen en kleidakpannen) te analyseren via een levenscyclusanalyse van wieg tot graf.

Dragende en niet-dragende binnenwanden en buitenwanden, opgebouwd volgens twee courant gebruikte bouwsystemen, nl. traditioneel gemetst, bepleisterd en geveerd en houtskelet, afgewerkt met een gipskartonplaat en verf, werden met elkaar vergeleken om inzicht te krijgen in de belangrijkste factoren met betrekking tot de duurzaamheid op gebouwelementniveau. De resultaten van deze studie worden uitgedrukt in eco-scores per m² wand, die opgemaakt zijn op basis van de Ecoinvent-databank.

Uit de resultaten blijkt dat de initiële milieubelasting (productie van de materialen) van de niet-dragende binnenwanden kleiner is dan deze van de dragende binnenwanden en de buitenwanden (minder materiaal nodig) en dat houtskeletwanden in alle gevallen een hogere milieubelasting vertonen dan gemetste wanden. De belangrijkste bijdrage aan de milieu-impact wordt geleverd door de bakstenen enerzijds en het houtskelet, de gipskartonplaat en de OSB plaat anderzijds. Wat de effecten van het transport van fabriek tot werf betreft, hebben bakstenen de grootste impact, wat vooral te wijten is aan het hogere gewicht van deze materialen.

Op levenscyclusbasis speelt de beschouwde levensduur van zowel het gebouw als de gebouwelementen een belangrijke rol. In deze studie werden een levensduur van 30 en 60 jaar beschouwd voor de niet-dragende binnenwanden en een levensduur van 60, 90 en 120 jaar voor de dragende binnenwanden, de buitenwanden en het gebouw. Vervolgens werden de ecopunten per m² wand en per jaar bepaald voor elk van de gebouwelementen. Hieruit blijkt dat voor de niet-dragende binnenwanden de milieubelasting per jaar toeneemt met toenemende levensduur van het gebouw en dat bij houtskeletbouwwanden de vervangingen belangrijker zijn dan bij gemetste wanden. Bij de dragende binnenwanden neemt de totale milieubelasting af bij een

langere levensduur en hebben houtskeletwanden de grootste totale milieubelasting en de belangrijkste impact ten gevolge van vervangingen. Ook bij de buitenwanden hebben de houtskeletvarianten de grootste milieubelasting en de meeste vervangingen, maar hier heeft het energieverbruik voor verwarming de grootste impact bij alle wandtypes (tussen 70% en 90%).

2.1.2.4 Onderzoek inzake de duurzaamheid van houtbouwsystemen en de groeiverwachting van deze markt, Eindrapport

De studie aangaande houtbouw van het WTCB [1] omvat, naast een inventarisatie van houtbouw in Vlaanderen en aanbevelingen voor het beleid, ook een evaluatie van de globale milieu-impact van houtbouwsystemen op basis van zes studies.

In een eerste studie wordt de invloed van verschillende samenstellende materialen in de Belgische bouwsector op de productie van broeikasgassen (voornamelijk CO₂-emissies) geanalyseerd via een LCA studie voor verschillende gebouwtypes [41][42][43]. Het gaat hier om 9 nieuwbouwwoningen, bestaande uit beton en baksteen, baksteen, natuursteen en beton, argex, cellenbeton, hout en baksteen en volledig uit hout, en 2 renovatiewoningen, bestaande uit baksteen en beton en volledig uit hout. De analyse toonde aan dat minder traditionele bouwwijzen, zoals houtskeletbouw, aanleiding kunnen geven tot een vermindering van de broeikasgasemissies van 15 tot 25% en dat renovatie van woningen aanleiding kan geven tot een vermindering in broeikasgasemissies van 40 tot 60%. Tevens zou een stijging tot 30% van het aandeel van houtskeletbouw- en cellenbetonwoningen samen en tot 25% van de hele woning uit hout kunnen resulteren in een vermindering van de broeikasgasemissies van 11% tegenover het basisscenario, waarin niets verandert. Indien gekeken wordt naar de indirecte broeikasgasemissies per product, dan zijn deze het grootste bij een bakstenen woning, gevolgd door een baksteen-beton woning, een baksteen-hout woning en een houten woning en het kleinste voor een gerenoveerde houten woning.

In een tweede studie wordt de duurzaamheid van een houtskeletbouwwand en een traditionele baksteen-betonblokkenwand met elkaar vergeleken [44][45][46][47]. Verschillende simulaties aangaande type woning, levensduur, dikte van de houtskeletwand, diepte/breedte verhouding en oppervlakte tonen aan dat een houtskeletwand meestal een kleinere milieubelasting heeft dan een traditionele wand uit baksteen. Verder wordt duidelijk dat de milieubelasting van de productie- en de transportfase voor de houtskeletwand kleiner is dan deze voor de baksteenwand en dat de gebruiksfase voor beide wandtypes ongeveer eenzelfde belasting veroorzaakt.

In een derde studie worden de milieuaspecten van een vrijstaande woning in houtskeletbouw (HSB) en in traditioneel metselwerk met elkaar vergeleken [48]. Uit de studie blijkt dat de energie-inhoud van de gebruikte materialen bij een HSB woning ongeveer 70% bedraagt van die van een klassieke woning, terwijl de CO₂-emissies overeenkomen met ongeveer 57% van de emissie van een klassieke woning. Verder verbruikt een HSB woning slechts 40% energie ten opzichte van de klassieke bouwwijze.

In een vierde studie worden de belangrijkste milieukarakteristieken van een houtskeletbouwwoning (HSB) bepaald door middel van een LCA vergelijking met een identieke, traditionele halfopen eengezinswoning [49]. Uit deze analyse blijkt dat de milieu-impact voor een HSB woning lager is dan die van een klassieke woning uit baksteen. Ademhalingseffecten door niet-organische substanties (PM 10) hebben

veruit het belangrijkste aandeel in de milieu-impact. Samen met verzuring zijn deze ook de grootste verschilpunten tussen beide woningen. Een nadere analyse van de houtbouwwooning laat toe om te concluderen dat de verschillende emissies toe te schrijven zijn aan het gebruik van metaal in de dragende structuur. Tot slot blijken de gebruiksfase en de productie van de materialen de belangrijkste fasen zijn.

In een vijfde, Canadese studie worden de energie tijdens de gebruiksfase, de energie-inhoud, de diverse emissies en het afval van drie eengezinswoningen, opgebouwd volgens drie bouwsystemen, nl. hout, metaal en beton, met elkaar vergeleken [50]. Uit de studie blijkt dat de verschillen in energieverbruik over 20 jaar klein zijn. Verder blijken metaal- en betonbouw een grotere energie-inhoud, broeikasgasemissie, luchtverontreiniging, waterverontreiniging, grondstoffenverbruik en afvalstoffenproductie te hebben dan houtbouw.

In een laatste studie worden een houtskeletbouw-, een houtmassiefbouw- en een bakstenen eengezinswooning met elkaar vergeleken [52]. Uit deze studie blijkt dat de houtmassiefbouwwooning milieuvriendelijker is dan de houtskeletbouwwooning en vervolgens de klassieke bakstenen woning. Over het algemeen is de milieu-impact van houtmassiefbouw zowat 75% van de klassieke baksteenwoning en scoort houtmassiefbouw met een houten afwerking nog beter met slechts 50% t.o.v. de baksteenwoning. De energie-inhoud van de houten woningen bedraagt ongeveer 80% van de klassieke woning.

In de houtbouwstudie wordt op basis van de bovenstaande studies een synthese van kengetallen van milieu-impacten opgesteld. Zo wordt er aangenomen dat houtskeletbouwwooningen een CO₂-emissie en een energie-inhoud hebben van respectievelijk 75% en 70% ten opzichte van een klassieke woning met beton en baksteen en een waterverbruik van 40% ten opzichte van een klassieke woning.

2.1.2.5 Sustainability and lifecycle analysis for residential buildings

Op vraag van de Canadese Houtvereniging werden de milieueffecten van drie eengezinswoningen, opgebouwd uit beton, houtskelet en staalskelet, met elkaar vergeleken [51]. Hieruit bleek dat de houten woning voor alle beschouwde milieueffecten (nl. embodied energy, global warming potential, luchttoxiciteit, watertoxiciteit en gebruik van grondstoffen), behalve voor afvalproductie, beter scoorde dan de metalen en de betonnen woningen. In de meeste gevallen werd de betonnen woning gekenmerkt door de grootste milieu-impact. Wat de productie van vaste afvalstoffen betreft, scoorde de metaalskeletbouwwooning beter dan de houtskeletbouwwooning en de betonnen woning.

2.1.2.6 Is Ecological living sustainable ? A case study from two Swedish villages in South Sweden

De doelstelling van deze studie [53] bestaat uit het simuleren van de evolutie van de ecologische voetafdruk van twee levensstijlen in twee verschillende dorpen in Zuid-Zweden, nl. een ecologisch dorp en een conventioneel dorp. De studie analyseert enerzijds de milieueffecten van de 10 meest gebruikte bouwmaterialen in de woningen en anderzijds verschillende scenario's aangaande de levens- en consumptiepatronen in de beide dorpen over een periode van 50 jaar.

Uit de analyse blijkt dat de bouw van ecologische woningen slechts een kleine reductie in de milieu-impact tot gevolg heeft. Het verschil tussen beide woningen op basis van het materiaalgebruik bedraagt slechts 10% in het voordeel van de

ecologische woning. Ondanks het feit dat de bouw van een ecologische woning meer materiaal vraagt, is de totale energie om de meer ecologische bouwmaterialen te produceren 20% lager dan voor de standaardwoning. Dit verschil is vooral te wijten aan het gebruik van plastics in de conventionele woning. De consumptie van voeding en de verwarming van de woning dragen voor ongeveer 70% bij aan de totale ecologische voetafdruk, waardoor deze factoren de meest realistische alternatieven zijn om de milieu-impact van huishoudens te verminderen.

2.1.2.7 BRE Green Guide

De Green Guide to Specification [54] is een on-line databank van BRE, die toelaat om verschillende materialen en gebouwelementen met elkaar te vergelijken wat betreft hun globale milieu-impact over hun gehele levenscyclus. Op basis van een levenscyclusanalyse worden de verschillende technische oplossingen voor de verschillende gebouwelementen, die toegepast kunnen worden binnen verschillende gebouwtypes, gerangschikt volgens een ratingsysteem van A+ tot E.

Een vergelijking tussen metselwerk-, betonnen, stalen en houten gebouwelementen voor de woningbouw (vb. buiten- en binnenwanden, vloeren en daken) toont aan dat houten en stalen structuurelementen over het algemeen zeer goed scoren (scores tussen A+ en B) en dat houtbouw beter scoort dan stalen structuurelementen, metselwerk en betonnen structuren.

2.1.2.8 Conclusies van de literatuurstudie aangaande milieueffecten van nieuwe bouwconcepten

Verschillende studies focussen op de evaluatie van de milieueffecten van een aantal nieuwe bouwconcepten in vergelijking met de traditionele woningbouw. In de meeste gevallen worden houtskeletbouw en traditioneel metselwerk of betonbouw met elkaar vergeleken, maar in sommige gevallen worden ook staalskeletbouw en bio-ecologisch bouwen in de analyse opgenomen.

Op basis van deze studies kunnen echter geen eenduidige conclusies getrokken worden aangaande de milieuprestaties van de beschouwde bouwconcepten. De studies leiden vaak tot duidelijk verschillende resultaten. Zo scoort houtskeletbouw in een aantal gevallen beter dan traditioneel metselwerk of betonbouw, maar dit is zeker niet zo in alle studies. Wel scoren staalskeletbouw en bio-ecologisch bouwen lichtjes beter dan de traditionele bouwwijze.

Deze verschillen in resultaten zijn vooral te wijten aan de verschillen in doelstellingen (vb. focus op primair energieverbruik of op de globale milieu-impact), gebruikte methodologieën en parameters (vb. levensduur, beschouwde levenscyclusfasen, systeemgrenzen, ...) en kenmerken van de geanalyseerde woningen (vb. opbouw, vorm, isolatiegraad, ...) in de verschillende studies.

2.1.3 Methodologische aanpak van de milieu-evaluatie

De milieuevaluatie van de in deze studie geïdentificeerde bouwconcepten bestaat uit een gedetailleerde levenscyclusanalyse met behulp van het SuFiQuaD model. Hoe dit precies in zijn werk gaat, wordt in de onderstaande paragrafen toegelicht.

2.1.3.1 Levenscyclusanalyse en levenscyclus van een gebouw

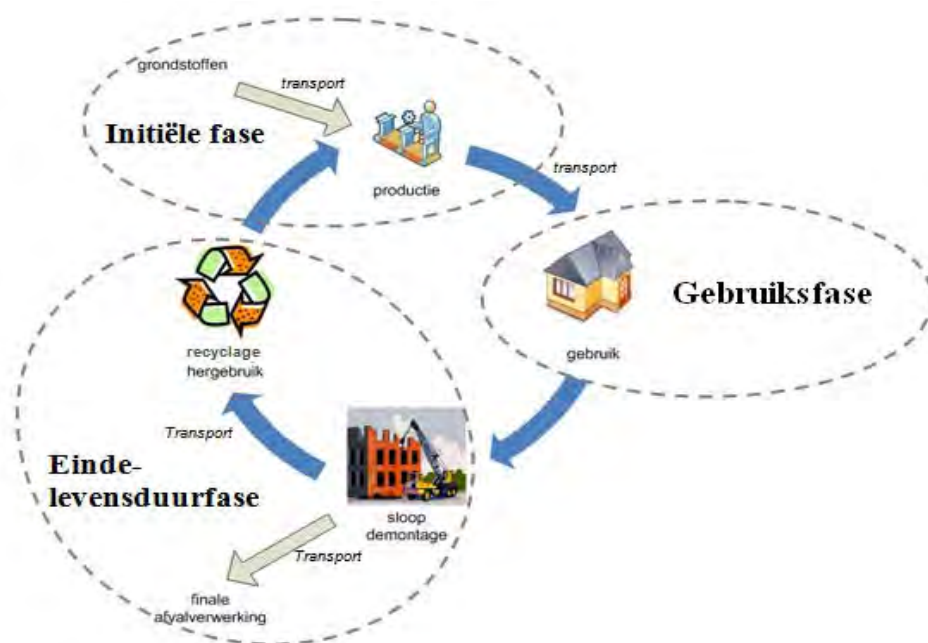
Levenscyclusanalyse of LCA is een objectieve en kwantitatieve methode om de mogelijke globale milieueffecten van een product, in dit geval een gebouw, tijdens zijn gehele levenscyclus van wieg tot graf te bepalen [55][56].

De levenscyclus van een gebouw bestaat uit drie grote fasen, namelijk de initiële fase of de fase vóór de ingebruikname van het gebouw, de gebruiksfase en de einde-levensduurfase (zie Figuur 17).

De initiële fase van een gebouw wordt binnen een LCA verder onderverdeeld in drie subfasen, namelijk de productie van de bouwmaterialen, inclusief de winning van de benodigde grondstoffen en het transport van de grondstoffen naar de productielocatie, het transport van de bouwmaterialen van de productielocatie naar de werf en de bouwphase.

Binnen de gebruiksfase van een gebouw wordt rekening gehouden met de periodische activiteiten aangaande schoonmaak, onderhoud en vervangingen van de bouwelementen en met het gebouwgerelateerde energieverbruik.

De einde-levensduurfase (end-of-life of EOL), tenslotte, wordt binnen een LCA verder onderverdeeld in de afbraakfase of sloopfase, inclusief eerste sortering van het afval op de werf in verschillende afvalfracties, het transport van de verschillende afvalfracties naar de verschillende verwerkingsinstallaties en de uiteindelijke verwerking van het afval. Wat dit laatste betreft, zijn vier eindbestemmingen mogelijk, namelijk storten, verbranden met of zonder energierterugwinning, hergebruik en recyclage.



Figuur 17: Illustratie van de levenscyclus van een gebouw [56]

Binnen een LCA worden de milieueffecten van deze verschillende levenscyclusfasen berekend met behulp van een LCA model. Voor deze studie wordt gebruik gemaakt van de SuFiQuaD methodologie en het bijhorende rekenmodel voor de analyse van woningen. Meer informatie hierover wordt gegeven in de volgende paragrafen.

2.1.3.2 SuFiQuaD

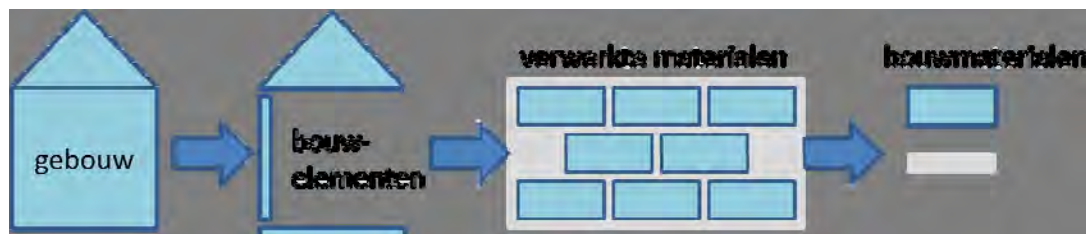
SuFiQuaD project

SuFiQuaD staat voor Sustainability, Financial and Quality evaluation of Dwelling types en is een onderzoeksproject, dat momenteel in opdracht van Belspo door K.U.Leuven (ASRO), WTCB en VITO wordt uitgevoerd [56][57][58].

De doelstelling van het project kan worden samengevat als het ontwikkelen en toepassen van een methodologie ter evaluatie van zowel de initiële als de toekomstige milieu-impact, de financiële kosten en de kwaliteiten van verschillende representatieve woningtypes in België om op basis van een reeks evaluaties conclusies te trekken voor het beleid. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een specifiek werkinstrument, waarin verschillende technieken gecombineerd worden, namelijk klassieke financiële evaluatietechnieken (levenscycluskostenanalyse of LCC), traditionele milieu-impact berekeningsmethodes (levenscyclusanalyse of LCA) en kwaliteitsevaluatietechnieken (multicriteria-analyse of MCA). Voor deze studie wordt vooral gefocust op de milieu-impactanalyse binnen het SuFiQuaD project.

Elementenmethode

Voor de analyse van gebouwen vertrekt het SuFiQuaD model van de elementenmethode. Dit betekent dat een gebouw opgedeeld wordt in een aantal grote bouwelementen (vb. buitenwanden, binnenwanden, vloeren en daken), die verder opgedeeld worden in een aantal verwerkte materialen (vb. gemetste muren, geschroefde gipskartonplaten, ...), die op hun beurt bestaan uit een aantal bouwmaterialen (vb. een gemetste muur bestaat uit bakstenen en mortel, volgens een bepaalde verhouding) (zie Figuur 18).



Figuur 18: Illustratie van de elementenmethode binnen het SuFiQuaD project

Voor elk van de gebruikte bouwmaterialen wordt de benodigde hoeveelheid per functionele eenheid van het beschouwde bouwelement berekend (vb. aantal kg baksteen en aantal kg mortel nodig voor 1 m² gemetste muur). Daarnaast worden aan elk van de betrokken bouwmaterialen de juiste milieudata gekoppeld om op die manier een LCA analyse te kunnen uitvoeren.

Data voor de milieuevaluatie

De benodigde milieudata worden binnen SuFiQuaD onder de vorm van records geëxtraheerd uit de Zwitserse Ecoinvent 2.2 databank [59] en worden vervolgens omgezet naar milieukosten onder de vorm van monetaire eenheden (nl. euro per eenheid materiaal). Dit laatste gebeurt op een hybride manier, waarbij gebruik gemaakt wordt van milieu-indicatoren, namelijk de parameters van de Eco-Indicator 99 methode, de CO₂-equivalenten volgens de CML methode en een aantal specifieke emissies (zie Tabel 3) [60][61][66]. De monetarisatie zelf is gebaseerd op

een combinatie van verschillende bronnen, waaronder de Europese Externe projecten (CAFE) en de Eco-Indicator 99 benadering [60][61][62][63][64][65].

Eco-Indicator 99		CML	
Carcinogens	DALY	CO2 equivalenten	kg/unit material
Resp. organics	DALY	op basis van LCI	
Resp. inorganics	DALY	SO2	mg/unit material
Climate change	DALY	NOX	mg/unit material
Radiation	DALY	PM<2,5	mg/unit material
Ozone layer	DALY	NH3	mg/unit material
Ecotoxicity	PDF*m2yr	VOC	mg/unit material
Acidification/ Eutrophication	PDF*m2yr		
Land use	PDF*m2yr		
Minerals	MJ surplus		
Fossil fuels	MJ surplus		

Tabel 3: Overzicht van de Eco-Indicator 99 en de CML milieu-indicatoren, alsook specifieke emissies en hun bijhorende eenheden [60][61][66]. Legende: DALY: Disability Adjusted Life Years; PDF: Potentially Disappeared Fraction.

Om toch zoveel mogelijk rekening te kunnen houden met de Belgische situatie en de Belgische bouwpraktijken en -omstandigheden, worden de Zwitserse Ecoinvent data, die binnen het SuFiQuaD project gebruikt worden, geharmoniseerd naar de Belgische situatie. Dit wil concreet zeggen dat alle Ecoinvent records, die initieel gebruik maken van een Zwitserse of Duitse elektriciteitsmix, aangepast worden naar een gemiddelde Europese elektriciteitsmix. Deze laatste is verkozen boven de Belgische mix, omdat niet alle in België gebruikte bouwmaterialen, ook in België geproduceerd worden.

Evaluatie op element- en woningniveau

Voor elk bouwelement binnen een woning bestaat een grote waaier aan mogelijke technische oplossingen en/of beschikbare materialen. De meest representatieve van deze oplossingen en materialen worden binnen het SuFiQuaD project geïnventariseerd in een materialen- en elementendatabank.

Vervolgens worden de verschillende oplossingen op elementniveau onderling gecombineerd om na te gaan welke totaaloplossing voor dat bepaalde bouwelement de kleinste milieukost heeft en dus tot het beste resultaat op gebouwniveau leidt. Daarnaast worden met behulp van deze bouwelementen representatieve woningen samengesteld en onderling vergeleken wat betreft hun milieu- en financiële kosten. Deze kosten worden uitgedrukt in euro per functionele eenheid bouwelement of per m² vloeroppervlakte van de woning. In de meeste gevallen worden de initiële kosten afgewogen tegen de totale levenscycluskosten, waarin ook de kosten ten gevolge van de gebruiks- en de einde-levensduurfase van de woning opgenomen zijn.

Parameters en scenario's voor de milieuevaluatie

Een LCA maakt gebruik van heel wat aannames, parameters en scenario's om zo de volledige levenscyclus van een gebouw te kunnen analyseren. In de onderstaande paragrafen wordt een overzicht gegeven van de parameters en scenario's, die binnen het SuFiQuaD project toegepast worden.

Levensduur van het gebouw en zijn samenstellende componenten

Een eerste parameter binnen een LCA, die een belangrijke invloed op de resultaten kan uitoefenen, is de levensduur van het gebouw en zijn samenstellende componenten.

Binnen het SuFiQuaD model worden specifieke levensduren toegekend aan het gehele gebouw (vb. 30, 60 of 120 jaar), aan de verschillende bouwcomponenten (vb. levensduur van 30 jaar voor de niet-dragende binnenwanden en levensduur gelijk aan de levensduur van het gebouw voor de buitenwanden, de vloeren en het dak) en aan de verschillende verwerkte materialen (vb. levensduur van 30 jaar voor geschroefde gipskartonplaten of levensduur van 15 jaar voor linoleum vloerbedekking).

Deze levensduren zijn van belang voor alle tijdsgelateerde impacten van de gebruiksfase van het gebouw (nl. schoonmaak, onderhoud, vervangingen en energieverbruik). Deze moeten immers voor de volledige levensduur van het gebouw ingerekend worden, dus hoe langer de beschouwde levensduur van het gebouw, hoe groter het belang van de gebruiksfase in het eindresultaat.

Scenario's voor het transport van bouwmaterialen

Tijdens de bouw van een woning dienen bouwmaterialen getransporteerd te worden van de productielocatie naar de werf. Dit kan rechtstreeks of via een tussenstop bij de bouwmaterialenhandelaar.

Om de milieueffecten van dit transport van bouwmaterialen te kunnen inrekenen, zijn materiaalspecifieke data aangaande de afgelegde transportafstanden, de gebruikte vervoermiddelen (nl. bestelwagens en verschillende groottes van vrachtwagens) en de beladingsgraad nodig. Binnen het SuFiQuaD project worden op basis van transportdata, die tijdens een recente enquête van het WTCB bij de betrokken actoren ingezameld werden, een aantal typescenario's met een specifieke transportafstand, -middel en beladingsgraad voor een reeks van materiaalgroepen (vb. bulkmaterialen voor de ruwbouw, losse materialen voor de ruwbouw, prefab-producten, afwerkingsproducten, ...) uitgewerkt. Deze worden vervolgens toegepast door aan elk van de gebruikte bouwmaterialen in de databank een transportscenario toe te kennen (vb. losse materialen voor de ruwbouw voor baksteen en bulkmaterialen voor de ruwbouw voor mortel).

Bij deze transportscenario's wordt echter enkel rekening gehouden met transport vanaf een Belgische productielocatie of een Belgisch verdeelpunt naar de werf. De invloed van import van het bouw materiaal vanaf een buitenlandse productielocatie naar een Belgisch verdeelpunt wordt in het algemeen dus niet ingerekend. Hierop worden twee uitzonderingen gemaakt, namelijk voor hout en voor blauwe hardsteen.

Wat het transport van hout betreft, worden drie scenario's beschouwd, namelijk volledig inlands hout, volledig geïmporteerd hout (gebaseerd op statistieken van de oorsprong van het ingevoerde hout met onderscheid tussen hardhout en zachthout) en een gecombineerde variant (Belgische mix), waarbij rekening gehouden wordt met de reële verhoudingen van inlands en geïmporteerd hout op de Belgische markt. Wat het inlandse hout betreft, dient opgemerkt te worden dat het hier vooral (maar niet volledig) gaat om Waals hout. M.a.w. de Belgische situatie, zoals opgenomen in het SuFiQuaD project, verschilt enigszins van de Vlaamse situatie. In Vlaanderen gaat het vooral om import van hout uit zowel Wallonië als het buitenland, terwijl in Wallonië hout zowel geproduceerd als uit het buitenland geïmporteerd wordt.

Wat het transport van blauwe hardsteen betreft, wordt enerzijds gewerkt met Belgische blauwe hardsteen en dus met Belgische transportafstanden en -middelen en anderzijds met blauwe hardsteen uit Azië (Vietnam en China), waarmee langere transportafstanden en andere vervoermiddelen gepaard gaan. Hier dient eveneens opgemerkt te worden dat de Belgische blauwe hardsteen voor het overgrote deel afkomstig is uit Wallonië. Bijgevolg is de Belgische situatie, zoals opgenomen in het SuFiQuaD project, net als voor het hout, enigszins verschillend van de Vlaamse situatie.

Voor deze twee materialen wordt, naast de transportafstanden en transportmiddelen, in de mate van het mogelijke ook rekening gehouden met eventuele andere lokale milieu-impacten, gerelateerd aan de productie, zoals andere energiemix, lokale transporten, ...

Vanuit het oogpunt dat metaal (voornamelijk staal) in België eveneens deels geïmporteerd wordt vanuit het buitenland, zou voor dit materiaal eenzelfde scenario als voor hout en blauwe hardsteen uitgewerkt kunnen worden. Dit werd echter niet gedaan, omdat, in tegenstelling tot voor hout en blauwe hardsteen, binnen de Ecoinvent records aangaande metaal (staal) gedeeltelijke import vanuit het buitenland reeds opgenomen is en bijgevolg de met import gerelateerde milieu-impact reeds ingerekend wordt.

Scenario's voor de bouwfase

De invloed van de bouwfase wordt in het SuFiQuaD project slecht beperkt ingerekend door het opnemen van bouwverliezen voor de gebruikte materialen op de werf (nl. standaardpercentage voor bouwverliezen van 2.5% voor alle materialen). Deze bouwverliezen vertalen zich in een hogere milieulast voor de productie van de bouwmaterialen tijdens de initiële fase (cf. meer materiaal nodig), alsook in een bepaalde hoeveelheid bouwafval, waarvoor een extra einde-levensduur milieu-impact ingerekend moet worden. Alle andere impacten (voornamelijk energie-verbruik) van de bouwfase worden voorlopig verwaarloosd.

Scenario's voor schoonmaak, onderhoud en vervanging

Ook tijdens de gebruiksfase van een gebouw doen zich bepaalde activiteiten en milieueffecten voor, die binnen een LCA ingerekend dienen te worden.

In de eerste plaats vereisen de verschillende bouwelementen op regelmatige basis een aantal schoonmaakactiviteiten (vb. stofzuigen en/of dweilen van vloeren of verwijderen van plekken op muren). In de tweede plaats dienen bepaalde onderdelen van bouwelementen regelmatig onderhouden te worden (vb. herstellen van kapotte houten gevelplanken of opnieuw behandelen van een houten vloer met boenwas). Binnen het SuFiQuaD project worden de milieueffecten van deze schoonmaak- en onderhoudsactiviteiten ingerekend door het toekennen van een bepaalde frequentie (vb. x keer per jaar of om de x jaar) en het koppelen van een specifieke Ecoinvent record aan elke (sub)activiteit.

Vermits de levensduur van de toegepaste verwerkte materialen en/of van de beschouwde bouwelementen vaak kleiner is dan de levensduur van het gebouw, dienen deze elementen en materialen tijdens de gebruiksfase vaak één of zelfs meerdere keren vervangen te worden. Het aantal vervangingen is afhankelijk van de verhouding tussen de levensduur van het betrokken materiaal of element en de levensduur van het gebouw. Hierbij wordt een onderscheid gemaakt tussen een

noodzakelijke en een esthetische vervanging. De eerste zal altijd plaatsvinden, ongeacht de resterende levensduur van het gebouw (vb. vervangen van gipskartonplaten na 30 jaar), terwijl de tweede slechts uitgevoerd zal worden, indien de resterende levensduur van het gebouw op het ogenblik van vervanging groter is dan de helft van de levensduur van het beschouwde element (vb. een binnenpleister met een levensduur van 40 jaar zal in een gebouw met een levensduur van 90 jaar wel na 40 jaar vervangen worden, maar niet meer na 80 jaar, omdat de resterende levensduur van het gebouw kleiner is dan de helft van de levensduur van de pleister).

Verder wordt er van uitgegaan dat een materiaal of element steeds door eenzelfde materiaal of element vervangen wordt. Het is namelijk onmogelijk om voorspellingen te maken over de mogelijke technologische evoluties in de toekomst. De specifieke milieueffecten ten gevolge van de afbraak en het plaatsen van de nieuwe materialen en/of elementen worden ingerekend op basis van de levensduur en de overeenkomende Ecoinvent records.

Energieverbruik van het gebouw

De berekening van het energieverbruik tijdens de gebruiksfase van het gebouw is gebaseerd op de EPB-methodologie, mits enkele aanpassingen voor het verbruik van sanitair warm water (conform PHPP), het rendement van de installaties (conform EPC) en het inrekenen van zonnewinsten (conform EPB formules, maar foutief vertaald in EPB software). Het overige energieverbruik (verlichting en elektrische toestellen), dat sterk verbonden is aan de aanwezige toestellen en aan het gebruikersgedrag, wordt buiten beschouwing gelaten.

Scenario's voor de einde-levensduur van het gebouw

De milieueffecten ten gevolge van de afbraak van het gebouw worden ingerekend door de toekenning van de Ecoinvent record 'demolition and dismantling' aan de betrokken elementen en materialen. De milieubelasting wordt ingerekend per kg materiaal. Hoe zwaarder het materiaal, hoe hoger de impact voor afbraak.

Om de milieueffecten van het transport van het bekomen sloopafval van de werf naar de eindbestemming te kunnen inrekenen, zijn data aangaande transportafstanden, de gebruikte transportmiddelen (nl. bestelwagen en verschillende groottes van vrachtwagens) en de beladingsgraad nodig. Binnen het SuFiQuaD project wordt gebruik gemaakt van de resultaten aangaande het transport en de behandeling van bouw- en sloopafval uit de recente WTCB enquête bij de betrokken actoren. Op basis van deze gegevens worden voor de verschillende afvalfracties (vb. inert afval, houtafval, plastics, metalen, isolatie, overige, ...) specifieke typescenario's wat betreft transportafstanden, -middelen en beladingsgraad uitgewerkt. De toepassing van deze data gebeurt vervolgens analoog aan het transport van de bouwmaterialen, namelijk door aan elk van de gebruikte bouwmaterialen één afvalfractie en dus één afvaltransportscenario toe te kennen (vb. inert afval voor baksteen of metalen voor stalen balken).

Zoals hoger vermeld, worden binnen SuFiQuaD vier eindbestemmingen voor het bouw- en sloopafval beschouwd. Het gaat om storten op een stortplaats, verbranden met warmteterugwinning, hergebruik (zonder bijkomende behandeling) en recyclage. Voor elk bouw materiaal wordt in de eerste plaats de overeenkomstige afvalfractie vastgelegd. Vervolgens wordt voor elke afvalfractie, op basis van de resultaten van de WTCB enquête bij de betrokken actoren, een afvalbehandelingsscenario opgesteld. Met andere woorden, er wordt bepaald hoeveel van het geproduceerde

afval gestort, verbrand, hergebruikt en gerecycleerd wordt (%S, %V, %H, %R). De milieueffecten, die met deze behandeligen gepaard gaan, worden ingerekend door middel van specifieke Ecoinvent records.

Wat recyclage betreft, dient opgemerkt te worden dat zowel recyclage tot eenzelfde product voor eenzelfde toepassing (vb. recyclage van staal tot staal) als recyclage met downcycling tot een product voor een andere, meestal laagwaardigere toepassing (vb. recyclage van baksteen tot gravel) ingerekend wordt. Er wordt buiten beschouwing gelaten of de materialen na hergebruik of recyclage binnen of buiten de bouwsector opnieuw toegepast worden.

Voor hergebruik en recyclage worden de vermeden impacten van de uitgespaarde nieuwe productie van de materialen eveneens ingerekend (vb. recyclage van beton tot grove granulaten spaart de winning van primair grind uit), wat soms in milieuwinsten resulteert in de plaats van in milieubelastingen. Dit laatste is een gevolg van het feit dat binnen dit project de milieu-effecten van de afvalbehandeling volledig toegekend worden aan het product of proces, dat het afval produceert, in dit geval dus het gebouw. Deze aanname heeft ook tot gevolg dat er aan het gebruik van gerecycleerde materialen geen impacten noch winsten toegekend kunnen worden.

CO₂ opslag in hout en andere natuurlijke materialen

Bij een levenscyclusanalyse van een bouwproduct, gemaakt uit natuurlijke materialen, kan men twee soorten CO₂ onderscheiden. Enerzijds zijn er, net zoals bij alle andere bouwproducten, CO₂-emissies, die gerelateerd zijn aan allerlei processen, zoals transport, productieproces of onderhoud van het bouwproduct. Anderzijds is er de biogene CO₂, die tijdens de groeiperiode opgeslagen wordt in het natuurlijke materiaal, dat tot bouwproduct verwerkt wordt, en die op het einde van de levensduur van het bouwproduct, bij storten of verbranden, opnieuw vrijkomt. Wat deze biogene CO₂ betreft, zijn natuurlijke materialen dus CO₂-neutraal, wanneer men de volledige levenscyclus beschouwt. Wanneer natuurlijke materialen echter gerecycleerd of hergebruikt worden, blijft de CO₂ opgeslagen in het materiaal.

Het inrekenen van de opname van biogene CO₂ in de SuFiQuaD analyses zou, omwille van de hierboven beschreven methode voor het inrekenen van recyclage, leiden tot vreemde conclusies. Het recycleren van producten op basis van natuurlijke materialen zou immers resulteren in een aanzienlijke milieubelasting, veroorzaakt door het “vrijkomen” van broeikasgassen. Hierdoor zou men kunnen afleiden dat het recycleren van hout afgeraden moet worden, wat een vreemde conclusie lijkt. Dit is te verklaren door het feit dat volgens de SuFiQuaD methodologie, alle impacten van recyclage moeten ingerekend worden in de eindelevensduurfase (het ogenblik waar ze in werkelijkheid gebeuren), maar dat ook de vermeden impact van de nieuwe productie hieraan wordt gekoppeld. Met andere woorden, wanneer producten op basis van natuurlijke materialen gerecycleerd worden, wordt vermeden dat er nieuwe materialen moeten gebruikt worden in het productieproces. En aangezien de natuurlijke materialen CO₂ opslaan tijdens de groei, resulteert het vermijden van deze productie van nieuwe materialen dus in theorie tot CO₂-emissies (2 x – wordt +).

Om dit probleem te vermijden, is binnen het SuFiQuaD project besloten om de biogene CO₂ niet in te rekenen, dus noch de CO₂-opslag tijdens de groei, noch de biogene CO₂-emissie op het einde van de levensduur. Dit heeft geen invloed op het eindtotaal van de CO₂-emissies, wanneer de volledige levenscyclus beschouwd wordt, omdat dan de biogene CO₂-balans sowieso neutraal is. Het betekent echter wel dat het positieve effect van de CO₂-opslag niet meer weerspiegeld wordt in de initiële milieu-impact van bouwproducten uit natuurlijke materialen.

2.1.3.3 Aanpassingen van het SuFiQuaD model voor deze studie

Vermits de doelstelling van deze studie lichtjes afwijkt van de doelstelling van het SuFiQuaD project, werden voor deze studie een aantal aanpassingen aan het SuFiQuaD rekenmodel uitgevoerd. Een overzicht van deze aanpassingen wordt hieronder weergegeven.

Levensduur van het gebouw en zijn samenstellende componenten

Zoals reeds eerder vermeld, kan de levensduur van de woning en zijn samenstellende componenten een belangrijke invloed uitoefenen op de eindresultaten. Hoe langer de levensduur van het gebouw, hoe groter het effect van de gebruiksfase (nl. energieverbruik, schoonmaak, onderhoud en vervangingen) en hoe kleiner het effect van de initiële fase (nl. productie van materialen en gebouw) binnen de gehele levenscyclus.

Binnen deze studie wordt voor alle beschouwde bouwconcepten, behalve voor IFD bouwen, een levensduur van de woning en zijn dragende structuur van 90 jaar vooropgesteld. Deze keuze komt overeen met een gemiddelde schatting van de levensduur van de woningen in Vlaanderen. Deze schatting is gebaseerd op statistieken en literatuurgegevens i.v.m. het huidige woningbestand en de huidige ouderdom van de woningen in Vlaanderen en België (cf. de woningen zijn gemiddeld 60 jaar oud) en op de toekomstige trend om woningen steeds langer te behouden en minder snel af te breken en te vervangen, alsook op de resultaten van het SuFiQuaD project en op de courante praktijk binnen levenscyclusanalyses van woningen in Europa (cf. deze gaan uit van een totale levensduur van een gebouw in de grootteorde van 75 tot 100 jaar) [67][68][69][70][71][72][73][74].

Voor de IFD variant binnen dit project wordt een levensduur van de woning van 150 jaar vooropgesteld. Dit omwille van het feit dat een verlengde levensduur van de dragende structuur van de woning in vergelijking met de traditionele woningbouw de belangrijkste bijdrage is van industrieel, flexibel en demontabel bouwen. Alleen door voor deze variant een langere levensduur dan voor de traditionele en de andere bouwconcepten te voorzien, kan dit effect ingerekend worden in de levenscyclus-analyse.

Naast de levensduur van de woning zelf, wordt ook een levensduur voor de individuele bouwelementen bepaald. Hierbij wordt nagegaan of het element tijdens een grondige renovatie of uitbreiding van het gebouw al of niet als geheel vervangen zal worden. Indien niet, dan wordt aan het element eenzelfde levensduur toegekend als aan het gebouw (zijnde 90 of 150 jaar, afhankelijk van het bouwconcept). Indien wel, dan wordt bepaald hoeveel keer tijdens de levensduur van de woning het bouwelement vervangen zal worden en wordt op basis daarvan een levensduur toegekend (vb. 30 jaar voor de niet-dragende binnenwanden, de ramen en de installaties). Hierbij wordt rekening gehouden met literatuurgegevens en wordt vertrokken van de levensduren binnen het SuFiQuaD project.

Tenslotte worden voor de verschillende verwerkte materialen, die de bouwelementen samenstellen, realistische levensduren vooropgesteld, die eveneens gebaseerd zijn op literatuurgegevens en op de levensduren, die binnen het SuFiQuaD project gebruikt worden (vb. 30 jaar voor geschroefde gipsvezelplaten en 15 jaar voor linoleumvloerbedekking). Deze levensduren bepalen de tijdstippen, waarop de verwerkte materialen vervangen worden.

Eco-Indicator 99 milieu-indicatoren i.p.v. monetarisatie

Zoals reeds eerder vermeld, geeft het SuFiQuaD model de globale milieu-impact en de globale financiële impact van een individueel bouwelement of van een gehele woning weer onder de vorm van milieu- en financiële kosten, die uitgedrukt worden in euro per functionele eenheid bouwelement of per m² vloeroppervlakte van de woning. Op die manier kunnen de milieu- en de financiële impact met elkaar vergeleken worden en kan de totale kost van een woning berekend worden.

Vermits het binnen dit project echter de bedoeling is om enkel de globale milieu-impact van een aantal woningen, opgebouwd volgens specifieke bouwconcepten, te analyseren, worden hier enkel de elf Eco-Indicator 99 milieu-indicatoren gebruikt, zonder de verdere monetarisatiestappen toe te passen (zie Tabel 3) [59][60][61].

Deze elf milieu-indicatoren worden binnen de Eco-Indicator 99 methode onderverdeeld in drie schadecategorieën, namelijk schade aan de menselijke gezondheid, waarvan de resultaten uitgedrukt worden in DALYs (disability adjusted life years), schade aan de kwaliteit van het ecosysteem, waarvan de resultaten uitgedrukt worden in PDFs (potentially disappeared fraction), en schade aan minerale en fossiele grondstoffen, waarvan de resultaten uitgedrukt worden in MJ surplus energie (zie Tabel 3).

Om verschillende varianten (vb. verschillende bouwconcepten of woningtypes) met elkaar te kunnen vergelijken, kunnen de resultaten van de verschillende milieu-indicatoren omgezet worden naar een ééngetalscore per variant. Hiervoor zijn twee opeenvolgende stappen nodig, namelijk normalisatie en weging.

Tijdens de normalisatiestap worden de resultaten van de verschillende milieu-indicatoren vergeleken met een gekozen referentiebasis. Op die manier krijgen alle resultaten eenzelfde eenheid. Binnen de Eco-Indicator 99 methode worden de Europese normalisatiewaarden gebruikt [60][61]. Dit betekent dat de bekomen resultaten per milieu-indicator gedeeld worden door de totale jaarlijkse milieu-impact per gemiddelde Europeaan ten gevolge van de economische activiteiten in Europa.

Tijdens de wegingsprocedure worden de genormaliseerde resultaten per milieu-indicator vermenigvuldigd met een specifieke weegfactor om op die manier het relatieve belang van de verschillende impactcategorieën in rekening te brengen. Binnen de Eco-Indicator 99 methode werden de weegfactoren vastgelegd op basis van de expertpanelmethode, waarbij telkens één weegfactor voor elk van de drie schadecategorieën vastgelegd werd [60][61]. Rekening houdend met culturele perspectieven, werden drie versies van het schademodel uitgewerkt (namelijk egalitair, individualist en hierarchist), waarvan binnen deze studie de hierarchist versie gebruikt wordt.

Tabel 4 geeft een overzicht van de gebruikte normalisatie- en weegfactoren. Na deze twee stappen kunnen de resultaten per milieu-indicator bij elkaar opgeteld worden tot een ééngetalscore, die uitgedrukt wordt in ecopunten.

	normalisatiefactoren	weegfactoren
menselijke gezondheid	0.0154	400
kwaliteit van ecosystemen	5130	400
uitputting van grondstoffen	8410	200

Tabel 4: Overzicht van normalisatiefactoren en weegfactoren, zoals toegepast binnen de Eco-Indicator 99 methode [60].

Voor de analyse van een gehele woning worden voor dit project de bekomen ecopunten (per milieu-indicator of als ééngetalscore) omgezet naar ecopunten per m² vloeroppervlak. Zowel de initiële ecopunten (enkel rekening houdend met de initiële fase van de levenscyclus van de woning) als de levenscyclus ecopunten (inclusief de gebruiksfase en de einde-levensduurfase van de woning) worden berekend en in grafiekvorm weergegeven. Indien bouwconcepten met een verschillende levensduur met elkaar vergeleken worden, worden de eindresultaten van de analyse nog eens gedeeld door de levensduur, zodat de globale milieu-impact in die gevallen weergegeven wordt als ecopunten per m² vloer en per jaar van de woning.

Milieudata voor maximale recyclage (cradle to cradle)

Bij de toepassing van het concept van maximale recyclage (cradle to cradle bouwen) op de woningbouw, wordt er in deze studie idealiter van uitgegaan dat de in de woning gebruikte bouwproducten voor 100% uit gerecycleerde materialen bestaan (vb. beton uit gerecycleerde granulaten, houtvezelplaten uit gerecycleerd hout, vloerbekleding uit gerecycleerde autobanden, ...). Dit heeft tot gevolg dat er geen primaire grondstoffen nodig zijn om deze bouwproducten aan te maken en dus ook niet om het gebouw op te trekken (vb. door het gebruik van secundaire granulaten is er geen primair grind nodig voor de productie van beton en kan de winning van dit grind uitgespaard worden). Hierdoor wordt er, in tegenstelling tot bij de andere bouwconcepten, in dit geval geen initiële milieu-impact voor de extractie, de behandeling en het transport van primaire grondstoffen veroorzaakt en dus ook niet ingerekend. Daarnaast worden ook de milieueffecten ten gevolge van de productie van de gerecycleerde materialen (vb. recyclage van beton tot secundaire granulaten) in dit geval niet toegekend aan het hier geanalyseerde gebouw, maar wel aan het oorspronkelijke gebouw, waaruit de materialen gerecycleerd werden. Dit laatste is een gevolg van het feit dat binnen de SuFiQuaD methodologie alle milieu-impacten voor recyclage op het einde van de levensduur van het gebouw worden ingerekend, namelijk op het ogenblik dat ze werkelijk optreden. De milieueffecten, die wel ingerekend moeten worden binnen de initiële fase van het hier geanalyseerde gebouw, zijn deze, veroorzaakt door de productie van de bouwproducten uit de gerecycleerde basismaterialen (vb. maken van het gerecycleerde beton, bakken van de gerecycleerde baksteen of productie van de gerecycleerde vloerbekleding), alsook deze, gerelateerd aan het transport van de bouwproducten van fabriek tot werf en aan de bouwfase.

Verder wordt ervan uitgegaan dat de toegepaste bouwproducten op het einde van hun levensduur opnieuw zoveel mogelijk gerecycleerd en opnieuw toegepast worden. Dit betekent dat enkel hergebruik en recyclage als eindbestemming in acht genomen worden. Op basis van de uitgangspunten van het SuFiQuaD model, moeten de milieueffecten van de gerelateerde recyclageprocessen en van het hergebruik, alsook ten gevolge van het transport van het afval, toegekend worden aan het geanalyseerde gebouw en dus wel ingerekend worden binnen de milieu-impact van de einde-levensduurfase. De dankzij de recyclage vermeden productie of uitsparing van primaire grondstoffen wordt hier niet opnieuw ingerekend, omdat dit reeds gebeurd is bij de initiële fase (nl. productie van gerecycleerde materialen).

De bovenstaande beschrijving vertegenwoordigt uiteraard de ideale situatie. De reële situatie aangaande maximale recyclage zal vanwege praktische belemmeringen waarschijnlijk geen 100% behalen. Enerzijds zullen niet alle recycleerbare bouwmaterialen in de praktijk 100% gerecycleerd worden. De exacte percentages zijn echter moeilijk in te schatten en kunnen wegens methodologische belemmeringen niet geanalyseerd worden. Anderzijds kunnen niet voor alle toepassingen

binnen een woning volledig gerecycleerde bouwproducten gebruikt worden (vb. de houten balken voor de dakstructuur kunnen wel bestaan uit hergebruikt hout, maar niet uit gerecycleerd hout). Bijgevolg dienen voor deze niet-gerecycleerde bouwproducten de initiële milieueffecten van de extractie en behandeling van de benodigde primaire grondstoffen wel ingerekend te worden binnen de globale milieupact van het geanalyseerde gebouw.

2.1.3.4 Milieu-evaluatie van de bouwconcepten

De doelstelling van deze studie bestaat erin om de globale milieupact van een aantal nieuwe, als duurzaam beschouwde bouwconcepten binnen de woningbouw te bepalen en deze te vergelijken met de milieueffecten van de traditionele woningbouw.

Identificatie van typewoningen

Om deze doelstelling te bereiken, worden binnen deze studie drie typewoningen gedefinieerd, die als representatief beschouwd kunnen worden voor de traditionele woningbouw in Vlaanderen. De specifieke keuze en beschrijving van deze typewoningen zijn gebaseerd op een aantal studies aangaande woningtypologieën in Vlaanderen en in België [68][69][75][76][77].

Het gaat hier om een vrijstaande woning (viergevelwoning, open bebouwing), een rijwoning (tweegevelwoning, gesloten bebouwing) en een middelhoog appartementsgebouw (zie 2.1.4, 2.1.5 en 2.1.6 voor meer details).

Toepassing van de bouwconcepten op de typewoningen

Voor elk van de drie typewoningen wordt in de eerste plaats een standaardbouwconcept gedefinieerd, dat overeenkomt met de traditionele woningbouw, zijnde metselwerk. Hiervoor wordt voor elk bouwelement binnen de woning één specifieke technische oplossing met zijn specifieke verwerkte materialen uitgewerkt (vb. buitenwand, bestaande uit snelbouwbaksteen, rotswolisolatie en gevelsteen, aan de binnenkant bepleisterd en geverfd, of hellend dak, bestaande uit houten gordingen en kepers, aan de binnenkant afgewerkt met geschilderde gipskartonplaten en bedekt met kleidakpannen). Voor elk van de technische oplossingen worden vervolgens de benodigde hoeveelheden bouwmaterialen en de gerelateerde milieuen andere data verzameld en in het model opgenomen. Dit is de referentiesituatie voor elk van de woningtypes.

Daarna worden de drie typewoningen geconcipieerd naar één of meerdere van de bouwconcepten. Hierbij wordt rekening gehouden met de toepassingsmogelijkheden van de bouwconcepten voor eengezinswoningen en appartementen. Op die manier ontstaat een reeks van 9 varianten op de drie standaardwoningen. Een overzicht van de hier beschouwde varianten wordt weergegeven in Tabel 5.

Bouwconcept / woningtype	Vrijstaande woning (viergevelwoning)	Rijwoning (tweegevelwoning)	Middelhoog appartementsgebouw
Traditioneel metselwerk	Xref	Xref	Xref
Houtskeletbouw	X	X	
Bio-ecologisch bouwen	X	X	
Metaalbouw	X		
Maximale recyclage (C2C)	X		X
IFD	X		X

Tabel 5: Overzicht van de in dit project geanalyseerde woningvarianten en bouwconcepten

Vervolgens wordt, analoog aan de referentiewoningen, voor elk bouwelement van de verschillende typewoningen één specifieke technische oplossing gekozen, die karakteristiek is voor het beschouwde bouwconcept (vb. dragend houtskelet voor houtskeletbouw en dragend staalskelet voor metaalbouw, thermovloer voor bio-ecologisch bouwen, beton met gerecycleerde granulaten voor maximale recyclage, ...).

Hierbij dient opgemerkt te worden dat voor elk van de bouwconcepten meestal verschillende technische oplossingen voor de bouwelementen mogelijk zijn. Omwille van tijds- en budgettaire redenen en om het aantal varianten te beperken, kon hier echter slechts één van die oplossingen gebruikt worden voor de analyse. Daarom werden die technische oplossingen gekozen, die zo ver mogelijk doorgedreven zijn en die zo het verschil tussen de verschillende bouwconcepten zo groot mogelijk maken. Als voorbeeld kan hier verwezen worden naar de door VIBE aangeraden thermovloer binnen de bio-ecologische woning, die sterk afwijkt van de meer traditionele betonvloeren, die in de andere woningtypes toegepast worden [78].

Verder wordt bij de keuze van technische oplossingen rekening gehouden met de op de markt zijnde producten en de hierover beschikbare informatie. Hierbij kan als voorbeeld verwezen worden naar de vloerbedekking, bestaande uit gerecycleerde autobanden, in de woning met maximale recyclage, die op de markt als duurzaam gepromoot wordt en waarover voldoende informatie beschikbaar is vanuit het Recyhouse van het WTCB [28].

Ten gevolge van deze beperkingen in keuze gaat het hier in de praktijk dus eigenlijk om specifieke gevalstudies, waarvoor nog vele varianten uitgewerkt zouden kunnen worden.

Vervolgens worden, analoog aan de referentiewoningen, voor elk van de technische oplossingen de benodigde materiaalhoeveelheden per functionele eenheid van het bouwelement berekend en worden de benodigde milieu- en andere gegevens verzameld en in het model opgenomen voor verdere analyse.

Meetstaten van de woningen

Voor elk van de typewoningen wordt op basis van een foto en een (vereenvoudigd) grondplan een meetstaat opgesteld, waarin de totale hoeveelheden van de verschillende bouwelementen (vb. totale hoeveelheid buitenwand, hellend dak, vloer op volle grond, ramen, ...) voor de gehele woning worden weergegeven. Deze hoeveelheden worden vervolgens gecombineerd met de berekende benodigde hoeveelheden bouwmaterialen per functionele eenheid van het bouwelement (vb. x

kg baksteen en y kg mortel voor 1 m² gemetste muur) om zo de totale hoeveelheden aan bouwmaterialen voor de gehele woning te kunnen bepalen.

K-peil van de woningen

Om de verschillen in milieueffecten en grondstoffenverbruik ten gevolge van het verschillend materiaalgebruik bij de verschillende bouwconcepten beter te kunnen evalueren, wordt in deze studie uitgegaan van woningen met eenzelfde energieprestatie. Eenzelfde K-waarde voor de verschillende woningvarianten is nagestreefd. Er wordt niet gewerkt op basis van een specifiek E-peil, omdat er, behalve isolatie, ook andere niet-materiaalgebonden aspecten dit peil bepalen.

Rekening houdend met de huidige en toekomstige energiewetgeving, wordt in deze studie voor alle bouwconcepten en voor alle woningtypes gestreefd naar een K-waarde van 30 W/m²K. Voor de traditionele vrijstaande woning wordt ook een K-waarde van ongeveer 40 W/m²K in acht genomen om op die manier het effect van de evolutie naar meer energiezuinige woningen op de milieu-impact en op het grondstoffenverbruik te kunnen inschatten.

Vermits het K-peil van een woning afhankelijk is van de samenstelling van de verschillende bouwelementen en vooral van de isolatiedikte, dient deze laatste voor elk bouwelement en voor elk bouwconcept aangepast te worden aan de gewenste K-waarde. In deze studie wordt de benodigde isolatiedikte per concept bepaald door eerst voor de verschillende verliesoppervlakken zonder isolatie (namelijk vloer op volle grond, buitenwanden, plat dak en hellend dak) de dikte, de fictieve lambdawaarde en de R-waarde te berekenen en vervolgens met behulp van de EPB software de gewenste U-waarde en het juiste isolatiemateriaal met de juiste dikte hieraan te koppelen.

Resultaten van de analyse

Door de resultaten van de levenscyclusanalyses van de verschillende woningvarianten met elkaar te vergelijken, kunnen uitspraken gedaan worden over de milieu-impact van de verschillende bouwconcepten in vergelijking met de traditionele woningbouw in Vlaanderen. Op die manier kan nagegaan worden welk bouwconcept de grootste of kleinste milieu-impact over zijn gehele levenscyclus met zich meebrengt.

In de eerste plaats wordt de globale milieu-impact van de verschillende woningen over hun gehele levenscyclus geëvalueerd. Hierbij wordt een vergelijking gemaakt tussen de initiële milieu-impact van de woning (dus enkel de productiefase tot en met de bouw van de woning, uitgedrukt als een ééngetalscore in initiële ecopunten per m² vloer en per jaar) en de levenscyclus milieu-impact (dus inclusief de gebruiksfase en de einde-levensduurfase, eveneens uitgedrukt als een ééngetalscore in ecopunten per m² vloer en per jaar).

Vervolgens wordt de milieu-impact van de verschillende woningen over hun gehele levenscyclus per milieu-indicator weergegeven. Op die manier kan nagegaan worden in hoeverre de effecten van de verschillende bouwconcepten verschillen tussen de verschillende impactcategorieën.

Voor de analyse van de vrijstaande woning en het appartement, waarbij ook het concept IFD wordt geëvalueerd, wordt deze analyse gemaakt zowel in totale ecopunten per m² vloer voor de volledige levensduur, als in ecopunten per m² vloer per jaar. De IFD variant heeft, zoals reeds vermeld, een levensduur van 150 jaar,

zodat alle impacten gerelateerd aan de gebruiksfase ook op die termijn berekend worden. Een vergelijking van de totale milieu-impact met de andere bouwconcepten, waarvoor de levensduur slechts 90 jaar bedraagt, zou bijgevolg een vertekend beeld geven van de onderlinge verhoudingen. De omrekening naar de jaarlijkse milieu-impact, waarbij de impact van de initiële fase en de einde-levensduurfase evenredig over de volledige levensduur wordt verdeeld, is dus noodzakelijk om een correcte vergelijking te kunnen maken tussen de verschillende bouwconcepten. Voor de rijwoning is deze omrekening niet strikt noodzakelijk (geen IFD variant), maar om de resultaten op een gelijklopende manier voor te stellen worden ook voor deze woning de resultaten uitgedrukt in ecopunten per m² vloer en per jaar.

Daarnaast wordt er ook een onderscheid gemaakt tussen de milieueffecten van de verschillende levenscyclusfasen van de woningen (namelijk initiële fase, energie-verbruik, periodieke activiteiten (schoonmaak, onderhoud en vervangingen) en einde-levensduurfase, eveneens uitgedrukt als een ééngetalscore of per milieu-indicator onder de vorm van ecopunten per m² vloer en per jaar). Op die manier kan nagegaan worden welke fase de belangrijkste bijdrage levert aan de globale milieu-impact van de woning.

Tot slot wordt de milieubelasting per bouwelement geëvalueerd. Hierbij worden de verschillende elementen onderling met elkaar vergeleken (de resultaten worden uitgedrukt als een ééngetalscore in ecopunten per m² vloer en per jaar) en wordt één enkel bouwelement in detail geanalyseerd worden, om op die manier een zicht te krijgen op de bijdrage van de verschillende verwerkte materialen aan de totale milieubelasting van dat element (de resultaten worden uitgedrukt als een ééngetalscore in ecopunten per functionele eenheid van het element, vb. voor 1 m² buitenwand).

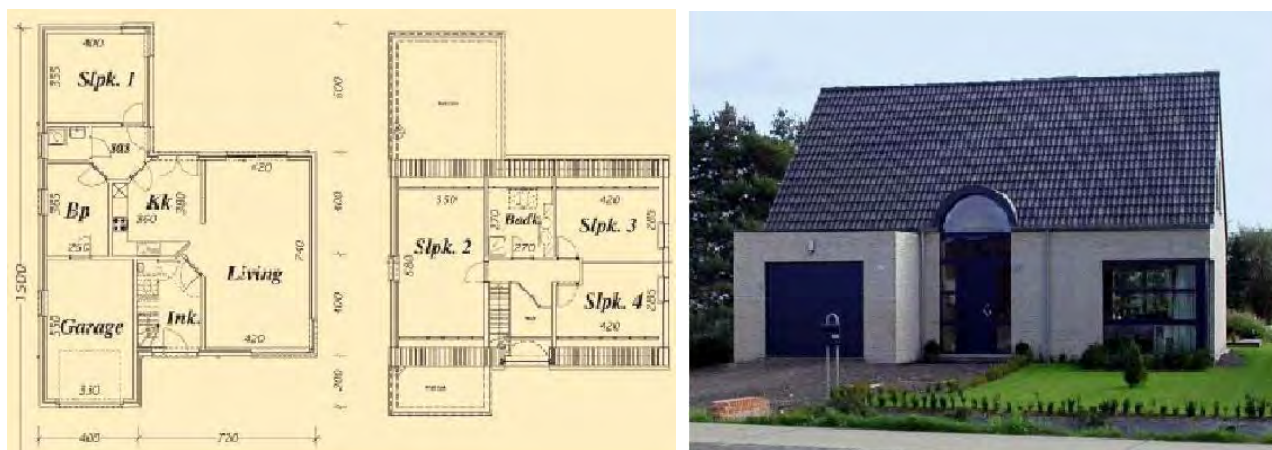
De resultaten van de milieuanalyse van de verschillende woningtypes worden in de volgende paragrafen weergegeven.

2.1.4 Resultaten van de analyse van een vrijstaande woning

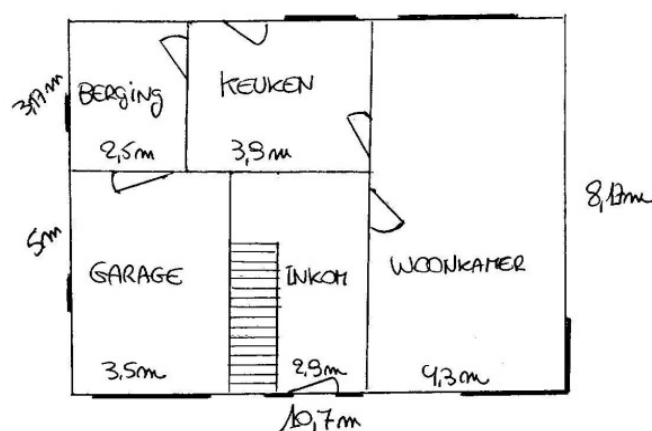
In deze paragraaf wordt de milieu-impact van een vrijstaande woning geëvalueerd. Enerzijds wordt nagegaan wat het belang is van het isoleren van de woning op de milieu-impact door de vrijstaande woning te analyseren voor twee K-peil niveaus (K42 en K32). Anderzijds wordt de milieu-impact van een referentieoplossing (traditioneel metselwerk) vergeleken met de milieu-impact van de nieuwe bouwconcepten, uitgaande van eenzelfde K-peil voor alle bouwoplossingen (K32).

2.1.4.1 Beschrijving van de geanalyseerde woning

De geanalyseerde woning is een moderne vrijstaande woning, bestaande uit een gelijkvloerse verdieping en een eerste verdieping onder hellend dak. Figuur 19 geeft een illustratie en de originele plannen van de woning. Deze plannen worden voor de analyses verder vereenvoudigd, zoals geïllustreerd in Figuur 20. De motivatie hiervoor is in de eerste plaats dat bij een dergelijk type woning de uitbouw naar achter meestal niet aanwezig is. Bovendien maakt het weglaten van de uitbouw de berekening van de hoeveelheden van de bouwelementen aanzienlijk eenvoudiger. Om dezelfde redenen wordt de uitbouw van de garage, en dus ook het plat dak, weggelaten. Dit gebeurt door de afmetingen van de woning aan te passen. Hierbij zijn de oorspronkelijke oppervlaktes van de ruimtes behouden.



Figuur 19: Plannen (gelijkvloers en eerste verdieping) en illustratie van de geanalyseerde vrijstaande woning.



Figuur 20: Aangepast plan (gelijkvloers) van de geanalyseerde woning.

Onderstaande tabel geeft ten slotte een aantal algemene gegevens over de geanalyseerde woning.

vloeroppervlakte	159	m ²
compactheid C	1.16	m
beschermd (verwarmd) volume V	382	m ³
verliesoppervlakte van de gebouwschil A_T	319	m ²

Tabel 6: Overzicht van algemene gegevens met betrekking tot de geanalyseerde vrijstaande woning

Hieronder wordt een overzicht gegeven van de samenstelling van alle bouw-elementen voor de verschillende geanalyseerde varianten van de vrijstaande woning. Tabel 7 geeft de opbouw van de referentiewoning, de doorgedreven houtskelet-bouwwoning en de bio-ecologische woning. Deze varianten worden eveneens bestudeerd voor de rijwoning (zie 2.1.5). Tabel 8 geeft de opbouw voor de metaal-skeletbouwvarianten, de variant met maximale recyclage en de IFD variant. Deze laatste twee concepten worden eveneens geanalyseerd voor het appartement (zie 2.1.6). Bij de metaalskeletbouwwoning wordt bovendien een extra variant geanalyseerd, waarbij de opbouw van de gevel en het hellend dak verschillen van de basisoplossing.

BOUWELEMENT	TRADITIONEEL METSSELWERK	DOORGEDREVEN HOOTSKELETBOUW	BIO-ECOLOGISCHE HOOTSKELETBOUW
Funderingen	BETONNEN VORSTRAND 0.80 m uitgraven vorstrand 0.80 m vorstrand uit licht gewapend beton	BETONNEN VORSTRAND 0.80 m uitgraven vorstrand 0.80 m vorstrand uit licht gewapend beton	FUNDERINGSSTROKEN IN KALKZANDSTEEN OP ZAND 0.80 m uitgraven fundering 0.22 m gecompacteerd zand 0.58 m funderingsstroken in kalkzandsteen
Vloer op volle grond	KERAMISCHE TEGELS OP IN SITU BETONPLAAT 0.30 m uitgraven put 0.10 m gecompacteerd zand - PE scheidingslaag 0.15 m in situ gestorte gewapend betonnen vloerplaat 0.05 m cementgebonden chape 0.02 m (K42) of 0.10 m (K32) PUR isolatie op de vloer 0.05 m ongewapende cementgebonden dekvloer - XPS randisolatie - tegelpoint 0.01 m keramische tegels	HOUTEN PARKET OP IN SITU BETONPLAAT 0.30 m uitgraven put 0.10 m gecompacteerd zand - PE scheidingslaag 0.15 m in situ gestorte gewapend betonnen vloerplaat 0.05 m cementgebonden chape 0.10 m PUR isolatie op de vloer 0.05 m ongewapende cementgebonden dekvloer - XPS randisolatie - houten plint 0.022 m houten parket	LINOLEUM OP THERMOVLOER 0.30 m uitgraven put 0.07 m grind 0.20 m geëxpandeerde kleikorrels 0.05 m geëxpandeerde kleikorrels gestabiliseerd met traskalk 0.03 m traskalkmortel als werkvloer - PE scheidingsfolie 0.05 m gewapende cementgebonden dekvloer - XPS randisolatie 0.004 m egalisatielaag van cementmortel - linoleum vloerplint 0.0025 m linoleum vloerbedekking
Buitenwanden / gevels	BEPLEISTERDE EN GEVERFDE SNELBOUW BAKSTEEN EN GEVELSTEEN - verf op gipspleister 0.01 m gipspleister op metselwerk 0.14 m snelbouwbaksteen 0.03 m spouw 0.18 m spouwankers - isolatieclips 0.075 m (K42) of 0.10 m (K32) RW isolatie in de spouw 0.09 m handvorm gevelsteen M 50	BEHANDELD HOOTSKELET MET GEVERFDE GIPSKARTONPLAAT EN GEVERFDE LARIKSPLANKEN 1 laag snelbouwsteen 14 cm onderaan - verf op gipskartonplaat - gipskartonplaat op houten onderstructuur (Belgian mix) - PE dampscherm 0.14 m dragend houtskelet (behandeld hout) 0.12 m RW isolatie tussen houtskelet - waterbestendige OSB plaat - waterscherm - behandelde lariksplanken (Belgian mix) op behandelde houten onderstructuur (Belgian mix)	ONBEHANDELD HOOTSKELET MET NATUURGEVERFDE GIPSVEZELPLAAT EN ONBEHANDELDE LARIKSPLANKEN 1 laag kalkzandsteen 0.14 m onderaan - natuurverf op gipsvezelplaat - gipsvezelplaat op houten onderstructuur (inheems hout) - harde houtvezelplaat (als dampscherm) 0.14 m dragend houtskelet (onbehandeld inheems hout) 0.14 m cellulose isolatie tussen houtskelet - waterbestendige isolerende houtvezelplaat (0.018 m) - streekeigen onbehandelde lariksplanken op onbehandelde houten onderstructuur (inheems hout)
Binnenwanden – dragend	BEPLEISTERDE EN GEVERFDE SNELBOUW BAKSTEEN - verf op gipspleister 0.01 m gipspleister op	BEHANDELD HOOTSKELET MET GEVERFDE GIPSKARTONPLAAT - verf op gipskartonplaat - gipskartonplaat (0.0125	ONBEHANDELD HOOTSKELET MET NATUURGEVERFDE GIPSVEZELPLAAT natuurverf op

	• metselwerk • 0.14 m snelbouwbaksteen • 0.01 m gipspleister op metselwerk • verf op gipspleister	• m) op houten onderstructuur • 0.14 m dragend houtskelet (behandeld hout) • 0.14 m RW isolatie tussen skelet • gipskartonplaat (0.0125 m) op houten onderstructuur • verf op gipskartonplaat	• gipsvezelplaat • gipsvezelplaat (0.0125 m) op houten onderstructuur (inheems hout) • 0.14 m dragend houtskelet (onbehandeld hout) • 0.14 m cellulose isolatie tussen skelet • gipsvezelplaat (0.0125 m) op houten onderstructuur • natuurverf op gipsvezelplaat
Binnenwanden – niet-dragend	BEPLEISTERDE EN GEVERFDE SNELBOUW BAKSTEEN • verf op gipspleister • 0.01 m gipspleister op metselwerk • 0.09 m snelbouwbaksteen • 0.01 m gipspleister op metselwerk • verf op gipspleister	BEHANDELD HOUTSKELET MET GEVERFDE GIPSKARTONPLAAT • verf op gipskartonplaat • gipskartonplaat (0.0125 m) op houten onderstructuur • 0.10 m niet-dragend houtskelet (behandeld hout) • 0.10 m RW isolatie tussen skelet • gipskartonplaat (0.0125 m) op houten onderstructuur • verf op gipskartonplaat	ONBEHANDELD HOUTSKELET MET NATUURGEVERFDE GIPSVEZELPLAAT • natuurverf op gipsvezelplaat • gipsvezelplaat (0.0125 m) op houten onderstructuur • 0.10 m niet-dragend houtskelet (onbehandeld hout) • 0.10 m cellulose isolatie tussen skelet • gipsvezelplaat (0.0125 m) op houten onderstructuur • natuurverf op gipsvezelplaat
Verdiepingsvloer	KERAMISCHE TEGELS OP BETONNEN WELFELS • verf op gipspleister • 0.012 m gipspleister op beton • 0.12 m voorgespannen betonnen welfsels • 0.05 m gewapende druklaag • 0.05 m ongewapende cementgebonden dekvloer • XPS randisolatie • tegelplint • keramische tegels	HOUTEN PARKET OP HOUTEN ROOSTERING • verf op gipskartonplaat • gipskartonplaat (0.0125 m) op houten onderstructuur • PE dampscherm • 0.22 m houten roostering (balken, behandeld hout, Belgian mix) • 0.10 m RW isolatie tussen roostering (om akoestische redenen) • 0.12 m luchtspouw tussen roostering • OSB vloerplaat • 0.03 m RW isolatie op de vloer • PE scheidingslaag • 2 gipskartonplaten (2 x 0.0125 m) • houten plint • houten parket	LINOLEUM OP ONBEHANDELD HOUTEN ROOSTERING • natuurverf op gipsvezelplaat • gipsvezelplaat (0.0125 m) op houten onderstructuur • 0.22 m houten roostering (balken, onbehandeld hout) • 0.22 m cellulose isolatie tussen roostering (om akoestische redenen) • OSB vloerplaat • 0.04 m isolerende houtvezel ondervloerplaat • 2 gipsvezelplaten (2 x 0.0125 m) • 0.004 m egalisatielaag van cementmortel • linoleum vloerplint • linoleum vloerbedekking
Hellend dak	BEHANDELD HOUTEN GORDINGEN EN KEPERS EN KLEIDAKPANNEN • behandeld houten muurplaat (Belgian mix) • verf op gipskartonplaat • gipskartonplaat op houten onderstructuur (Belgian mix) • PE dampscherm • behandeld houten gordingen	BEHANDELD HOUTEN GORDINGEN EN KEPERS EN KLEIDAKPANNEN • behandeld houten muurplaat (Belgian mix) • verf op gipskartonplaat • gipskartonplaat (0.0125 m) op houten onderstructuur (Belgian mix) • PE dampscherm • behandeld houten	ONBEHANDELD HOUTEN GORDINGEN EN KEPERS EN ONBEHANDELD HOUTEN SHINGLES • onbehandeld houten muurplaat (streekeigen hout) • natuurverf op gipsvezelplaat • gipsvezelplaat (0.0125 m) op houten onderstructuur (streekeigen hout)

	0.06 m (K42) of 0.105 m (K32) behandelde houten latten voor isolatie tussen gordingen 0.06 m (K42) of 0.12 m (K32) RW isolatie tussen gordingen 0.165 m (K42) of 0.105 m (K32) spouw tussen gordingen - behandeld houten kepers 0.075 m RW isolatie tussen kepers - dampopen PP onderdakfolie - behandeld houten panlatten - behandeld houten tengellatten - kleidakpannen - zinken hanggoot - zinken regenwaterafvoerpijpen OPM: Bij 6 cm isolatie: extra latten tussen de isolatie Bij 12 cm isolatie: extra latten onder de isolatie	- gordingen 0.105 m behandelde houten latten voor isolatie tussen gordingen 0.12 m RW isolatie tussen gordingen 0.105 m spouw tussen gordingen - behandeld houten kepers 0.075 m RW isolatie tussen kepers - houtvezel onderdakplaat - behandeld houten panlatten - behandeld houten tengellatten - kleidakpannen - zinken hanggoot - zinken regenwaterafvoerpijpen OPM: Bij 12 cm isolatie: extra latten onder de isolatie	- harde isolerende houtvezelplaat - onbehandeld houten gordingen (streekeigen hout) 0.22 m onbehandeld houten latten voor isolatie tussen gordingen 0.22 m cellulose isolatie tussen gordingen - onbehandeld houten kepers (streekeigen hout) 0.075 m cellulose isolatie tussen kepers - isolerende houtvezel onderdakplaat (0.022 m) - streekeigen onbehandeld houten tengellatten - streekeigen onbehandeld houten panlatten - shingles uit streekeigen, onbehandeld hout - zinken hanggoot - zinken regenwaterafvoerpijpen
Ramen	ALUMINIUM RAMEN MET THERMISCH VERBETERD DUBBEL GLAS - aluminium raamkader - thermisch verbeterd dubbel glas	HOUTEN RAMEN MET THERMISCH VERBETERD DUBBEL GLAS - behandeld houten raamkader - thermisch verbeterd dubbel glas	HOUTEN RAMEN MET THERMISCH VERBETERD DUBBEL GLAS - behandeld houten raamkader - thermisch verbeterd dubbel glas
Deuren	BINNEN- EN BUITENDEUREN - binnendeur: MDF, gelakt - buitendeur: aluminium kader, volledig beglaasd	HOUTEN BINNEN- EN BUITENDEUREN - binnendeur: MDF, gelakt - binnendeur: massief hout, gelakt - buitendeur: houten kader, volledig beglaasd	HOUTEN BINNEN- EN BUITENDEUREN - binnendeur: MDF, gelakt - binnendeur: massief hout, gelakt - buitendeur: houten kader, volledig beglaasd
Garagepoort	ALUMINIUM GARAGEPOORT aluminium garagepoort	HOUTEN GARAGEPOORT houten garagepoort	HOUTEN GARAGEPOORT houten garagepoort

Tabel 7: Opbouw van de geanalyseerde vrijstaande woningen: referentie, houtskeletbouw en bio-ecologische houtskeletbouw

BOUWELEMENT	METAALSKELETBOW	MAXIMALE RECYCLAGE	IFD
Funderingen	BETONNEN VORSTRAND 0.80 m uitgraven vorstrand 0.80 m vorstrand uit licht gewapend beton	VORSTRAND IN BETON O.B.V. MENGPUIN-GRANULATEN 0.80 m uitgraven strook 0.80 m vorstrand uit licht gewapend beton op basis van mengpuingranulaten	BETONNEN VORSTRAND 0.80 m uitgraven vorstrand 0.80 m vorstrand uit licht gewapend beton
Vloer op volle grond	KERAMISCHE TEGELS OP IN SITU BETONPLAAT 0.30 m uitgraven put 0.10 m gecompacteerd zand - PE scheidingslaag 0.15 m in situ gestorte	GERECYCLEERD RUBBER SOEPELE VLOERBEKLEDING OP IN SITU BETONPLAAT OP BASIS VAN MENGPUINGRANULATEN 0.30 m uitgraving put 0.10 m gecompacteerd	KERAMISCHE TEGELS OP IN SITU BETONPLAAT 0.30 m uitgraven put 0.10 m gecompacteerd zand - PE scheidingslaag 0.15 m in situ gestorte

	gewapend betonnen vloerplaat • 0.05 m anhydriet gebonden chape • 0.04 m gespoten PUR isolatie op de vloer • 0.05 m ongewapende cementgebonden dekvloer • XPS randisolatie • tegelplint • 0.01 m keramische tegels	gerecycleerde zandlaag • PE scheidingslaag gerecycleerd • 0.15 m in situ gestorte gewapend betonnen vloerplaat op basis van mengpuingranulaten 7/20 • PE dampscherm gerecycleerd • ongewapende cementgebonden thermische dekvloer op basis van gerecycleerd PUR (0.05 m) (thermogran floor) • houtvezelisolatieplaat (pavatherm) • houtvezelplaat (0.015 m) (pavafloor) • gerecycleerd rubber (autobanden) – EPDM soepele vloerbekleding (0.01 m) (regupol soft stone) • plint uit gerecycleerd rubber (autobanden)	gewapend betonnen vloerplaat • 0.05 m cementgebonden chape • 0.10 m PUR isolatie op de vloer • 0.05 m ongewapende cementgebonden dekvloer • XPS randisolatie • tegelplint • 0.01 m keramische tegels
Buitenwanden / gevels	STAALSKELET MET GEVERFDE GIPSKARTONPLATEN EN METALEN GEVELBEKLEDING • verf op gipskartonplaat • gipskartonplaat (0.0125 m) • OSB-plaat 0.018 m, met afgeplakte voegen, aansluitfolies voor luchtdichte aansluiting vloer-wand, wand-ramen • metalen draagstructuur 0.20 m (thermoprofielen), waartussen 0.20 m RW isolatie • waterbestendige isolerende houtvezelplaat 0.018 m • metalen secundaire structuur 0.05 m, waartussen geventileerde spouw • metalen gevelbekleding, thermisch verzinkt gecoat staal VARIANT: • metalen draagstructuur 0.15 m waartussen 0.07 m RW isolatie • extra EPS isolatielaag (0.05 m) • buitenpleister op EPS isolatie • overige componenten zijn dezelfde als voor de basisoplossing	BEPLEISTERDE EN GEVERFDE GERECECLEERDE SNELBOUW BAKSTEEN EN GEVELSTEEN • verf op gipspleister • 0.01 m gerecycleerde gipspleister op metselwerk • gerecycleerde snelbouwbaksteen 0.14 m • spouw 0.03 m • spouwankers (gerecycleerd) • isolatieclips (gerecycleerd) • 0.14 m gerecycleerde RW isolatie in de spouw • handvorm gerecycleerde gevelsteen M 50	BEPLEISTERDE EN GEVERFDE BETONSTRUCTUUR EN GEVELSTEEN • verf op gipspleister • 0.01 m gipspleister op beton • 0.14 m betonnen draagstructuur • 0.03 m spouw • 0.18 m spouwankers • isolatieclips • 0.11 m RW isolatie in de spouw • 0.09 m handvorm gevelsteen M 50

Binnenwanden – dragend	STAALSKELET MET GEVERFDE GIPSKARTONPLAAT • verf op gipskartonplaat • dubbele gipskartonplaat (2 x 0.0125 m) • dragend staalskelet 0.10 m, waartussen 0.10 m RW isolatie • dubbele gipskartonplaat (2 x 0.0125 m) • verf op gipskartonplaat	BEPLEISTERDE EN GEVERFDE GERECYCLEERDE SNELBOUW BAKSTEEN • verf op gipspleister • 0.01 m gerecycleerde gipspleister op metselwerk • gerecycleerde snelbouwbaksteen 0.14 m • 0.01 m gerecycleerde gipspleister op metselwerk • verf op gipspleister	BEPLEISTERDE EN GEVERFDE SNELBOUW BAKSTEEN • verf op gipspleister • 0.01 m gipspleister op metselwerk • 0.14 m snelbouwbaksteen • 0.01 m gipspleister op metselwerk • verf op gipspleister
Binnenwanden – niet-dragend	STAALSKELET MET GEVERFDE GIPSKARTONPLAAT • verf op gipskartonplaat • dubbele gipskartonplaat (2 x 0.0125 m) • niet-dragend staalskelet 0.10 m, waartussen 0.10 m RW isolatie • dubbele gipskartonplaat (2 x 0.0125 m) • verf op gipskartonplaat	GERECYCLEERDE METALSTUD MET GEVERFDE GIPSKARTONPLAAT • verf op gipskartonplaat • gerecycleerde gipskartonplaat (0.0125 m) • 0.10 m gerecycleerde metalstud structuur • 0.10 m gerecycleerde PUR schuim tussen metalstud (agglifoam) • gerecycleerde gipskartonplaat (0.0125 m) • verf op gipskartonplaat	METALSTUD MET GEVERFDE GIPSKARTONPLAAT • verf op gipskartonplaat • gipskartonplaat (0.0125 m) • 0.10 m niet dragende metalstud structuur • 0.10 m RW isolatie tussen metalstud • gipskartonplaat (0.0125 m) • verf op gipskartonplaat
Verdiepingsvloer	HOUDEN PARKET OP METALEN ROOSTERING • verf op gipskartonplaat • gipskartonplaat (0.0125 m) • metalen onderstructuur 0.05 m, ontkoppeld van structuur om akoestische redenen • metalen structuur 0.20 m • minerale wol 0.16 m tussen structuur • dubbele gipskartonplaat (2 x 0.0125 m) • OSB vloerplaat 0.018 m • XPS randisolatie • houten plint • houten parket 0.012 m	GERECYCLEERD RUBBER SOEPELE VLOER-BEKLEDING OP BETONNEN WELFSELS O.B.V. MENGPUINGRANULATEN • verf op gipspleister • 0.012 m gerecycleerde gipspleister op beton • voorgespannen welfsels 0.12 m uit gerecycleerd beton • 0.05 m gewapende druklaag • ongewapende cementgebonden thermische dekvloer op basis van gerecycleerd PUR (0.05 m) (thermogran floor) • houtvezelisolatieplaat 0.04 m (pavatherm) • houtvezelplaat (0.015 m) (pavafloor) • gerecycleerd rubber (autobanden) – EPDM soepele vloerbekleding (0.01 m) (regupol soft stone) • plint uit gerecycleerd rubber (autobanden)	KERAMISCHE TEGELS OP BETONNEN WELFSELS • verf op gipspleister • 0.012 m gipspleister op beton • 0.12 m voorgespannen betonnen welfsels • 0.05 m gewapende druklaag • 0.05 m ongewapende cementgebonden dekvloer • XPS randisolatie • tegelplint • keramische tegels

Hellend dak	METALEN DAKSTRUCTUUR EN DAKBEDEKKING IN GEPROFIEERDE METALEN SANDWICHPANELEN - behandeld houten muurplaat (Belgian mix) - verf op gipskartonplaat - gipskartonplaat (0.0125 m) - metalen onderstructuur (0.05 m) - metalen dakstructuur 0.20 m - zelfdragende sandwich-elementen met boven- en onderzijde in geprofileerde thermisch gezinkte gecoate metaalplaten (0.20 m) - zinken hanggoot - zinken regenwaterafvoerpijpen VARIANT: - open dakpanelen met GW isolatie (0.101 m) - zinken profielplaten met staande naad, verlucht op bebording - houten bebordingsplanken (0.022 m) - zelfde muurplaat, binnenafwerking en draagstructuur als basisoplossing	BEHANDELD HOUTEN GORDINGEN EN KEPERS EN GERECYCLEERDE KUNSTSTOF DAKPANNEN - behandeld houten muurplaat (Belgian mix) - verf op gipskartonplaat - gerecycleerde gipskartonplaat (0.0125 m) op houten onderstructuur (Belgian mix) - PE dampscherm gerecycleerd - behandeld houten gordingen 0.105 m behandeld houten latten voor isolatie tussen gordingen 0.12 m gerecycleerd RW isolatie tussen gordingen 0.105 m spouw tussen gordingen - behandeld houten kepers 0.075 m gerecycleerde RW isolatie tussen kepers - gelijmde houtvezel onderdakplaat - behandeld houten tengellatten - behandeld houten panlatten - vezelversterkte kunststof dakpannen - hanggoot uit gerecycleerd zink	BEHANDELD HOUTEN GORDINGEN EN KEPERS EN KLEIDAKPANNEN - behandeld houten muurplaat (Belgian mix) - verf op gipskartonplaat - gipskartonplaat op houten onderstructuur (Belgian mix) - PE dampscherm - behandeld houten gordingen 0.10 m behandelde houten latten voor isolatie tussen gordingen 0.12 m RW isolatie tussen gordingen 0.105 m spouw tussen gordingen - behandeld houten kepers 0.075 m RW isolatie tussen kepers - dampopen PP onderdakfolie - behandeld houten panlatten - behandeld houten tengellatten - kleidakpannen - zinken hanggoot - zinken regenwaterafvoerpijpen
Ramen	ALUMINIUM RAMEN MET THERMISCH VERBETERD DUBBEL GLAS - aluminium raamkader - thermisch verbeterd dubbel glas	GERECYCLEERD ALUMINIUM RAMEN MET THERMISCH VERBETERD GERECYCLEERD DUBBEL GLAS - gerecycleerd aluminium raamkader - thermisch verbeterd dubbel glas (gerecycleerd)	ALUMINIUM RAMEN MET THERMISCH VERBETERD DUBBEL GLAS - aluminium raamkader - thermisch verbeterd dubbel glas
Deuren	ALUMINIUM BUITENDEUREN, STALEN BINNENDEUREN - binnendeur: staalkozijn en geïsoleerd deurblad - buitendeur: aluminium kader volledig beglaasd	BINNEN- EN BUITENDEUREN - binnendeur: gerecycleerd MDF, gelakt - buitendeur: gerecycleerd aluminium kader, volledig beglaasd	BINNEN- EN BUITENDEUREN - binnendeur: MDF, gelakt - buitendeur: aluminium kader, volledig beglaasd
Garagepoort	ALUMINIUM GARAGEPOORT aluminium garagepoort	GERECYCLEERD ALUMINIUM GARAGEPOORT gerecycleerd aluminium garagepoort	ALUMINIUM GARAGEPOORT aluminium garagepoort

Tabel 8: Opbouw van de geanalyseerde vrijstaande woningen: metaalskeletbouw, maximale recyclage en IFD

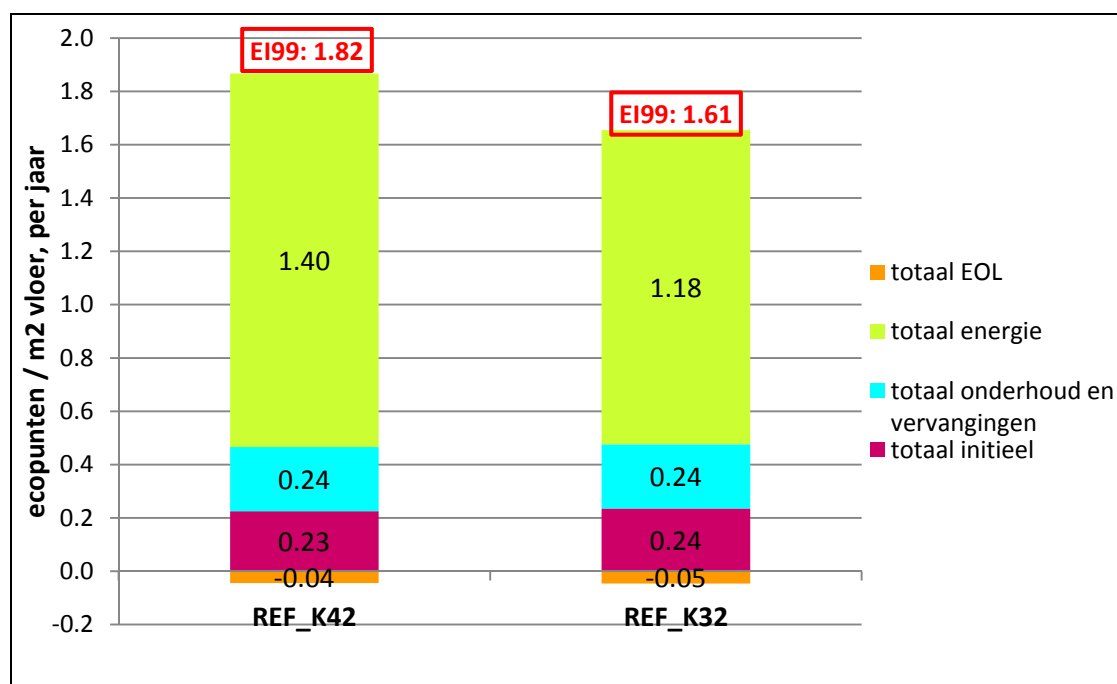
2.1.4.2 Globale milieu-impact van de woning

Vergelijking referentiewoning K42 met referentiewoning K32

Om het belang van het isolatiepeil op de globale milieu-impact van de woning na te gaan, wordt eerst een vergelijking gemaakt tussen twee varianten van de vrijstaande woning, beiden gebouwd volgens het traditionele bouwconcept. De ene variant heeft een globaal isolatiepeil van K42 en voldoet daarmee dus aan de huidige vereisten van de energieprestatieregeling. De andere variant heeft een globaal isolatiepeil van K32 en biedt dus de mogelijkheid om na te gaan of een verdere verbetering van het isolatiepeil al of niet een gunstige invloed heeft op de globale levenscyclus milieu-impact van de woning.

Figuur 21 geeft het overzicht van de milieu-impact van de beide woningen, opgesplitst in de verschillende levenscyclusfasen. Uit deze figuur kunnen we afleiden dat de totale milieu-impact van de K42-woning hoger is dan die van de K32-woning, namelijk respectievelijk 1.82 en 1.61 ecopunten per m² vloer en per jaar. Dit verschil is volledig toe te schrijven aan het verschil in energieverbruik, dat daalt met 0.22 ecopunten van 1.40 tot 1.18 ecopunten per m² vloer per jaar. We stellen immers vast dat de milieu-impact voor alle materiaalgerelateerde aspecten van het gebouw nagenoeg dezelfde is. De toename in initiële milieu-impact, doordat meer isolatie wordt toegepast, bedraagt slechts 0.01 ecopunt per m² vloer per jaar, wat overeenkomt met een stijging van 4% van de initiële milieu-impact. Deze (beperkte) stijging wordt echter volledig gecompenseerd door de milieuwinsten in de eindelevensduurfase.

We kunnen hieruit besluiten dat het isolatieniveau van de woning wel degelijk een belangrijke invloed heeft op de totale milieu-impact van de woning. De invloed van het extra materiaalgebruik voor het behalen van een beter isolatiepeil op de milieu-impact is echter verwaarloosbaar. Daarom wordt er verder ook geen gedetailleerde vergelijking gemaakt van de milieu-impact van de verschillende bouwelementen.

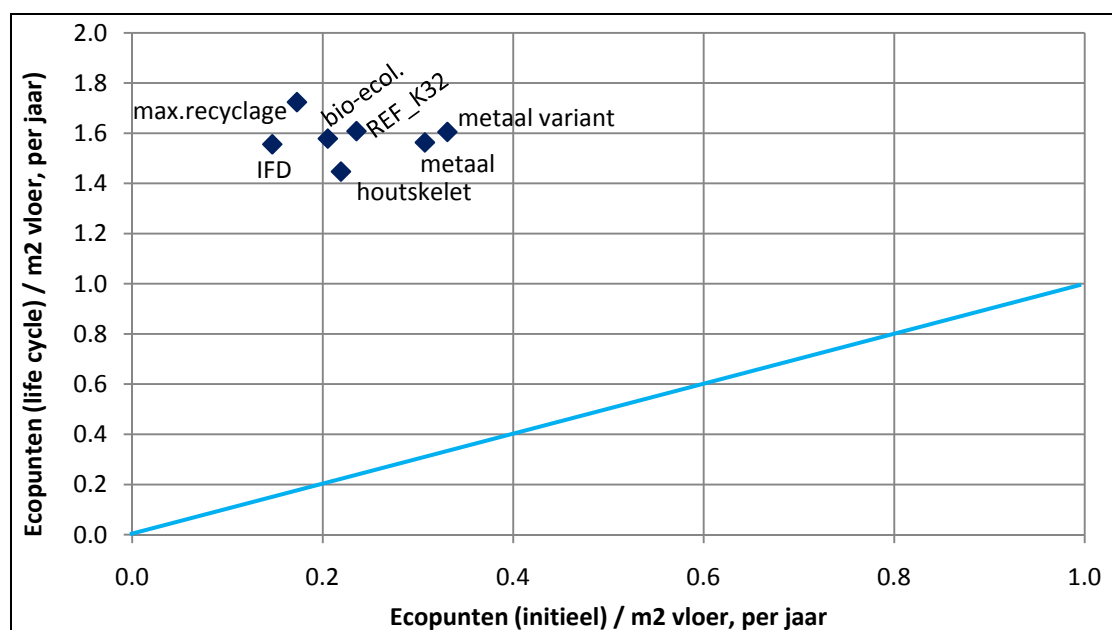


Figuur 21: Vergelijking van de totale milieu-impact van de vrijstaande woning met K42 ten opzichte van K32, met verdeling in levenscyclusfasen (ecopunten per m² vloer en per jaar)

Vergelijking van de verschillende bouwconcepten

Voor de rest van de analyses wordt uitgegaan van eenzelfde isolatiepeil voor alle varianten van de vrijstaande woning, namelijk K32. Dit is van belang, gezien de belangrijke invloed, die het energieverbruik heeft op de totale milieu-impact van de woning (zie vorige paragraaf). Doordat er bij de vergelijking van de bouwconcepten uitgegaan wordt van eenzelfde isolatiepeil voor elk van de varianten, wordt dus gegarandeerd dat het energieverbruik van de woning de milieu-impactanalyse niet domineert.

In de analyse van de verschillende bouwconcepten voor de vrijstaande woning wordt allereerst een vergelijking gemaakt van de initiële milieu-impact ten opzichte van de milieu-impact voor de volledige levenscyclus (zie Figuur 22). De blauwe lijn op de grafiek geeft aan waar de initiële milieu-impact gelijk is aan de levenscyclus milieu-impact. Het feit dat de resultaten van de verschillende bouwconcepten veel hoger liggen dan deze lijn, toont aan dat de impacten uit de andere levenscyclusfasen (schoonmaak, onderhoud, vervangingen, energieverbruik en einde-levensduur) belangrijker zijn in de totale milieu-impact dan de initiële fase. Deze onderliggende verhoudingen worden verder nog meer in detail besproken.

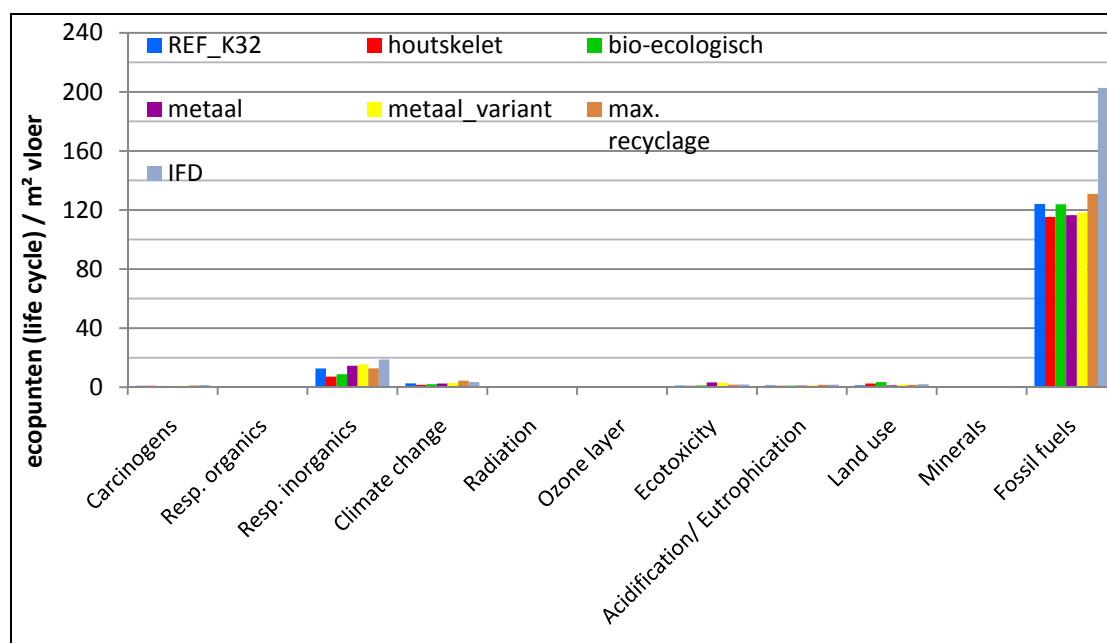


Figuur 22: Vergelijking initiële milieu-impact versus levenscyclus milieu-impact van de vrijstaande woning (ecopunten per m² vloer en per jaar)

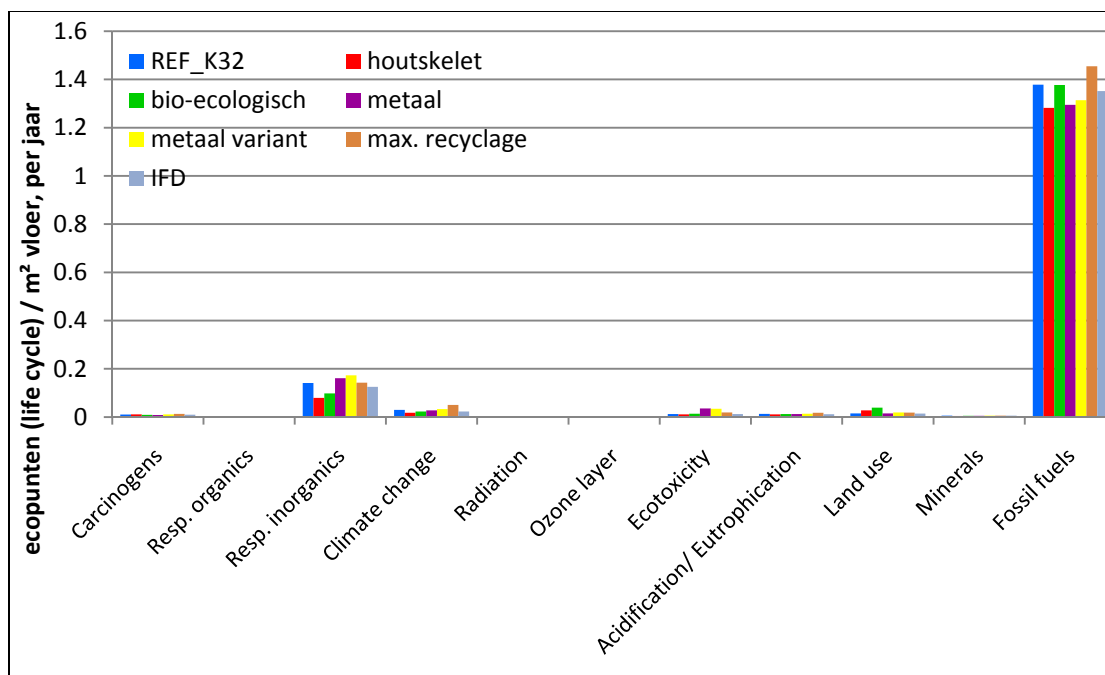
De bovenstaande grafiek toont tevens aan dat de milieu-impact voor de verschillende bouwconcepten op levenscyclustermin niet zo sterk afwijkt van de referentiewoning. De houtskeletbouwwoning blijkt de grootste milieu-winst op te leveren. De levenscyclus milieu-impact van deze woning ligt namelijk 10% lager dan voor de referentiewoning en ook initieel ligt de milieu-impact van de houtskeletbouwwoning bijna 7% lager dan de traditionele woning. Aan de andere kant zien we dat de variant met maximale recyclage op levenscyclustermin ongeveer 7% meer milieubelastend is, ondanks het feit dat de initiële milieu-impact meer dan 25% lager ligt dan de traditioneel gebouwde woning. De beide metaalskeletbouwvarianten blijken een aanzienlijk hogere initiële milieu-impact te genereren dan de traditioneel gebouwde woning (respectievelijk 30% en 40% hoger dan de referentie). Wanneer we echter de levenscyclusimpact bekijken, ligt de milieu-impact zelfs iets lager dan bij de

referentie (respectievelijk 2.8% en 0.2%). Bij het IFD concept stellen we een gelijkaardig effect vast: de initiële milieu-impact verschilt aanzienlijk van die van de referentiewoning (37% lager), maar de levenscyclusimpact is wel van dezelfde grootteorde (3% lager). De milieu-impact van de bio-ecologische variant, ten slotte, blijkt zowel initieel (12%) als voor de volledige levenscyclus (2%) iets lager te liggen dan de milieu-impact van de referentiewoning.

In de volgende grafieken wordt de globale milieu-impact van de verschillende bouwconcepten verder in detail bestudeerd (per milieu-indicator). In Figuur 23 wordt de totale levenscyclusmilieu-impact weergegeven voor de volledige levensduur van de woning. Zoals reeds eerder vermeld, dient hierbij rekening gehouden te worden met de langere levensduur van de IFD variant, wat de hogere totale impact verklaart. In Figuur 24, waar de resultaten omgerekend worden naar een jaarlijkse milieu-belasting, zien we immers dat de resultaten voor de IFD variant in dezelfde grootteorde liggen als deze van de andere bouwconcepten, zoals ook hierboven reeds werd aangegeven.



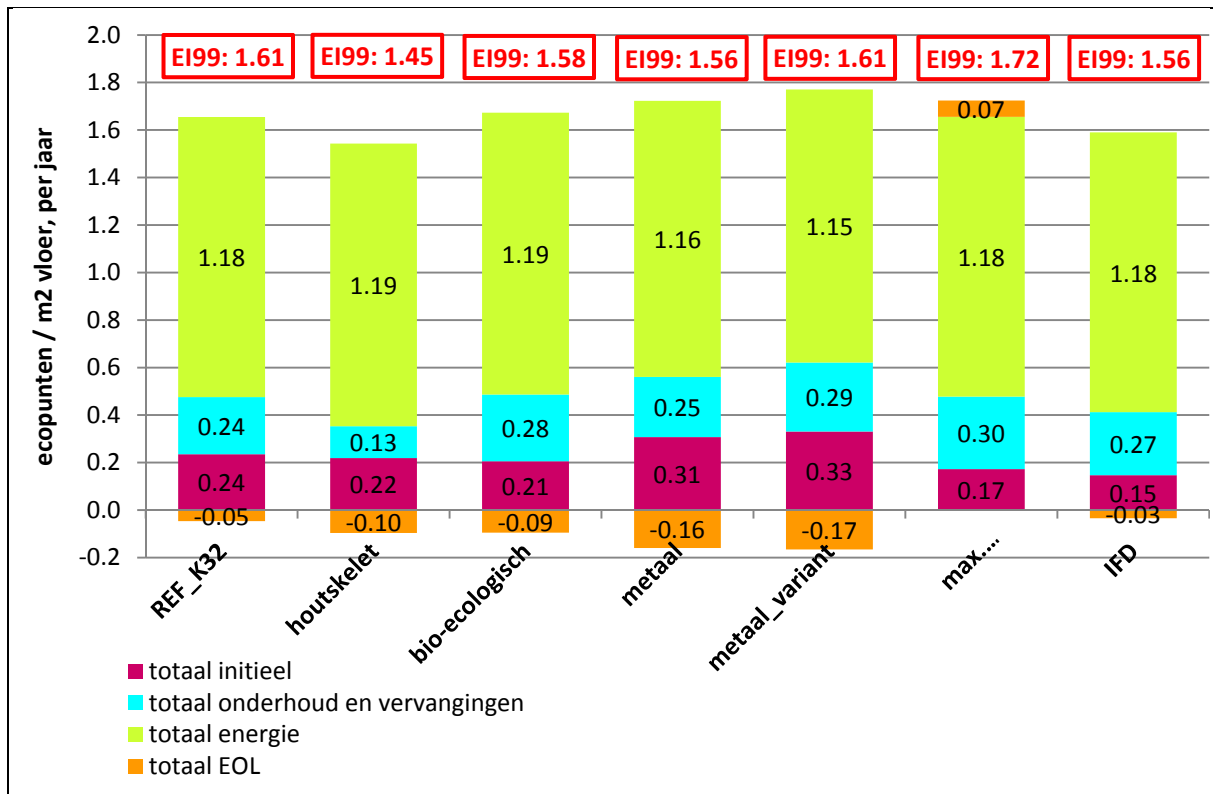
Figuur 23: Vergelijking van de milieu-impact per milieu-indicator voor de vrijstaande woning (ecopunten per m² vloer voor de volledige levensduur)



Figuur 24: Vergelijking van de milieu-impact per milieu-indicator voor de vrijstaande woning (ecopunten per m² vloer en per jaar)

Uit Figuur 24 kunnen we concluderen dat de grootste milieu-impact voor elk van de onderzochte bouwconcepten toe te schrijven is aan de uitputting van fossiele brandstoffen. Deze milieu-impact is grotendeels te wijten aan het energieverbruik tijdens de gebruiksfase van de woning en de productie van de bouwmaterialen. In mindere mate is de productie van bouwmaterialen verantwoordelijk voor respiratoire effecten veroorzaakt door anorganische stoffen, zoals fijn stof (PM 2,5) en SO₂ en NO_x emissies. De milieubelasting van de andere impactcategorieën blijkt verwaarloosbaar te zijn. Verder kunnen we vaststellen dat de rangschikking van de verschillende bouwconcepten voor de belangrijkste impactcategorieën niet steeds dezelfde is. Bij beide milieu-indicatoren zijn het echter wel dezelfde drie concepten, die de grootste milieubelasting genereren, met name maximale recyclage, de variant van de metaalskeletbouwwooning en de traditionele woning.

Wanneer we de totale milieu-impact uitdrukken door middel van de Eco-Indicator 99 score (zie Figuur 25), kunnen we, zoals ook al eerder gezegd, besluiten dat de verschillen in de levenscyclusmilieu-impact tussen de bouwconcepten eerder beperkt zijn. Wanneer we deze totale milieu-impact meer in detail opdelen in de milieu-impact per levenscyclusfase, zien we dat het energieverbruik tijdens de gebruiksfase verantwoordelijk is voor veruit de grootste milieu-impact. De onderlinge verschillen in de totale milieu-impactscore zijn echter te wijten aan de verschillende milieubelasting voor de andere levenscyclusfasen. De verklaring hiervoor ligt in de verschillende toegepaste bouwtechnische oplossingen bij elk van de bouwconcepten voor de verschillende bouwelementen. Hierop wordt verder ingegaan in de volgende paragrafen.



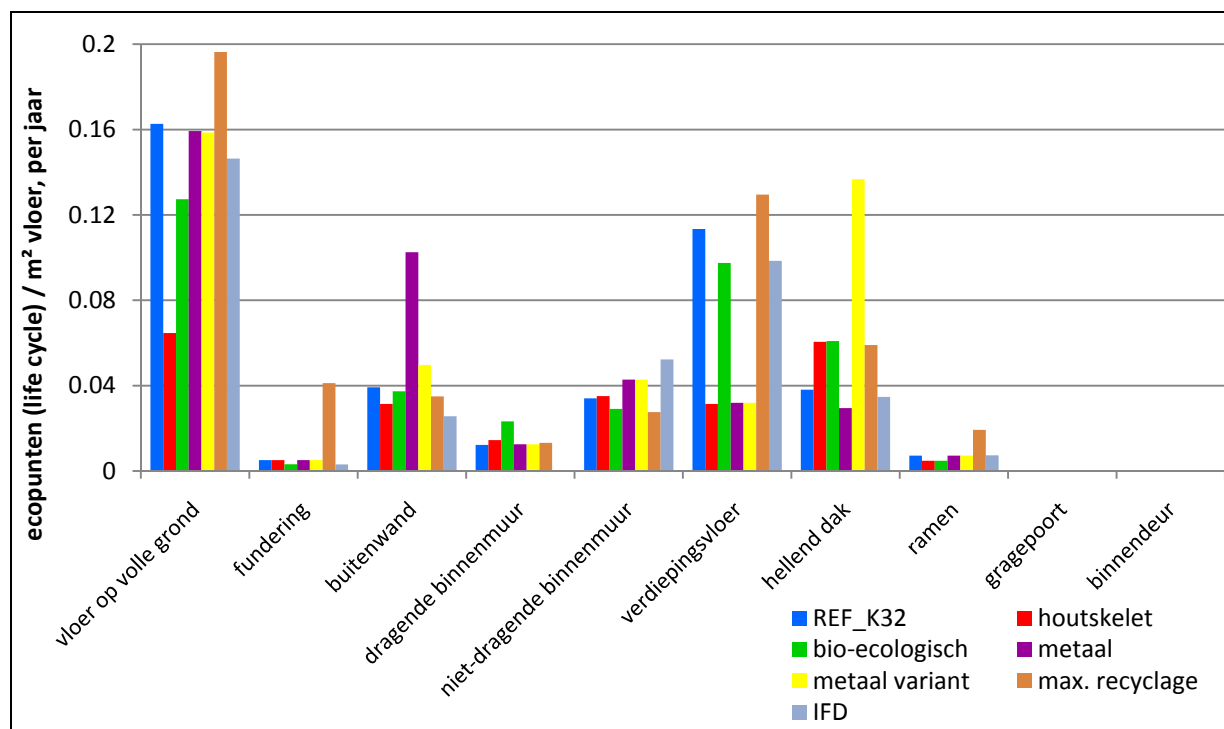
Figuur 25: Totale milieu-impact voor de vrijstaande woning, met verdeling in levenscyclus-fasen (ecopunten per m² vloer en per jaar).

Wat ook opvalt in Figuur 25 is de afwijkende milieubelasting voor het concept maximale recyclage voor wat betreft de einde-levensduurfase (EOL). Bij de andere bouwconcepten krijgen we op het einde van de levensduur milieuwinsten (zichtbaar als negatieve ecopunten) ten gevolge van de recyclage van het sloopaafval tot secundaire grondstoffen, die in een tweede cyclus opnieuw ingezet kunnen worden en zodoende primaire grondstoffen uitsparen. Dit gaat gepaard met een vermeden productie van primaire grondstoffen (vb. grind) en dus met vermeden milieu-impacten op het einde van de levensduur van het gebouw. Bij het concept maximale recyclage wordt het voordeel van recyclage onder de vorm van vermeden primaire grondstoffen echter al ingerekend in de initiële milieu-impact (cf. lager cijfer dan bij de meeste andere bouwconcepten), omdat er uitgegaan wordt van (bijna) 100% gerecycleerde producten. Daardoor is er op het einde van de levensduur, wanneer er opnieuw gerecycleerd wordt, enkel een netto milieubelasting (zichtbaar als positieve ecopunten), die vooral te wijten is aan de milieu-impact van de recyclage-processen (die even groot of zelfs groter kan zijn dan de milieuwinsten ten gevolge van het uitsparen van primaire grondstoffen in de initiële fase). Deze laatste is sterk afhankelijk van de te recycleren materialen. Een keuze voor andere gerecycleerde materialen (vb. andere vloerbedekking dan deze bestaande uit gerecycleerde autobanden) kan namelijk aanleiding geven tot andere resultaten, gelet op de aanzienlijk uiteenlopende milieuprofielen voor de verschillende recyclagematerialen.

2.1.4.3 Milieu-impact van de verschillende bouwelementen

In Figuur 26 wordt een overzicht gegeven van het aandeel van de verschillende bouwelementen (exclusief energieverliezen) in de totale milieu-impact van de vrijstaande woning. Hierbij wordt de totale milieu-impact per bouwelement (rekening houdend met de hoeveelheid van elk element) uitgedrukt per m² vloer. Uit deze figuur blijkt dat er heel wat verschillen zijn tussen de verschillende bouwconcepten.

Globaal genomen kan men wel stellen dat het belangrijkste bouwelement van de vrijstaande woning de vloer op volle grond is. Daarnaast zijn ook de buitenwanden, de niet-dragende binnenmuur, de verdiepingsvloer en het hellend dak belangrijke elementen, hoewel het aandeel ervan in de totale milieu-impact van de woning sterk uiteenloopt voor de verschillende bouwconcepten. De dragende binnenmuren, ten slotte, hebben een kleiner, maar nog steeds niet te onderschatten belang in de totale milieubelasting. De overige bouwelementen, funderingen en binnen- en buitenschrijnwerk, dragen weinig bij tot de totale milieubelasting.

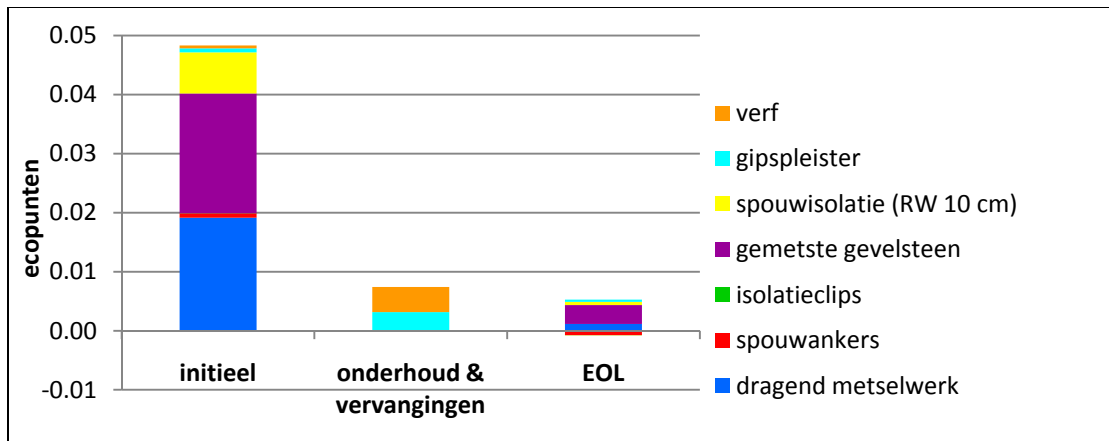


Figuur 26: Vergelijking voor de vrijstaande woning van de milieu-impact van de bouwelementen op woningniveau voor de verschillende bouwconcepten (ecopunten per m² vloer en per jaar)

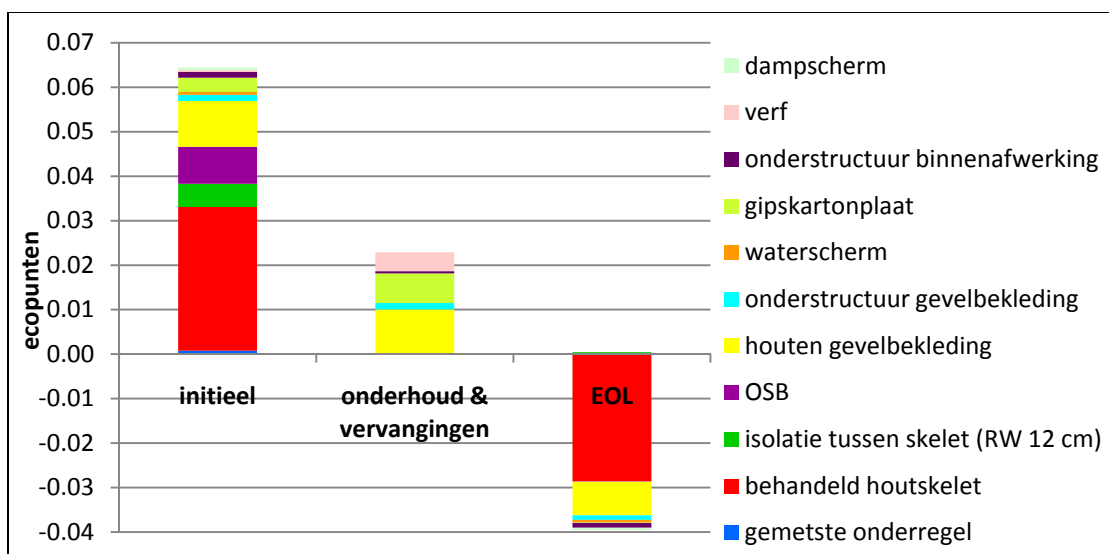
Eén van de elementen, waarbij de milieu-impact sterk varieert voor de verschillende bouwconcepten, is de buitenwand. Door een gedetailleerde analyse van dit element, kan nagegaan worden welke levenscyclusfase(n) en welke materialen verantwoordelijk zijn voor deze verschillen in milieu-impact. De resultaten van deze detailanalyse worden weergegeven in de volgende paragraaf.

2.1.4.4 Detailanalyse van de buitenwand

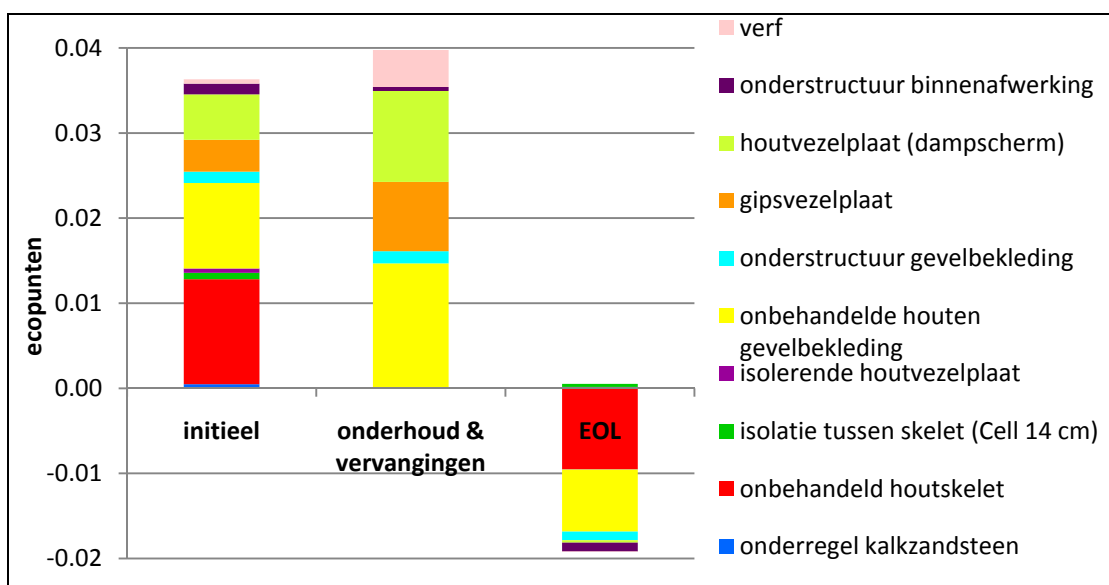
In de hierna volgende grafieken wordt een detailvoorstelling gemaakt van de milieu-impact van 1 m² buitenwand voor elk van de bouwconcepten. Hierbij wordt niet alleen een opsplitsing gemaakt in levenscyclusfasen, maar ook in de verschillende deelcomponenten van de buitenwand (verwerkte materialen). Bij de grafieken moet benadrukt worden dat de schaal niet steeds dezelfde is voor elk van de voorgestelde bouwconcepten. Het interval tussen de verschillende rasterlijnen is wel constant gehouden op 0.01 ecopunten, behalve voor de basismetaalskeletbouwvariant, waar de intervalafstand 0.02 ecopunten bedraagt. Wanneer de rasterlijnen dicht op elkaar staan, is de milieu-impact dus groter dan wanneer de rasterlijnen ver uit elkaar staan (cfr. hoogtelijnen op een reliëfkaart).



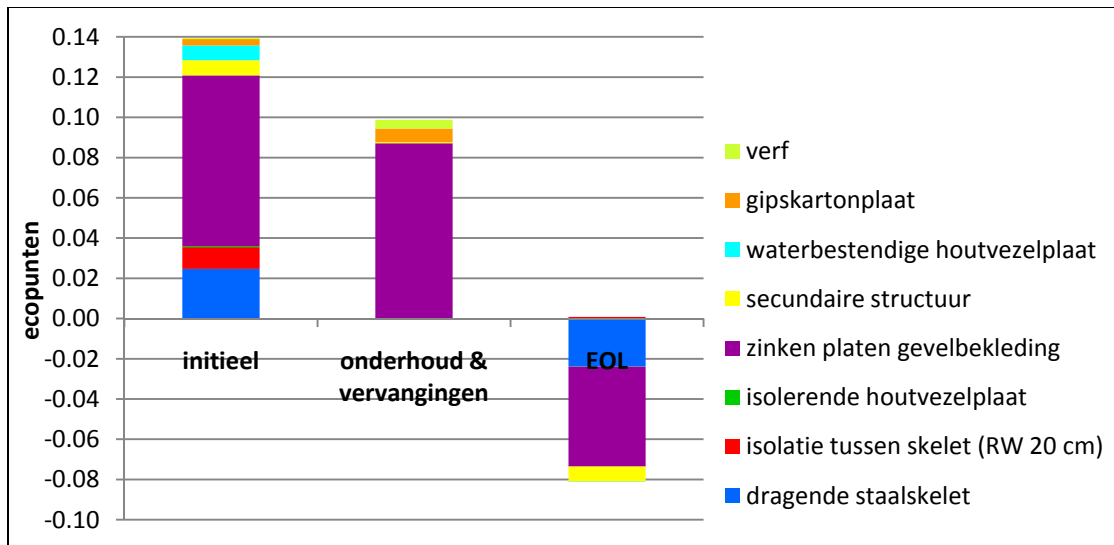
Figuur 27: Detailanalyse milieu-impact van 1 m² buitenwand van de referentie vrijstaande woning (ecopunten per jaar)



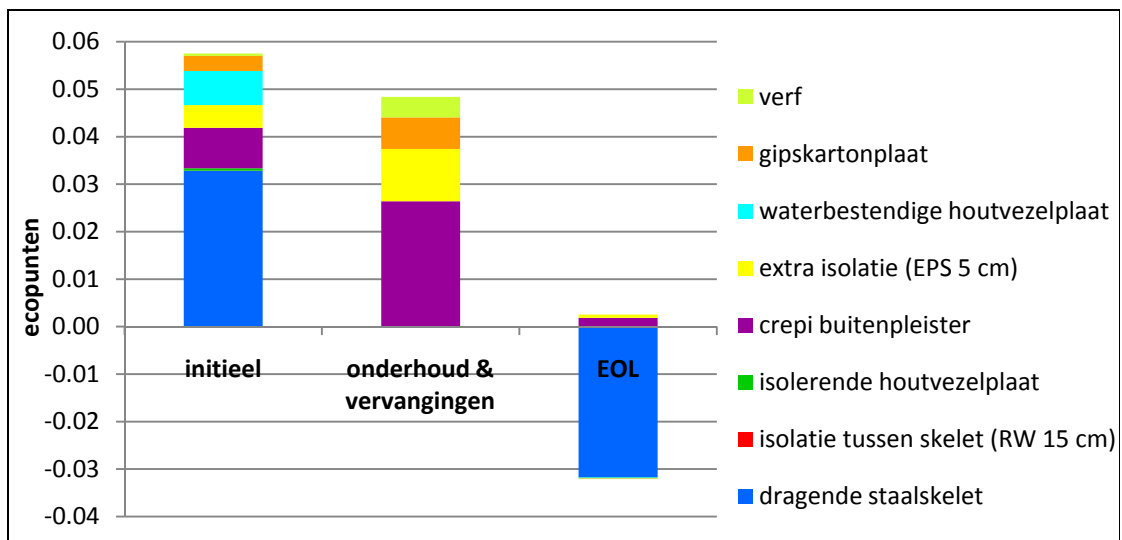
Figuur 28: Detailanalyse milieu-impact van 1 m² buitenwand van de houtskelet vrijstaande woning (ecopunten per jaar)



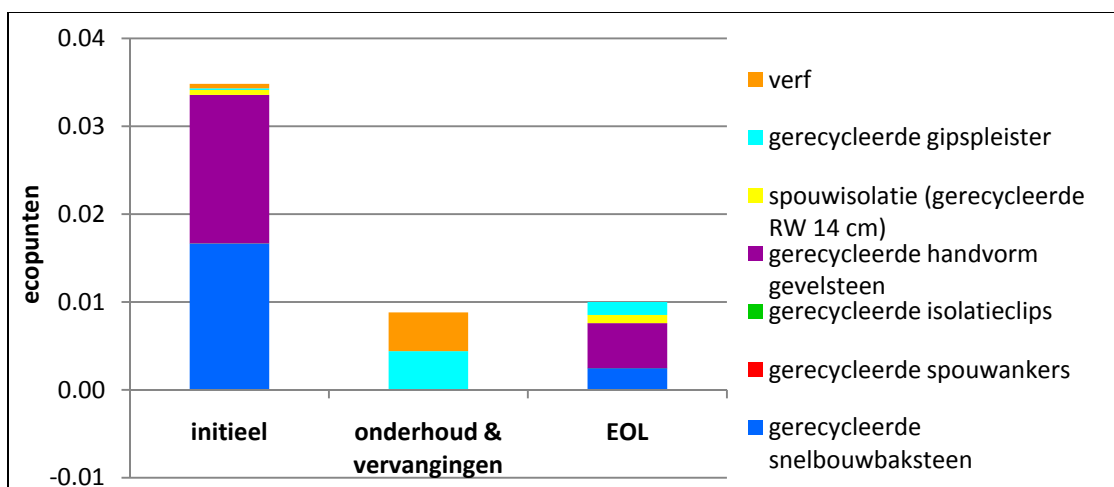
Figuur 29: Detailanalyse milieu-impact van 1 m² buitenwand van de bio-ecologische vrijstaande woning (ecopunten per jaar)



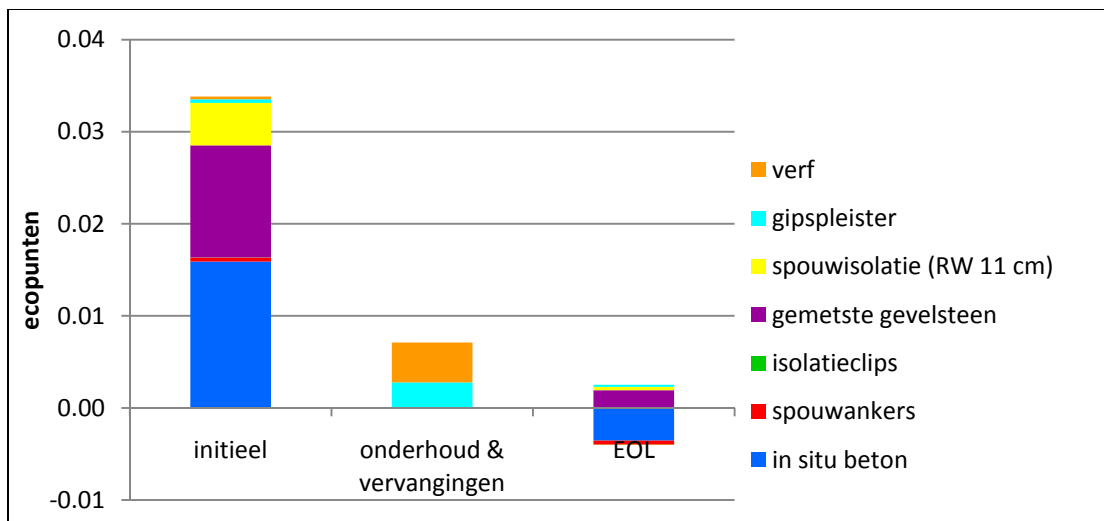
Figuur 30: Detailanalyse milieu-impact van 1 m² buitenwand van de basisoplossing van de metaalskeletbouw vrijstaande woning – zinken beplating (ecopunten per jaar)



Figuur 31: Detailanalyse milieu-impact van 1 m² buitenwand van de variant van de metaalskeletbouw vrijstaande woning – buitenpleister op isolatie (ecopunten per jaar)



Figuur 32: Detailanalyse milieu-impact van 1 m² buitenwand van de vrijstaande woning met maximale recyclage (ecopunten per jaar)



Figuur 33: Detailanalyse milieu-impact van 1 m² buitenwand van de IFD vrijstaande woning (ecopunten per jaar)

Uit de bovenstaande grafieken kan afgeleid worden dat voor alle bouwconcepten de initiële milieu-impact de grootste bijdrage levert aan de totale milieu-impact, met uitzondering van de bio-ecologische woning. Voor de bio-ecologische variant blijkt het aandeel van de onderhouds- en vervangingsprocessen net iets belangrijker te zijn. De korte(re) vervangingsperiodes van de onbehandelde gevelbekleding en de houtvezelplaat van de bio-ecologische buitenwand zijn hiervoor verantwoordelijk.

Daarnaast stellen we vast dat voor alle bouwconcepten de draagstructuur en de gevelafwerking de grootste initiële milieubelasting veroorzaken. We merken hierbij een aanzienlijk verschil op tussen de houtskeletbouwwoning en de bio-ecologische woning. De initiële milieu-impact, veroorzaakt door het dragende houtskelet en de gevelbekleding van de houtskeletbouwwoning, blijkt dubbel zo groot te zijn als deze bij de bio-ecologische woning, terwijl het in beide gevallen gaat om hetzelfde materiaal (hout) in dezelfde hoeveelheden. Het verschil is voornamelijk te wijten aan de oorsprong van het hout. Bij de bio-ecologische woning wordt er uitgegaan van streekeigen hout, met korte transportafstanden tot gevolg. Voor de houtskeletbouwwoning wordt echter gewerkt met een mix van geïmporteerd en streekeigen hout, waarbij een gemiddelde is bepaald voor de transportafstanden en vervoermiddelen voor de import van het hout. Het is dit verschil in transport dat aan de basis ligt van het verschil in milieu-impact tijdens de initiële fase.

Wat betreft de milieu-impact te wijten aan de onderhouds- en vervangingsprocessen zijn er grote verschillen tussen de bouwconcepten merkbaar. Bij de massieve constructies, zijnde de traditionele woning, de maximale recyclage woning en de IFD woning, is het enkel de binnenafwerking (pleister en verf), die om regelmatig onderhoud vraagt. Ook bij de skeletvarianten, zijnde de houtskeletbouwwoning, de bio-ecologische woning en de beide metaalskeletbouwvarianten, is de binnenafwerking verantwoordelijk voor een deel van de milieu-impact. Bij deze varianten speelt ook de gevelbekleding echter een niet te onderschatten rol, gezien de kortere levensduur van de gebruikte materialen dan deze van een gemetste gevelsteen. Tabel 9 geeft een overzicht van de veronderstelde levensduur voor elk van de gevelafwerkingen. Afhankelijk van de toegepaste gevelafwerking, moet deze dus helemaal niet, één keer, twee keer of zelfs drie keer vervangen worden gedurende de volledige levensduur van de woning van 90 jaar. Dit heeft natuurlijk belangrijke implicaties voor de milieu-impact van de gebruiksfase.

Gevelafwerking	Levensduur
Gemetste gevelsteen	150 jaar
Behandelde houten planken	30 jaar
Onbehandelde houten planken	20 jaar
Zinken beplating	30 jaar
Buitenpleister op isolatie	40 jaar

Tabel 9: Overzicht van de veronderstelde levensduur voor de verschillende gevelafwerkingen

Ook bij de milieu-impact van de einde-levensduurfase (EOL) zijn er opmerkelijke verschillen tussen de bouwconcepten. Zoals reeds werd vastgesteld bij de globale analyse van de bouwconcepten, is er bij maximale recyclage op het einde van de levensduur een netto milieubelasting en geen milieuwinst, doordat men al van bij de bouw van de woning gebruik maakt van zo veel mogelijk gerecycleerde materialen, waardoor op het einde van de levensduur enkel de milieueffecten van de recyclage-processen ingerekend worden, zonder het positieve effect van de vermeden productie van primaire grondstoffen. Daarnaast zijn er bij de andere bouwconcepten aanzienlijke verschillen in de grootte van de milieuwinst op het einde van de levensduur van de woning. Bij de massieve bouwwijze is de milieuwinst hoofdzakelijk gerelateerd aan de recyclage van het inerte sloopafval als secundaire granulaten en/of het hergebruik van, bijvoorbeeld, bakstenen of balken. Bij de houtskeletbouw en de bio-ecologische woning is de milieuwinst voornamelijk te danken aan het hergebruik en de recyclage van de houten gevelbekleding en het dragende hout-skelet, alsook door het verbranden van het hout met energierecuperatie. Het verschil in milieuwinst is opnieuw te verklaren door de oorsprong van het hout. Wanneer het hout gerecycleerd wordt, wordt er van uitgegaan dat hierdoor de productie van hetzelfde hout vermeden wordt. Bij de houtskeletbouwwoning is de vermeden milieu-impact dus groter dan voor de bio-ecologische woning, omwille van het verschil in vermeden transport, dat gepaard gaat met de productie van het hout. Ook bij de metaalskeletbouwvarianten stellen we grote milieuwinsten vast op het einde van de levensduur. Deze zijn te danken aan de (quasi) volledige recyclage van de gebruikte metalen in de woning. Dit maakt dat de metaalskeletbouwwoningen op levenscyclustermijn netto een vergelijkbare milieu-impact hebben als de andere bouwconcepten, ondanks de hogere initiële milieubelasting (vooral gerelateerd aan de productie van de metalen).

2.1.4.5 Conclusies voor de milieu-impact van de vrijstaande woning

Op basis van de hierboven beschreven analyses kan geconcludeerd worden dat er geen duidelijke voorkeur kan gegeven worden aan de nieuwe bouwconcepten boven de traditionele bouwwijze. Initieel zijn er zowel bouwconcepten, die een kleinere milieu-impact genereren, als bouwconcepten met een grotere milieu-impact. Op levenscyclustermijn ligt de totale milieu-impact van alle onderzochte concepten dicht bij elkaar. Dit is voornamelijk te wijten aan het belang van het energieverbruik in de levenscyclusimpact van de woningen. Het energieverbruik blijkt namelijk veruit de grootste impact te veroorzaken.

Dat het energieverbruik belangrijker is voor de milieu-impact dan het materiaal-gebruik, blijkt ook zeer duidelijk uit de vergelijking van de referentiewoning voor twee verschillende isolatiepeilen (K42 en K32). Hierbij kan men vaststellen dat de verschillen in totale milieubelasting nagenoeg volledig toe te schrijven zijn aan het verschil in milieu-impact, veroorzaakt door het energieverbruik.

Doordat bij de vergelijking van de verschillende bouwconcepten uitgegaan wordt van eenzelfde isolatiepeil voor alle woningen, is het echter wel mogelijk om de materiaal-gerelateerde milieu-impact van de bouwconcepten te onderzoeken. Uit deze analyse blijkt dat de milieu-impact in elk van de levenscyclustermen niet tot grote verschillen in totale milieu-impact.

2.1.5 Resultaten van de analyse van een rijwoning

In deze paragraaf wordt de milieu-impact van een referentie rijwoning, met name een woning, opgebouwd uit traditioneel metselwerk, vergeleken met twee alternatieve bouwconcepten, namelijk een doorgedreven houtskeletbouwwoning en een bio-ecologische houtskeletbouwwoning.

2.1.5.1 Beschrijving van de geanalyseerde woning

De geanalyseerde woning is een moderne rijwoning. Figuur 34 geeft de plannen en een illustratie van de woning. In Tabel 10 worden een aantal algemene parameters van de woning samengevat.



Figuur 34: Plannen (gelijkvloers en eerste verdieping) en illustratie van de geanalyseerde rijwoning.

vloeroppervlakte	199.6 m ²
compactheid C	1.969 m
beschermd (verwarmd) volume V	549 m ³
verliesoppervlakte A _T	279 m ²
K-peil	29W/m ² K

Tabel 10: Overzicht van algemene gegevens met betrekking tot de geanalyseerde rijwoning

Het K-peil is van toepassing op zowel de referentiewoning als de twee varianten.

De opbouw van de rijwoningen komt grotendeels overeen met de respectievelijke vrijstaande woningen. Alleen de isolatiediktes in sommige delen van de gebouwschil zijn verschillend. Tabel 11 geeft een overzicht van deze verschillen, alsook van de bijkomende bouwelementen, die bij de rijwoning voorkomen.

BOUWELEMENT	TRADITIONEEL METSELWERK	DOORGEDREVEN HOUTSKELETBOUW	BIO-ECOLOGISCHE HOUTSKELETBOUW
Vloer op volle grond	KERAMISCHE TEGELS OP IN SITU BETONPLAAT - Zelfde opbouw als bij de vrijstaande woning 0.08 m PUR isolatie op de vloer	HOUTEN PARKET OP IN SITU BETONPLAAT - Zelfde opbouw als bij de vrijstaande woning 0.08 m PUR isolatie op de vloer	LINOLEUM OP THERMOVLOER - Zelfde vloeropbouw als bij de vrijstaande woning 0.12 m grind 0.10 m geëxpandeerde kleikorrels
Buitenwanden / gevels	BEPLEISTERDE EN GEVERFDE SNELBOUW BAKSTEEN EN GEVELSTEEN - Zelfde opbouw als bij de vrijstaande woning 0.10 m RW isolatie in de spouw	BEHANDELD HOUTSKELET MET GEVERFDE GIPSKARTONPLAAT EN GEVERFDE LARIKSPLANKEN - Zelfde opbouw als bij de vrijstaande woning 0.12 m RW isolatie tussen houtskelet	ONBEHANDELD HOUTSKELET MET NATUURGEVERFDE GIPSVEZELPLAAT EN ONBEHANDELDE LARIKSPLANKEN - Zelfde opbouw als bij de vrijstaande woning 0.14 m cellulose isolatie tussen houtskelet
Gemene muren	BEPLEISTERDE EN GEVERFDE SNELBOUW BAKSTEEN - verf op gipspleister 0.01 m gipspleister op metselwerk 0.14 m snelbouwbaksteen 0.06 m / 2 = 0.03 m RW isolatie in de spouw	BEHANDELD HOUTSKELET MET GEVERFDE GIPSKARTONPLAAT 1 laag snelbouwsteen 14 cm onderaan - verf op gipskartonplaat - dubbele gipskartonplaat op houten onderstructuur (Belgian mix) - PE dampscherm 0.14 m dragend houtskelet (behandeld hout) 0.04 m RW isolatie tussen houtskelet - waterbestendige OSB plaat	ONBEHANDELD HOUTSKELET MET NATUURGEVERFDE GIPSVEZELPLAAT 1 laag kalkzandsteen 0.14 m onderaan - natuurverf op gipsvezelplaat - gipsvezelplaat op houten onderstructuur (inheems hout) - harde houtvezelplaat 0.14 m dragend houtskelet (onbehandeld inheems hout) 0.14 m cellulose isolatie tussen houtskelet - waterbestendige isolerende houtvezelplaat (0.018 m)
Onafgewerkte zoldervloer	ONAFGEWERKTE DEKVLOER OP BETONNEN WELFELS - verf op gipspleister 0.012 m gipspleister op beton 0.12 m voorgespannen betonnen welfsels 0.05 m gewapende druklaag 0.05 m ongewapende cementgebonden dekvloer - XPS randisolatie	ONAFGEWERKTE DEKVLOER OP HOUTEN ROOSTERING - verf op gipskartonplaat - gipskartonplaat op houten onderstructuur (0.0125 m) 0.22 m houten roostering (balken, behandeld hout, Belgian mix) 0.22 m luchtsponw tussen roostering - OSB vloerplaat 0.03 m RW isolatie op de vloer - PE scheidingslaag 2 gipskartonplaten	ONAFGEWERKTE DEKVLOER OP ONBEHANDELDE HOUTEN ROOSTERING - natuurverf op gipsvezelplaat 2 gipsvezelplaten (2 x 0.0125 m) op houten onderstructuur 0.22 m houten roostering (balken, onbehandeld hout) 0.22 m luchtsponw tussen roostering - OSB vloerplaat 0.04 m isolerende houtvezel ondervloerplaat 2 gipsvezelplaten
Hellend dak	BEHANDELD HOUTEN GORDINGEN EN KEPERS EN KLEIDAKPANNEN - Zelfde opbouw als bij de vrijstaande woning 0.06 m RW isolatie tussen gordingen	BEHANDELD HOUTEN GORDINGEN EN KEPERS EN KLEIDAKPANNEN - Zelfde opbouw als bij de vrijstaande woning 0.04 m RW isolatie tussen gordingen	ONBEHANDELD HOUTEN GORDINGEN EN KEPERS EN ONBEHANDELD HOUTEN SHINGLES - Zelfde opbouw als bij de vrijstaande woning 0.22 m cellulose isolatie tussen gordingen

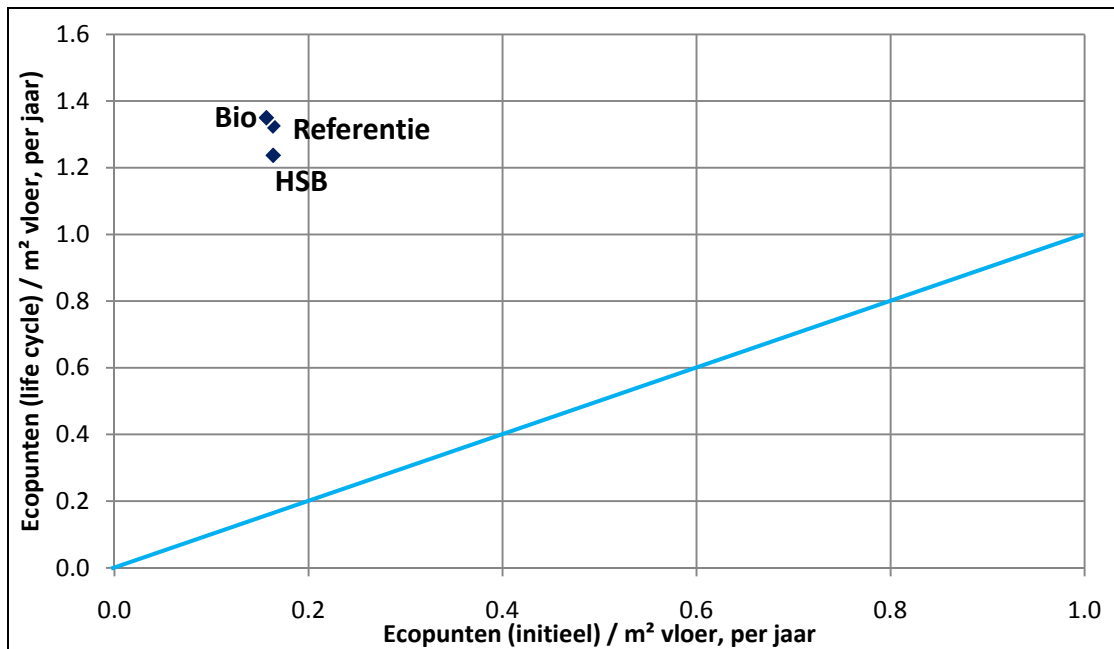
	OPM: Bij 6 cm isolatie: extra latten tussen de isolatie	OPM: Bij 4 cm isolatie: extra latten tussen de isolatie	
Plat dak	BITUMEN AFDICHTING OP BETONNEN WELFELS • verf op gipspleister • gipspleister op beton • 0.12 m voorgespannen betonnen welfsels • 0.05 m gewapende druklaag • mager hellingsbeton • PE dampscherm • 0.10 m PUR isolatie, deels gelijmd op de welfsels • EPDM afdichting, deels gelijmd • aluminium dakrandprofiel • multiplex spouwplaat • 0.03 m PUR randisolatie	BITUMEN AFDICHTING OP BEHANDELDE HOUTEN ROOSTERING • verf op gipskartonplaat • gipskartonplaat op houten onderstructuur • PE dampscherm • 0.22 m houten roostering (balken, behandeld hout, Belgian mix) • 0.22 m spouw tussen houten roostering • helling uit behandeld houten prefabdelen • spaanplaat dakplaat • 0.12 m RW isolatie, mechanisch bevestigd op het dak • EPDM afdichting, deels gelijmd • houten boeiboord • multiplex spouwplaat • 0.03 m PUR randisolatie	EPDM AFDICHTING OP ONBEHANDELDE HOUTEN ROOSTERING • natuurverf op gipsvezelplaat • gipsvezelplaat (0.0125 m) op houten onderstructuur • harde houtvezelplaat als damprem • 0.22 m houten roostering (balken, onbehandeld hout) • 0.22 m cellulose isolatie tussen roostering • helling uit onbehandeld houten prefabdelen • 0.06 m isolerende houtvezel dakplaat (niet gelijmd en onbehandeld) • OSB dakplaat • EPDM afdichting, deels gelijmd* • (groendak) • houten boeiboord • multiplex spouwplaat • 0.03 m PUR randisolatie*

Tabel 11: Specifieke opbouw van de bouwelementen van de rijwoning voor de drie beschouwde bouwconcepten

In de volgende paragrafen worden de resultaten van de evaluatie van de milieu-impact voor de verschillende bouwconcepten weergegeven.

2.1.5.2 Globale milieu-impact van de woning

In de analyse van de verschillende bouwconcepten voor de rijwoning wordt allereerst een vergelijking gemaakt van de initiële milieu-impact ten opzichte van de milieu-impact voor de volledige levenscyclus (zie Figuur 35). De blauwe lijn op de grafiek geeft aan waar de initiële milieu-impact gelijk is aan de levenscyclus milieu-impact. Het feit dat de resultaten van de verschillende bouwconcepten veel hoger liggen dan deze lijn, toont aan dat de impacten uit de andere levenscyclusfasen (nl. schoonmaak, onderhoud, vervangingen, energieverbruik en einde-levensduur) belangrijker zijn in de totale milieu-impact dan de initiële fase. Deze onderliggende verhoudingen worden verder nog meer in detail besproken.

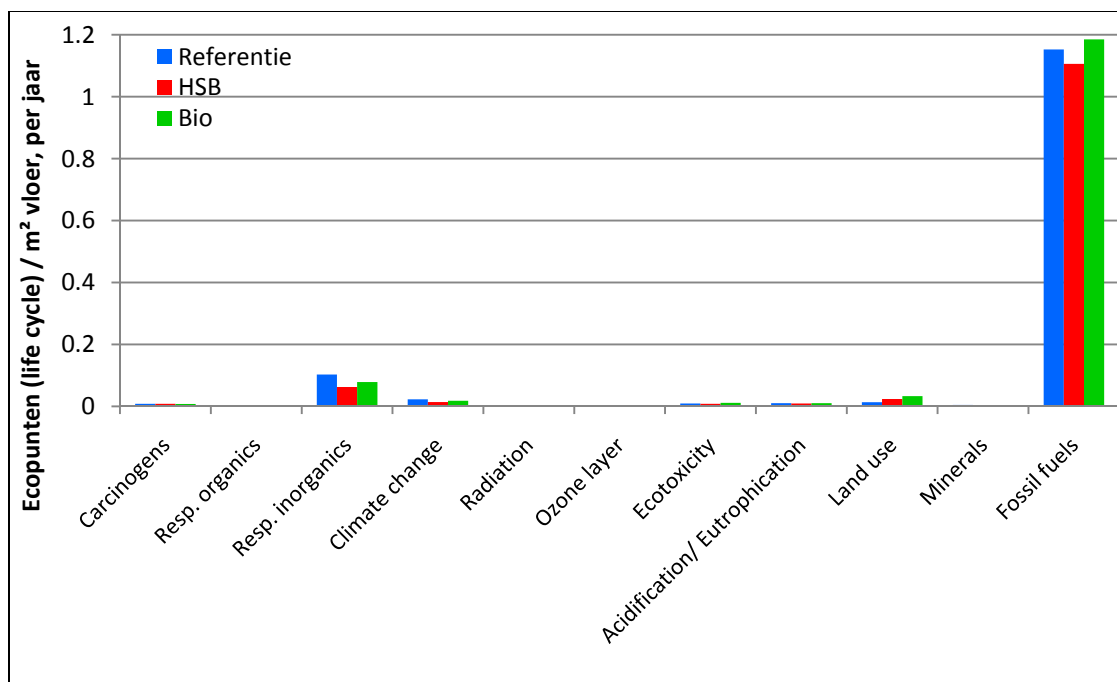


Figuur 35: Vergelijking initiële milieu-impact versus levenscyclus milieu-impact van de rijwoning (ecopunten per m² vloer en per jaar)

Bovenstaande grafiek toont tevens aan dat zowel de initiële als de levenscyclus-milieubelasting van de drie rijwoningen van dezelfde grootteorde zijn. Hoewel het bio-ecologische alternatief een iets kleinere initiële belasting heeft (4% ten opzichte van de referentie), bezit het een iets grotere levenscyclus milieu-impact dan de rijwoning uit metselwerk (2% ten opzichte van de referentie). De houtskeletbouw-woning heeft daarentegen dezelfde initiële milieulast als de referentiewoning, maar heeft wel een lagere levenscycluslast (7% ten opzichte van de referentie).

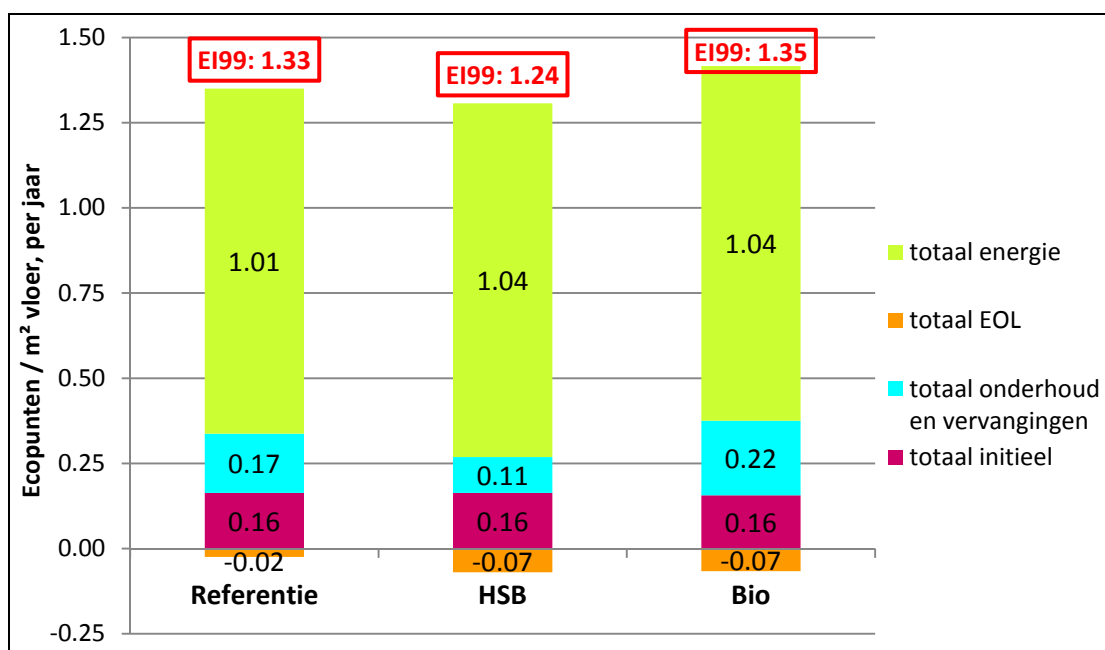
De milieulast van de drie woningen wordt verder gedetailleerd in Figuur 36 en Figuur 37.

Net zoals bij de vrijstaande woning wordt voor de drie woningalternatieven de grootste impact op het milieu toegeschreven aan de uitputting van fossiele brandstoffen (zie Figuur 36), wat grotendeels te wijten is aan het energieverbruik tijdens de gebruiksfase van de woning en de productie van de bouwmaterialen. In mindere mate is de productie van bouwmaterialen verantwoordelijk voor respiratoire effecten, veroorzaakt door anorganische stoffen, zoals fijn stof (PM 2,5) en SO₂ en NO_x emissies. Voor beide impactcategorieën geniet de doorgedreven houtskeletbouw de voorkeur boven het bio-ecologische alternatief en de referentiewoning. Andere impactcategorieën zijn niet significant.



Figuur 36: Vergelijking van de milieu-impact per milieu-indicator (ecopunten per m² vloer en per jaar)

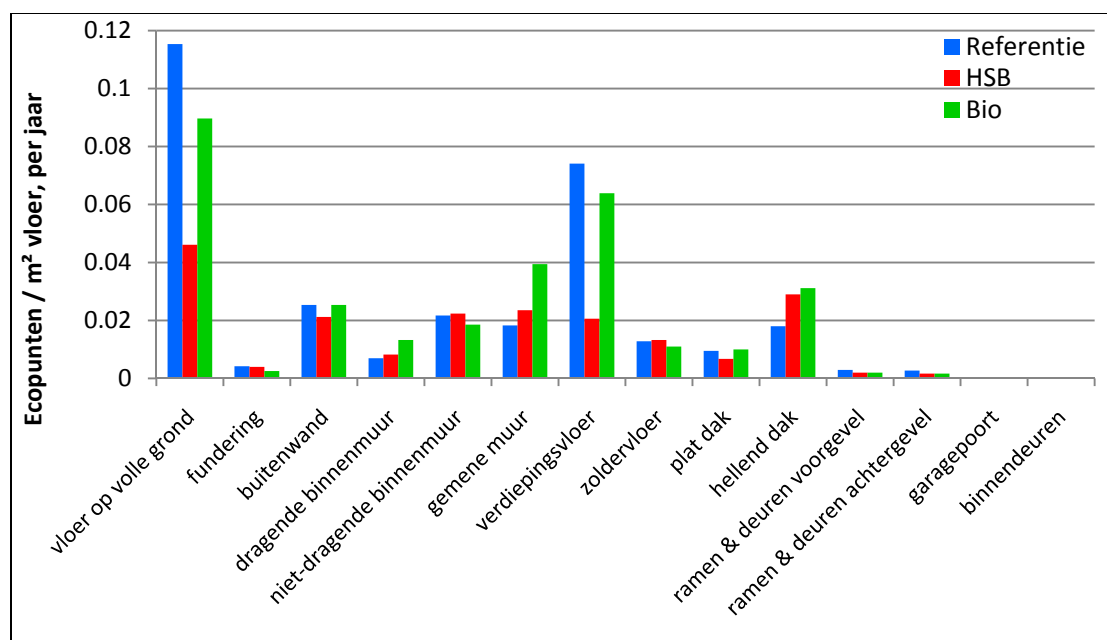
Ondanks de kleine verschillen in levenscycluslast tussen de 3 onderzochte woning-alternatieven, zijn voornamelijk onderhoud en vervangingen van (sub-) elementen tijdens de gebruiksfase verantwoordelijk voor een gedifferentieerd milieuprofiel, zoals blijkt uit Figuur 37. Een significant verschil is waar te nemen tussen de milieulast van de houtskeletbouw- en de bio-ecologische woning. Dit zal nader uitgelegd worden in de volgende paragraaf.



Figuur 37: Totale milieu-impact voor de rijwoning, met verdeling in levenscyclusfasen (ecopunten per m² vloer en per jaar)

2.1.5.3 Milieu-impact van de verschillende bouwelementen

In Figuur 38 wordt een overzicht gegeven van het aandeel van de verschillende bouwelementen in de totale milieu-impact van de rijwoning. Hierbij wordt de totale milieu-impact per bouwelement (rekening houdend met de hoeveelheid van elk element) uitgedrukt per m² vloer. Uit deze figuur blijkt dat voornamelijk de horizontale en de schuine woningelementen, meer bepaald de vloer op volle grond, de verdiepingsvloer en het hellend dak, verantwoordelijk zijn voor de grootste milieulasten. In mindere mate geven ook de gevels en de gemene muren, alsnog de (niet-dragende) binnenmuren een aanvullende milieulast. Andere bouwelementen hebben een minder belangrijk aandeel in de potentiële milieuschade.



Figuur 38: Vergelijking voor de rijwoning van de milieu-impact van de bouwelementen op woningniveau voor de verschillende bouwconcepten (ecopunten per m² vloer en per jaar)

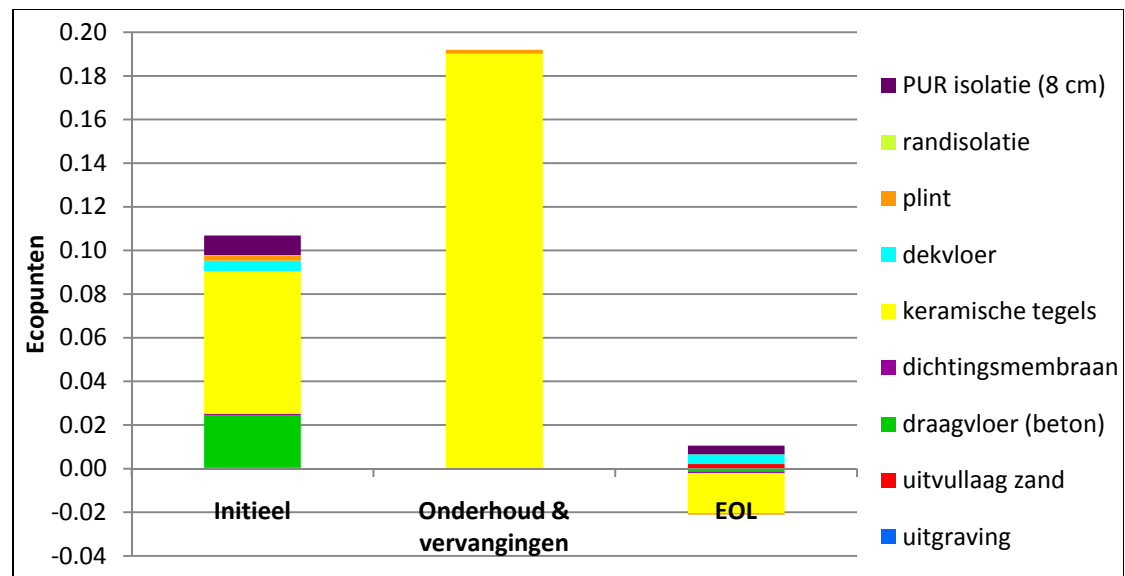
Verder stellen we voor de vloer op volle grond en de verdiepingsvloer een duidelijke hiërarchie vast (van minder naar meer veroorzaakte milieulast): namelijk de houtskeletbouwwoning, vervolgens de bio-ecologische woning en uiteindelijk de referentiewoning. Met andere woorden, zijn voor deze 2 dominante woningelementen beide alternatieve bouwconcepten significant beter dan de traditionele rijwoning bouwwijze. Voor de andere woningelementen is deze hiërarchie niet van toepassing of minder significant aanwezig.

Op basis van deze bevindingen, wordt in de volgende paragrafen de relatie van de opbouw van de vloer op volle grond (een horizontaal woningelement) en de buitenwand (een verticaal woningelement) met de milieulast in detail bekeken.

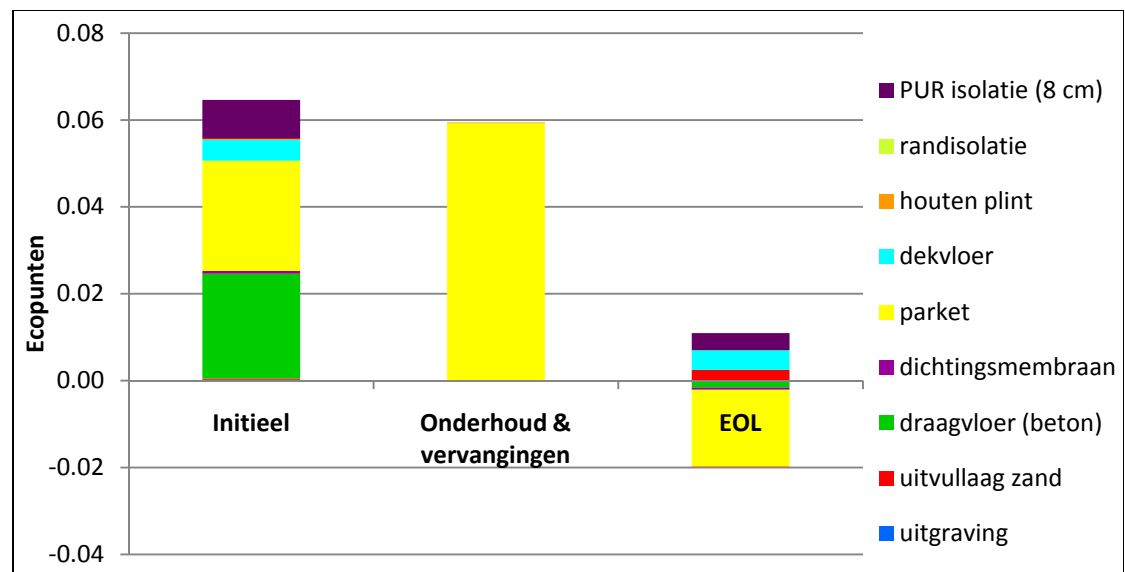
2.1.5.4 Detailanalyse van de vloer op volle grond

Figuur 39, Figuur 40 en Figuur 41 geven de gedetailleerde resultaten weer van de milieu-evaluatie voor 1 m² vloer op volle grond van de rijwoning voor respectievelijk de traditionele bouwwijze, de houtskeletbouwvariant en de bio-ecologische variant. Bij de grafieken moet, net zoals bij de analyse van de vrijstaande woning, benadrukt worden dat de schaal niet dezelfde is voor de drie bouwconcepten. Het interval tussen de verschillende rasterlijnen is wel constant gehouden op 0.02 ecopunten.

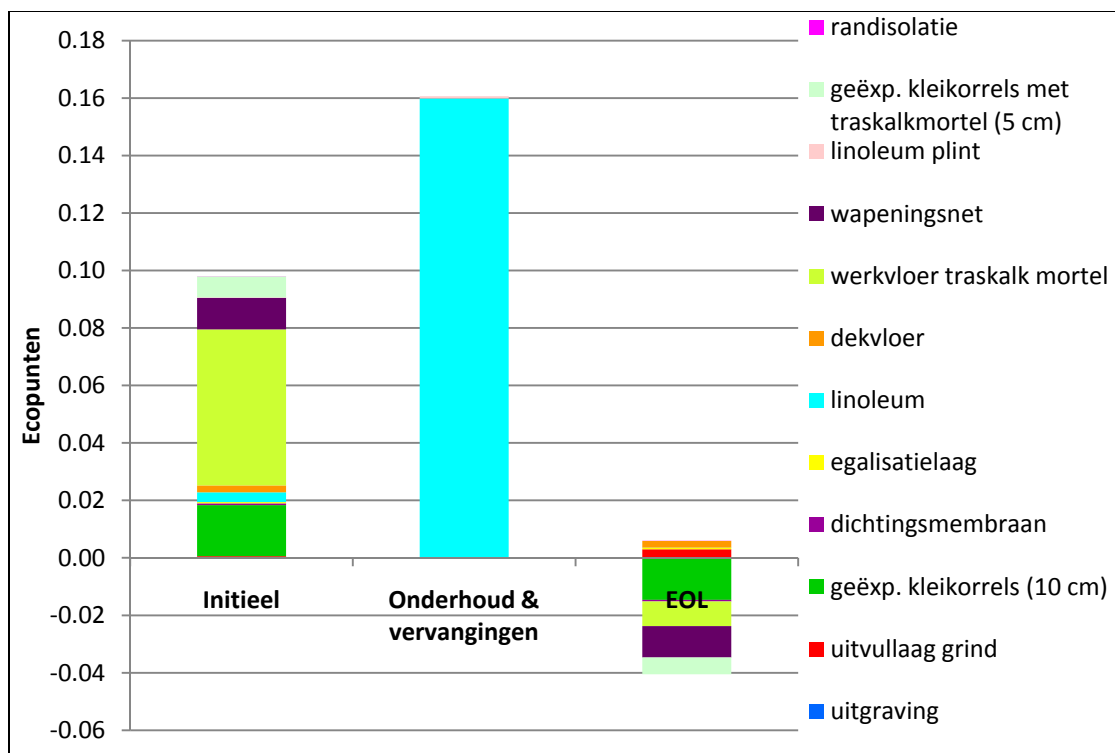
Wanneer de rasterlijnen dicht op elkaar staan, is de milieu-impact dus groter dan wanneer de rasterlijnen ver uit elkaar staan.



Figuur 39: Detailanalyse milieu-impact van 1 m² vloer op volle grond van de referentie rijwoning (ecopunten per jaar)



Figuur 40: Detailanalyse milieu-impact van 1 m² vloer op volle grond van de houtskeletbouw rijwoning (ecopunten per jaar)

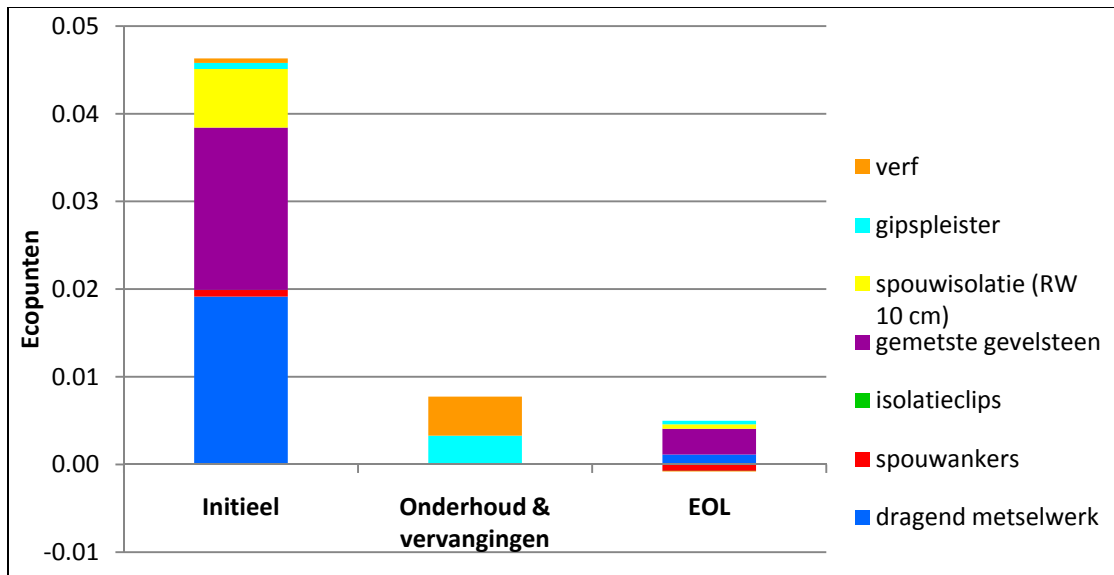


Figuur 41: Detailanalyse milieu-impact van 1 m² vloer op volle grond van de bio-ecologische rijwoning (ecopunten per jaar)

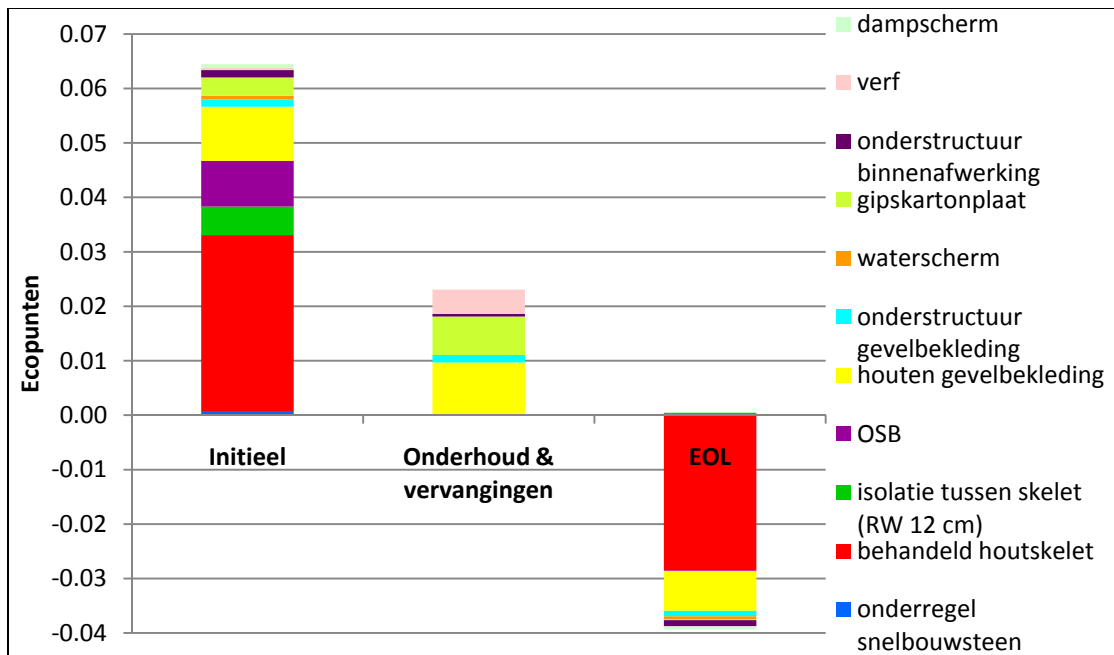
Op basis van bovenstaande grafieken kan afgeleid worden dat onderhoud en vervanging van de vloerbedekking een belangrijke rol spelen in het totale milieu-profiel van het element. Vloerbedekkingen worden naast een noodzakelijk onderhoud gekenmerkt door een kortere levensduur dan de andere sub-elementen. Daarenboven is de productie van keramische tegels (in de referentiewoning) en van parket (in de doorgedreven houtskeletbouwwoning) verantwoordelijk voor een aanvullende dominante milieulast. Ook de productie/constructie van de draagvloer, hetzij in beton of in traskalk, draagt een steentje bij tot de totale milieulast. De milieuwinsten, gerelateerd aan de einde-levensduurfase (EOL) van het element, worden hoofdzakelijk toegekend aan het hergebruiken van steenachtige materialen als secundaire granulaten.

2.1.5.5 Detailanalyse van de buitenwand

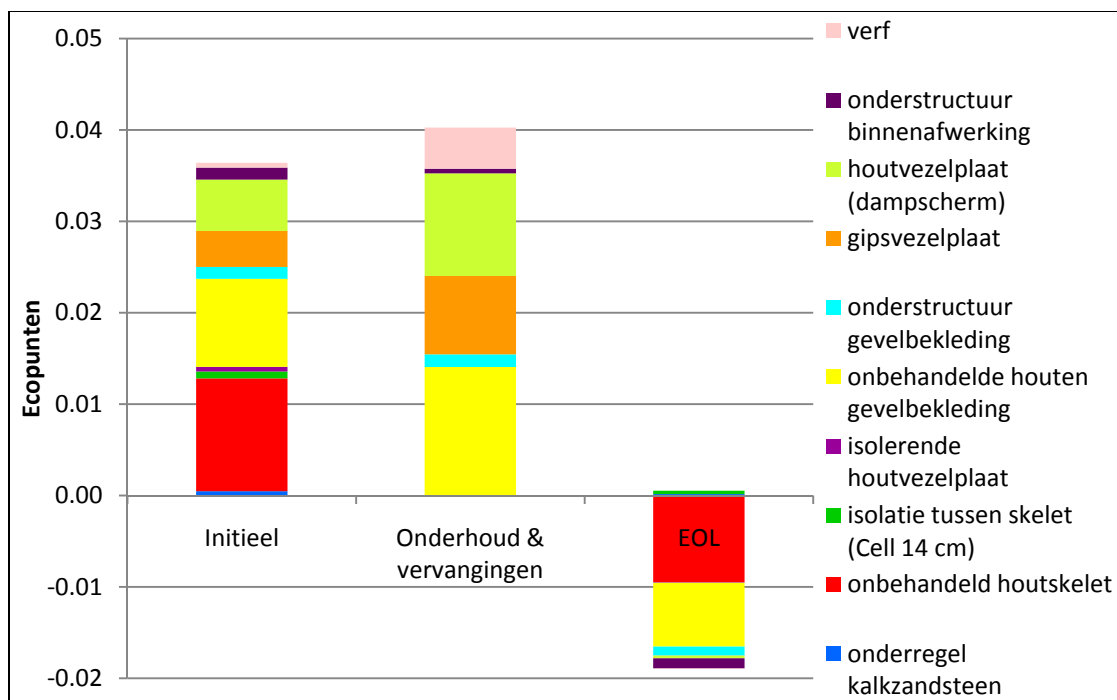
Figuur 42, Figuur 43 en Figuur 44 geven de gedetailleerde resultaten weer van de milieu-evaluatie voor 1 m² buitenwand van de rijwoning voor respectievelijk de traditionele bouwwijze, de houtskeletbouwvariant en de bio-ecologische variant. Bij de grafieken moet, net zoals bij de analyse van de vrijstaande woning, benadrukt worden dat de schaal niet dezelfde is voor de drie bouwconcepten. Het interval tussen de verschillende rasterlijnen is wel constant gehouden op 0.01 ecopunten. Wanneer de rasterlijnen dicht op elkaar staan, is de milieu-impact dus groter dan wanneer de rasterlijnen ver uit elkaar staan.



Figuur 42: Detailanalyse milieu-impact van 1 m² buitenwand van de referentie rijwoning (ecopunten per jaar)



Figuur 43: Detailanalyse milieu-impact van 1 m² buitenwand van de houtskeletbouw rijwoning (ecopunten per jaar)



Figuur 44: Detailanalyse milieu-impact van 1 m² buitenwand van de bio-ecologische rijwoning (ecopunten per jaar)

Voor de referentiewoning en de houtskeletbouwwoning is de initiële productie de dominante fase in de levenscyclus van de verschillende buitenwanden. Voor de bio-ecologische woning hebben de onderhouds- en vervangingsprocessen tijdens de gebruiksfase een even groot belang. De korte(re) vervangingsperiodes van de onbehandelde gevelbekleding en de houtvezelplaat van de bio-ecologische buitenwand zijn verantwoordelijk voor de extra milieulast tijdens het gebruik van de woning ten opzichte van de andere buitenwandoplossingen.

Het zijn de volumineuze subelementen, zoals de dragende constructie en de gevelbekleding, die het meeste bijdragen tot de milieulast tijdens de productiefase.

Een opmerkelijk verschil tussen de bio-ecologische en de houtskeletbouwwoning is waar te nemen bij de productie en de einde-levensduurprocessen van het houtskelet. De laatstgenoemde is gekenmerkt door een verdubbeling van de milieu-impact en –winst (van respectievelijk de productie en EOL) ten opzichte van de eerstgenoemde. De doorgedreven houtskeletwand is gekarakteriseerd door geïmporteerd, behandeld hout en het bio-ecologische alternatief door lokaal, onbehandeld hout. Voornamelijk het verschil in transport(afstand) ligt aan de basis van het verschil in (vermeden) productie.

Hoewel de twee houtskeletwanden duidelijke milieuwinsten vertonen door het gedeeltelijk recycleren en verbranden – met energierecuperatie – van de houten subelementen, vertonen de einde-levensduurprocessen van de gemetste buitenwand nagenoeg geen milieu-impact of –winst.

2.1.5.6 Conclusies voor de milieu-impact van de rijwoning

De verschillen in zowel initiële als levenscyclus milieu-impact van de onderzochte rijwoningen ten opzichte van de referentie (zijnde het traditioneel metselwerk) zijn dermate klein, dat geen enkel alternatief bouwconcept de voorkeur geniet. Ondanks de verschillen in opbouw, is het energieverbruik tijdens de gebruiksfase voor alle

concepten de belangrijkste oorzaak van milieu-impact. Dit is mede te verklaren door het gelijkstellen van de isolatiegraad van alle onderzochte bouwconcepten.

Voor zowel de onderzochte horizontale als verticale bouwelementen zijn voornamelijk de verschillen in levensduur van de (binnen)afwerkingslagen, alsnog de volumineuze elementen, zoals de dragende onderdelen, verantwoordelijk voor het gedifferentieerde milieuprofiel.

2.1.6 Resultaten van de analyse van een appartement

In deze paragraaf wordt de milieu-impact van een referentie appartement, gebouwd met traditioneel metselwerk, vergeleken met twee alternatieve bouwconcepten, met name een constructie, maximaal gebruik makend van gerecycleerde materialen, enerzijds en volgens het IFD concept anderzijds.

Voor de analyse van het appartement werden niet enkel de elementen ingerekend, welke specifiek tot het beschouwde appartement behoren, maar er werd ook een deel van de gemeenschappelijke ruimte en elementen aan het beschouwde appartement toegekend. Deze werd bepaald op basis van de ratio van de vloer van het appartement ten opzichte van de totale vloeroppervlakte van alle appartementen samen.

2.1.6.1 Beschrijving van de geanalyseerde woning

Het geanalyseerde appartement maakt deel uit van een hedendaags appartementsgebouw, bestaande uit 11 type-verdiepingen met elk 8 appartementen (van verschillende grootte), een gelijkvloers met 2 appartementen en een technische verdieping. Figuur 45 geeft een illustratie van het appartementsgebouw en het plan van het geanalyseerde appartement. Daarnaast worden in Tabel 12 een aantal algemene gegevens met betrekking tot het appartement samengevat.



Figuur 45 : Plannen (geanalyseerd appartement) en illustratie van het appartementsgebouw

vloeroppervlakte	84 m ²
compactheid C	3,51 m
beschermd (verwarmd) volume V	308 m ³
verliesoppervlakte A _T	88 m ²
K-peil	32 W/m ² K

Tabel 12: Overzicht van algemene gegevens met betrekking tot het geanalyseerde appartement

Het K-peil is van toepassing op de referentiewoning en op de IFD variant. Het K-peil van het 'maximale recyclage' alternatief is gelijk aan 31 W/m²K. Echter, het jaarlijkse eindenergieverbruik t.a.v. verwarming van deze variant (24.247 MJ) is lager dan voor de referentie (24.502 MJ). De IFD variant leidt tot een bijna identiek energieverbruik (24.477 MJ) als de referentie.

De samenstelling van de bouwelementen voor de drie bestudeerde bouwconcepten is analoog aan de vrijstaande woningen (zie Tabel 7 en Tabel 8), maar bevat twee extra elementen, namelijk de paalfundering en het plat dak. De samenstelling van deze elementen is samengevat in Tabel 13.

BOUWELEMENT	TRADITIONEEL METSELWERK / IFD	MAXIMALE RECYCLAGE
Paalfundering	BOORPAAL • uitgraving • boorpaal 45T_diameter 0.40 m • verbindingbalk (beton)	BOORPAAL OP BASIS VAN GERECYCLEERDE PUINGRANULATEN • uitgraving • boorpaal 45T_diameter 0.40 m • verbindingbalk (beton op basis van gerecycleerde puingranulaten)
Plat dak	BITUMEN AFDICHTING OP BETONNEN WELFSELS • verf op gipspleister • 0.012 m gipspleister op beton • voorgespannen welfsels 0.12 m • mager hellingsbeton • PE dampscherm • 0.10 m PUR isolatie, deels gelijmd op de welfsels • EPDM afdichting, deels gelijmd • aluminium dakrandprofiel • multiplex spouwplaat • 0.03 m PUR randisolatie	BITUMEN AFDICHTING OP BETONNEN WELFSELS OP BASIS VAN GERECYCLEERDE PUINGRANULATEN • verf op gipspleister • 0.012 m gerecycleerd gipspleister op beton • voorgespannen welfsels 0.12 m op basis van gerecycleerde puingranulaten • mager hellingsbeton op basis van gerecycleerde puingranulaten • dampscherm (gerecycleerd PE) • 0.10 m PUR isolatie (gerecycleerd), deels gelijmd op de welfsels • EPDM afdichting, deels gelijmd • aluminium dakrandprofiel (gerecycleerd) • multiplex spouwplaat (gerecycleerd) • 0.03 m PUR randisolatie (gerecycleerd)

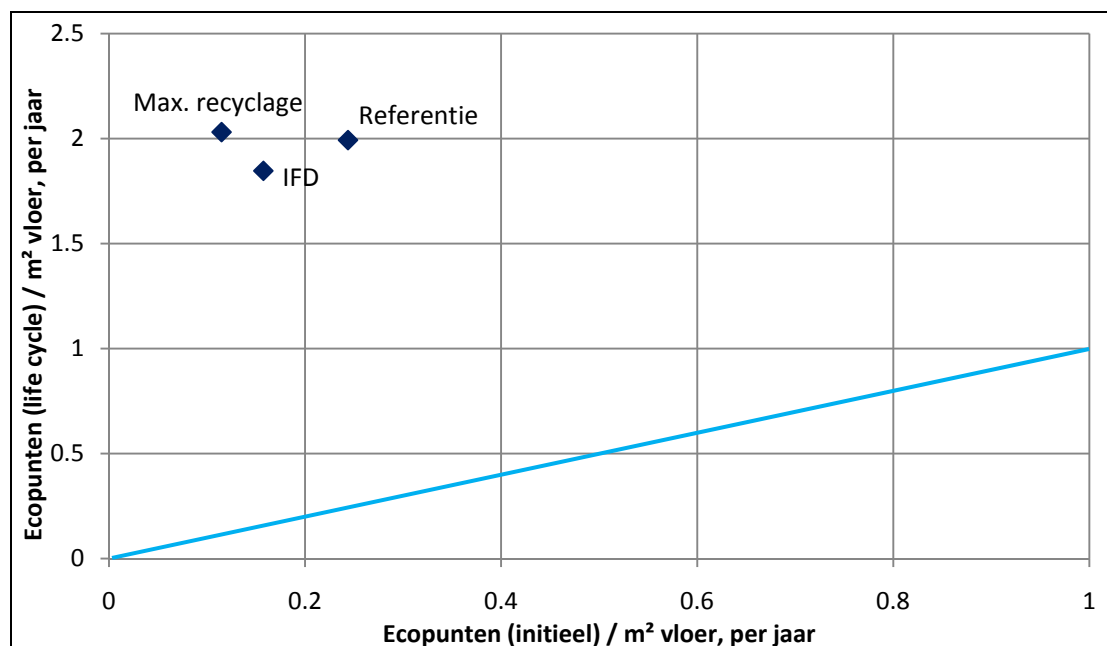
Tabel 13: Samenstelling van de paalfundering en het plat dak volgens de drie bouwconcepten, toegepast op het appartement

In de volgende paragrafen worden de resultaten weergegeven van de evaluatie van de milieu-impact voor de verschillende bouwconcepten.

2.1.6.2 Globale milieu-impact van de woning

In de analyse van de verschillende bouwconcepten voor het appartement wordt allereerst een vergelijking gemaakt van de initiële milieu-impact ten opzichte van de milieu-impact voor de volledige levenscyclus (zie Figuur 22). De blauwe lijn op de grafiek geeft aan waar de initiële milieu-impact gelijk is aan de levenscyclus milieu-impact. Het feit dat de resultaten van de verschillende bouwconcepten veel hoger liggen dan deze lijn, toont aan dat de impacten uit de andere levenscyclusfasen (schoonmaak, onderhoud, vervangingen, energieverbruik en eindelevensduur)

belangrijker zijn in de totale milieu-impact dan de initiële fase. Deze onderliggende verhoudingen worden verder nog meer in detail besproken.

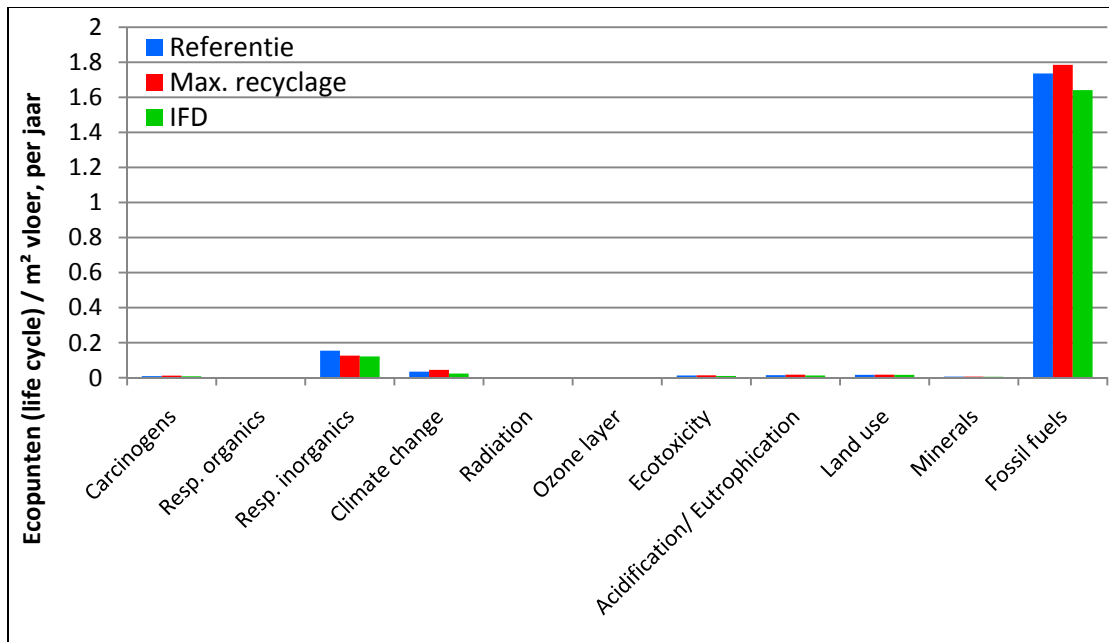


Figuur 46: Vergelijking initiële milieu-impact versus levenscyclus milieu-impact van het appartement (ecopunten per m² vloer en per jaar)

Uit Figuur 46 blijkt dat, alhoewel de levenscyclusimpact voor de drie bouwconcepten van dezelfde grootteorde is, de referentiewoning een grotere initiële impact veroorzaakt. Ten opzichte van de referentie, leidt de IFD variant tot een 7% lagere levenscyclusimpact, terwijl de maximale recyclage variant een 2% hogere levenscyclusimpact heeft. De initiële impact van de maximale recyclage variant is 53% lager dan die van de referentie. Echter, de impact van de recyclageprocessen wordt op het einde van de levensduur ingerekend en wordt dus niet als initiële impact beschouwd. Dit verklaart het verschil tussen beide. De initiële impact van de IFD variant is 35% lager dan die van de referentie. Dit kan, zoals ook al bij de vrijstaande woning werd aangegeven, verklaard worden door de langere levensduur van de IFD variant (150 jaar) in vergelijking met de referentie (90 jaar). De impact van de initiële fase en de einde-levensduurfase wordt dus over een langere periode 'gespreid' en resulteert in een lagere 'jaarlijkse' impact.

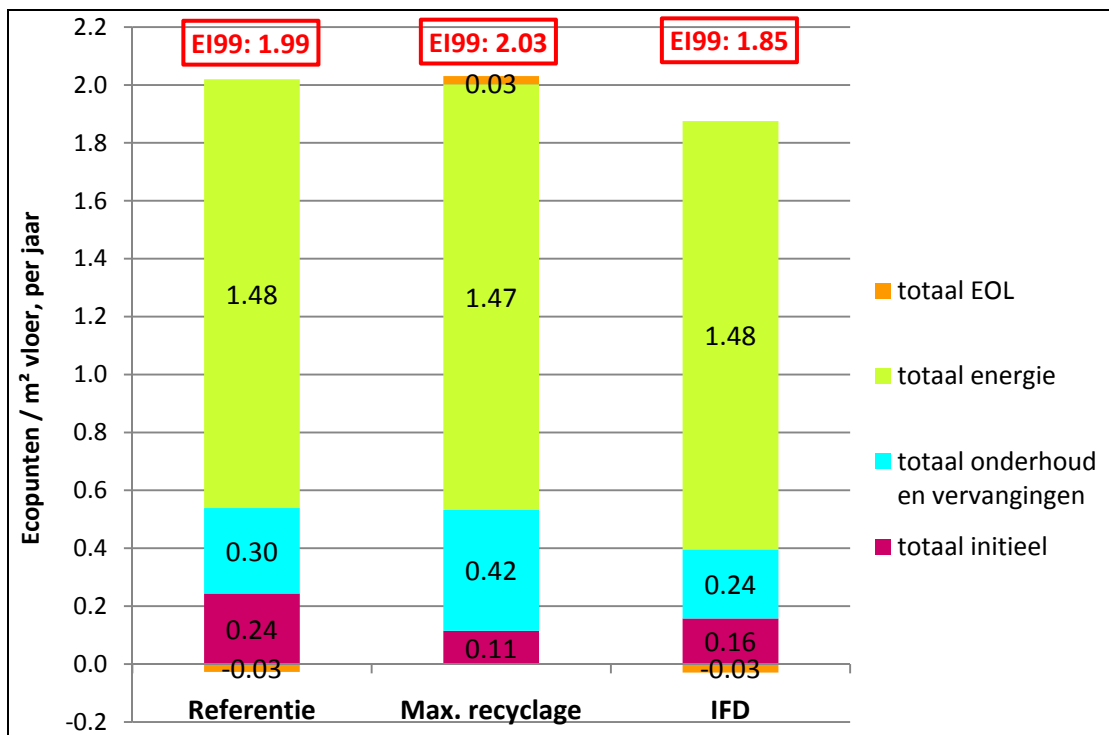
De milieubelasting van de drie appartementen wordt verder gedetailleerd in Figuur 47 en Figuur 48.

Voor de drie bouwconcepten wordt de grootste impact op het milieu toegeschreven aan de uitputting van fossiele brandstoffen, hetgeen grotendeels te wijten is aan het energieverbruik tijdens de gebruiksfase van de woning en de aan de productie van de bouwmaterialen. In mindere mate is de productie van bouwmaterialen verantwoordelijk voor ademhalingsseffecten, veroorzaakt door anorganische stoffen, zoals fijn stof (PM 2,5) en SO₂ en NO_x emissies. Voor beide impactcategorieën geniet de IFD variant de voorkeur boven het 'maximale recyclage' alternatief en de referentie. Andere impactcategorieën hebben geen significante bijdrage in de totale milieu-impact.



Figuur 47: Vergelijking van de milieu-impact per milieu-indicator voor het appartement (ecopunten per m² vloer en per jaar)

De kleine verschillen in levenscyclusimpact tussen de 3 onderzochte alternatieven zijn voornamelijk te wijten aan een verschil in initiële impact en in impact ten gevolge van onderhoud en vervangingen. Bovendien leidt de einde-levensduurfase tot een negatieve impact (positief effect) voor de referentie en de IFD variant, maar tot een positieve impact (negatief effect) voor de maximale recyclage variant. De verklaring voor de verschillen in de initiële impact en in de einde-levensduurimpact is reeds voorheen aangegeven. Onderhoud en vervangingen worden in de volgende paragrafen meer in detail bestudeerd.



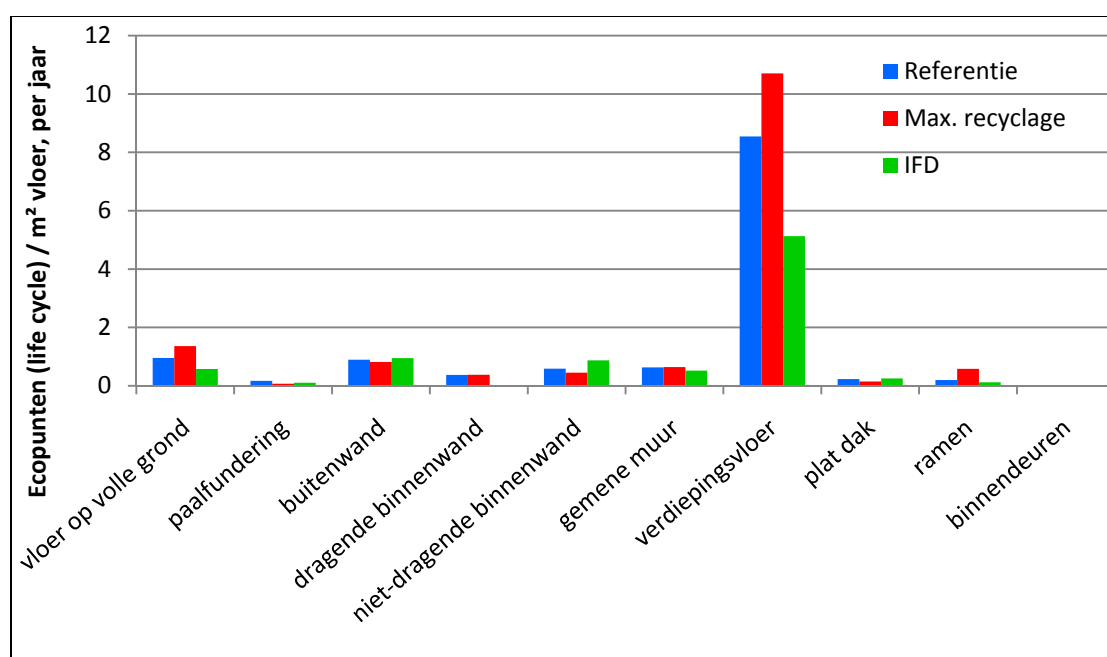
Figuur 48: Totale milieu-impact voor het appartement, met verdeling in levenscyclusfasen (ecopunten per m² vloer en per jaar)

2.1.6.3 Milieu-impact van de verschillende bouwelementen

In Figuur 49 wordt een overzicht gegeven van het aandeel van de verschillende bouwelementen in de totale milieu-impact van het appartement. Hierbij wordt de totale milieu-impact per bouwelement (rekening houdend met de hoeveelheid van elk element) uitgedrukt per m² vloer. Uit deze figuur blijkt dat de verdiepingsvloer verantwoordelijk is voor de grootste milieu-impact. Andere bouwelementen hebben een minder belangrijk aandeel in de potentiële milieuschade. Een verklaring hiervoor ligt in het feit dat heel wat van de bouwelementen (funderingen, plat dak, buitenwanden, binnenmuren) gemeenschappelijk zijn voor het gehele appartementsgebouw. De hiermee gerelateerde milieu-impact wordt dus verdeeld over alle appartementen, waardoor het belang ervan per appartement beperkt blijft.

Er is bovendien een duidelijke voorkeur merkbaar tussen de drie alternatieven. De verdiepingsvloer, opgebouwd volgens het maximale recyclage concept, leidt tot de grootste milieu-impact. De IFD variant leidt tot de kleinste milieu-impact. Deze verdiepingsvloer is echter identiek opgebouwd als de referentie. De lagere impact is dus louter te wijten aan de langere levensduur (wat leidt tot een lagere impact per jaar).

De hogere impact van de maximale recyclage variant ten opzichte van de referentie wordt in de volgende paragraaf meer in detail geanalyseerd.

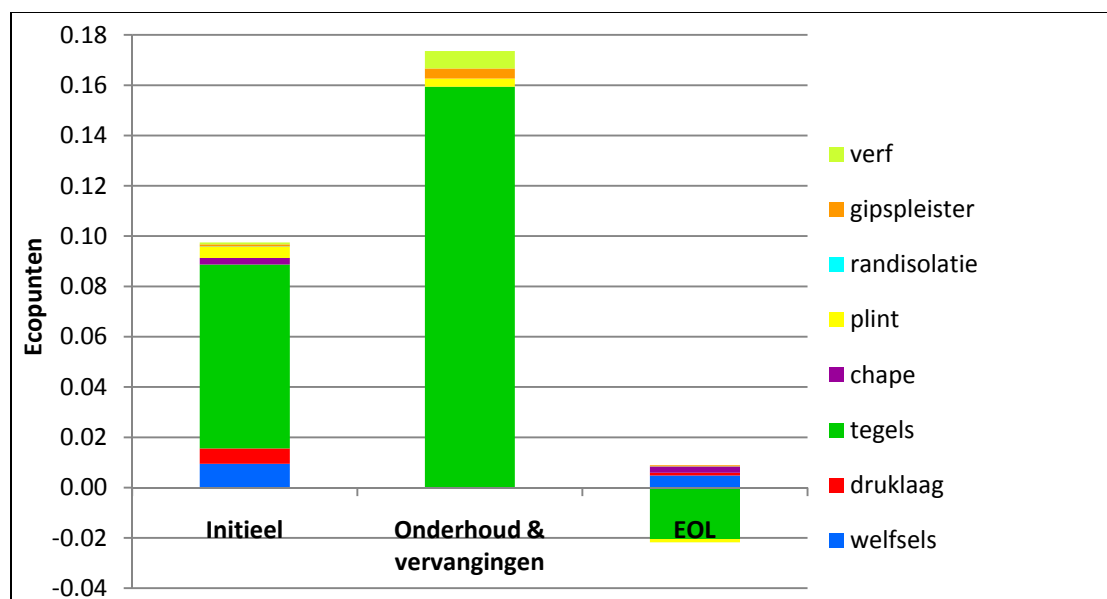


Figuur 49: Vergelijking voor het appartement van de milieu-impact van de bouwelementen op woningniveau voor de verschillende bouwconcepten (ecopunten per m² vloer en per jaar)

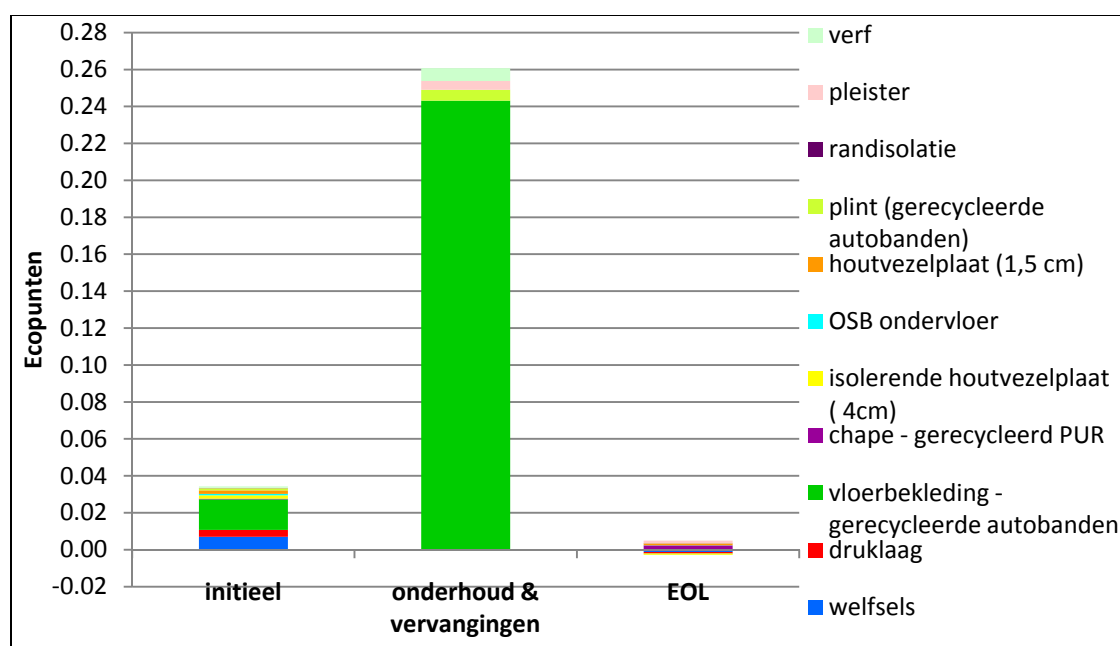
2.1.6.4 Detailanalyse van de verdiepingsvloer

In de hierna volgende grafieken (Figuur 50 en Figuur 51) wordt een detailvoorstelling gemaakt van de milieu-impact van 1 m² verdiepingsvloer voor de referentiewoning en de maximale recyclage variant. Hierbij wordt niet alleen een opsplitsing gemaakt in levenscyclustfasen, maar ook in de verschillende deelcomponenten van de buitenwand. Bij de grafieken moet benadrukt worden dat de schaal niet dezelfde is. Het interval tussen de verschillende rasterlijnen is wel constant gehouden op 0.02

ecopunten. Wanneer de rasterlijnen dicht op elkaar staan, is de milieu-impact dus groter dan wanneer de rasterlijnen ver uit elkaar staan.



Figuur 50: Detailanalyse milieu-impact van 1 m² verdiepingsvloer van het referentie appartement (ecopunten per jaar)



Figuur 51: Detailanalyse milieu-impact van 1 m² verdiepingsvloer van het appartement met maximale recyclage (ecopunten per jaar)

Figuur 50 en Figuur 51 geven aan dat onderhoud en vervanging van de vloerbedekking een belangrijke rol spelen in het totale milieuprofiel van het element. Ondanks de hoge impact ten gevolge van de productie van de keramische tegels, zijn deze levenscyclus gezien te verkiezen boven de gerecycleerde autobanden. De keramische tegels worden verondersteld niet te worden vervangen tijdens de

levensduur van 90 jaar³, terwijl de gerecycleerde autobanden verondersteld worden om de 15 jaar⁴ te worden vervangen.

De negatieve ecopunten ofwel milieuwinsten voor de referentie zijn te danken aan het hergebruiken en/of recyclen van materialen op het einde van hun levensduur. Dit blijkt voornamelijk gerelateerd te zijn aan het recyclen van de keramische tegels als secundaire granulaten.

2.1.6.5 Conclusies voor de milieu-impact van het appartement

Alhoewel de initiële milieu-impact van de onderzochte alternatieve bouwconcepten voor het appartement ten opzichte van de referentie (zijnde het traditioneel metselwerk) significant lager is, geniet geen van beide concepten de voorkeur op basis van levenscyclusimpact. Dit is voornamelijk te wijten aan het belang van het energieverbruik in de levenscyclusimpact van de woningen. Ook bij deze goed geïsoleerde woningen (K30) blijkt energie nog steeds de belangrijkste impact te veroorzaken.

2.1.7 Conclusies voor de milieu-impact van de verschillende bouwconcepten

De conclusies van de analyses van de verschillende woningtypes blijken zeer gelijklopend te zijn. Wat de initiële milieu-impact betreft, zijn er bij de nieuwe bouwconcepten zowel die een hogere initiële impact hebben, als een lagere initiële impact. Op levenscyclustermijn zien we echter dat de totale milieu-impact voor de verschillende bouwconcepten steeds van dezelfde grootteorde is. Dit is voornamelijk te wijten aan het belang van het energieverbruik in de levenscyclusimpact van de woningen. Ook bij deze goed geïsoleerde woningen (K30-K32) blijkt het energieverbruik nog steeds het zwaarst door te wegen in de totale milieu-impact van de woning. Deze laatste vaststelling, alsook het feit dat er geen echte voorkeur voor één of enkele bouwconcept(en) af te leiden valt en dat de conclusies verschillen naar gelang de beschouwde levenscyclusfase(n), komen overeen met de resultaten uit de literatuurstudie.

De maximale vermindering van de totale milieubelasting, die kan bereikt worden, is relatief beperkt. Bij de vrijstaande woning resulteert de houtskeletbouwvariant in een milieu-impact, die 10% lager is dan die van de referentie. Ook bij de rijwoning blijkt de houtskeletbouwvariant de laagste levenscyclus milieu-impact te hebben. Hier bedraagt de daling ten opzichte van de referentiewoning echter slechts 6.7%.

Bij deze conclusies dient echter opgemerkt te worden dat de resultaten niet zomaar veralgemeend mogen worden. In deze studie worden immers slechts drie specifieke woningen onderzocht, met telkens één specifieke bouwtechnische oplossing per bouwconcept, waarbij de focus vooral ligt op het uitsparen van primaire oppervlaktedelfstoffen en minder op het verminderen van de globale milieu-impact van de woningen.

³ Gebaseerd op verschillende literatuurbronnen worden keramische tegels vervangen na 60 jaar op basis van esthetische redenen (geen noodzakelijke vervanging). Echter, aangezien, de levensduur van het appartement 90 jaar is verondersteld, worden de tegels na 60 jaar niet vervangen, omdat er 'maar' 30 jaar meer rest.

⁴ Er waren geen gegevens beschikbaar voor de levensduur van een vloerbekleding op basis van gerecycleerde autobanden. De vervangingsfrequentie is gebaseerd op de vervangingsfrequentie van linoleum.

2.2 Fase 2b - Effecten van nieuwe bouwconcepten op het grondstoffenverbruik

Auteurs: An Janssen, Katrien Putzeys – WTCB
Karen Allacker, Frank De Troyer – K.U.Leuven
Wim Debacker – VITO

2.2.1 Inleiding

Naast de globale milieueffecten van de nieuwe bouwconcepten wordt ook hun invloed op het gebruik van primaire oppervlaktedelfstoffen onder de loep genomen. Hiertoe worden eveneens een literatuurstudie en een levenscyclusanalyse uitgevoerd. De resultaten van deze analyses, alsook de gebruikte methodologie voor de evaluatie, worden in de onderstaande paragrafen beschreven.

2.2.2 Resultaten van de literatuurstudie aangaande de effecten van nieuwe bouwconcepten op het gebruik van oppervlaktedelfstoffen

Slechts enkele studies evalueren de effecten van verschillende woningtypes en/of bouwconcepten op het verbruik van primaire oppervlaktedelfstoffen. De belangrijkste conclusies van deze studies worden in de onderstaande paragrafen samengevat.

2.2.2.1 Onderzoek inzake de duurzaamheid van houtbouwsystemen en de groeiverwachting van deze markt, Eindrapport

De door het WTCB in opdracht van de toenmalige afdeling Natuurlijke Rijkdommen uitgevoerde studie aangaande houtbouw [1] omvat, naast een evaluatie van de globale milieu-impact van houtbouwsystemen, een evaluatie van het grondstoffenverbruik van twee referentiewoningen, opgebouwd uit traditioneel metselwerk en uit houtskeletbouw.

Hieruit blijkt dat er voor de vrijstaande referentiewoning een meerverbruik is van 78 % voor de klassieke bouwmethode tegenover de houtskeletbouwmethode en zelfs een meerverbruik van 113%, indien de betonnen funderingen niet in rekening gebracht worden. Wat de halfopen referentiewoning betreft, werd een meerverbruik voor de traditionele woning van 112% en zelfs 163% bij het niet inrekenen van de funderingen berekend. Indien bijkomend gekozen wordt voor een houten gevelafwerking in de plaats van een gevelsteen, kan nog eens 20% aan primaire oppervlaktedelfstoffen bespaard worden. Een traditionele woning vraagt ongeveer 4 maal zoveel klei als een houtskeletbouwwoning (t.g.v. de dragende wand in baksteen) en tussen 60 en 124% meer zand en grind (t.g.v. de betonnen tussenvloer en het grotere mortelverbruik).

Samengevat kan gesteld worden dat het gebruik aan primaire oppervlaktedelfstoffen in de houtskeletbouw ongeveer 40% bedraagt van het gebruik ervan in de klassieke woningbouw.

2.2.2.2 Life cycle analysis of a residential home in Michigan

De doelstelling van deze Amerikaanse studie [79] bestaat uit het kwantificeren en vergelijken van enerzijds het grondstoffenverbruik en anderzijds het primaire energie-

verbruik en de global warming potential (GWP) van twee woningen over hun gehele levenscyclus, namelijk een standaardwoning en een energie-efficiënte woning.

Beide woningen worden gekenmerkt door eenzelfde levensduur (nl. 50 jaar) en eenzelfde vloeroppervlakte en worden opgebouwd uit eenzelfde traditionele houtskeletdraagstructuur. In vergelijking met de standaardwoning, worden in de energie-efficiënte woning bijkomende maatregelen genomen om het energieverbruik drastisch te beperken (vb. dikkere houtskeletstructuur en extra isolatie, cellulose-i.p.v. glaswolisolatie, een houten i.p.v. een PVC gevelafwerking en gerecycleerde plastics/houtvezel dakshingles i.p.v. bitumen dakshingles).

Voor beide woningen worden de benodigde hoeveelheden aan bouwmaterialen voor zowel de initiële bouw als het verdere onderhoud en de nodige vervangingen berekend. Voor de standaardwoning komt dit uit op een totaal materiaalverbruik van 305,9 ton. Voor de energie-efficiënte woning is iets meer materiaal nodig, nl. 325,6 ton. Deze laatste woning is massiever dan de standaardwoning, omwille van het bijkomende gewicht aan grind en hout. Deze relatief kleine additionele hoeveelheid bouwmaterialen binnen de energie-efficiënte woning leidt wel tot een zeer grote winst in primair energieverbruik over de gehele levenscyclus van het gebouw, alsook tot een veel lagere global warming potential van de woning (nl. reductie van 63% voor beide parameters).

De allerbelangrijkste bouwmaterialen in beide woningen zijn beton en grind, op grote afstand gevolgd door hout en gips. De meest belangrijke bouwelementen wat massa betreft, zijn de funderingen en de vloer op volle grond, gevolgd door de binnen- en buitenwanden.

Meer dan 80% van de gebruikte bouwmaterialen is gebaseerd op minerale grondstoffen (vb. grind, gips, kalksteen, ...), terwijl 8 tot 10% van de materialen bestaat uit hout, 2 tot 5% uit petrochemische producten (vb. plastics) en ongeveer 1% uit metaal.

2.2.2.3 Meer halen uit materialen

De Nederlandse provincie Flevoland zoekt in haar Bouwgrondstoffenplan 2004-2008 naar wegen om het grondstoffenverbruik binnen de woningbouw drastisch in te perken. Hiervoor heeft zij het Basispakket 'Meer halen uit Materialen' (MHUM) [80] opgesteld, waarbinnen strategieën en concepten voor een substantiële reductie in het bouwgrondstoffenverbruik binnen de woningbouw vooropgesteld worden.

Binnen dit pakket worden maatregelen, die aangrijpen op de vloeren van de woningen, alsook op het materiaal beton als prioritair beschouwd wat betreft ingrepen om grondstoffen te besparen.

Daarnaast pleiten de in dit pakket weerhouden strategieën voor een lange gebouwlevensduur, voor de toepassing van niet-massieve bouwmethoden, zoals hout- of metaalskeletbouw, voor een efficiënt gebouwontwerp, voor de toepassing van secundaire, niet schaarse primaire en/of hernieuwbare grondstoffen, voor het beperken van de bouwverliezen via o.a. prefabricatie en voor een verhoogde recyclage en hergebruik na sloop van het gebouw.

Het basispakket omvat een aantal suggesties voor technieken, die kunnen leiden tot een reductie in het grondstoffenverbruik van zo'n 15%. Deze technieken omvatten het gebruik van minstens 30% puingranulaten in beton, het gebruik van fijner en grof secundair zand i.p.v. regulier beton- en metselzand, het gebruik van hoogoven- of

vliegascement i.p.v. portlandcement in beton, het gebruik van anhydriet op basis van rhogips i.p.v. zandcement voor dekvloeren en de mechanische bevestiging van de dakbedekking i.p.v. het gebruik van grind als ballastlaag.

Naast de basispakketmaatregelen worden nog vijf bouwconcepten, die een bijkomende besparing kunnen opleveren, voorgesteld.

Een eerste concept is gericht op een lange gebouwlevensduur, dankzij een hoge kwaliteit, een robuust casco, flexibiliteit en niet-massieve vloersystemen en kan een bijkomende reductie in grondstoffenverbruik tot 30% opleveren.

Een tweede concept houdt rekening met een grote flexibiliteit en aanpasbaarheid, dankzij holle vloeren, massieve bouwmuren, een dakconstructie met een grote overspanning en een extra fundering, die gericht is op veranderbaarheid en uitbreidbaarheid. Dit concept kan een bijkomende grondstoffenbesparing van 40 tot 60% opleveren.

Het derde concept legt de nadruk op een sober en puur materiaalgebruik met veel glas, (zicht)beton en massief hout en kan tot 40% grondstoffen uitsparen.

Het voorlaatste concept omvat woningen met een prefabcasco uit hout- of staalskelet en het maximaal gebruik van hernieuwbare grondstoffen, zoals cellulose en hout. Dit concept kan leiden tot een reductie in het grondstoffenverbruik van bijna 50%.

Het laatste concept is toepasbaar bij projecten met grote aantallen gelijkaardige woningen, waarbij, waar mogelijk, de lichtere variant gekozen wordt, die meestal in kalkzandsteen wordt uitgevoerd. Dit concept kan een reductie van meer dan 20% opleveren.

2.2.2.4 Conclusies van de literatuurstudie aangaande de effecten van nieuwe bouwconcepten op het verbruik van oppervlakedelfstoffen

Slechts enkele studies geven informatie over het verbruik van primaire oppervlakedelfstoffen in relatie met nieuwe bouwconcepten binnen de woningbouw. De belangrijkste conclusies hiervan zijn het feit dat de toepassing van nieuwe bouwconcepten in de meeste gevallen leidt tot een niet te onderschatten reductie in het delfstoffenverbruik en dat een energie-efficiënte woning weliswaar gekenmerkt wordt door een hoger materiaalverbruik, maar ook door een veel lager primair energieverbruik en een lagere global warming potential dan een standaardwoning.

2.2.3 Methodologische aanpak voor de evaluatie van het verbruik van oppervlakedelfstoffen

Zoals eerder vermeld, wil deze studie, naast de milieueffecten van nieuwe, als duurzaam beschouwde bouwconcepten, vooral hun invloed op het verbruik van primaire oppervlakedelfstoffen in vergelijking met de traditionele woningbouw in Vlaanderen evalueren.

In de volgende paragrafen wordt toegelicht op welke wijze het aan de beschouwde bouwconcepten gerelateerde verbruik van primaire oppervlakedelfstoffen in deze studie berekend wordt.

2.2.3.1 Primaire oppervlakedelfstoffen in Vlaanderen

In Vlaanderen komen heel wat primaire oppervlakedelfstoffen voor [85]. Het gaat hier vooral om losse, onverharde sedimenten van Tertiaire en Kwartaire oorsprong, hoewel verharde gesteenten ook regelmatig terug te vinden zijn.

In concreto komen de volgende oppervlakedelfstoffen in Vlaanderen voor [85]:

- klei en leem
- zand
- grind
- natuursteen

Klei en leem worden over heel Vlaanderen actief ontgonnen en vertegenwoordigen de belangrijkste traditionele grondstoffen voor de keramische industrie (cf. bakstenen en kleidakpannen) [85].

Zand wordt op basis van zijn granulometrische en mineralogische kenmerken verder opgedeeld in bouwzand, vulzand en kwartszand [85]. Vulzand wordt over heel Vlaanderen actief ontgonnen en toegepast binnen de bouwsector, terwijl bouwzand enkel in Limburg ontgonnen wordt en kwarts- of glaszand vooral voorkomt en gewonnen wordt in de regio Mol-Lommel en in Maasmechelen.

Grind is een grof granulaat, dat in Vlaanderen vooral te vinden is in het Maasbekken en in mindere mate in het Scheldebekken [85][86]. Actieve grindontginning vindt enkel plaats in het Maasbekken. Grind wordt voor heel wat toepassingen in de burgerlijke bouwkunde gebruikt (vb. als hoofdbestanddeel in beton en als component voor bitumineuze mengsels).

Er komen verschillende soorten natuursteen voor in Vlaanderen [85]. De meest bekende zijn de Diestiaanse ijzerzandsteen, de Brusseliaanse kalkzandsteen, de Gobertangesteent, de Balegemse of Ledesteent en de Maastrichtersteen. Deze gesteenten werden vroeger regelmatig toegepast in gebouwen, maar worden, op de Balegemse steen na, momenteel niet meer actief ontgonnen.

Volgens de raming van het Algemeen Oppervlakedelfstoffenplan 2008 (AOD) wordt anno 2010 jaarlijks zo'n 16 miljoen ton aan grondstoffen ontgonnen in Vlaanderen (zie ook Tabel 14) [85].

Naast de eigen productie, maakt Vlaanderen ook gebruik van oppervlakedelfstoffen, die vanuit de omliggende regio's ingevoerd worden [85][86][87][88][89][90][91]. Vooral bouwzand, grind en grove granulaten, onder de vorm van gebroken natuursteen, worden geïmporteerd vanuit Wallonië, Nederland, Duitsland, Groot-Brittannië en de Noordzee (Belgisch en Brits Continentaal Plat) (zie ook Tabel 14).

Tot slot worden Vlaamse grondstoffen in beperkte mate ook uitgevoerd naar de omliggende regio's [85][86][87][88][89][90][91]. Het gaat hier vooral om grind en kwartszand (zie ook Tabel 14).

Een overzicht van de gemiddelde productie en van de in- en uitvoer van oppervlakedelfstoffen in, vanuit en naar Vlaanderen, zoals opgenomen in het Algemeen Oppervlakedelfstoffenplan 2008, wordt weergegeven in Tabel 14.

Oppervlakte- delfstof	Gemiddelde productie in Vlaanderen (2001-2005)	Import naar Vlaanderen	Export vanuit Vlaanderen
	<i>ton/jaar</i>	<i>ton/jaar</i>	<i>ton/jaar</i>
<i>klei en leem</i>	2.246.000	457.000	onbekend
<i>vulzand</i>	1.658.000	onbekend	onbekend
<i>bouwzand</i>	3.648.000	14.000.000	1.000.000
<i>grind</i>	5.229.000	5.500.000	2.850.000
<i>natuursteen</i>	sporadisch	onbekend	onbekend
Totaal	16.574.000	19.957.000	3.850.000

Tabel 14: Overzicht van de productie en de import en export van primaire oppervlakedelfstoffen in en naar Vlaanderen, zoals opgenomen in het Algemeen Oppervlakedelfstoffenplan (AOD)⁵ [85].

2.2.3.2 Primaire oppervlakedelfstoffen binnen SuFiQuaD

Zoals eerder vermeld, wordt de milieuevaluatie van de hier beschouwde nieuwe bouwconcepten uitgevoerd met behulp van het SuFiQuaD model. Ook de analyse van het verbruik van primaire oppervlakedelfstoffen, gerelateerd aan deze bouwconcepten, gebeurt aan de hand van dit model.

De milieueffecten van de winning en het gebruik van oppervlakedelfstoffen worden in de levenscyclusanalyse van een gebouw ingerekend via de bouwmaterialen en producten, die uit deze delfstoffen geproduceerd worden (vb. bakstenen worden gemaakt uit klei, mortel uit zand en cement, dat zelf op basis van kalksteen geproduceerd wordt, en beton uit grind en cement). Voor elke functionele eenheid van de gebruikte bouwmaterialen wordt de benodigde hoeveelheid van de verschillende delfstoffen in de milieurecord opgenomen (vb. 1.35 kg klei, 0.02 kg kalksteen en 0.01 kg zand voor de productie van 1 kg baksteen en 1890 kg grind, 120 kg klei, 205 kg zand en 322 kg kalksteen voor de productie van 1 m³ beton). Dit is ook het geval in de Ecoinvent 2.2 databank [59]. De totale benodigde hoeveelheid van de verschillende grondstoffen voor de individuele bouwelementen of voor het gehele gebouw kan dan berekend worden op basis van de totale benodigde hoeveelheid aan bouwmaterialen en de hiervoor benodigde delfstoffen voor de beschouwde bouwelementen of voor het gehele gebouw.

Doordat het SuFiQuaD model gebruik maakt van de Ecoinvent 2.2 databank voor de samenstelling van de bouwelementen en van de woningen, worden ook in dit model de milieueffecten van de winning van de primaire oppervlakedelfstoffen, die nodig zijn voor de productie van de bouwmaterialen, meegenomen. Maar de hieraan gekoppelde hoeveelheden zijn niet altijd rechtstreeks zichtbaar in de eindresultaten. Dit is vooral het gevolg van het feit dat binnen het SuFiQuaD project gewerkt wordt op het niveau van de verwerkte materialen (vb. gemetste muur), de bouwelementen (vb. buitenwand) en de gehele woning, terwijl de gegevens aangaande de gebruikte delfstoffen zich bevinden op een lager niveau, namelijk op het niveau van de basismaterialen (vb. baksteen of beton).

Om dit probleem op te lossen en om de specifieke gegevens met betrekking tot oppervlakedelfstoffen te kunnen analyseren, wordt voor deze studie het SuFiQuaD model uitgebreid, zodat ook de gebruikte hoeveelheden oppervlakedelfstoffen berekend kunnen worden.

⁵ De productie-, import- en exportgegevens voor kwartszand zijn in deze tabel weggelaten, omdat binnen het AOD geen cijfers weergegeven worden en omdat kwartszand in de verdere analyses niet als delfstof meegenomen wordt.

2.2.3.3 Uitbreiding van het SuFiQuaD model voor deze studie

Vanuit de doelstelling van deze studie om de invloed van nieuwe en duurzame bouwconcepten op het verbruik van primaire oppervlaktedelfstoffen in Vlaanderen te analyseren, is het noodzakelijk om een zicht te krijgen op de exacte hoeveelheden aan grondstoffen, die nodig zijn om woningen volgens deze nieuwe bouwconcepten op te trekken, te gebruiken en weer af te breken. Bijgevolg moeten de resultaten van de levenscyclusanalyse rechtstreekse informatie geven over de hoeveelheden klei, leem, zand, grind en (gebroken) natuursteen, die gerelateerd zijn aan de gehele woning, maar ook aan de individuele bouwelementen en aan de verschillende verwerkte materialen binnen de bouwelementen (vb. x kg klei per m² vloer van de woning, per m² buitenwand en per m² gemetste muur). Om deze informatie te bekomen, wordt het SuFiQuaD model in drie stappen aangepast en uitgebreid.

Opdeling van primaire oppervlaktedelfstoffen in drie groepen

In een eerste stap worden de primaire oppervlaktedelfstoffen opgedeeld in drie groepen, die relevant zijn voor de woningbouw, namelijk:

- Klei en leem, die beiden vooral toegepast worden voor de productie van keramische producten, zoals bakstenen en kleidakpannen. Vermits de exacte verhouding tussen beide grondstoffen binnen de keramische producten niet exact gekend is en ook niet opgenomen wordt in de Ecoinvent 2.2 databank, worden beiden hier samen geanalyseerd.
- Zand, inclusief bouwzand en vulzand, dat zijn toepassing vindt in allerlei materialen voor de ruwbouw en de afwerking, zoals mortel, cement en pleister, maar dat ook als such gebruikt wordt, vb. als opvullaag of als onderlaag voor de fundering. Vermits binnen de Ecoinvent 2.2 databank geen onderscheid gemaakt wordt tussen vulzand en bouwzand, worden beiden hier samen geanalyseerd.
- Grind en grove granulaten, waarvan de laatste bestaan uit gebroken natuursteen of steenslag, afkomstig van onder andere kalksteen, zandsteen, dolomiet, basalt en graniet, die vooral hun toepassing vinden als opvullaag of als onderlaag voor funderingen, alsook als toeslagcomponent in beton. Vermits beide grondstoffen in dezelfde toepassingen gebruikt worden en dus onderling uitwisselbaar zijn en hierdoor hun juiste verhouding veelal niet gekend is (vb. er is niet exact geweten wat hun verhouding is in beton), worden beide grondstoffen hier samen geanalyseerd. Daarnaast wordt binnen de Ecoinvent databank niet altijd onderscheid gemaakt tussen wel en niet gebroken natuursteen, zodat binnen deze categorie van delfstoffen beide types opgenomen zijn. Dit wil dus zeggen dat ook de niet-gebroken natuursteen, die bijvoorbeeld toegepast wordt als dorpel van deuren en ramen of als afwerking van buitengevels, geïnterpreteerd wordt als zijnde grove granulaten. Hierbij moet wel vermeld worden dat deze types van technische oplossingen in de in deze studie geanalyseerde woningen en bouwconcepten niet of zelden toegepast worden.

Uitbreiding van de SuFiQuaD materialendatabank met gegevens aangaande primaire oppervlaktedelfstoffen

In een tweede stap wordt de SuFiQuaD materialendatabank, waaraan oorspronkelijk enkel de milieugegevens gekoppeld waren, uitgebreid met informatie over de benodigde hoeveelheden aan oppervlaktedelfstoffen. Dit gebeurt door in de SuFiQuaD databank, naast de elf Eco-Indicator 99 indicatoren, drie extra indicatoren voor de drie delfstoffengroepen (nl. zand, klei & leem en grind & grove granulaten) toe te voegen en deze vervolgens voor elk van de materialen aan te vullen met de

benodigde hoeveelheden van de verschillende primaire oppervlakedelfstoffen. Deze laatste gegevens worden teruggevonden in de Ecoinvent records van de materialen onder de vorm van delfstoffenrecords en de hieraan gekoppelde hoeveelheden en worden naar de juiste delfstoffenindicator in de uitgebreide SuFiQuaD databank overgeheveld door de delfstoffenrecords te koppelen aan de juiste delfstoffenindicator. Deze koppeling tussen de relevante Ecoinvent records aangaande primaire oppervlakedelfstoffen en de drie delfstoffenindicatoren in de uitgebreide SuFiQuaD databank wordt weergegeven in Tabel 15.

Oppervlakedelfstoffenindicator	Relevante Ecoinvent delfstoffenrecords
Zand	Rivierzand Zand
Klei & leem	Bentoniet Klei Kaoliniet Leem Schiefer
Grind & grove granulaten (gebroken natuursteen)	Grind Basalt Calciet Dolomiet Graniet Kalksteen

Tabel 15: Overzicht van de verdeling van de relevante Ecoinvent delfstoffenrecords over de verschillende delfstofindicatoren in de uitgebreide SuFiQuaD databank.

Aanpassing van de Ecoinvent 2.2 databank aan de Vlaamse situatie

Zoals reeds eerder vermeld, is de Ecoinvent 2.2 databank vooral gebaseerd op Zwitserse gegevens [59]. Deze kunnen echter in meer of mindere mate afwijken van de Vlaamse en/of Belgische situatie. Daarom werden binnen het SuFiQuaD project de materiaaldata wat betreft de elektriciteitsmix reeds geharmoniseerd naar de Belgische/Europese context (zie 2.1.3.2).

Ook wat de primaire oppervlakedelfstoffen betreft, is er een belangrijk verschil tussen de Zwitserse en de Vlaamse situatie, waarvoor een aanpassing noodzakelijk is. Het betreft meer bepaald de winning van zand.

Het Zwitserse zand, dat binnen de Ecoinvent databank gebruikt wordt, bestaat voor bijna 100% uit breekzand, dat afkomstig is van de winning van grind of natuursteen [59].

In Vlaanderen, echter, is het overgrote deel van het losse zand afkomstig uit zand-groeves of uit de grindwinningen, waar het als los zand tussen het grind aanwezig is en dus eveneens als los zand gewonnen wordt [85]. Slechts een zeer beperkt aandeel van het in Vlaanderen geproduceerde zand bestaat uit breekzand, afkomstig van het breken van grind of andere gesteenten. Ook het in Vlaanderen ingevoerde zand is voor het grootste deel afkomstig van zandgroeves of van plaatsen, waar het zand als los zand voorkomt (vb. Noordzee) [85].

Indien voor deze studie zonder bijkomende aanpassing de Zwitserse data voor de winning van zand gebruikt zouden worden, zouden alle records, waarbinnen los zand gebruikt wordt, via het feit dat het zand beschouwd wordt als afkomstig van grind en er dus voor de productie van zand een bepaalde hoeveelheid grind ontgonnen moet

worden, toegewezen worden aan de delfstoffenindicator grind & grove granulaten en zou de voor de woning benodigde hoeveelheid zand quasi op nul komen te staan. Dit is echter helemaal niet in overeenstemming met de Vlaamse situatie, waar voor de toepassing van zand vooral een bepaalde hoeveelheid los zand ontgonnen moet worden en in mindere mate grind en/of natuursteen.

Daarom werd voor deze studie de Ecoinvent record aangaande zand aangepast naar de Vlaamse situatie, waarbij rekening gehouden wordt met de verdeling van het beschikbare zand over los zand, gewonnen als los zand in groeves of gerelateerd aan de grindwinningen, en breekszand, afkomstig van het breken van grind en andere gesteenten (vb. kalksteen, porfier en zandsteen uit Wallonië), zoals weergegeven in het Vlaams Algemeen Oppervlakedelfstoffenplan [85]. Een overzicht van deze berekening wordt weergegeven in Figuur 52.



Figuur 52: Berekening van het aandeel los zand en breekszand in Vlaanderen [85]

Grondstofstromen stroomopwaarts in de keten in de Ecoinvent 2.2 databank

Primaire oppervlakedelfstoffen worden in een hele reeks van bouwmaterialen gebruikt (vb. baksteen, beton, ...). Daarnaast worden zij ook toegepast tijdens de productie van bouwmaterialen, zonder dat ze noodzakelijk in de eindproducten opgenomen worden. Een voorbeeld hiervan is de productie van roestvast staal, waarvoor o.a. kalksteen en dolomiet nodig zijn, zonder dat deze gesteenten in het uiteindelijke product, zijnde het staal, vervat zitten.

Zulke stromen zijn eveneens opgenomen in de milieudata binnen de Ecoinvent databank [59]. Bijgevolg worden hun milieueffecten meegenomen in de milieuevaluatie van de hier beschouwde bouwconcepten. Daarnaast worden in de delfstoffenanalyse ook hun hoeveelheden in rekening gebracht door het opnemen hiervan in de uitgebreide SuFiQuaD databank.

Wat deze hoeveelheden betreft, kan echter aangetoond worden dat zij veel kleiner zijn dan de delfstoffenstromen, die wel deel uitmaken van de uiteindelijke samenstelling van bouwmaterialen. In Tabel 16 worden de benodigde hoeveelheden aan primaire oppervlakedelfstoffen voor twee bouwmaterialen, namelijk roestvast staal en polyethyleenfolie, vergeleken met de benodigde delfstoffenhoeveelheden voor eenzelfde hoeveelheid baksteen.

Bouw materiaal	Functionele eenheid (FE)	Benodigde oppervlakedelfstoffen	Hoeveelheid per FE bouw materiaal
roestvast staal	1 kg	kalksteen dolomiet	0.081 kg 0.002 kg
polyethyleenfolie	1 kg	klei zand grind kalksteen dolomiet graniet	$4.23 \cdot 10^{-5}$ kg $8.4 \cdot 10^{-5}$ kg $6.4 \cdot 10^{-7}$ kg $1.33 \cdot 10^{-4}$ kg $2.13 \cdot 10^{-6}$ kg $4.67 \cdot 10^{-15}$ kg
baksteen	1 kg	klei zand kalksteen	1.35 kg 0.01 kg 0.02 kg

Tabel 16: Benodigde hoeveelheden aan primaire oppervlakedelfstoffen voor 1 kg roestvast staal, 1 kg polyethyleenfolie en 1 kg baksteen [59].

2.2.3.4 Analyse van het verbruik van primaire oppervlakedelfstoffen van de bouwconcepten

Analoog aan de milieuevaluatie, wordt het verbruik van primaire oppervlakedelfstoffen, gerelateerd aan de in deze studie beschouwde bouwconcepten, berekend door de verschillende bouwmaterialen in de uitgebreide SuFiQuaD materialendatabank onderling met elkaar te combineren tot verwerkte materialen, individuele bouwelementen en uiteindelijk woningen en door de hiervoor benodigde delfstoffenhoeveelheden bij elkaar op te tellen.

Door vervolgens deze resultaten met elkaar te vergelijken, kunnen uitspraken gedaan worden over het verbruik aan primaire oppervlakedelfstoffen door de verschillende bouwconcepten in vergelijking met de traditionele woningbouw in Vlaanderen en kan nagegaan worden welk bouwconcept het grootste of kleinste verbruik van oppervlakedelfstoffen over zijn gehele levenscyclus met zich meebrengt.

In de eerste plaats wordt het globale grondstoffenverbruik door de verschillende woningtypes en bouwconcepten over hun gehele levenscyclus geëvalueerd. Deze hoeveelheden worden uitgedrukt in kg klei & leem, zand en grind & grove granulaten per m² vloer en per jaar van de woning.

Vervolgens wordt een onderscheid gemaakt tussen het grondstoffenverbruik tijdens de verschillende levenscyclusfasen van de woningen (nl. initieel, onderhoud en vervangingen en einde-levensduurfase of EOL). Deze hoeveelheden worden eveneens uitgedrukt in kg klei & leem, zand en grind & grove granulaten per m² vloer en per jaar van de woning. Op deze manier kan nagegaan worden welke levenscyclusfase het zwaarste doorweegt wat betreft grondstoffenverbruik.

Tot slot wordt dieper ingegaan op het verbruik van primaire oppervlakedelfstoffen van de individuele bouwelementen binnen de verschillende woningen en bouwconcepten. Hierbij kunnen de bouwelementen onderling met elkaar vergeleken worden, waarbij de resultaten uitgedrukt worden in kg klei & leem, zand en grind & grove granulaten per m² vloer en per jaar van de woning. Daarnaast kan ook nagegaan worden welke de bijdrage aan het grondstoffenverbruik is van de individuele verwerkte materialen binnen één bouwelement. Hier worden de resultaten uitgedrukt als kg klei & leem, zand en grind & grove granulaten per functionele eenheid van het bouwelement (vb. 1 m² vloer of wand).

In de volgende paragrafen worden de resultaten van de analyse van het primaire oppervlaktedelfstoffenverbruik van de verschillende woningen en bouwconcepten in detail besproken.

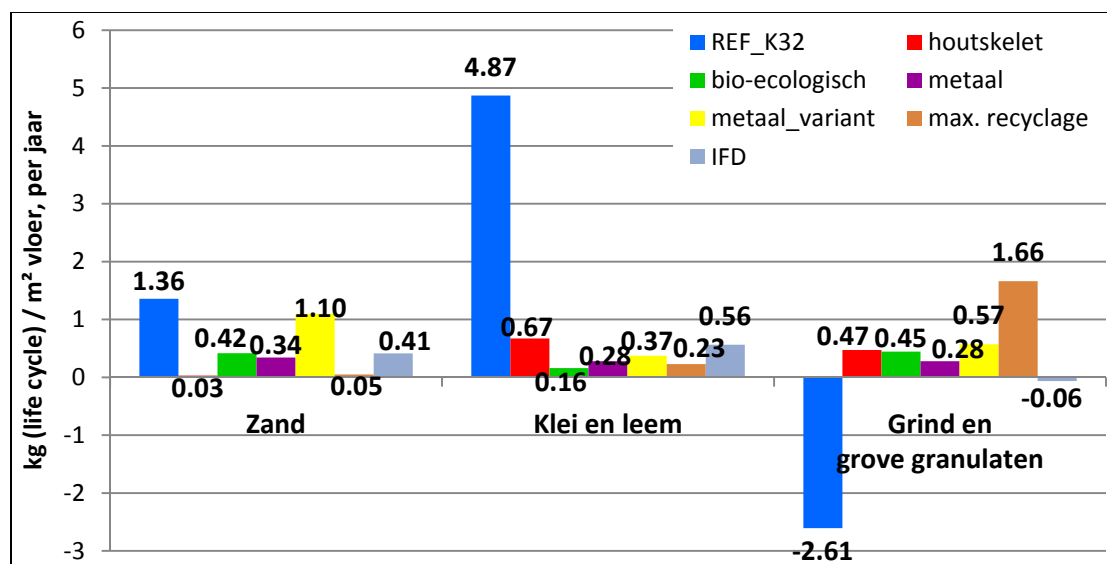
2.2.4 Resultaten van de analyse van een vrijstaande woning

In deze paragraaf wordt het verbruik van primaire oppervlaktedelfstoffen van de onderzochte vrijstaande woningen, zoals omschreven in paragraaf 2.1.4.1, in detail bekeken. Hier wordt enkel nog de K32 woning meegenomen in de analyses, aangezien uit de vergelijking van de milieu-impact van de K42 en de K32 woning is gebleken dat dit nagenoeg geen effect heeft op het materiaalgebruik in de woning.

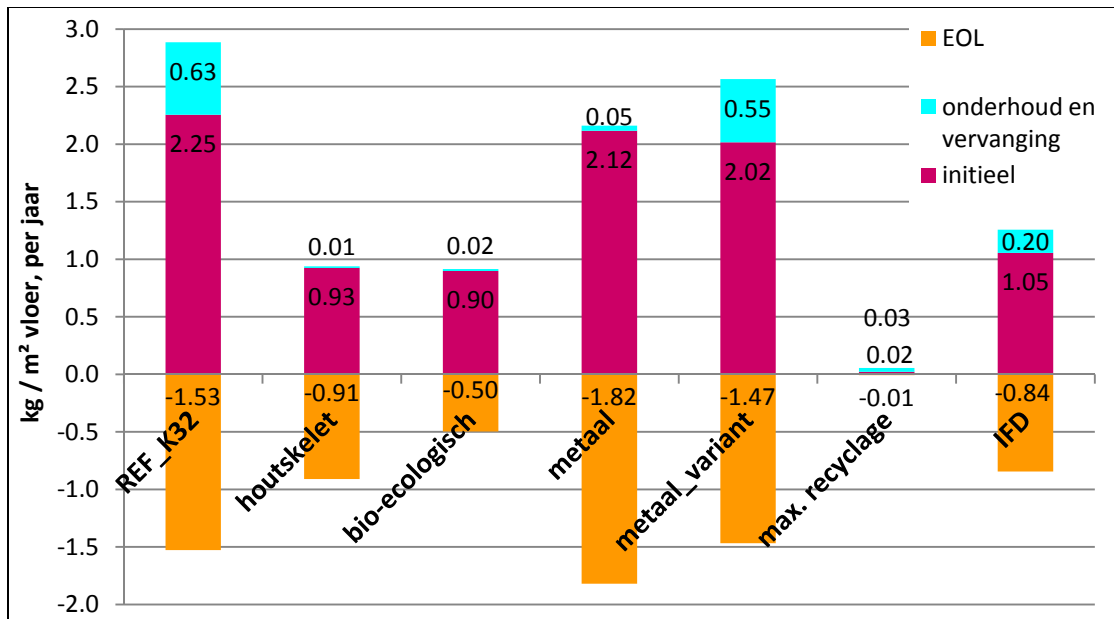
2.2.4.1 Overzicht verbruik van oppervlaktedelfstoffen op woningniveau

In Figuur 53 wordt eerst een globaal overzicht gegeven van het totale nettoverbruik van de drie groepen van oppervlaktedelfstoffen gedurende de volledige levenscyclus. Deze resultaten worden uitgedrukt in kg per m² vloer per jaar, omwille van dezelfde redenen als de milieu-impact (nl. herberekenen van totale levensduurimpact tot een jaarlijkse impact om de IFD variant – met een langere levensduur – te kunnen vergelijken met de andere bouwconcepten).

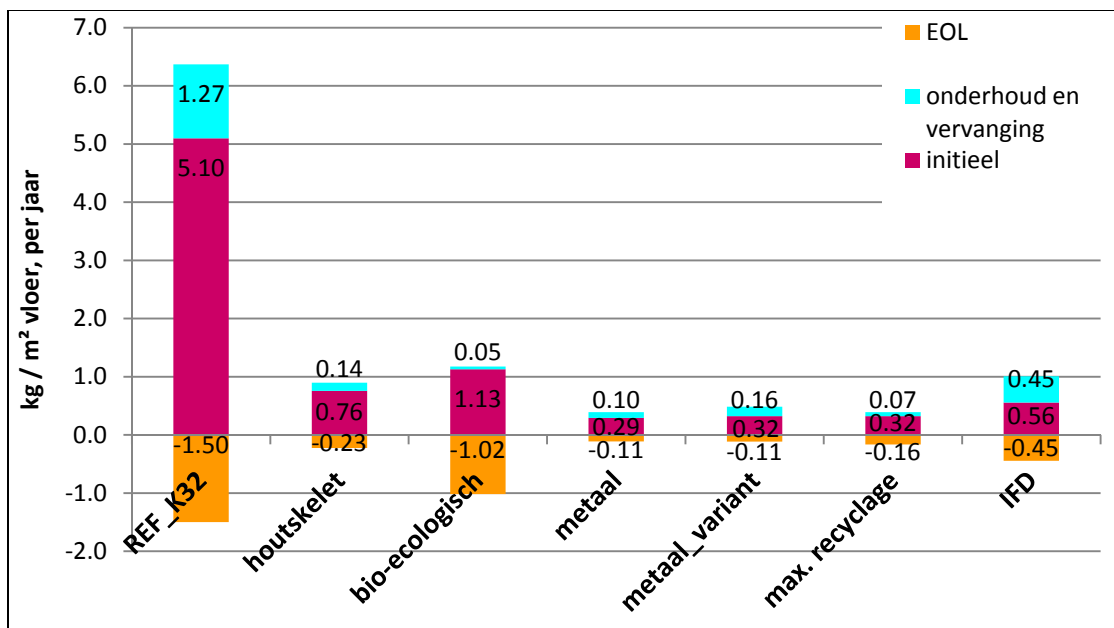
Twee zaken vallen onmiddellijk op bij de analyse van deze grafiek. In de eerste plaats stellen we vast dat het verbruik van zand en van klei & leem veel hoger ligt bij de traditionele woning dan bij de andere bouwconcepten. Daarnaast zien we ook dat het verbruik van grind en grove granulaten voor de traditionele woning een negatief eindresultaat heeft. De verklaring hiervoor kan gevonden worden, wanneer we het totale verbruik van de grondstoffen opsplitsen volgens de verschillende levenscyclusfasen. Deze resultaten worden weergegeven in Figuur 54, Figuur 55 en Figuur 56 voor respectievelijk het verbruik van zand, klei & leem en grind & grove granulaten.



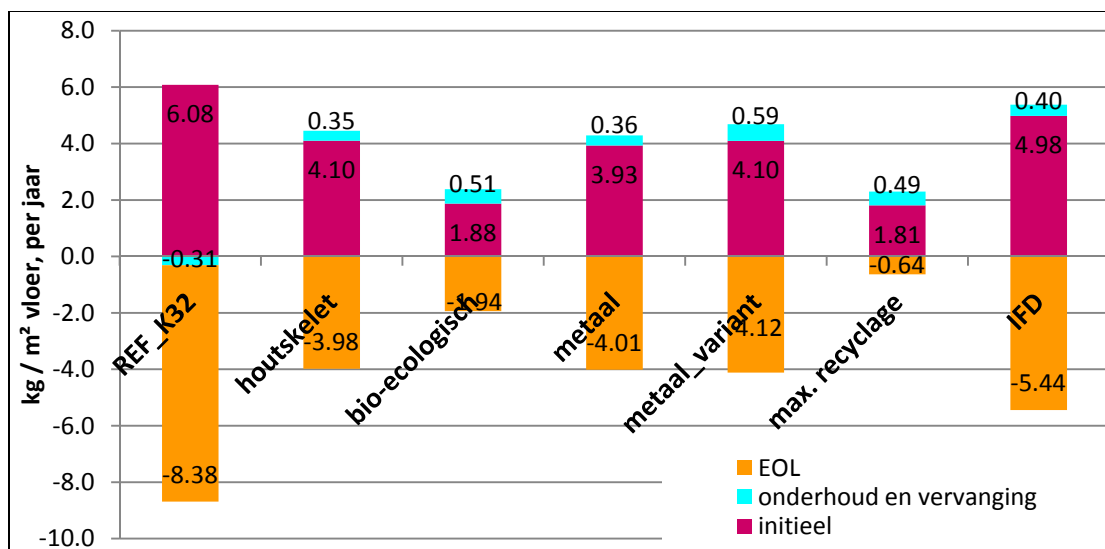
Figuur 53: Vergelijking voor de vrijstaande woning van het totale verbruik van oppervlaktedelfstoffen voor de verschillende bouwconcepten (kg per m² vloer per jaar)



Figuur 54: Vergelijking voor de vrijstaande woning van het totale verbruik van zand, met opdeling in levenscyclusfasen (kg per m² vloer per jaar)



Figuur 55: Vergelijking voor de vrijstaande woning van het totale verbruik van klei en leem, met opdeling in levenscyclusfasen (kg per m² vloer per jaar)



Figuur 56: Vergelijking voor de vrijstaande woning van het totale verbruik van grind en grove granulaten, met opdeling in levenscyclustfasen (kg per m² vloer per jaar)

Aan de hand van bovenstaande grafieken kunnen we besluiten dat alle bouwconcepten initieel aanzienlijk minder oppervlakedelfstoffen verbruiken dan de referentiewoning. De grootste daling in initieel verbruik stellen we vast bij de woning met maximale recyclage (82%). Het IFD concept leidt dan weer tot de kleinste daling (44%). Bij de beide metaalskeletbouwvarianten is de daling in het initiële verbruik zo'n 52%. Bij de houtskeletbouwvariant en de bio-ecologische woning bedraagt het initiële minderverbruik respectievelijk 57% en 71%.

Het valt echter ook op dat de daling in het initiële verbruik niet dezelfde is voor elk van de drie groepen van oppervlakedelfstoffen. Voor zand schommelt de daling in het verbruik zeer sterk, namelijk tussen 6% (bij de basismetalaalvariant) en 99% (bij maximale recyclage). Voor klei en leem blijkt de bio-ecologische variant de kleinste daling op te leveren (78%) en de basismetalaalvariant de grootste daling (94%). Wat grind en grove granulaten betreft, ten slotte, bespaart men het minste grondstoffen bij de toepassing van het IFD concept (18%) en het meeste bij de woning met maximale recyclage (70%).

Voor de einde-levensduurfase stellen we voor alle bouwconcepten en voor de drie groepen van oppervlakedelfstoffen een negatieve waarde vast voor het verbruik. Met andere woorden, de einde-levensduurfase levert een bepaalde hoeveelheid aan oppervlakedelfstoffen op.

Dit is in de eerste plaats te verklaren door het feit dat veel van de inerte bouwmaterialen op het einde van hun levensduur – mits een kwaliteitscontrole – gerecycleerd worden tot secundaire grondstoffen (vb. gebroken puin of breekzand), die dan in een volgende cyclus zowel binnen als buiten de woningbouwsector opnieuw toegepast worden als vervanger van primaire oppervlakedelfstoffen (vb. uitsparing van grind en grove granulaten of van zand). Het gaat dus in feite om een netto opbrengst aan secundaire grondstoffen, die in de totale kringloop wordt ingezet en dus niet per definitie terug in een woning. Vermits deze secundaire grondstoffen echter vaak niet dezelfde kwaliteit bezitten als primaire delfstoffen, worden ze eerder ingezet in laagwaardigere toepassingen (vb. funderingen, wegverhardingen, opvullingen, ...). Dit neemt echter niet weg dat hierdoor waarschijnlijk evenveel primaire oppervlakedelfstoffen uitgespaard worden als bij de toepassing van secundaire grondstoffen in hoogwaardige toepassingen.

Een tweede verklaring voor de netto opbrengst aan grondstoffen tijdens de eindelevensduurfase van een gebouw wordt gevonden in het feit dat een aantal van de toegepaste bouwmaterialen op het einde van de levensduur van het gebouw ook zonder bijkomende verwerking opnieuw hergebruikt kunnen worden binnen eenzelfde toepassing (vb. baksteen wordt opnieuw toegepast als baksteen en zand als zand), waardoor wederom primaire oppervlaktedelfstoffen uitgespaard worden.

Voor de delfstofcategorie grind en grove granulaten kunnen we in Figuur 56 bovendien zien dat bij de traditionele woning op het einde van de levensduur via recyclage en hergebruik meer secundaire granulaten worden geproduceerd dan er benodigd zijn in de andere levenscyclusfasen (nl. initieel en tijdens het gebruik van het gebouw). Met andere woorden, de traditionele woning is op levenscyclustermijn netto gezien een leverancier van (secundaire) grove granulaten in de plaats van een afnemer (van primaire granulaten). De verklaring hiervoor is dat ook inerte bouwmaterialen, waarvoor initieel geen grind of grove granulaten nodig zijn, met name bakstenen (initieel verbruik van klei) en mortel (initieel verbruik van zand), op het einde van hun levensduur, net zoals de andere inerte materialen, eveneens - ten dele - gerecupereerd worden als secundaire granulaten, die dan gebruikt worden als vervangers van primair grind en grove granulaten. Bij de andere bouwconcepten doet zich hetzelfde fenomeen voor, maar in beperktere mate (vanwege de beperktere toepassing van initiële bouwmaterialen uit klei en/of zand). Hierdoor zijn de nieuwe bouwconcepten netto gezien dus grotere verbruikers van primair grind en primaire en secundaire grove granulaten dan het traditionele bouwconcept.

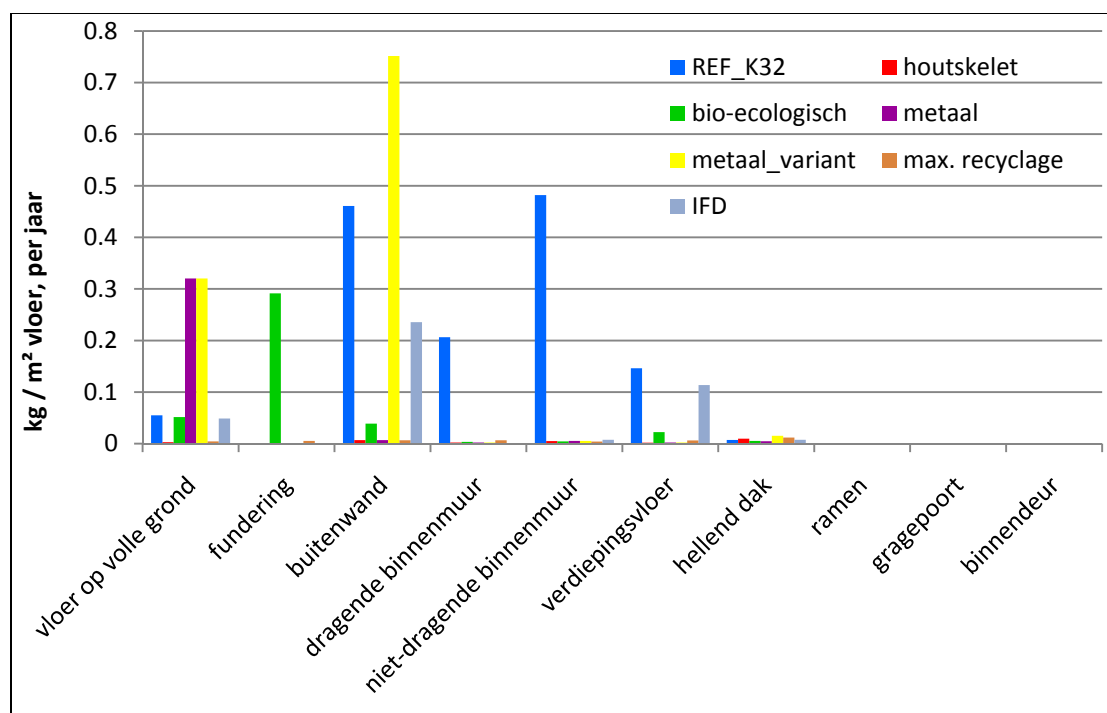
In de volgende paragraaf wordt meer in detail nagegaan welke bouwelementen voor elk van de bouwconcepten het meeste bijdragen tot het verbruik van primaire oppervlaktedelfstoffen.

2.2.4.2 Verbruik van oppervlaktedelfstoffen voor de verschillende bouwelementen

In paragraaf 2.1.4.3 werd de bijdrage van de verschillende bouwelementen tot de totale milieu-impact van de vrijstaande woning nagegaan voor elk van de bouwconcepten. Daaruit bleek dat in de eerste plaats de vloer op volle grond en vervolgens de buitenwanden, de niet-dragende binnenmuren, de verdiepingsvloer en het hellend dak belangrijke elementen waren voor de milieu-impact. Bij de analyse van het verbruik van de oppervlaktedelfstoffen kan men echter niet een dergelijke algemene conclusie trekken (zie Figuur 57, Figuur 58 en Figuur 59). Het grondstoffenverbruik is heel uiteenlopend, zowel voor de drie groepen van oppervlaktedelfstoffen, als voor de verschillende bouwconcepten. Daarom wordt elk van de grafieken afzonderlijk besproken.

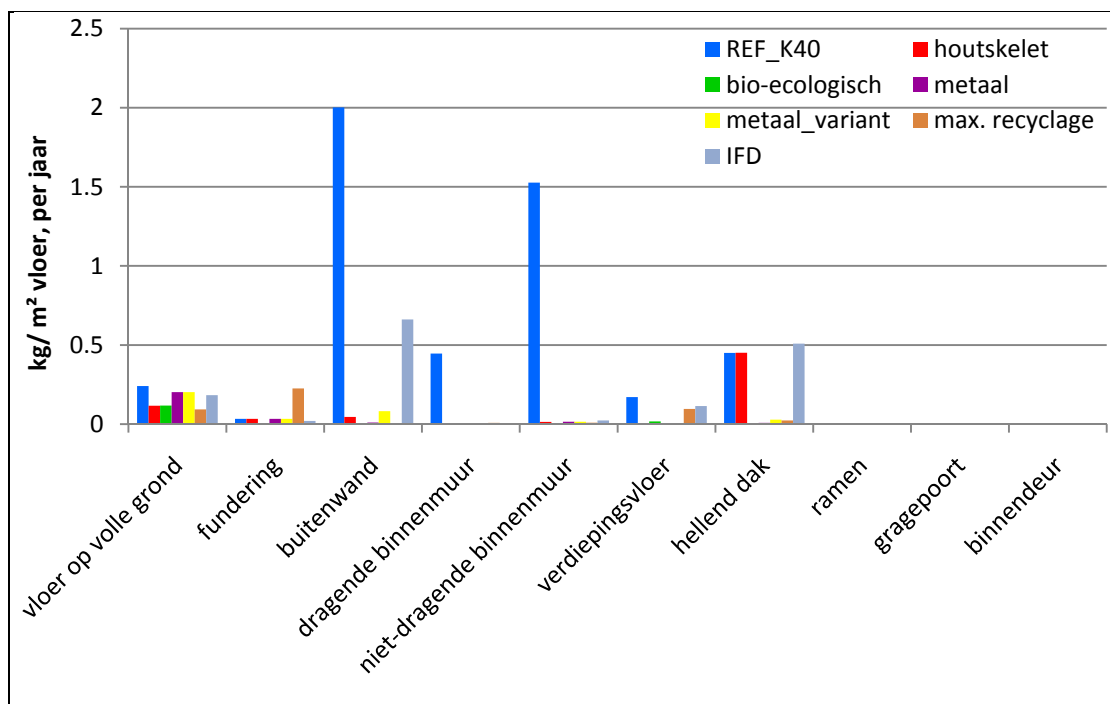
Op basis van Figuur 57 kunnen we vaststellen dat voor de traditionele woning in de eerste plaats de wanden, zowel buiten- als binnenwanden, het grootste verbruik van zand met zich meebrengen. Zand wordt hierbij gebruikt in de mortel van deze gemetste muren. Op de tweede plaats komen de vloeren, waar het zand gebruikt wordt in de aanvullingslaag, de betonnen draagstructuur, de dekvloer en in mindere mate in de mortellijm voor het bevestigen van de keramische tegels. Het totale zandverbruik van de verdiepingsvloer van de IFD woning is eigenlijk identiek aan dat van de referentiewoning, want de vloeropbouw is bij beide concepten identiek. Bij de IFD woning wordt de impact echter gedeeld door een langere levensduur (150 jaar in plaats van 90 jaar), wat leidt tot een kleinere jaarlijkse impact.

Bij de andere bouwconcepten is het zandverbruik zo goed als verwaarloosbaar, op een paar uitzonderingen na. Een belangrijk zandverbruik stellen we vast bij de vloer op volle grond van de metaalskeletbouwvarianten, waar een dikkere aanvullingslaag dan bij de referentiewoning vereist is omwille van de dunnere isolatielaag. Bij de bio-ecologische woning stellen we eveneens een opmerkelijk hoger zandverbruik vast bij de funderingen. Dit is te verklaren door het feit dat de fundering bij deze woning bestaat uit een gecompacteerd zandlaag, met daarop gemetste kalkzandstenen, ten opzichte van een gewone betonnen fundering bij de andere bouwconcepten, waarbij het aandeel zand veel lager ligt.



Figuur 57: Vergelijking van het verbruik van zand per bouwelement voor de vrijstaande woning (kg per m² vloer per jaar)

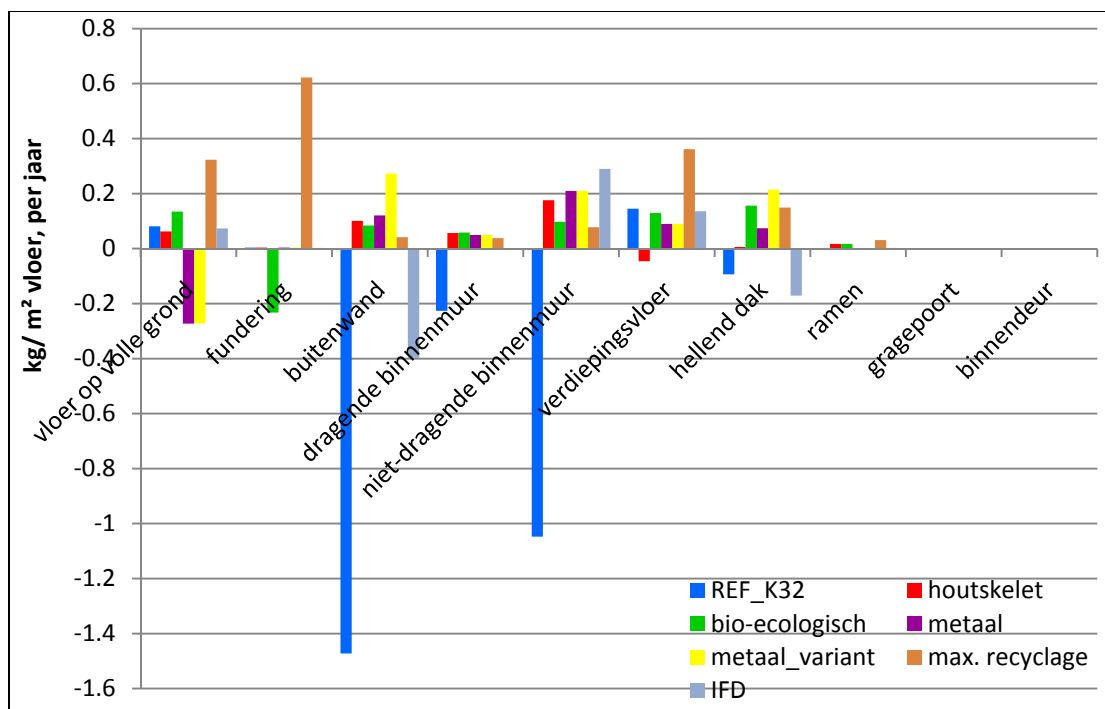
Wat het gebruik van klei en leem betreft, is het duidelijk dat dit voor de referentiewoning veel hoger ligt dan voor de andere bouwconcepten (zie Figuur 58). Dit is vooral toe te schrijven aan de opbouw van de wanden (bakstenen) van de referentiewoning. Voor de woningvarianten, waarbij keramische dakpannen worden toegepast (referentie, houtskeletbouw en IFD), is ook het hellend dak verantwoordelijk voor een aanzienlijk verbruik van klei en leem.



Figuur 58: Vergelijking van het verbruik van klei en leem per bouwelement voor de vrijstaande woning (kg per m² vloer per jaar)

In Figuur 59 zien we een bevestiging van de conclusies, die hierboven werden getrokken in verband met het verbruik van grind en grove granulaten. Bij de wanden en het hellend dak blijkt de referentiewoning te resulteren in een negatief verbruik ofwel een opbrengst van grind en grove granulaten. Zoals reeds eerder werd aangegeven, gaat het hier in feite om een combinatie van een initieel verbruik van primair grind en grove granulaten en een grotere finale opbrengst van secundaire granulaten ten gevolge van recyclage (en hergebruik) van, onder andere, het metselwerk en de keramische dakpannen op het einde van de levensduur van de woning. Deze situatie is eveneens het geval voor de buitenwand en het hellend dak van de IFD variant, die dezelfde buitenafwerking hebben als de referentiewoning (nl. gevelsteen en keramische dakpannen). De grotere opbrengst aan granulaten voor het hellend dak van de IFD woning is te verklaren door de langere levensduur van deze woning. Er wordt uitgegaan van een levensduur van 90 jaar voor de keramische dakpannen, waardoor deze eenmaal vervangen moeten worden gedurende de levensduur van de woning van 150 jaar. Ook deze dakpannen worden gerecupereerd als secundaire granulaten, met logischerwijze dus een grotere netto opbrengst als resultaat.

Het verbruik van grind en grove granulaten ligt voor de meeste bouwelementen opmerkelijk hoger voor de woning met maximale recyclage. Dit wordt verklaard, doordat het recuperatie-effect hier niet kan spelen. Er wordt namelijk al van bij de start gewerkt met secundaire granulaten, zodat deze niet nog eens als grind-ervanger kunnen ingerekend worden.



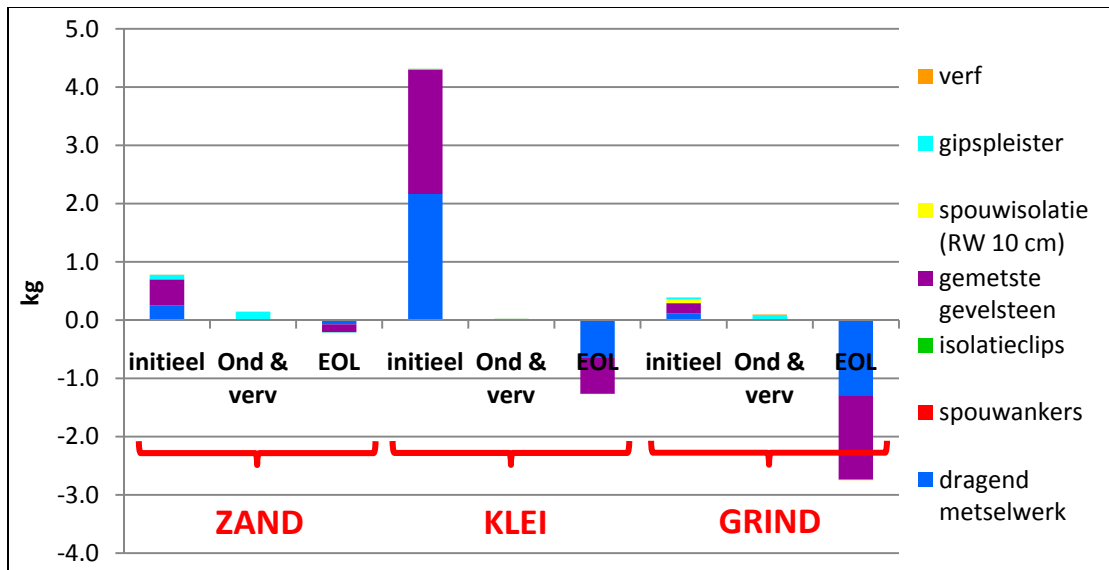
Figuur 59: Vergelijking van het verbruik van grind en grove granulaten per bouwelement voor de vrijstaande woning (kg per m² vloer per jaar)

In de volgende paragraaf wordt ten slotte dieper ingegaan op de buitenwanden.

2.2.4.3 Detailanalyse van de buitenwand

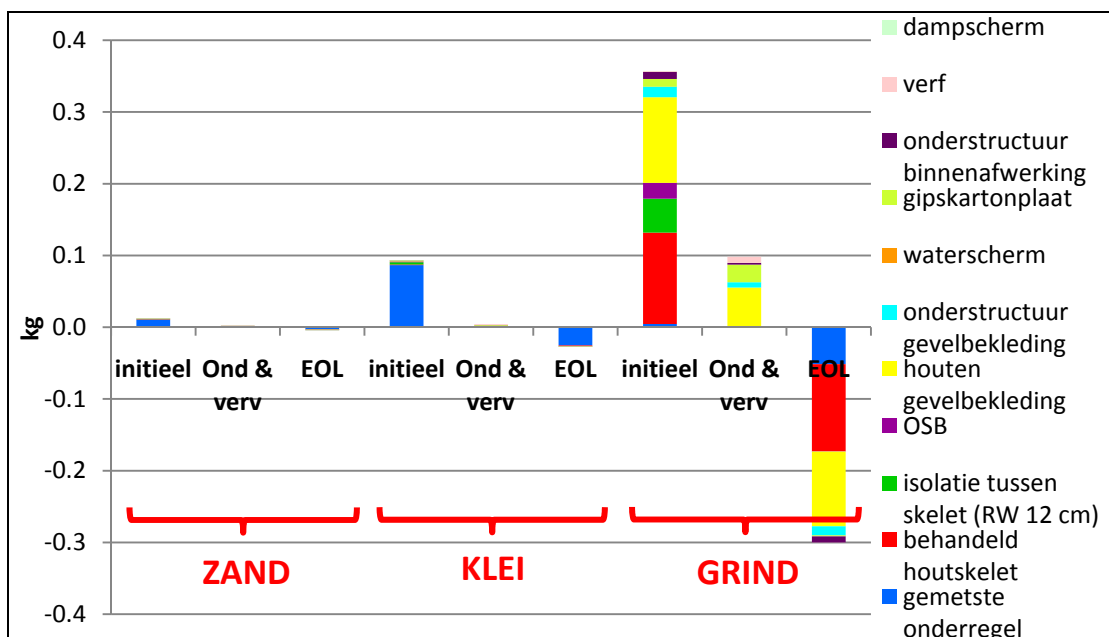
In de hierna volgende grafieken wordt een detailvoorstelling gemaakt van het verbruik van oppervlaktedelfstoffen voor 1 m² buitenwand voor elk van de bouwconcepten. Hierbij wordt niet alleen een opsplitsing gemaakt in levenscyclusfasen, maar ook in de verschillende deelcomponenten van de buitenwand. Bij de grafieken moet benadrukt worden dat de schaal niet steeds dezelfde is voor elk van de voorgestelde bouwconcepten, zoals reeds werd opgemerkt in de analyse van de milieu-impact op elementniveau. Bij de onderstaande grafieken is echter ook het interval tussen de rasterlijnen niet altijd hetzelfde, omwille van de grote variatie in het grondstofverbruik.

In Figuur 60 wordt de eerdere conclusie, dat de traditionele opbouw van de buitenwand gepaard gaat met grote verbruiken van primaire oppervlaktedelfstoffen, bevestigd. Het zijn vooral het dragend metselwerk en het gevelmetselwerk, die hiervoor verantwoordelijk zijn. Het zand wordt gebruikt voor de mortel in de wanden en de klei en leem worden gebruikt voor de snelbouwstenen en de gevelstenen. Op het einde van de levensduur stellen we een beperkte recuperatie van klei en leem vast, wat te danken is aan het hergebruik van de bakstenen. Het merendeel van de gemetste wanden wordt echter gerecupereerd als secundaire granulaten, wat blijkt uit de negatieve cijfers voor het verbruik van grind en grove granulaten.

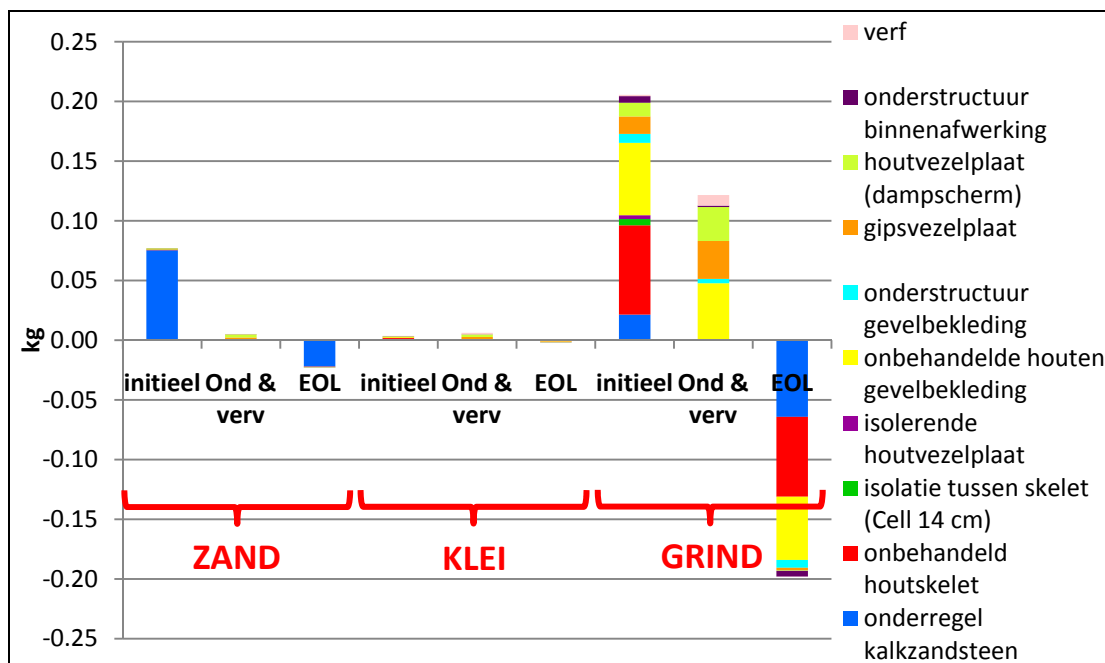


Figuur 60: Detailanalyse van het verbruik van oppervlakedelfstoffen van 1m² buitenwand van de referentie vrijstaande woning per levenscyclusfase (kg per jaar)

Wegens hun gelijkaardige wandopbouw vertonen de houtskeletbouw- en de bio-ecologische alternatieven nagenoeg hetzelfde verbruiksprofiel (zie Figuur 61 en Figuur 62). Een drastische verlaging van meer dan 90% van het initieel verbruik van oppervlakedelfstoffen ten opzichte van de referentiewand is toe te schrijven aan het gebruik van een houtskelet en een houten gevelbekleding in de plaats van het traditioneel metselwerk. Kleine verschillen in het verbruik zijn voornamelijk toe te schrijven aan een andere opbouw van de gemetste onderregel. Enerzijds zorgt de snelbouwsteen als wandbasis bij de houtskeletbouwwoning voor een kleine toename in het verbruik van klei (en leem). Anderzijds is de kalkzandsteen als onderregel in de bio-ecologische variant verantwoordelijk voor een kleine toename van het zandverbruik. Rekening houdend met de potentiële recuperatie van grondstoffen in de einde-levensduurfase, is het nettoverbruik van oppervlakedelfstoffen van deze twee wanden over de gehele levenscyclus nagenoeg nihil.

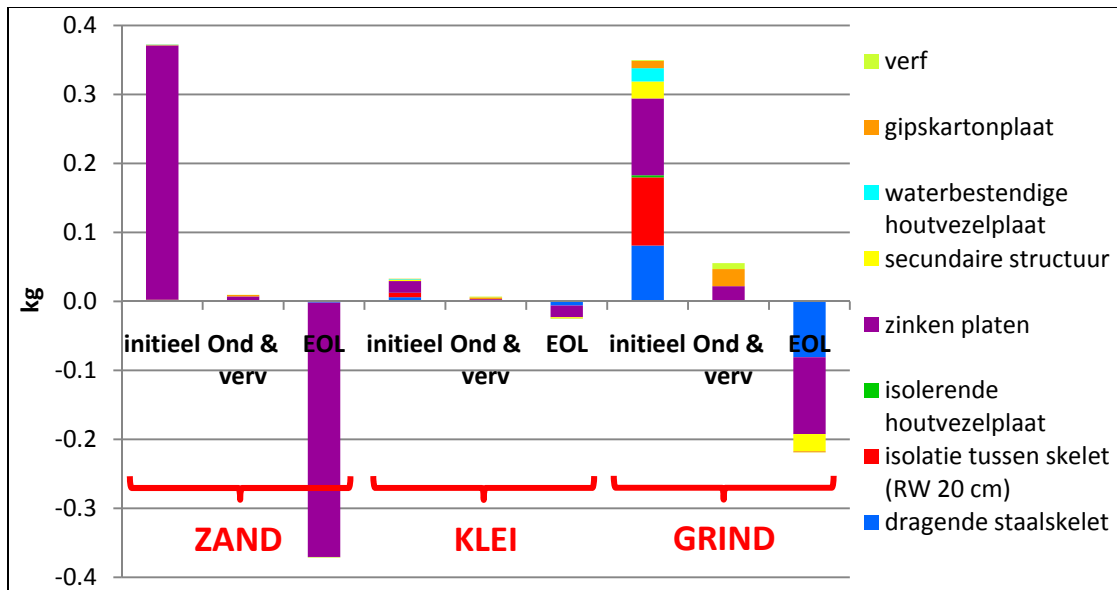


Figuur 61: Detailanalyse van het verbruik van oppervlakedelfstoffen van 1 m² buitenwand van de houtskeletbouw vrijstaande woning per levenscyclusfase (kg per jaar)

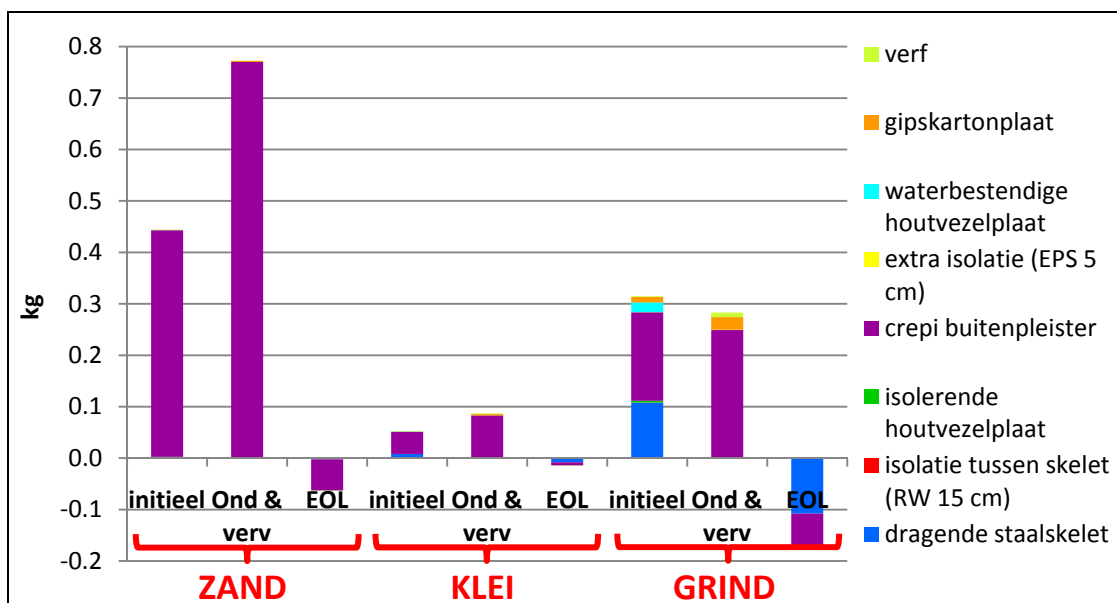


Figuur 62: Detailanalyse van het verbruik van oppervlakedelfstoffen van 1 m² buitenwand van de bio-ecologische vrijstaande woning per levenscyclusfase (kg per jaar)

Het grondstofverbruik van de beide metaalskeletbouwvarianten blijkt sterk te verschillen. Bij de basisoplossing (zie Figuur 63) wordt slechts een heel beperkte hoeveelheid delfstoffen gebruikt en dit vooral tijdens de productiefase van de metalen elementen (structuur en gevelbekleding). Gezien de recyclage van het metaal op het einde van de levensduur, wordt dit echter nagenoeg volledig gerecupereerd, met een zeer beperkt nettoverbruik als resultaat. De variante oplossing, waarbij een buitenpleister wordt toegepast in de plaats van een metalen gevelbekleding, leidt tot een veel hoger verbruik van zand dan de referentiewoning (zie Figuur 64). Initieel ligt het verbruik van de metaalskeletbouwvariant nog wel de helft lager dan dat van de referentiewoning; het is van dezelfde grootteorde als het verbruik van zand voor de gemetste gevelsteen. Maar omwille van het onderhoud en de noodzakelijke vervanging van het pleisterwerk om de 40 jaar, loopt het verbruik op levenscyclustermijn op tot een meerverbruik van 63% ten opzichte van de referentie. Het verbruik van klei en leem is ook voor de variantoplossing van de metaalskeletbouwvariant verwaarloosbaar en ligt initieel maar liefst 98% lager dan voor de referentiewoning. Het verbruik van grind en grove granulaten ten slotte ligt laag voor de metaalskeletbouwvariant; initieel een kleine 20% lager dan de referentie. Omwille van het zeer grote recuperatiepotentieel bij de traditionele woning, is het netto totaalverbruik van grind en grove granulaten echter veel hoger.

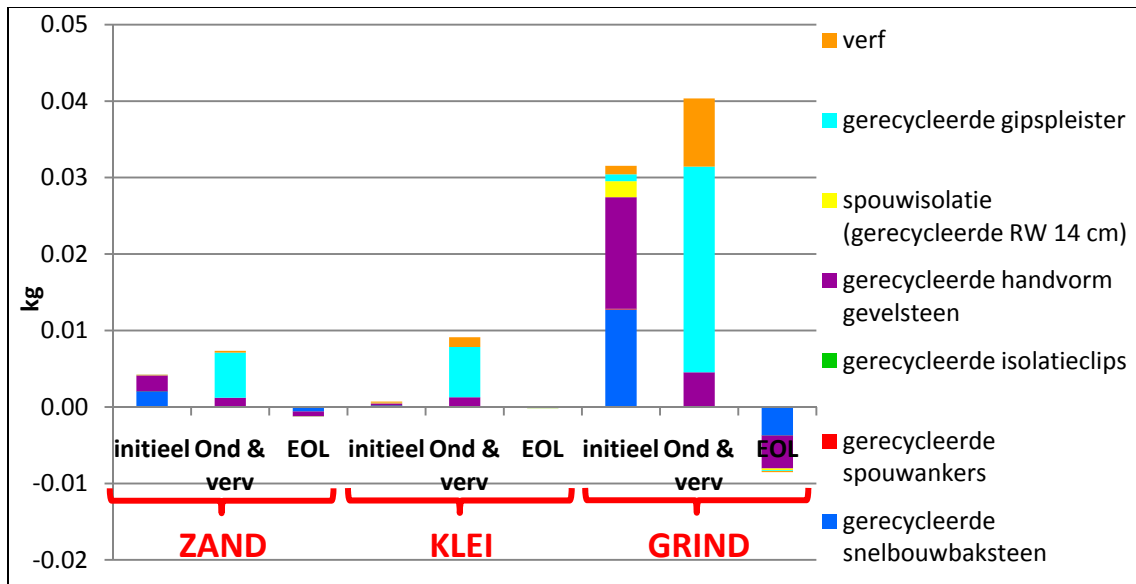


Figuur 63: Detailanalyse van het verbruik van oppervlakedelfstoffen van 1 m² buitenwand van de basisoplossing van de metaalskeletbouw vrijstaande woning per levenscyclusfase (kg per jaar)



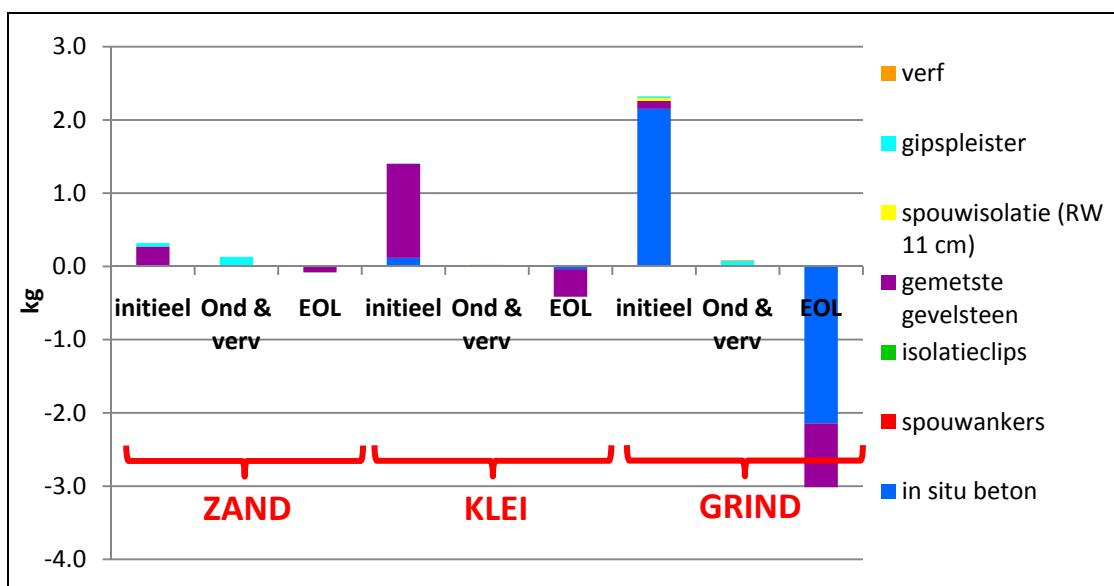
Figuur 64: Detailanalyse van het verbruik van oppervlakedelfstoffen van 1 m² buitenwand van de variant van de metaalskeletbouw vrijstaande woning per levenscyclusfase (kg per jaar)

Voor de vrijstaande woning met maximale recyclage kunnen we uit Figuur 65 afleiden dat het verbruik van primaire oppervlakedelfstoffen verwaarloosbaar is ten opzichte van de referentie. Het verbruik van zand wordt met 98.5% gereduceerd en het verbruik van klei en leem zelfs met meer dan 99%. Ook het initiële verbruik van grind en grove granulaten ligt 92% lager dan bij de referentie. Op levenscyclustermijn speelt echter opnieuw het effect van de grote recuperatie bij de traditionele woning. Hoewel het nettoverbruik van primair grind en grove granulaten slechts 5.7 kg per m² buitenwand bedraagt, is dit ruim 100% meer dan wat de traditionele woning netto opbrengt aan secundaire granulaten per m² buitenwand.



Figuur 65: Detailanalyse van het verbruik van oppervlaktedelfstoffen van 1 m² buitenwand van de vrijstaande woning met maximale recyclage per levenscyclustermijn (kg per jaar)

In Figuur 66, ten slotte, zien we dat het verbruik van primaire oppervlaktedelfstoffen bij de IFD woning opnieuw opmerkelijk hoger ligt dan voor de meeste andere bouwconcepten. Dit is te verklaren door de opbouw met een betonnen draagstructuur en de buitenafwerking met gemetste gevelsteen. Het initieel zandverbruik en het verbruik van klei en leem dalen ten opzichte van de referentie wel met respectievelijk 59% en 67%, door de vervanging van het dragend metselwerk door de betonstructuur. Het initiële grind- en grove granulatenverbruik ligt echter 5 keer hoger dan bij de referentiewoning. Beide bouwconcepten worden gekenmerkt door de hoge recuperatie van de inerte sloopmaterialen als secundaire granulaten tijdens de eindelevensduurfase. Bij de IFD woning ligt de recuperatie zelfs 10% hoger dan bij de referentiewoning. Het hogere initiële verbruik bij de IFD woning weegt echter nog door in het effect op levenscyclustermijn. Ook de IFD bouwwijze resulteert in een netto opbrengst van secundaire grove granulaten, maar deze ligt 73% lager dan bij de referentiewoning.



Figuur 66: Detailanalyse van het verbruik van oppervlaktedelfstoffen van 1 m² buitenwand van de IFD vrijstaande woning per levenscyclustermijn (kg per jaar)

2.2.4.4 Conclusies voor het verbruik van oppervlakedelfstoffen van de vrijstaande woning

De resultaten voor de hierboven beschreven verbruiken van primaire oppervlakedelfstoffen voor de verschillende bouwwijzen van de vrijstaande woning worden samengevat in Tabel 17. Hierbij wordt telkens ook de besparing of het meerverbruik ten opzichte van de referentiewoning aangeduid (percentages aangeduid in blauw).

Verbruik in kg/m ² /jaar	ZAND		KLEI & LEEM		GRIND & GROVE GRANULATEN		TOTAAL	
	Initieel	Levens-cyclus	Initieel	Levens-cyclus	Initieel	Levens-cyclus	Initieel	Levens-cyclus
REF K32	2.25	1.36	5.10	4.87	6.08	-2.61	13.44	3.62
Houtskelet	0.93	0.03	0.76	0.67	4.10	0.47	5.78	1.17
	-59.0%	-97.8%	-85.2%	-86.2%	-32.6%	+ 118.1%	-57.0%	-67.6%
Bio-ecologisch	0.90	0.42	1.13	0.16	1.88	0.45	3.90	1.02
	-60.1%	-69.3%	-77.9%	-96.7%	-69.2%	+ 117.1%	-70.9%	-71.8%
Metaal	2.12	0.34	0.29	0.28	3.93	0.28	6.34	0.90
	-6.1%	-74.8%	-94.3%	-94.3%	-35.4%	+ 110.7%	-52.8%	-75.1%
Metaal_variant	2.02	1.10	0.32	0.37	4.10	0.57	6.44	2.04
	-10.6%	-19.2%	-93.7%	-92.4%	-32.6%	+ 121.9%	-52.1%	-43.6%
Max. recyclage	0.02	0.05	0.32	0.23	1.81	1.66	2.39	2.17
	-99.0%	-96.4%	-93.7%	-95.3%	-70.2%	+ 163.7%	-82.2%	-40.0%
IFD	1.05	0.41	0.56	0.56	4.98	-0.06	7.54	1.86
	-53.2%	-69.5%	-89.1%	-88.4%	-18.1%	+ 97.6%	-43.9%	-48.6%

Tabel 17: Samenvatting van het verbruik van oppervlakedelfstoffen voor de verschillende bouwconcepten bij de vrijstaande woning (kg per m² vloer per jaar)

In paragraaf 2.1.4.5 werd geconcludeerd dat de alternatieve bouwconcepten voor de vrijstaande woning slechts een relatief beperkte daling in milieu-impact ten opzichte van de referentie met zich meebrengen. Daarentegen hebben de nieuwe bouwconcepten wel een belangrijke invloed op het verbruik van primaire oppervlakedelfstoffen van de vrijstaande woning. Voor alle onderzochte concepten spelen voornamelijk de initiële en de einde-levensduurfase een dominante rol in het verbruiksprofiel. De eerstgenoemde gaat gepaard met een verbruik van primaire oppervlakedelfstoffen en de laatstgenoemde met hoofdzakelijk recuperatie van secundaire grondstoffen dankzij recyclage en hergebruik van de bouwmaterialen (zie Tabel 17).

Aan de hand van bovenstaande tabel kunnen we besluiten dat alle bouwconcepten initieel aanzienlijk minder oppervlakedelfstoffen verbruiken dan de referentiewoning. Het valt echter ook op dat de daling in het initiële verbruik niet dezelfde is voor elk van de drie groepen van oppervlakedelfstoffen.

Het vervangen van delfstofrijke materialen door delfstofarme alternatieven zorgt ten slotte voor een totale reductie op levenscyclustermijn tussen 40 en 75% op gebouwniveau ten opzichte van de traditioneel gebouwde woning. De daling is het grootst bij de basisoplossing van de metaalskeletbouwwoning, gevolgd door de bio-ecologische woning en de houtskeletbouwwoning. Hierbij dient echter wel nogmaals gewezen te worden op enerzijds de duidelijke reductie in het verbruik van zand en van klei en leem en anderzijds het feit dat de traditionele woning op levenscyclustermijn leidt tot een grote netto opbrengst van secundaire granulaten (als vervangers van primair

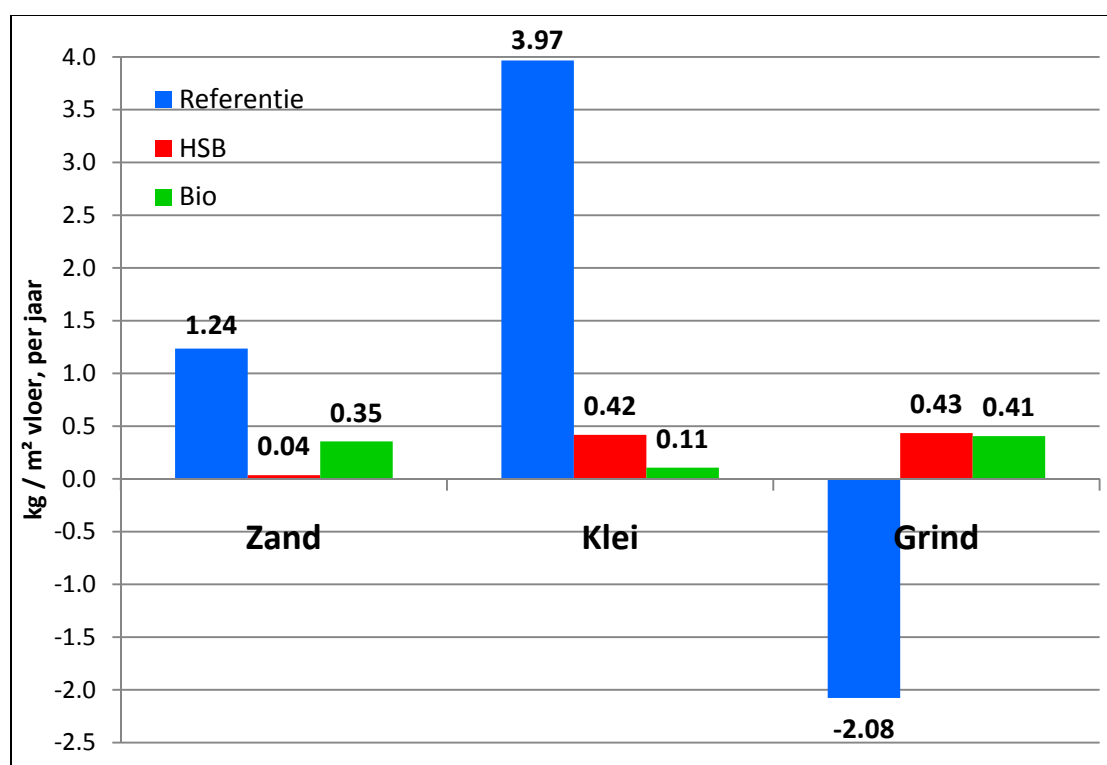
grind en grove granulaten) ten opzichte van een (zeer) beperkt netto verbruik / opbrengst voor de alternatieve bouwconcepten.

2.2.5 Resultaten van de analyse van een rijwoning

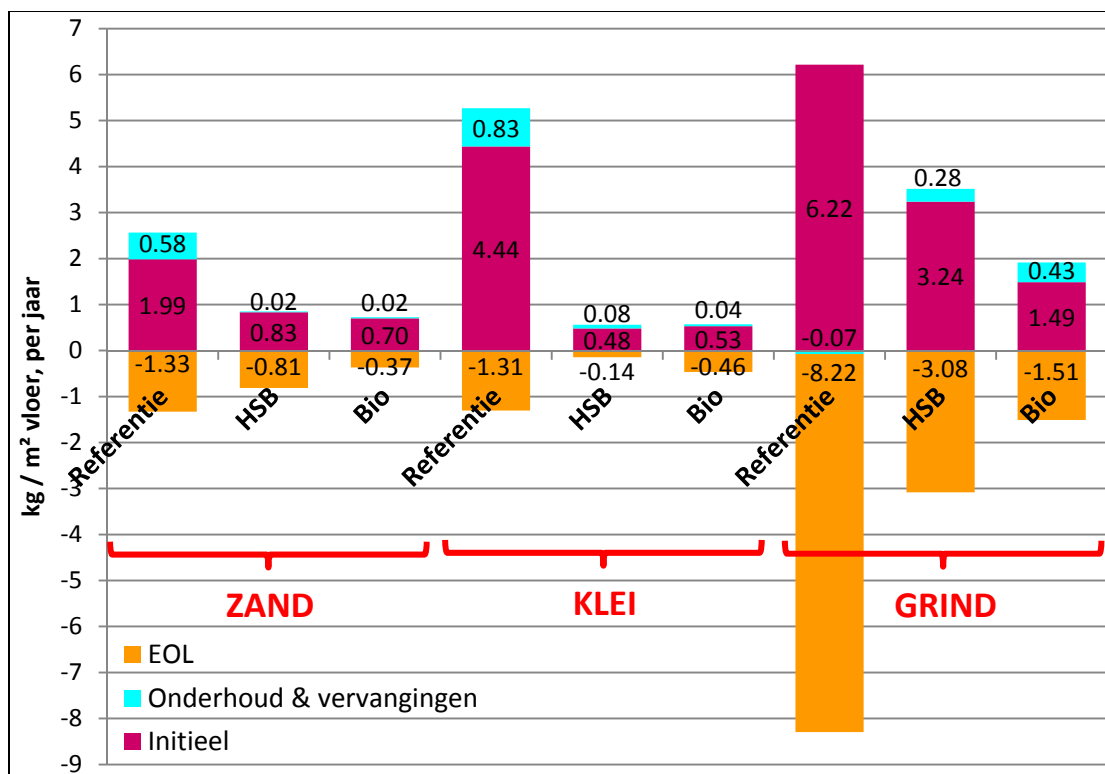
In deze paragraaf wordt het verbruik van primaire oppervlaktedelfstoffen voor de onderzochte rijwoningen, zoals omschreven in paragraaf 2.1.5.1, in detail bekeken.

2.2.5.1 Overzicht verbruik van oppervlaktedelfstoffen op woningniveau

In Figuur 67 wordt eerst een globaal overzicht gegeven van het totale netto verbruik van de drie groepen van oppervlaktedelfstoffen gedurende de volledige levenscyclus van de rijwoningen. Deze resultaten worden uitgedrukt in kg per m² vloer per jaar. Twee zaken vallen onmiddellijk op bij de analyse van deze grafiek. In de eerste plaats stellen we vast dat het verbruik van zand en van klei en leem veel hoger ligt bij de traditionele woning dan bij de houtskeletbouwwoning en de bio-ecologische woning. Daarnaast zien we ook dat het verbruik van grind en grove granulaten voor de traditionele woning een negatief eindresultaat heeft. De verklaring hiervoor kan gevonden worden wanneer we het totale verbruik van de grondstoffen opsplitsen volgens de verschillende levenscyclusfasen (zie Figuur 68).



Figuur 67: Vergelijking voor de rijwoning van het totale verbruik van oppervlaktedelfstoffen voor de verschillende bouwconcepten (kg per m² vloer per jaar)



Figuur 68: Vergelijking voor de rijwoning van het totale verbruik van oppervlakedelfstoffen, met opdeling in levenscyclusfasen (kg per m² vloer per jaar)

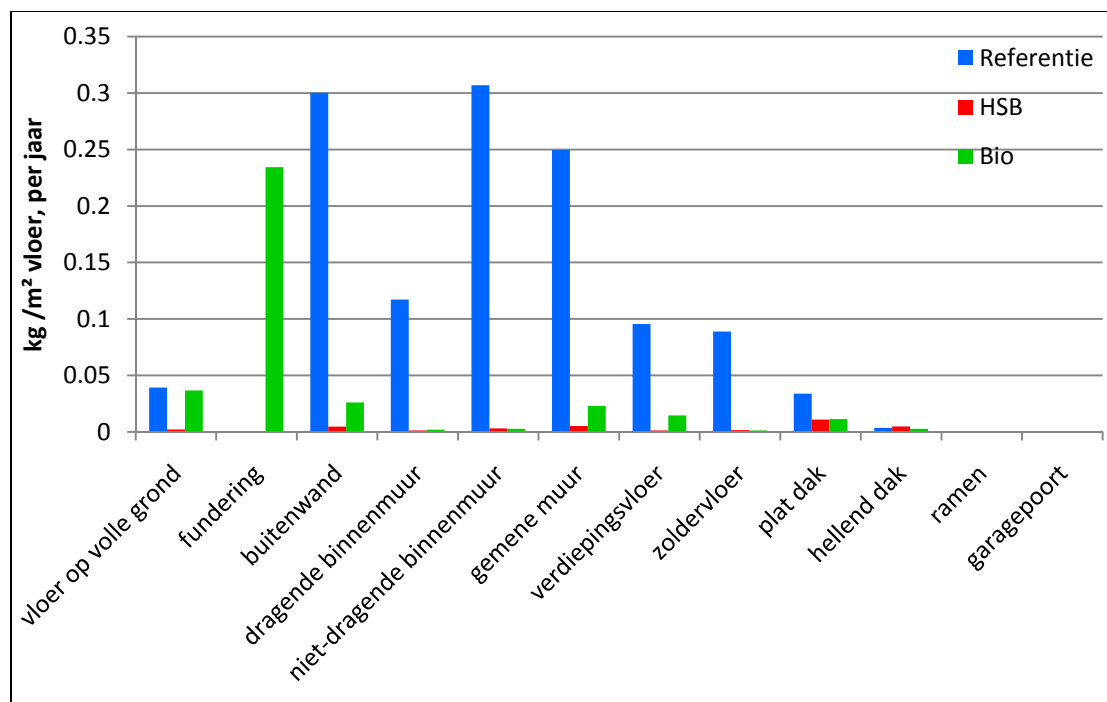
Uit Figuur 68 blijkt dat de referentiewoning gekenmerkt wordt door een, relatief gezien, groot verbruik van primaire oppervlakedelfstoffen in de productiefase. De initiële vervaardigingsprocessen van de houtskeletbouw- en de bio-ecologische alternatieven verbruiken 72% minder oppervlakedelfstoffen dan de rijwoning uit metselwerk.

Het nettoverbruik van oppervlakedelfstoffen, teweeggebracht door vervangingen (en onderhoud), is voor alle onderzochte rijwoningen aanzienlijk kleiner dan tijdens de andere levenscyclusfasen. De einde-levensduurprocessen van alle rijwoningen brengen potentiële winsten met zich mee onder de vorm van secundaire grondstoffen dankzij recyclage en hergebruik van de oorspronkelijke primaire bouwproducten. De opbrengst aan secundaire grove granulaten bij de referentiewoning is zo groot dat ze het gehele levenscyclusverbruik overschaduw. Deze nettowinsten worden nader uitgelegd in paragraaf 2.2.5.2.

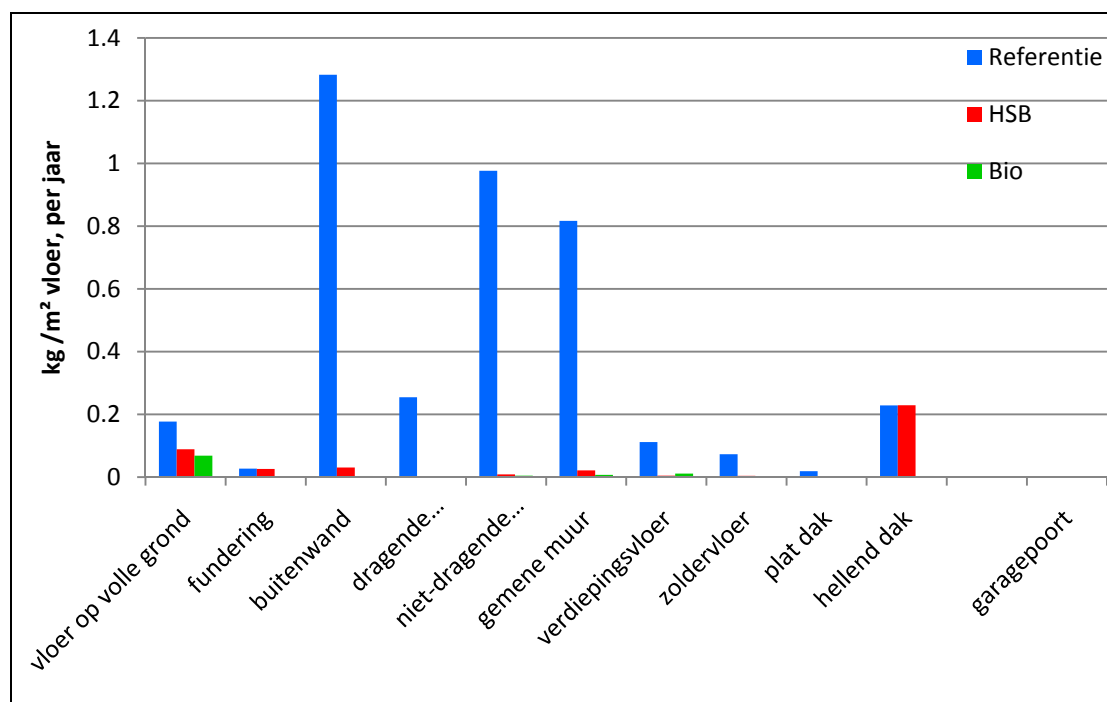
Hoewel het totale verbruik aan oppervlakedelfstoffen quasi gelijk is voor de twee houtskeletbouwwoningen, bezitten zij een gedifferentieerd delfstoffenprofiel. Bij de doorgedreven houtskeletbouwwoning is het levenscyclusverbruik van grind en grove granulaten vrijwel even groot als het verbruik van klei en leem (respectievelijk 0,43 kg/m² en 0,42 kg/m² per levensjaar van de woning). Het nettoverbruik van zand voor deze woning is zeer klein (0,04 kg/m² per levensjaar van de woning). Het zandverbruik per levensjaar van de bio-ecologische woning is daarentegen niet verwaarloosbaar (i.e. 0,35 kg/m²). Voor deze rijwoning is het zandverbruik groter dan de klei-en-leemstroom (i.e. 0,11 kg/m² per levensjaar van de woning). Het verbruik van grind en grove granulaten (i.e. 0,41 kg/m² per levensjaar van de woning) blijft, net als bij de doorgedreven houtskeletbouwwoning, de grootste delfstoffenstroom.

2.2.5.2 Verbruik van oppervlaktedelfstoffen voor de verschillende bouwelementen

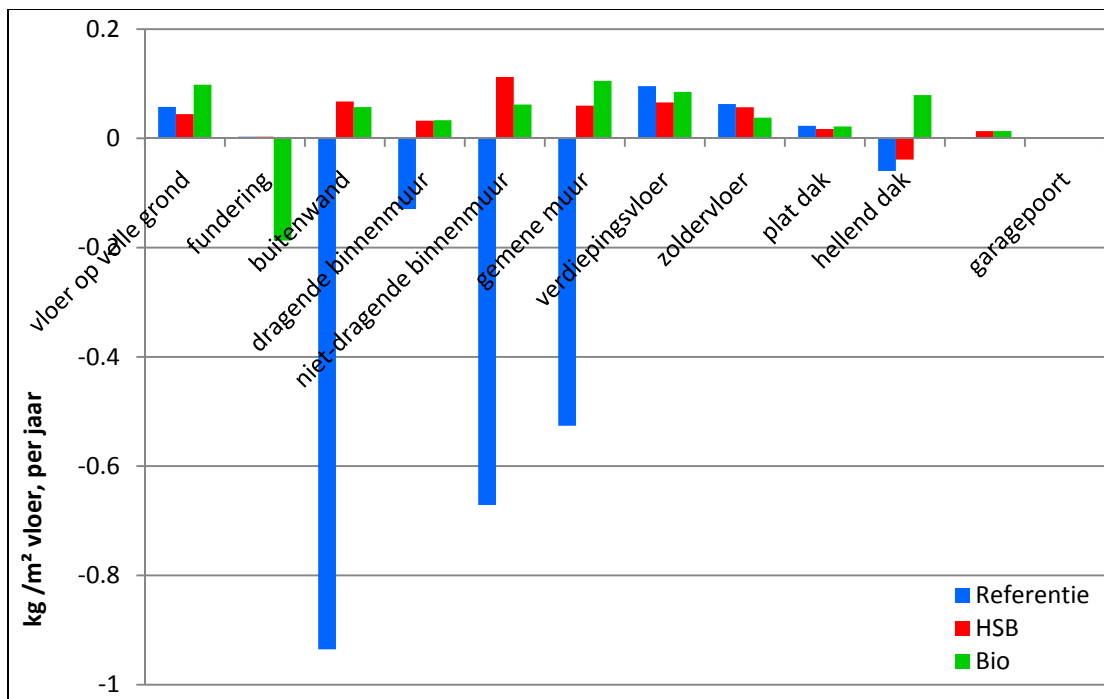
In paragraaf 2.1.5.3 werd vastgesteld dat de grootste milieu-impact van alle onderzochte rijwoningen toe te schrijven is aan de horizontale en de schuine bouwelementen. Deze waarneming kan echter niet doorgetrokken worden voor het verbruik van oppervlaktedelfstoffen, zoals blijkt uit onderstaande figuren.



Figuur 69: Vergelijking van het verbruik van zand per bouwelement voor de rijwoning (kg per m² vloer per jaar)



Figuur 70: Vergelijking van het verbruik van klei en leem per bouwelement voor de rijwoning (kg per m² vloer per jaar)



Figuur 71: Vergelijking van het verbruik van grind en grove granulaten per bouwelement voor de rijwoning (kg per m² vloer per jaar)

Zoals reeds beschreven in paragraaf 2.2.5.1, zijn de verschillen in delfstoffenverbruik en –opbrengst van de referentiewoning significant ten opzichte van de alternatieve bouwwijzen. Voor alle delfstofcategorieën komen de grootste verbruiken en winsten overeen met de verticale elementen, namelijk de dragende, niet-dragende en gemeenschappelijke binnen- en buitenmuren. Ondanks het feit dat metselwerk een grote afnemer is van primaire klei en leem – door de bakstenen – en in mindere mate ook van primair zand – hoofdzakelijk door de mortel –, is het hergebruik van de materialen als secundaire grondstof (ten gevolge van de recyclage van de primaire producten) op het einde van de levenscyclus verantwoordelijk voor aanzienlijke opbrengsten van (secundaire) grove granulaten.

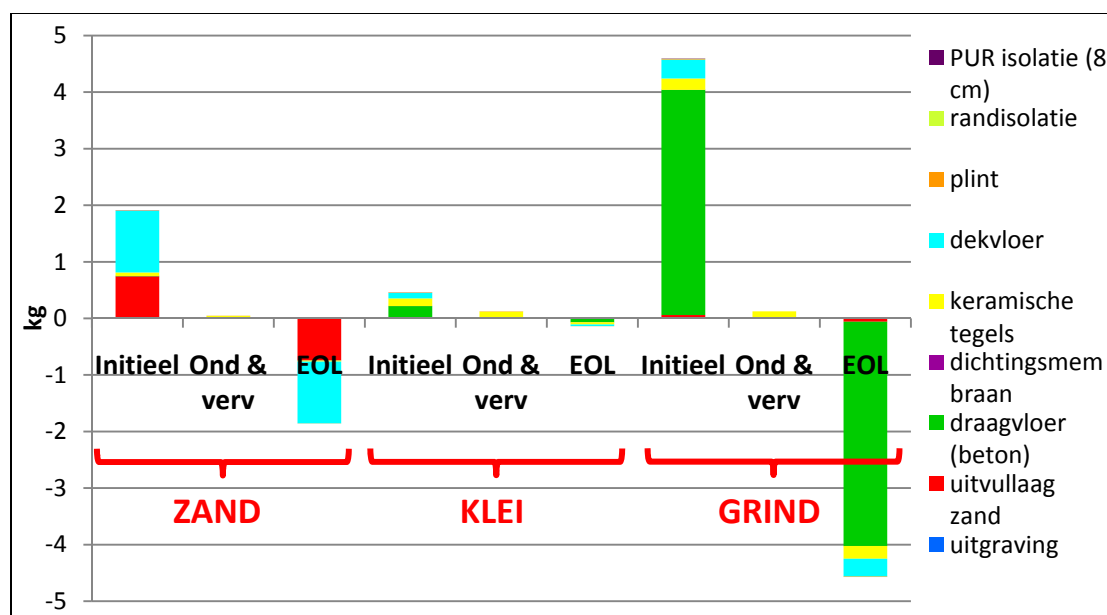
Betonnen elementen bestaan hoofdzakelijk uit grind en steenslag (groe granulaten) (op basis van massa). Ook deze volumineuze elementen worden op het einde van hun levenscyclus potentieel vermalen tot secundaire granulaten. Dankzij de toepassing van deze laatste in een tweede cyclus binnen of buiten de bouwsector (evenwel meestal in laagwaardigere toepassingen), kunnen primaire oppervlakte-delfstoffen uitgespaard worden.

De funderingen van de bio-ecologische woning hebben ook een grote invloed op het verbruik van primaire oppervlakte-delfstoffen, door het rechtstreeks gebruik van zand als opvullaag. Anderzijds levert het potentieel recupereren van de kalkzandstenen funderingstroken als secundaire grondstof op het einde van de levenscyclus een aanzienlijke winst op van secundaire grove granulaten.

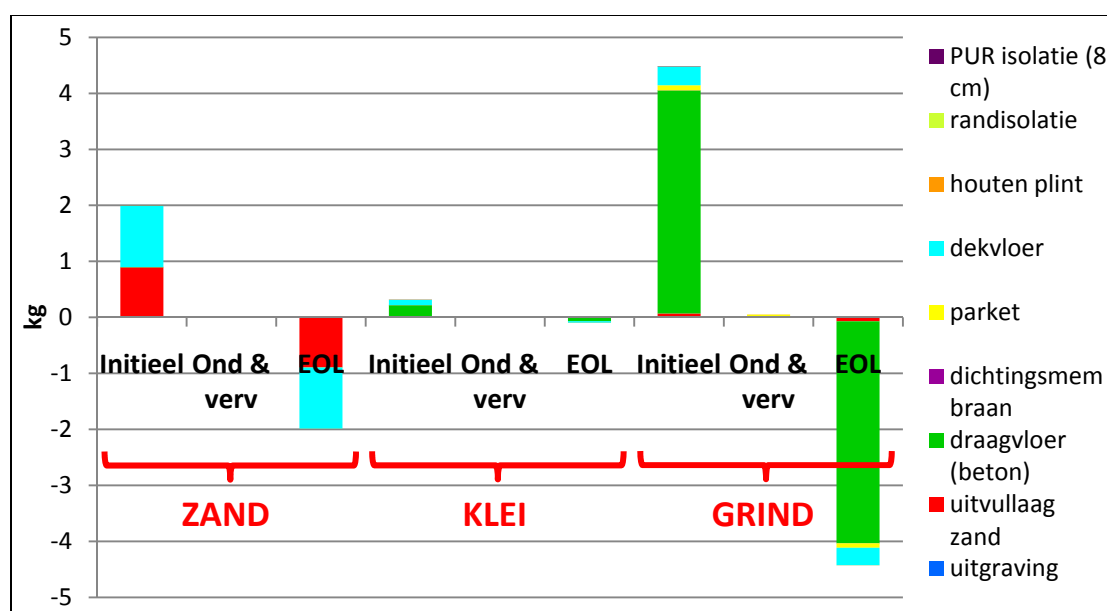
De andere elementen hebben, relatief gezien, een kleinere invloed op het verbruik van oppervlakte-delfstoffen. Net zoals in paragraaf 2.1.5.4 en 2.1.5.5, worden in de volgende paragrafen de vloer op volle grond en de buitenwand van de rijwoning in detail bekeken.

2.2.5.3 Detailanalyse van de vloer op volle grond

In de hierna volgende grafieken wordt een detailvoorstelling gemaakt van het verbruik van primaire oppervlaktedelfstoffen voor 1 m² vloer op volle grond voor elk van de bouwconcepten. Hierbij wordt niet alleen een opsplitsing gemaakt in levenscyclusfasen, maar ook in de verschillende deelcomponenten van de buitenwand. Bij de grafieken moet benadrukt worden dat de schaal niet steeds dezelfde is voor elk van de voorgestelde bouwconcepten, zoals reeds werd opgemerkt in de analyse van de milieu-impact op elementniveau. Bij de onderstaande grafieken is echter ook het interval tussen de rasterlijnen niet altijd hetzelfde, omwille van de variatie in het grondstofverbruik.



Figuur 72: Detailanalyse van het verbruik van oppervlaktedelfstoffen van 1 m² vloer op volle grond van de referentie rijwoning per levenscyclusfase (kg per jaar)



Figuur 73: Detailanalyse van het verbruik van oppervlaktedelfstoffen van 1 m² vloer op volle grond van de houtskeletbouw rijwoning per levenscyclusfase (kg per jaar)



Figuur 74: Detailanalyse van het verbruik van oppervlakedelfstoffen van 1 m² vloer op volle grond van de bio-ecologische rijwoning per levenscyclusfase (kg per jaar)

Op de vloerbekleding na, hebben de referentiewoning en de doorgedreven hout-skeletbouwwoning dezelfde traditionele opbouw voor de vloer op volle grond. Het verbruik van oppervlakedelfstoffen tijdens de initiële fase (respectievelijk 626 kg/m² en 611 kg/m²) wordt voor beide vloeren gedomineerd door de betonnen draagvloer en de cementgebaseerde dekvloer (i.e. chape). Deze onderdelen zijn verantwoordelijk voor het intensief verbruik van grind en grove granulaten en van zand. De uitvullaag in beide vloeren heeft een aanvullende bijdrage tot het verbruik van zand. Ondanks het groot verbruik van deze delfstoffen tijdens de initiële fase, worden deze – mits een kwaliteitscontrole – nagenoeg volledig gerecupereerd als secundaire grondstof tijdens de einde-levensduurfase. Het verbruik en de opbrengst van klei en leem, gerelateerd aan deze traditionele vloeropbouw, is verwaarloosbaar ten opzichte van de andere beschouwde delfstofstromen.

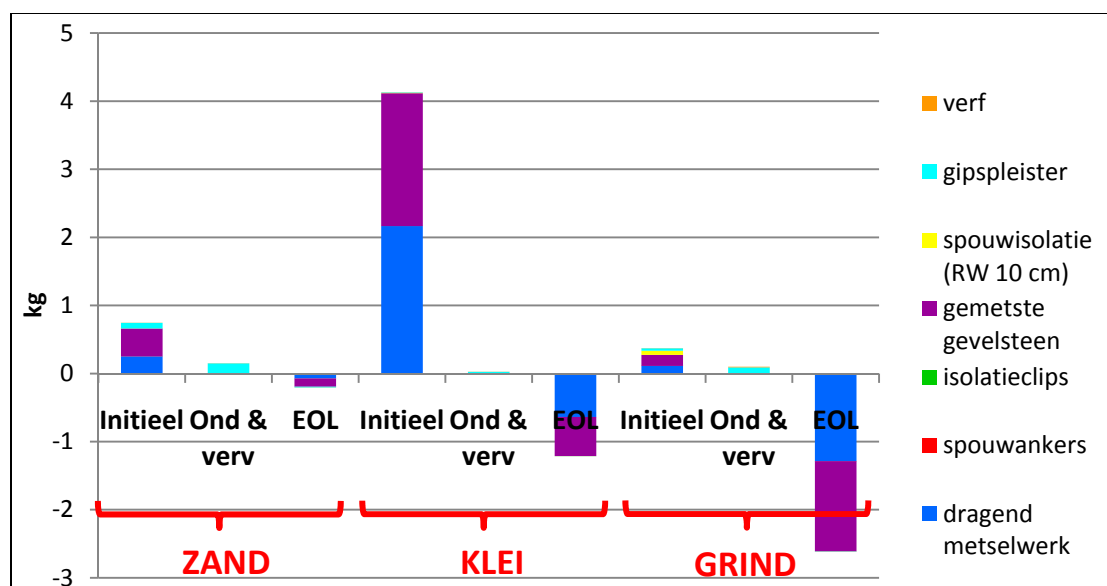
Gezien de keramische tegels en het parket (respectievelijk voor de referentie en de houtskeletbouwwoning) een (zeer) klein verbruik van oppervlakedelfstoffen met zich meebrengen, ten opzichte van de gehele vloeropbouw, is de vervanging ervan te verwaarlozen in het verbruiksprofiel.

Ten opzichte van de traditionele vloeropbouw van de referentiewoning en de houtskeletbouwwoning is het initiële verbruik aan oppervlakedelfstoffen van de vloer op volle grond van de bio-ecologische woning respectievelijk 41% en 39% lager. Het gebruik van geëxpandeerde kleikorrels in combinatie met traskalk(mortel) in de plaats van beton zorgt voor een gereduceerd verbruik van zand en van grind en grove granulaten, maar ook voor een stijging van het verbruik van klei (en leem) ten opzichte van de traditionele vloeropbouw. Het vervaardigen van de dekvloer is de grootste verbruiker van zand. Het uitvullen met grind enerzijds en de productie van de werkvloer met traskalk anderzijds zijn de grote verbruikers van grind en grove granulaten voor de initiële fase van de bio-ecologische woningvariant.

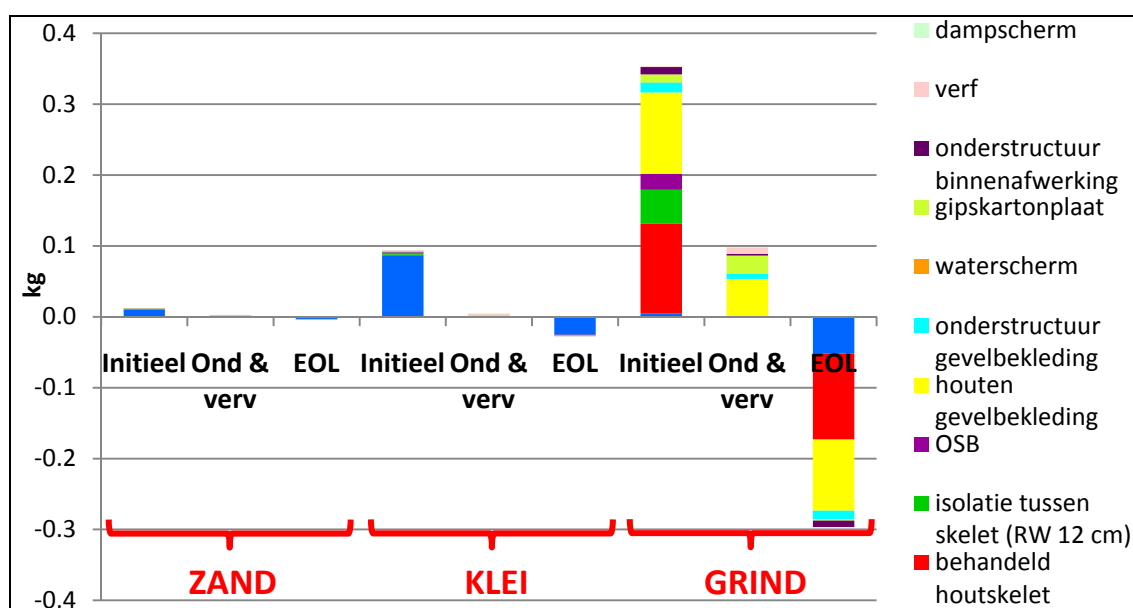
Net als bij de traditionele vloeropbouw, worden deze oppervlakedelfstoffen op het einde van hun levensduur zo goed als volledig gerecupereerd als secundaire grondstof – mits een kwaliteitscontrole. De vervanging van de linoleumvloerbedekking doet het totale verbruik van oppervlakedelfstoffen niet drastisch stijgen.

2.2.5.4 Detailanalyse van de buitenwand

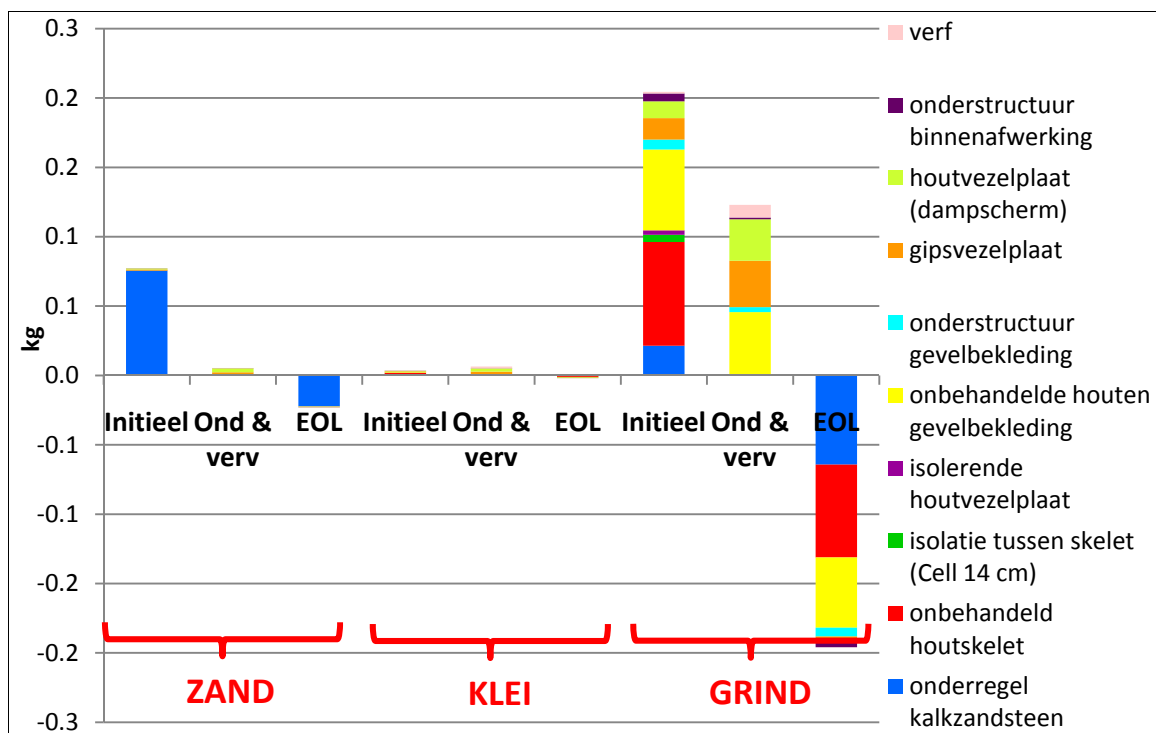
In de hierna volgende grafieken wordt een detailvoorstelling gemaakt van het verbruik van primaire oppervlaktedelfstoffen van 1 m² buitenwand voor elk van de bouwconcepten. Hierbij wordt niet alleen een opsplitsing gemaakt in levenscyclusfasen, maar ook in de verschillende deelcomponenten van de buitenwand. Bij de grafieken moet benadrukt worden dat de schaal niet steeds dezelfde is voor elk van de voorgestelde bouwconcepten, zoals reeds werd opgemerkt in de analyse van de milieu-impact op elementniveau. Bij de onderstaande grafieken is echter ook het interval tussen de rasterlijnen niet altijd hetzelfde, omwille van de variatie in het grondstofverbruik.



Figuur 75: Detailanalyse van het verbruik van oppervlaktedelfstoffen van 1 m² buitenwand van de referentie rijwoning per levenscyclusfase (kg per jaar)



Figuur 76: Detailanalyse van het verbruik van oppervlaktedelfstoffen van 1 m² buitenwand van de houtskeletbouw rijwoning per levenscyclusfase (kg per jaar)



Figuur 77: Detailanalyse van het verbruik van oppervlakedelfstoffen van 1 m² buitenwand van de bio-ecologische rijwoning per levenscyclusfase (kg per jaar)

Zowel het dragend metselwerk als het parement zijn verantwoordelijk voor het intensief verbruik van primaire oppervlakedelfstoffen in de initiële fase van de referentie buitenwand (i.e. 471 kg/m²). Enerzijds is het groot verbruik van klei en leem te wijten aan de productie van de (dragende) snelbouwstenen en gevelstenen, anderzijds is het verbruik van zand hoofdzakelijk te wijten aan de vervaardiging van de mortel tussen deze stenen. De nettowinst van grind en grove granulaten over de gehele levenscyclus van de traditionele buitenwand is het gevolg van het potentieel hergebruik van de snelbouwstenen en de gevelstenen als secundaire granulaten (en niet opnieuw als klei en leem). Dit legt tevens uit waarom klei en leem in minder grote hoeveelheden gerecupereerd worden. Zowel primaire als secundaire grind en grove granulaten kunnen gebruikt worden bij de productie van andere bouwmaterialen, zoals beton. De productie van traditionele bakstenen vereist echter nog altijd een grote extractie van primaire klei en/of leem.

Het aandeel van de vervangingen van onderdelen van de traditionele en de alternatieve buitenwand (over de gehele levenscyclus) in het totale verbruik van oppervlakedelfstoffen is klein. Bij de traditionele wand is de grootste contributie toe te schrijven aan de vervanging van de gipspleister.

Wegens hun gelijkaardige wandopbouw vertonen de doorgedreven en de bio-ecologische houtskeletbouwalternatieven nagenoeg hetzelfde verbruiksprofiel. Een drastische verlaging van het initieel verbruik van oppervlakedelfstoffen ten opzichte van de referentiewand (respectievelijk 91% en 94%) is toe te schrijven aan het gebruik van een houtskelet en een houten gevelbekleding in de plaats van het traditioneel metselwerk. Kleine verschillen in het verbruik zijn voornamelijk toe te schrijven aan een andere opbouw van de stenen onderregel. Enerzijds zorgt de snelbouwsteen als wandbasis bij de doorgedreven houtskeletbouw voor een kleine toename in het verbruik van klei (en leem). Anderzijds is de kalkzandsteen als onderregel in de bio-ecologische variant verantwoordelijk voor een kleine toename van het zandverbruik.

Rekeninghoudend met de potentiële recuperatie van grondstoffen – mits kwaliteitscontrole – in de einde-levensduurfase, is het nettoverbruik van oppervlaktedelfstoffen van deze twee houtskeletbouwwanden over de gehele levenscyclus nagenoeg nihil.

2.2.5.5 Conclusies voor het verbruik van oppervlaktedelfstoffen van de rijwoning

In paragraaf 2.1.5.6 werd geconcludeerd dat de alternatieve bouwconcepten voor de rijwoning geen significante reductie in milieu-impact ten opzichte van de referentie met zich meebrengen. Wat de effecten van houtskeletbouw (zowel doorgedreven als bio-ecologisch) op het verbruik van primaire oppervlaktedelfstoffen betreft, kunnen wel significante verschillen waargenomen worden.

Het vervangen van delfstofrijke materialen door delfstofarme alternatieven zorgt voor een reductie van 72% op gebouwniveau ten opzichte van de traditionele bouwwijze. Deze drastische verlaging is hoofdzakelijk te verkrijgen door alternatieven voor volumineuze materialen naar voor te schuiven, zoals beton en baksteen. Bijvoorbeeld, het vervangen van beton in de vloer op volle grond door geëxpandeerde kleikorrels levert een reductie van circa 40% op, op elementniveau. Bovendien kan het vervangen van metselwerk in de buitenwand (zowel het dragend gedeelte als het parement) door houtskelet en houten gevelbekleding leiden tot een reductie van 91 tot 94% van het verbruik van primaire oppervlaktedelfstoffen op elementniveau. Het transport en het landgebruik, die gepaard gaan met de “vervaardiging” van de houten elementen, dragen wel een extra milieulast met zich mee. Het is dus aangeraden om bij het zoeken naar delfstofarme alternatieven een grondige milieuevaluatie uit te voeren.

Ondanks de duidelijke verschillen in verbruik van primaire oppervlaktedelfstoffen tussen de referentie en de twee onderzochte houtskeletbouwalternatieven, is er geen duidelijke voorkeur tussen de doorgedreven en de bio-ecologische variant.

Voor alle onderzochte concepten spelen voornamelijk de initiële en de einde-levensduurfase een dominante rol in het verbruiksprofiel. De eerstgenoemde gaat gepaard met het verbruik van primaire delfstof en de laatstgenoemde met hoofdzakelijk recuperatie van primaire oppervlaktedelfstoffen als secundaire granulaten.

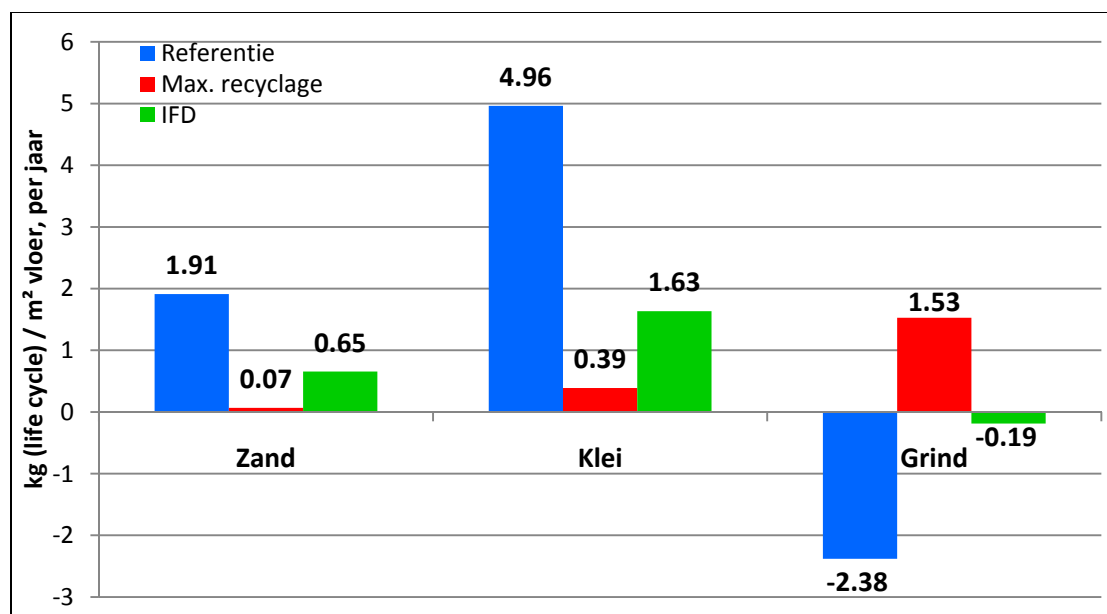
2.2.6 Resultaten van de analyse van een appartement

In de volgende paragrafen wordt het verbruik van primaire oppervlaktedelfstoffen van de drie onderzochte alternatieve bouwconcepten (referentie (traditioneel metselwerk), IFD en maximale recyclage) met betrekking tot het appartement in detail geanalyseerd.

2.2.6.1 Overzicht verbruik van oppervlaktedelfstoffen op woningniveau

In Figuur 78 wordt eerst een globaal overzicht gegeven van het totale netto verbruik van de drie groepen van oppervlaktedelfstoffen gedurende de volledige levenscyclus. Deze resultaten worden uitgedrukt in kg per m² vloer per jaar. Hieruit blijkt dat de referentie, relatief gezien, gekenmerkt wordt door een groot verbruik van primaire oppervlaktedelfstoffen. Daarnaast zien we ook dat het grind- en grove granulatenverbruik voor de traditionele woning een negatief eindresultaat heeft. De verklaring hiervoor kan gevonden worden wanneer we het totale verbruik van de grondstoffen opsplitsen volgens de verschillende levenscyclusfasen (zie Figuur 79). Tijdens de initiële fase (productie) worden voornamelijk grind (inclusief grove granulaten) en klei

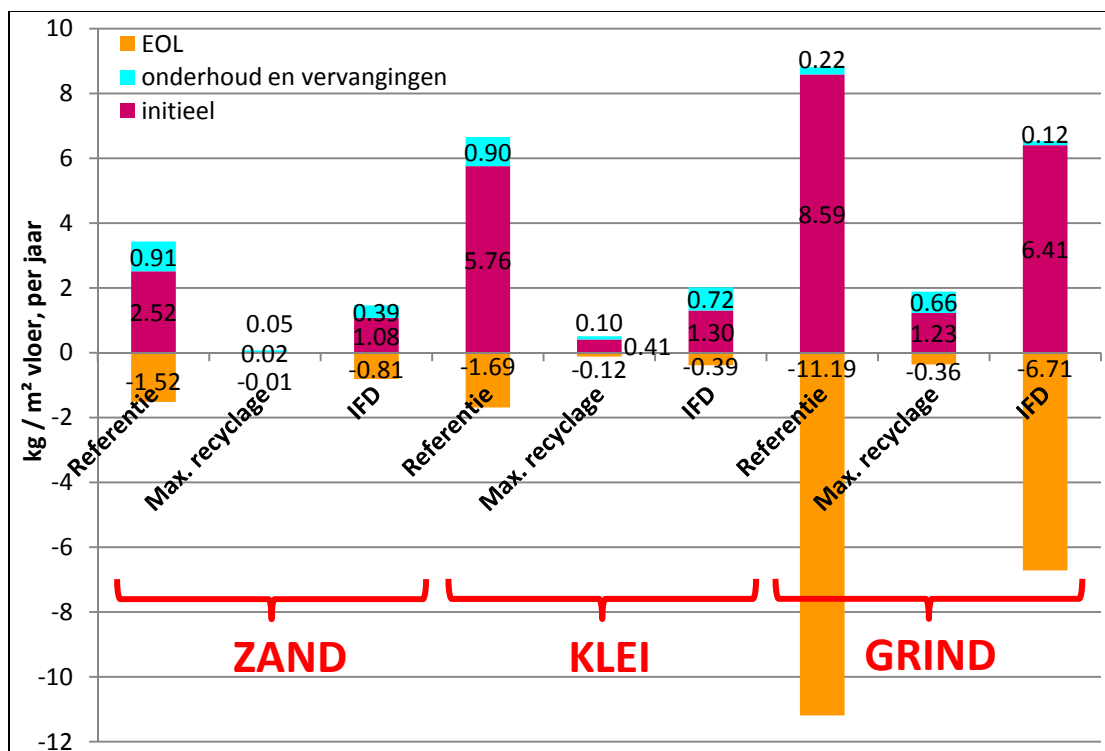
(inclusief leem) afgenomen, terwijl zand in een beperktere hoeveelheid wordt gebruikt. Op het einde van de levensduur wordt echter heel veel sloopmateriaal gerecupereerd en gerecycleerd tot secundaire granulaten, met een netto meeropbrengst van grove granulaten tot gevolg.



Figuur 78: Vergelijking voor het appartement van het totale verbruik van oppervlakedelfstoffen voor de verschillende bouwconcepten (kg per m² vloer per jaar)

Uit Figuur 79 kunnen we verder afleiden dat de initiële productieprocessen volgens het IFD concept 48% minder oppervlakedelfstoffen verbruiken dan de referentie, terwijl het 'maximale recyclage' alternatief 90% minder oppervlakedelfstoffen verbruikt. Echter, een deel van deze initieel noodzakelijke delfstoffen wordt op het einde van de levensduur van het appartement als secundaire grondstoffen teruggewonnen. Deze winst aan secundaire grove granulaten is bij de referentiewoning zo groot dat ze het gehele levenscyclusverbruik overschaduw. De alternatieve bouwconcepten resulteren desalniettemin in een vermindering van het verbruik van oppervlakedelfstoffen over hun gehele levensduur gezien.

Over de volledige levensduur gezien, resulteert het IFD concept in een 53% vermindering van het verbruik van oppervlakedelfstoffen, terwijl het 'maximale recyclage' concept in een vermindering van 56% resulteert (zie Figuur 78). Deze vermindering situeert zich vooral in het kleiverbruik, met een vermindering van 4,57 kg per m² vloer per jaar voor de 'maximale recyclage' variant en 3,33 kg per m² vloer per jaar voor de IFD variant. Ook het verbruik aan zand daalt in grote mate: van 1,91 kg / m² vloer per jaar voor de referentie tot 0,65 kg per m² vloer per jaar voor de IFD variant en tot 0,07 kg per m² vloer per jaar in geval van maximale recyclage. Voor grind (en grove granulaten) is er echter een andere trend merkbaar. De winst aan secundaire grondstoffen daalt met 92% voor de IFD variant ten opzichte van de referentie. Voor het 'maximale recyclage' concept is er, daarentegen, geen netto winst, maar is er een verbruik van 1,53 kg per m² vloer per jaar. Dit laatste is vooral te wijten aan het feit dat reeds van bij het begin gebruik gemaakt wordt van gerecycleerde producten, waarvoor de uitsparing van primaire grondstoffen en de eventuele opbrengst van secundaire materialen reeds bij het voorgaande gebouw ingerekend werden.



Figuur 79: Vergelijking voor het appartement van het verbruik van oppervlaktedelfstoffen, met opdeling in levenscyclusfasen (kg per m² vloer per jaar)

2.2.6.2 Verbruik van oppervlaktedelfstoffen voor de verschillende bouwelementen

Zoals reeds beschreven in de vorige paragrafen, zijn de verschillen in delfstoffenverbruik en -winst voor de referentiewoning significant ten opzichte van de alternatieve bouwmethoden. In deze paragraaf wordt meer in detail nagegaan welke bouwelementen verantwoordelijk zijn voor het grootste verbruik van primaire oppervlaktedelfstoffen en hoe het verbruik voor de verschillende bouwconcepten zich situeert ten opzichte van de traditioneel gebouwde elementen.

Voor de referentie blijkt zand voornamelijk nodig te zijn voor de wanden en de verdiepingsvloer (Figuur 80). Voor de IFD variant is het zandverbruik, naast de verdiepingsvloer, beperkt tot de buitenwanden, aangezien de binnenwanden uit metal stud zijn opgebouwd (flexible indeling) en dus geen zand nodig hebben. Het zandverbruik bij maximale recyclage is verwaarloosbaar klein in vergelijking met de andere geanalyseerde varianten.

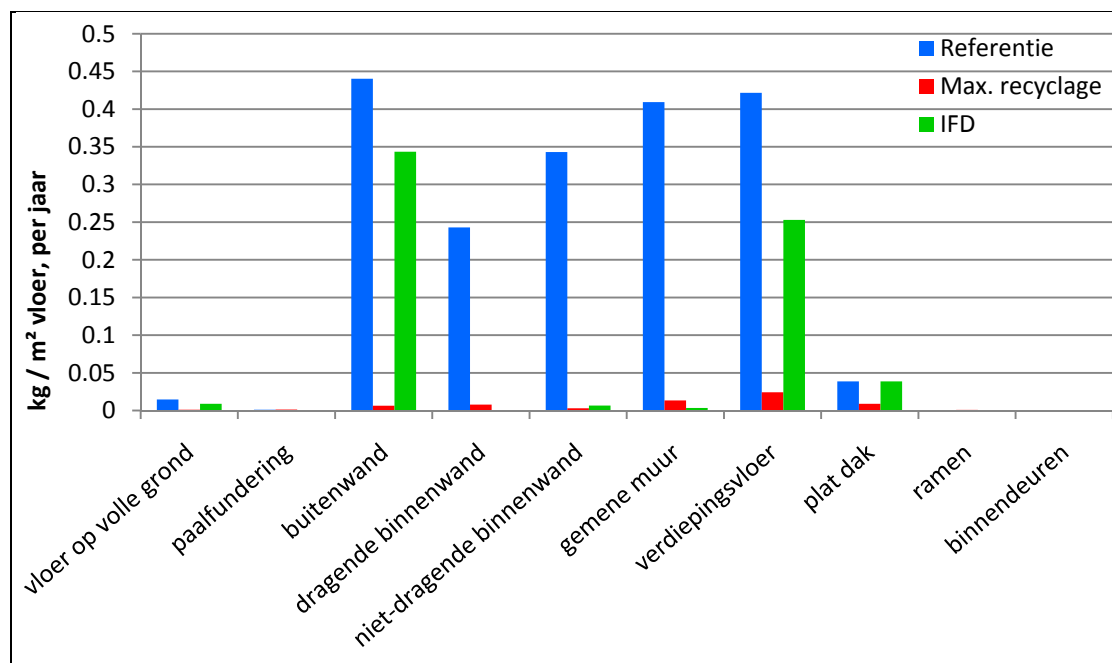
Analoog als voor zand, situeert het klei- en leemverbruik (Figuur 81) zich voor de referentiewoning voornamelijk in de wanden en de verdiepingsvloer. Voor klei en leem worden echter de buitenwanden geïdentificeerd als belangrijkste elementen. Dit is ten gevolge van de snelbouwsteen en de gevelsteen. Dit resulteert in twee belangrijke elementen voor de IFD variant, namelijk de buitenwand en de verdiepingsvloer. Bij maximale recyclage is het klei- en leemverbruik verwaarloosbaar in vergelijking met de andere geanalyseerde concepten en dit voor alle elementen, behalve voor de verdiepingsvloer.

Ondanks het feit dat metselwerk een grote afnemer is van klei en leem – door de bakstenen – en in mindere mate van zand – hoofdzakelijk door de mortel –, is het hergebruik ervan als secundaire grondstof op het einde van de levenscyclus

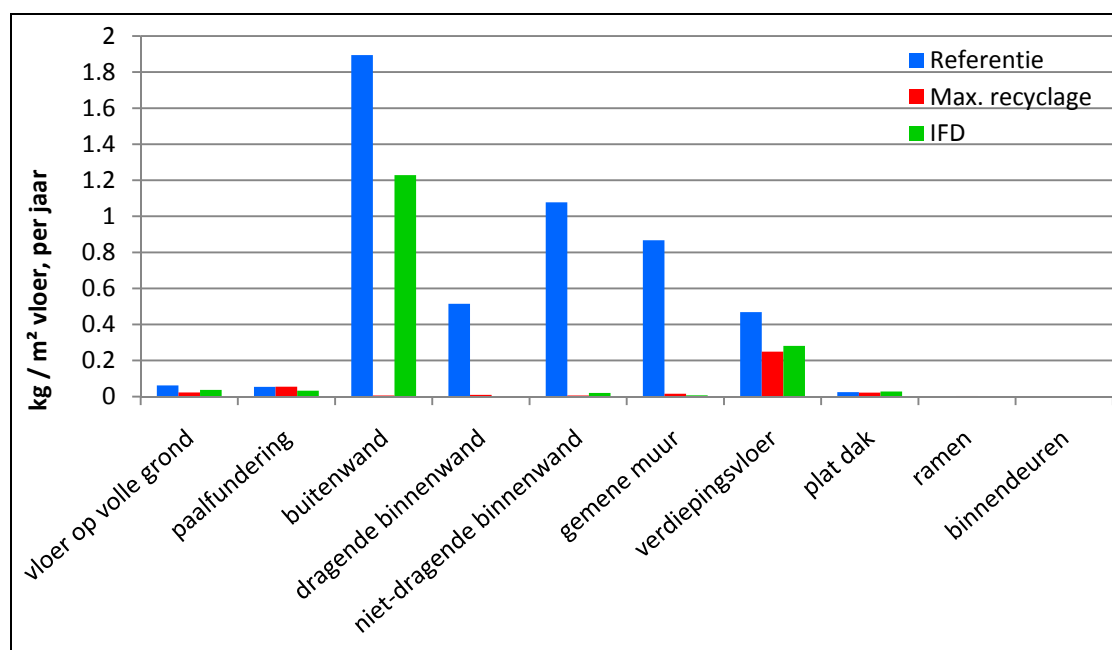
verantwoordelijk voor aanzienlijke opbrengsten van secundaire grove granulaten. Dit wordt duidelijk aangegeven in Figuur 82.

Betonnen elementen bestaan hoofdzakelijk uit grind en steenslag (op basis van massa). Ook deze volumineuze elementen worden op het einde van hun levenscyclus potentieel vermalen tot secundaire grove granulaten, die als grind vervanger dienst doen.

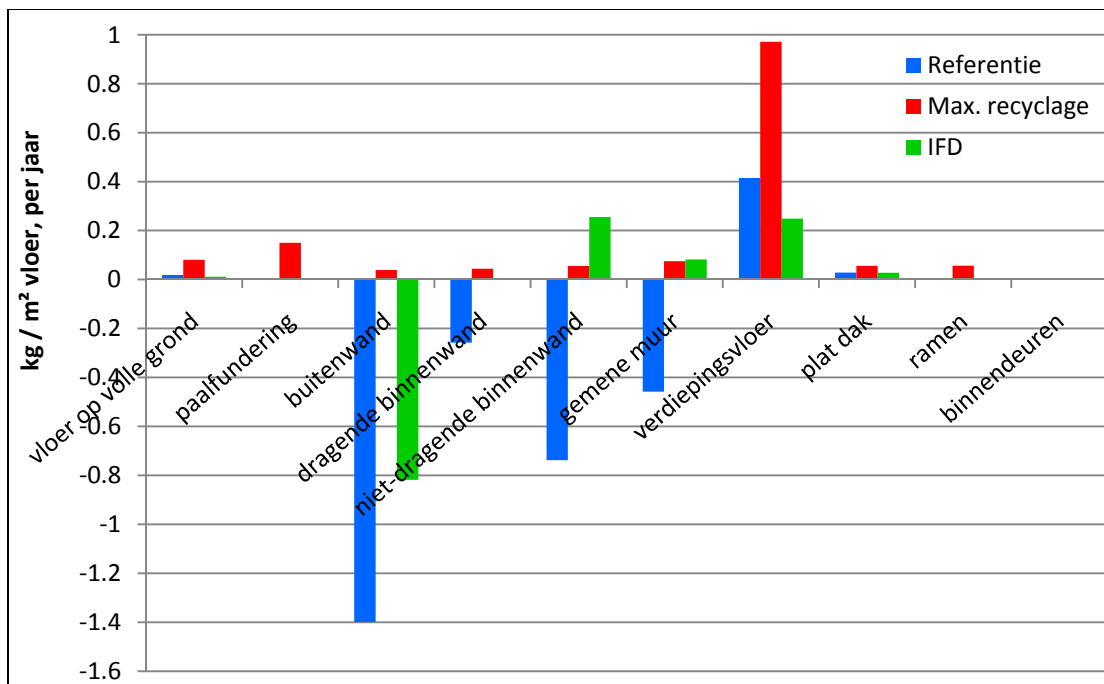
De niet vernoemde elementen hebben, relatief gezien, een kleinere invloed op het verbruik van oppervlaktedelfstoffen.



Figuur 80: Vergelijking van het verbruik van zand per bouwelement voor het appartement (kg per m² vloer, per jaar)



Figuur 81: Vergelijking van het verbruik van klei en leem per bouwelement voor het appartement (kg per m² vloer, per jaar)



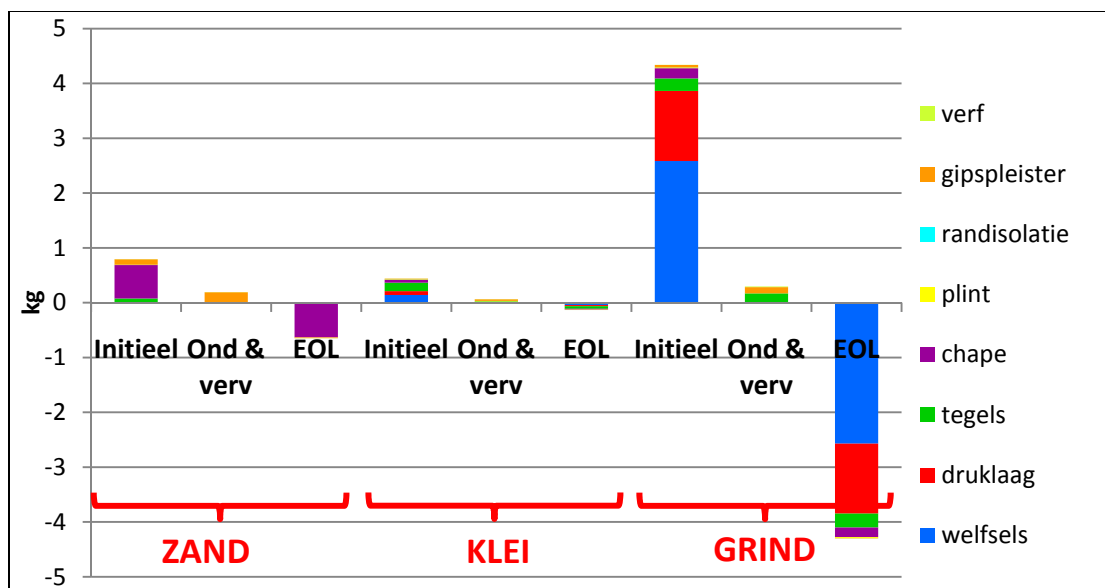
Figuur 82: Vergelijking van het verbruik van grind en grove granulaten per bouwelement voor het appartement (kg per m² vloer per jaar)

Net zoals in paragraaf 2.1.6.4 wordt de verdiepingsvloer in detail bekeken. Opnieuw gebeurt dit enkel voor de referentie en de maximale recyclage variant. De IFD opbouw is immers identiek aan de referentie, maar wordt alleen over een langere periode gebruikt. Dit resulteert in een kleinere hoeveelheid delfstoffen per jaar.

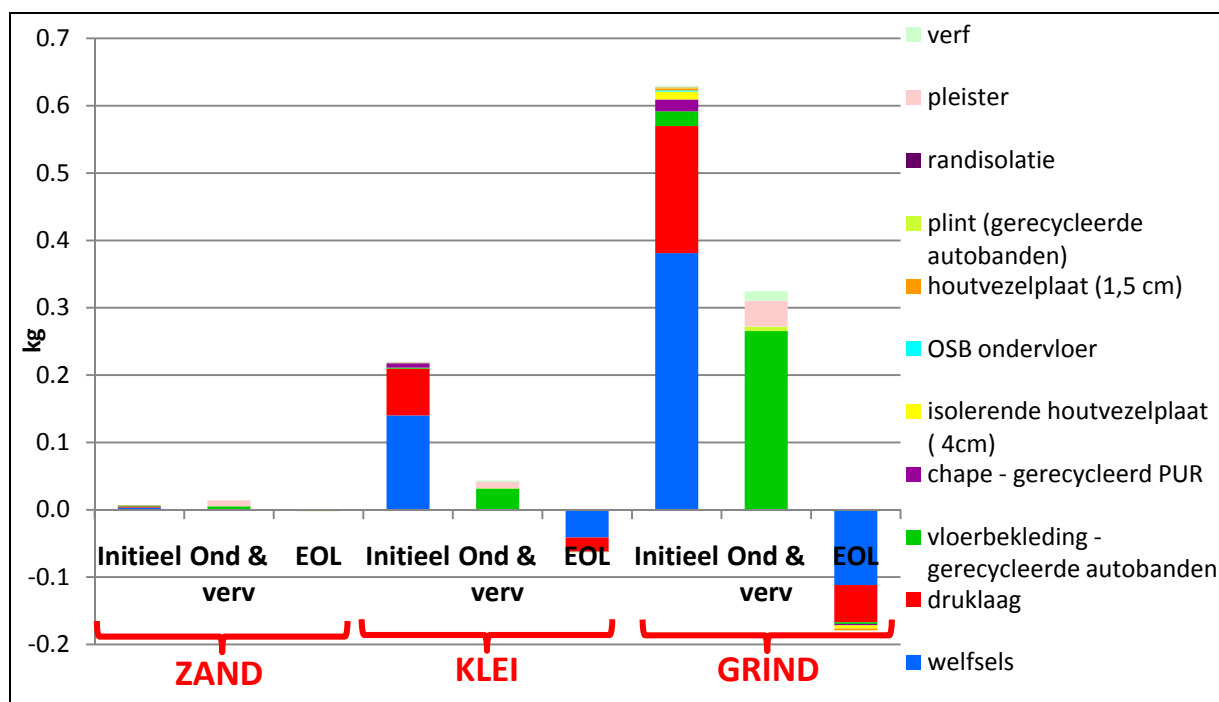
2.2.6.3 Detailanalyse van de verdiepingsvloer

In de hierna volgende grafieken wordt een detailvoorstelling gemaakt van het verbruik van oppervlaktedelfstoffen voor 1 m² verdiepingsvloer voor elk van de bouwconcepten. Hierbij wordt niet alleen een opsplitsing gemaakt in levenscyclusfasen, maar ook in de verschillende deelcomponenten van de buitenwand. Bij de grafieken moet benadrukt worden dat de schaal niet dezelfde is voor beide grafieken, zoals reeds werd opgemerkt in de analyse van de milieu-impact op elementniveau. Bij de onderstaande grafieken is echter ook het interval tussen de rasterlijnen verschillend, omwille van de variatie in het grondstofverbruik.

Het verbruik van oppervlaktedelfstoffen tijdens de initiële fase voor zowel de referentie als de maximale recyclage vloeren (respectievelijk 501 kg/m² en 77 kg/m²) wordt gedomineerd door de betonnen draagvloer. Voor de referentie is deze verantwoordelijk voor 73% van het delfstoffenverbruik van de vloer en voor de maximale recyclage variant voor 92%. Ondanks het groot verbruik van deze delfstoffen tijdens de initiële fase worden deze – mits een kwaliteitscontrole – nagenoeg volledig gerecupereerd tijdens de einde-levensduurfase als secundaire grondstof.



Figuur 83: Detailanalyse van het verbruik van oppervlakedelfstoffen van 1m² verdiepingsvloer van het referentie appartement (kg per jaar)



Figuur 84: Detailanalyse van het verbruik van oppervlakedelfstoffen van 1m² verdiepingsvloer van het appartement met maximale recyclage (kg per jaar)

2.2.6.4 Conclusies voor het verbruik van oppervlakedelfstoffen van het appartement

In paragraaf 2.1.6.5 werd geconcludeerd dat de alternatieve bouwconcepten voor het appartement geen significante reductie in levenscyclus milieu-impact ten opzichte van de referentie met zich meebrengen. Het verbruik van oppervlakedelfstoffen daarentegen kan wel drastisch verminderd worden. Een reductie van 48% is waargenomen voor de IFD variant en van 90% voor het 'maximale recyclage' alternatief.

Deze reductie is enerzijds te verkrijgen door een verlenging van de levensduur van de drager van de woning. Dit is vooral van belang voor de elementen met een groot aandeel aan oppervlaktedelfstoffen (nl. wanden en vloeren). Anderzijds kunnen niet-dragende elementen vervangen worden door alternatieve oplossingen, zoals bijvoorbeeld metalstud of houtskeletwanden. Tenslotte blijkt ook het recycleren van bouwmaterialen als secundaire grondstof te leiden tot een belangrijke reductie van de benodigde primaire oppervlaktedelfstoffen.

Terwijl energieverbruik en onderhoud en vervangingen bepalend zijn voor de milieu-impact van de woningen, is een andere trend waarneembaar voor de primaire oppervlaktedelfstoffen. Voor alle onderzochte concepten spelen voornamelijk de initiële en de einde-levensduurfase een dominante rol in het verbruiksprofiel. De eerstgenoemde gaat gepaard met een verbruik van primaire delfstof en de laatstgenoemde met hoofdzakelijk recuperatie van secundaire grondstof.

Wat betreft het gebruik van oppervlaktedelfstoffen, gaat de voorkeur duidelijk uit naar de maximale recyclage. Echter, op basis van de gekozen samenstelling van de elementen, leidt dit in deze analyse tot een lichte stijging (7%) van de milieu-impact. De IFD variant, daarentegen, leidt zowel tot een vermindering van het verbruik van primaire oppervlaktedelfstoffen (per jaar gezien) als tot een kleine daling van de milieu-impact. Hieruit kan geconcludeerd worden dat het belangrijk is beide parameters samen te analyseren bij het uitdenken van nieuwe duurzame bouwconcepten.

2.2.7 Conclusies voor het verbruik van oppervlaktedelfstoffen voor de verschillende bouwconcepten

Op basis van de analyse van de vrijstaande woning, de rijwoning en het appartement werd eerder geconcludeerd dat de alternatieve bouwconcepten slechts een relatief beperkte daling in milieu-impact (in sommige gevallen zelfs een lichte stijging) ten opzichte van de traditionele bouwwijze met zich meebrengen. Daarentegen blijkt uit de voorgaande paragrafen dat de nieuwe bouwconcepten wel een belangrijke invloed op het verbruik van primaire oppervlaktedelfstoffen van de woningen uitoefenen.

Uit de analyses is gebleken dat voor alle onderzochte concepten voornamelijk de initiële en de einde-levensduurfase een dominante rol spelen in het verbruiksprofiel. De eerstgenoemde gaat gepaard met het verbruik van primaire oppervlaktedelfstoffen en de laatstgenoemde met hoofdzakelijk recuperatie (door recyclage en hergebruik) van de primaire materialen als secundaire grondstof.

We kunnen verder besluiten dat alle bouwconcepten initieel aanzienlijk minder primaire oppervlaktedelfstoffen verbruiken dan de referentiewoning. De kleinste en de grootste daling in het initiële verbruik stellen we vast bij het appartement, respectievelijk 48% voor het IFD concept en 90% voor de variant met maximale recyclage.

Een andere vaststelling uit de analyses is dat de daling in het initiële verbruik niet hetzelfde is voor elk van de drie groepen van oppervlaktedelfstoffen. De daling is voor de meeste bouwconcepten het grootst voor het verbruik van klei en leem (voornamelijk door de vervanging van gemetste wanden door andere technische oplossingen). De daling van het initiële verbruik van grind en grove granulaten is het kleinst.

Ook op levenscyclustermijn kunnen we een aantal conclusies trekken voor het verbruik van primaire oppervlaktedelfstoffen. In de eerste plaats stellen we vast dat het totale netto verbruik van zand en van klei & leem veel hoger ligt bij de traditionele bouwwijze dan bij de andere bouwconcepten. Daarnaast zien we dat het verbruik van grind & grove granulaten voor de traditionele woning een negatief eindresultaat heeft, met andere woorden dat de traditionele bouwwijze leidt tot een netto-opbrengst van (secundaire) grove granulaten. Het enige alternatieve bouwconcept, waar zich hetzelfde fenomeen voordoet – zij het in veel beperktere mate –, is de IFD bouwwijze. Alle andere bouwconcepten hebben een nettoverbruik van grind en grove granulaten (doordat het initiële verbruik van primaire grondstoffen groter is dan de opbrengst van secundaire grondstoffen tijdens de einde-levensduurfase).

Wanneer we de vergelijking maken van het totale verbruik van de drie groepen van primaire oppervlaktedelfstoffen voor de volledige levenscyclus, dan komen we tot de conclusie dat, ondanks het “negatieve” verbruik van grind & grove granulaten voor de traditionele bouwwijze, alle alternatieve bouwconcepten toch leiden tot een grote besparing in het verbruik van oppervlaktedelfstoffen. Bij de vrijstaande woning is het de basisoplossing van de metaalskeletbouwwoning, die resulteert in de grootste totale daling in het verbruik (75%), gevolgd door de bio-ecologische woning met 72 %. De kleinste daling stellen we vast bij de maximale recyclage variant (40%). Voor de rijwoning resulteren zowel de houtskeletbouwwoning als de bio-ecologische woning in een daling van 72% van het totale verbruik van oppervlaktedelfstoffen. Bij het appartement is de daling minder sterk, met respectievelijk 56% en 53% voor de woning met maximale recyclage en volgens het IFD concept.

Als algemene conclusie uit de analyses kan gesteld worden dat de nieuwe bouwconcepten duidelijk leiden tot een grote besparing in het verbruik van primaire oppervlaktedelfstoffen. Toch moeten hierbij nog een aantal kanttekeningen geplaatst worden. Zo moet er bijvoorbeeld aandacht besteed worden aan het feit dat de invoer en het landgebruik, die gepaard gaan met de “vervaardiging” van houten elementen, een extra milieulast met zich meedragen. Ook het kiezen voor maximale recyclage blijkt te leiden tot een zeer grote daling van het grondstoffenverbruik. Echter, op basis van de gekozen samenstelling van de elementen, leidt dit in deze analyse tot een lichte stijging van de totale milieu-impact van de woning. Het is dus aangeraden om bij het zoeken naar delfstofarme alternatieven steeds een grondige milieu-evaluatie uit te voeren.

Een ander aandachtspunt is de vraag of elk van de alternatieve bouwconcepten wel kan gezien worden als een “volwaardig” alternatief voor de traditionele woningbouw. De in voldoende mate beschikbaarheid van de benodigde materialen is immers een voorwaarde voor het ten volle benutten van het potentieel van de bouwconcepten. Inlands hout, bijvoorbeeld, zal in Vlaanderen nooit voldoende beschikbaar zijn, indien het aandeel van houtskeletbouw zeer sterk zou toenemen. Hout zal altijd voor een groot deel geïmporteerd moeten worden uit Wallonië en het buitenland. Hierdoor is Vlaanderen afhankelijk van deze import, wat uiteraard een nadeel is voor de hierop gebaseerde bouwconcepten (houtskeletbouw en bio-ecologische houtskeletbouw).

Naast deze vergelijkingen op het niveau van de bouwconcepten, kunnen ook de resultaten van de verschillende woningtypes vergeleken worden. Dit gebeurt op basis van de referentiewoningen, opgebouwd uit traditioneel metselwerk, aangezien enkel de basisoplossing voor elk van de drie woningtypes geanalyseerd werd. Uit deze vergelijking kunnen we afleiden dat de rijwoning tot de beste resultaten leidt wat betreft milieu-impact (1.3 ecopunten per m² vloer, per jaar). De rijwoning scoort op levenscyclustermijn 18% beter dan de vrijstaande woning en 20% beter dan het appartement. De initiële milieu-impact is nochtans voor de drie woningtypes

ongeveer dezelfde (0.2-0.3 ecopunten per m² vloer, per jaar). De hogere totale milieu-impact is dus toe te schrijven aan de verschillen tijdens de gebruiksfase. Ook de oppervlakte van de woningen speelt hierbij een rol. De grotere woningen zijn bij deze vergelijking in het voordeel, aangezien de milieu-impact van de bouw-elementen, die sowieso voorkomen (nl. muren, daken, ramen, deuren), verdeeld worden over een grotere oppervlakte. In deze studie heeft de rijwoning inderdaad de grootste oppervlakte, gevolgd door de vrijstaande woning. Het appartement heeft de kleinste oppervlakte. De rangschikking van de milieuprestaties van de woningen is precies dezelfde.

Voor het verbruik van primaire oppervlakedelfstoffen van de verschillende woningtypes zijn de besluiten gelijkaardig aan deze voor de milieu-impact. De rijwoning verbruikt zowel initieel als op levenscyclustermijn het minste zand en klei & leem (1.24 kg zand en 3.97 kg klei & leem per m² per jaar), daarna de vrijstaande woning (1.36 kg zand en 4.87 kg klei & leem) en als laatste het appartement (1.91 kg zand en 4.96 kg klei & leem). Voor grind & grove granulaten ligt het initiële verbruik het laagst bij de vrijstaande woning (6.08 kg per m² vloer, per jaar), gevolgd door de rijwoning (6.22 kg) en dan opnieuw het appartement (6.41 kg). Op levenscyclus-termijn is ook de opbrengst aan secundaire grove granulaten (door recyclage en hergebruik van de primaire materialen) het grootst bij de vrijstaande woning (netto 2.61 kg opbrengst per m² vloer, per jaar), daarna volgt het appartement (2.38 kg opbrengst) en ten slotte de rijwoning (2.08 kg opbrengst). De andere rangschikking is dit keer te wijten aan het lagere verbruik van grondstoffen van de rijwoning, waardoor er ook minder terugwinsten zijn op het einde van de levensduur.

De bovenstaande resultaten aangaande het primaire oppervlakedelfstoffenverbruik van een aantal nieuwe bouwconcepten in vergelijking met een traditionele woning bevestigen de conclusies, die vanuit de literatuurstudie naar voren kwamen. Deze laatste wijzen immers op een niet te onderschatten reductie in het oppervlakedelfstoffenverbruik van een woning, indien een niet traditioneel bouwconcept toegepast wordt.

2.3 Fase 2c - Toekomstscenario's voor het groeipotentieel van nieuwe bouwconcepten

Auteurs: An Janssen, Katrien Putzeys – WTCB

2.3.1 Inleiding

Om een idee te krijgen over de behoefte aan primaire oppervlaktedelfstoffen voor de woningbouw in de komende 10 jaar, is het nodig om toekomstscenario's voor de geselecteerde nieuwe bouwconcepten op te stellen. Voor het opbouwen van deze toekomstscenario's wordt per bouwconcept vertrokken van de verworven inzichten in de Vlaamse markt en wordt er rekening gehouden met de technologische kennis en beperkingen voor elk van de bouwconcepten. Daarnaast wordt een korte SWOT-analyse per bouwconcept opgesteld en worden de inzichten in de markt van de bouwconcepten en de beleidslijnen en hun effect in Noord-West Europa (zie 3.1) gebruikt als basisinformatie.

Met die basis worden een aantal toekomstscenario's (inclusief kwantificatie) voor het groeipotentieel van elk van de verschillende bouwconcepten tegen het jaar 2020 uitgewerkt, waarbij rekening gehouden wordt met 3 verschillende scenario's van marktacceptatie (nl. gelijk, licht gestegen en sterk gestegen).

De verschillende toekomstscenario's voor de groei van nieuwe duurzame bouwconcepten zullen specifieke gevolgen hebben voor de behoefte aan primaire oppervlaktedelfstoffen in Vlaanderen. Zo zal een wijziging in de toepassing van specifieke bouwconcepten leiden tot een stijging of een daling in de totale behoefte aan bouwmaterialen en dus ook aan primaire grondstoffen. Deze effecten worden in deze fase eveneens gekwantificeerd, om zo conclusies te trekken over de mogelijke effecten van de verschillende bouwconcepten op de behoefte aan primaire oppervlaktedelfstoffen.

2.3.2 Sterkte-Zwakke analyse

Een SWOT-analyse (Strengths-Weaknesses-Opportunities-Threats) is een eenvoudige manier om enerzijds intern de sterke en zwakke punten op te lijsten en anderzijds de externe opportuniteiten of bedreigingen te identificeren (weinig of geen beheersing of invloed) (zie Tabel 18 voor een verduidelijking van deze 4 aspecten). De SWOT-analyse laat toe om de activiteiten te focussen op de sterke punten voor groei en ontwikkeling en om de bedreigingen of zwakke punten om te buigen of de mogelijke invloed ervan te minimaliseren. Een dergelijke oefening laat ook toe om eenvoudig over strategie en toekomstvisies te communiceren.

Een SWOT analyse heeft echter ook nadelen. Zo kunnen bedreigingen in een positief daglicht mogelijk beschouwd worden als een opportuniteit. Verder is een SWOT analyse ook vaak subjectief gekleurd door de inschatting van een (te beperkte/bepaalde) groep van adviesverleners.

(Interne) Sterktes • wat zijn de voordelen? • wat is duidelijk kwaliteitsvol?	(Interne) Zwaktes • wat kan verbeterd worden? • wat is slecht? • wat moet vermeden worden?
(Externe) Opportuniteiten • wat zijn interessante ontwikkelingen, huidig en verwacht? (in bijvoorbeeld markt, technologie, politiek, bevolking, levenshouding, lokale omstandigheden,...)	(Externe) Bedreigingen / Risico's • wat zijn de moeilijkheden, huidig en verwacht? • wat doet de concurrentie? • wordt verandering verwacht?

Tabel 18: Verduidelijking SWOT analyse

In de volgende paragrafen wordt voor elk van de geanalyseerde bouwconcepten een korte SWOT analyse gemaakt. Deze SWOT analyse wordt opgebouwd op basis van de verworven inzichten in de markt, de bemerkingen van de gecontacteerde experts en de inzichten in de technologische aspecten van en het beleid gerelateerd aan de bouwconcepten.

De inzichten, die uit de SWOT analyse naar voor komen, worden vervolgens mee gebruikt om realistische toekomstscenario's voor de verschillende bouwconcepten te definiëren (zie 2.3.3).

2.3.2.1 Houtskeletbouw

Sterktes • Uitstekende mogelijkheden en toepassingen van prefabricatie en industrialisatie • Korte bouwtermijn en weinig bouwvocht • Uitstekend geschikt voor thermische isolatie van het gebouw • Hout profileert zich als een milieuvriendelijke en duurzame bouwmethode • Mogelijkheid tot zelfbouw • Mogelijkheden voor renovatie (uitbreidingen) • Lichte bouwmethode • Flexibele bouwmethode • Normalisatie, technische voorschriften en goedkeuringsleidraden zijn beschikbaar	Zwaktes • Goede geluidsisolatie vraagt extra inspanningen • Verduurzaming en verlijming van hout zijn milieubelastend • Minder geschikt voor grote gevelopeningen • Relatief grote vervormingen • Geen thermische inertie • Meer trillingsgevoelig • Negatieve perceptie aangaande brand en duurzaamheid (hout rot)
Opportuniteiten • Algemene aandacht voor duurzaam bouwen neemt toe • Energieprestatieregelgeving stimuleert gebruik van isolatie • Mogelijkheden voor middelhoogbouw • Toegenomen beschikbaarheid van hout uit duurzaam beheerde bossen	Risico's • Strengere geluidsnormen voor woningscheidende wanden • Evolutie naar appartementsbouw, waarbij houtskeletbouw minder toegepast wordt • De zelfvoorzieningsgraad voor hout is laag voor Vlaanderen • Basiskennis houtbouw ontbreekt bij ontwerpers • Bestekteksten sociale woningbouw zijn weinig toegankelijk voor houtbouw

Tabel 19: SWOT analyse voor houtskeletbouw

2.3.2.2 Bio-ecologisch bouwen

Binnen het concept van bio-ecologisch bouwen wordt heel vaak gewerkt met een (onbehandelde) houtskeletstructuur. Hiervoor gelden vanzelfsprekend dezelfde voor- en nadelen als hierboven beschreven voor het bouwconcept houtskeletbouw. Deze worden daarom niet herhaald in de sterkte-zwakte analyse van bio-ecologisch bouwen. Tabel 20 geeft bijgevolg enkel de sterkte-zwakte analyse voor de bijkomende, specifieke aspecten van bio-ecologisch bouwen.

Sterktes	Zwaktes
• Maximaal gebruik van lokaal beschikbare grondstoffen • Bio-ecologische materialen kunnen zowel traditionele materialen zijn (vb. baksteen) als natuurlijke, nagroeibare materialen (vb. hennep)	• Hogere kosten van een aantal bio-ecologische materialen • Vooroordelen over kwaliteit van bio-ecologische materialen • Kortere levensduur van sommige materialen
Opportunities	Risico's
• Algemene aandacht voor duurzaam bouwen neemt toe • Stijgende aandacht voor kwaliteit van het binnenmilieu • Energieprestatieregelgeving stimuleert gebruik van isolatie • Aandacht voor specifieke milieulabels (vb. NaturePlus) • Stimuleringsmaatregelen voor gebruik van ecologische/natuurlijke materialen • Opkomende visies, zoals C2C en bio-based economy	• Beperkte beschikbaarheid van bio-ecologische materialen in de distributiesector • Slechts een beperkte groep van bouwprofessionelen (architecten en aannemers), die voldoende kennis hebben over bio-ecologische bouwwijze, -materialen en technieken • (Te) lage ambitieniveaus voor bijvoorbeeld energieprestatie van gebouwen • Bij sterke toename van bio-ecologisch bouwen onvoldoende voorradigheid van lokale natuurlijke materialen

Tabel 20: SWOT analyse voor bio-ecologisch bouwen

2.3.2.3 Metaalskeletbouw

Sterktes	Zwaktes
• Uitstekende mogelijkheden en toepassingen van prefabricatie en industrialisatie • Gesloten kringloop – nu al 50% gerecycleerde input en meer dan 90% recyclage na gebruik • Korte bouwtermijn en weinig bouwvocht • Waarde van staal bij afbraak • Mogelijkheden voor renovatie (uitbreidingen) • Flexibele bouwmethode • Demonteerbaarheid van metalen constructies • Mogelijkheid tot zelfbouw, vooral voor binneninrichting • Normalisatie, technische voorschriften en goedkeuringsleidraden zijn beschikbaar	• Hoge kostprijs van staal • Risico op corrosie • Beperkte akoestische prestaties, wat leidt tot soms complexe bouwdetailering • Hoge competitie voor andere gebruiksdoeleinden • Lage voorraad
Opportunities	Risico's
• Esthetisch aspect van zichtbare stalen structuur wordt meer en meer	• Strengere geluidsnormen voor woningscheidende wanden

- geapprecieerd - Stalen structuur heeft ook mogelijkheden voor groeiende appartementsmarkt - Opkomst van C2C visie, die recycleerbaarheid van staal in de verf zet	- Te weinig kennisoverdracht over bouwtechnische aspecten, zowel door de sector als in de opleidingen, zodat kennis ontbreekt bij ontwerpers en aannemers - Vicieuze cirkel waarbij vraag naar en aanbod van metaalbouw laag blijven - Stedenbouwkundige voorschriften kunnen toepassing van staal verhinderen
---	--

Tabel 21: SWOT analyse voor metaalskeletbouw

2.3.2.4 Maximale recyclage

Sterktes	Zwaktes
- Valorisatie van afvalstromen leidt tot verminderd gebruik van primaire grondstoffen - Voor quasi elke toepassing bestaat een alternatief uit gerecycleerde materialen - Geen beperkingen naar planopbouw, mogelijke constructie, ...	- Negatieve perceptie over gerecycleerde materialen - Soms mindere bouwtechnische eigenschappen, vb. kortere levensduur, kleinere drukweerstand, ... - Vaak heterogene samenstelling van de recyclagematerialen, waardoor moeilijkere of laagwaardige(re) recycleerbaarheid (downcycling) in een volgende cyclus
Opportunities	Risico's
- Sluiten van de kringloop is een aandachtspunt voor de Vlaamse overheid (OVAM sectoraal uitvoeringsplan "Milieuverantwoord materiaalgebruik en afvalbeheer in de bouw") [37] - Opkomst van C2C visie draagt bij tot positivering van perceptie over gerecycleerde materialen - Toekomstige EU regelgeving voor bouwproducten met bijkomende basiseis over duurzaam gebruik van grondstoffen	- Mogelijk onvoldoende beschikbaarheid van secundaire grondstoffen - Milieu-impact van gerecycleerde materialen kan hoger zijn dan initiële productie-impact - Logistieke organisatie voor recuperatie van secundaire grondstoffen - Financiële haalbaarheid voor verwerking van afval tot nieuwe materialen - Strengere reglementering, die hergebruik van afvalmaterialen bemoeilijkt (vb. REACH, EU waste framework directive, ...)

Tabel 22: SWOT analyse voor maximale recyclage

2.3.2.5 Industrieel, Flexibel en Demontabel bouwen (IFD)

Sterktes	Zwaktes
- Per definitie toepassing van prefabricatie en industrialisatie - Snellere uitvoering door enkel nog montage op de werf - Principes van IFD bouwen zijn toepasbaar in elk gebouw - Geen beperkingen wat betreft materialen - Gemakkelijke omvormbaarheid van gebouwen (vb. kantoor tot woning) - IFD bouwen leidt tot verlenging van de totale levensduur van gebouwen	- Te vage invulling van begrip IFD, geen duidelijke criteria - Hogere complexiteit van bouwdetails voor knooppunten o.w.v. eis voor demonteerbaarheid - Demonteerbare structuur is moeilijker te bouwen, met mogelijk hogere kostprijs tot gevolg - Mogelijke beperkingen wat betreft planopbouw, maatvoering o.w.v. doorgedreven prefabricatie
Opportunities	Risico's
Toenemende kost voor afvoeren van bouw- en sloopafval zal innovatieve,	Bouwtechnische vereisten (vb. stabiliteit, brandweerstand) bemoeilijken

meer demontabele bouwtechnieken stimuleren • Toegenomen aandacht voor flexibiliteit als onderdeel van duurzaam bouwen	demonteerbare opbouw van draagstructuur • Onvoldoende basiskennis bij bouwprofessionelen over IFD bouwtechnieken • Weerstand van architecten tegen gebruik van gestandaardiseerde oplossingen
---	--

Tabel 23: SWOT analyse voor industrieel, flexibel en demontabel bouwen

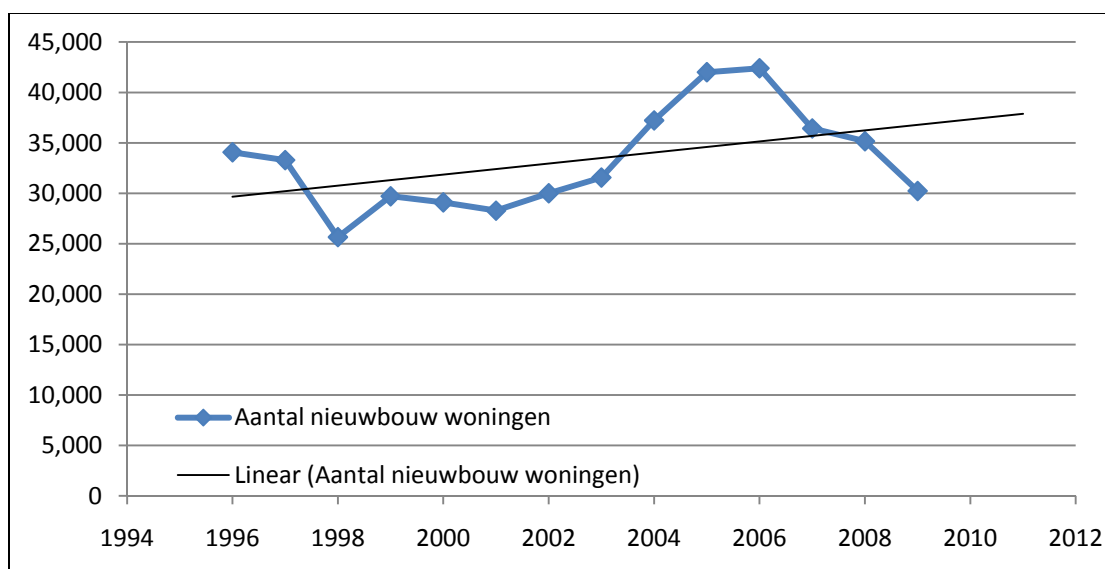
2.3.3 Toekomstscenario's voor 2020

In deze paragraaf worden een aantal toekomstscenario's voor het groeipotentieel van elk van de verschillende nieuwe bouwconcepten tegen het jaar 2020 uitgewerkt. Aan de hand van deze toekomstscenario's wordt vervolgens een kwantitatieve evaluatie gemaakt van het verwachte effect op het vlak van de milieu-impact en het verbruik van oppervlaktedelfstoffen. Hierbij wordt enerzijds rekening gehouden met de verwachte evoluties in de woningbouwmarkt en anderzijds met drie verschillende scenario's van marktacceptatie (nl. gelijk, licht gestegen en sterk gestegen).

2.3.3.1 Evolutie van de woningbouw tegen 2020

Voor het inschatten van de evolutie van de woningbouwsector tegen 2020 wordt gebruik gemaakt van de beschikbare statistische data in verband met bouwvergunningen en kadastrale gegevens [55][82][83][84].

In de eerste plaats wordt een prognose gemaakt van het verwachte totale aantal nieuwbouwwoningen⁶ in 2020. Hiervoor wordt een correlatie gemaakt tussen het aantal woningen, dat gebouwd wordt (zie Figuur 85), de evolutie van de bevolking (zie Figuur 86) en de evolutie in de gemiddelde grootte van de huishoudens (zie Figuur 87). Aan de hand van de beschikbare gegevens uit het verleden kunnen vervolgens prognoses voor het jaar 2020 geëxtrapoleerd worden.

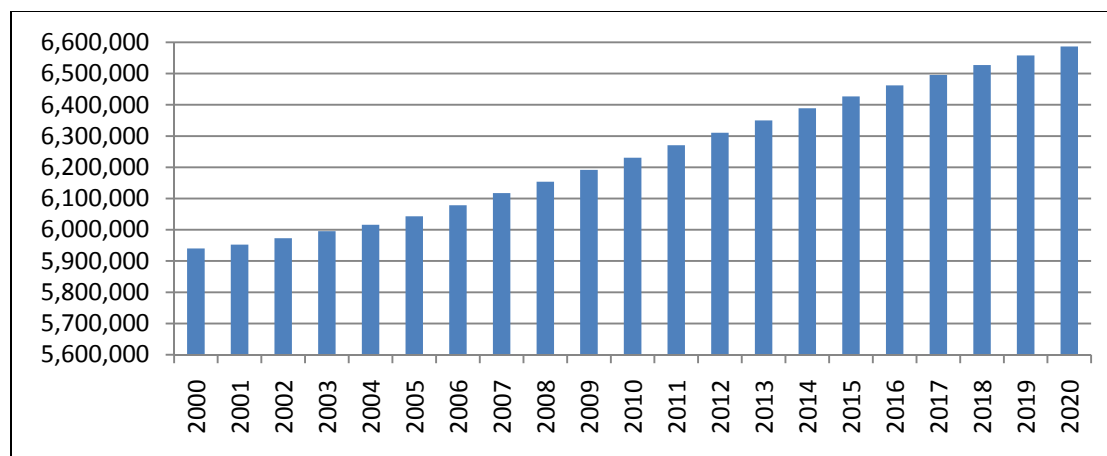


Figuur 85: Aantal nieuwbouwwoningen in Vlaanderen van 1996 tot 2009, met aanduiding van een trendlijn, die de evolutie in deze periode weergeeft [84]

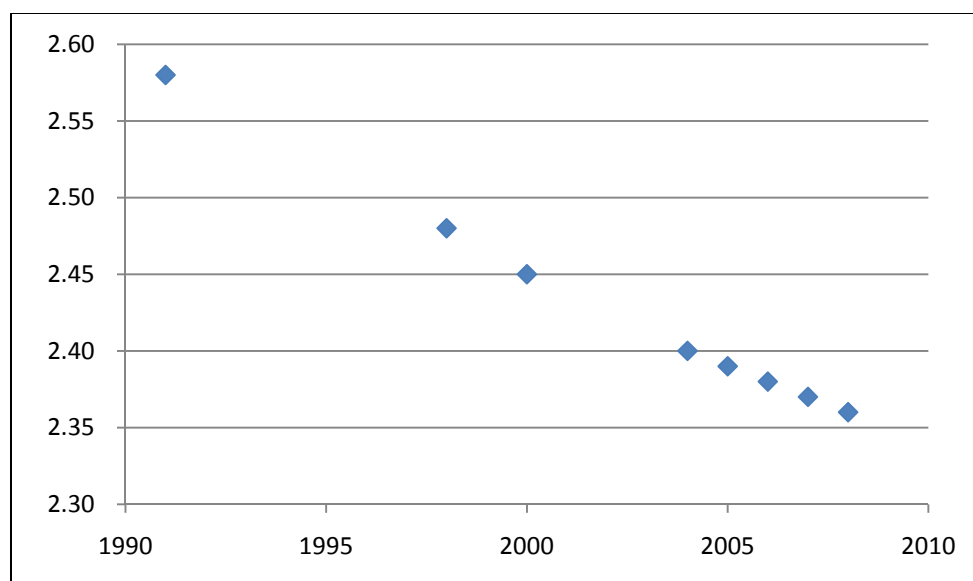
⁶ Met de term "nieuwbouwwoningen" worden zowel eengezinswoningen als wooneenheden in een appartementsgebouw bedoeld.

Uit Figuur 85 kunnen we afleiden dat, ondanks de daling in de woningbouw de voorbije jaren, er in het algemeen toch een stijgende tendens merkbaar is in de woningbouw. Dit is opmerkelijk, aangezien de renovatie van woningen in de voorbije 20 jaar enorm is toegenomen van respectievelijk 28% van het totaal aantal bouwvergunningen voor woningen in 1996 tot 36.5% in 2009.

De verklaring voor deze toekomstige verwachte blijvende stijging van het aantal nieuwbouwwoningen kan echter gevonden worden in de verwachte evolutie van de bevolking. Uit Figuur 86 blijkt immers dat het totale bevolkingsaantal in Vlaanderen de komende jaren zal blijven toenemen. Dit is enerzijds te wijten aan de vergrijzing van de bevolking en anderzijds aan het opnieuw toenemende geboortecijfer van de voorbije jaren. Bovendien blijkt uit Figuur 87 dat de gemiddelde gezinsgrootte van de huishoudens in Vlaanderen in dalende lijn gaat. Waar de gemiddelde gezinsgrootte in 1991 nog 2.58 personen bedroeg, bedroeg deze anno 2008 nog slechts 2.36. Wanneer men dus deze dalende lijn doortrekt tot 2020, zal de gezinsgrootte gemiddeld nog slechts 2.20 bedragen.



Figuur 86: Evolutie van de bevolking in Vlaanderen tussen 2000 en 2008, met prognose voor de bevolkingsevolutie tot 2020 [55]



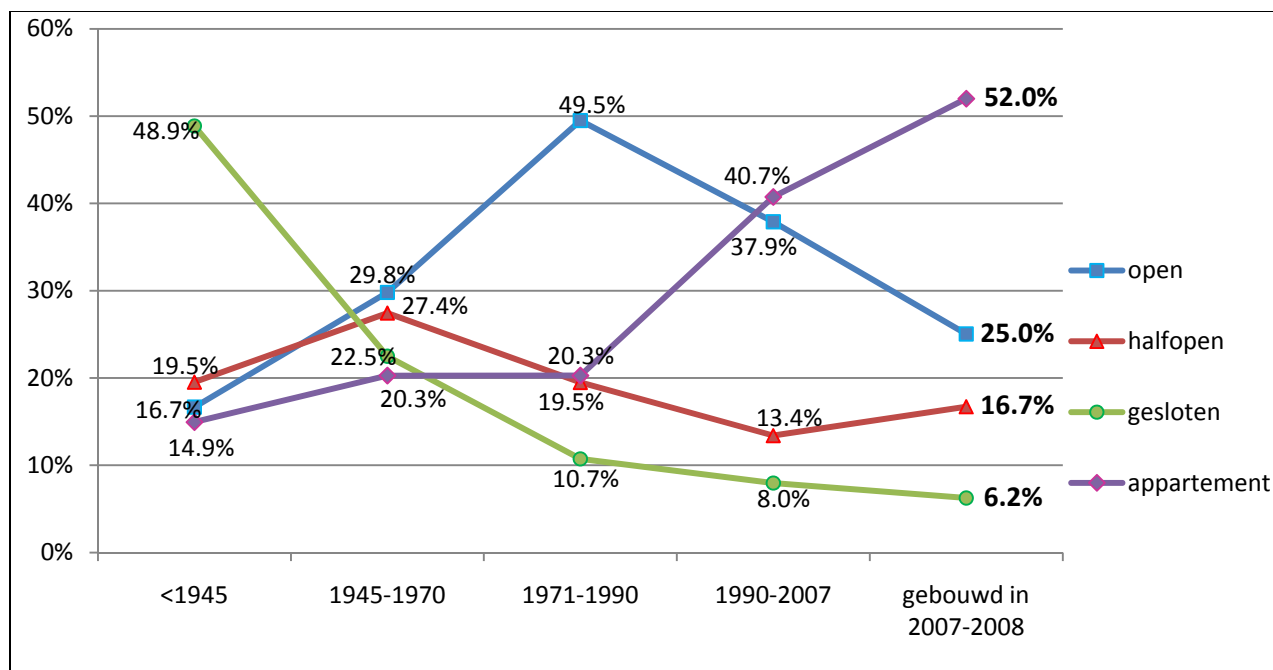
Figuur 87: Evolutie van de gemiddelde gezinsgrootte in Vlaanderen tussen 1991 en 2008 [82]

Op basis van deze statistische gegevens is het mogelijk om de relatie te berekenen tussen het aantal nieuw gebouwde woningen en het aantal huishoudens in Vlaanderen (zie Tabel 24). Op basis hiervan kan het gemiddelde van deze ratio berekend worden voor de voorbije 10 jaar. Dit gemiddelde bedraagt 13.55 nieuwbouwwoningen per 1000 gezinnen (zie onderstaande tabel). Gebruik makend van deze gemiddelde ratio, kunnen we ten slotte een voorspelling maken van het aantal nieuw gebouwde woningen in 2020, aan de hand van de prognoses voor bevolkingsaantal en gezinsgrootte. Zoals voorgesteld in Tabel 24 bekomen we dus voor 2020 een raming van 40 608 nieuwbouwwoningen.

jaar	bevolking	gezins-grootte	aantal huishoudens	totaal aantal gebouwde woningen	ratio nieuwbouw woningen per 1000 huishoudens
1998	6 086 577	2.48	2 454 265	25 658	10.45
2000	5 940 251	2.45	2 424 592	29 100	12.00
2004	6 016 024	2.40	2 506 677	37 225	14.85
2006	6 078 600	2.38	2 554 034	42 398	16.60
2008	6 153 716	2.36	2 607 507	35 160	13.48
2010	6 230 774	2.32	2 683 936	37 334	13.91
2020	6 586 713	2.20	2 996 872	40 608	13.55

Tabel 24: Berekening van het aantal nieuwbouwwoningen in 2020

Nu een raming is gemaakt van het totaal aantal nieuwbouwwoningen in 2020, moet ook nog de verdeling ingeschat worden over de verschillende woningtypes. Uit het voorgaande hoofdstuk is immers gebleken dat de milieu-impact en het verbruik van oppervlaktedelfstoffen verschillen voor de verschillende woningtypes. Voor het opmaken van de voorspelling van de verdeling tussen woningtypes in 2020 wordt opnieuw gebruik gemaakt van statistische gegevens over de historische verdeling van de woningen tussen de verschillende woningtypes (zie Figuur 88) [83].



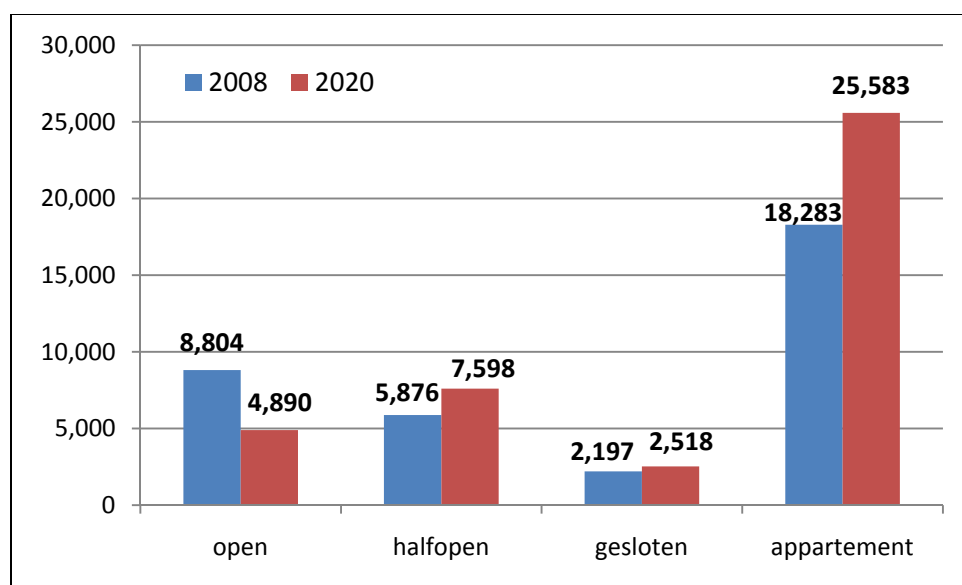
Figuur 88: Evolutie van het aandeel gebouwde woningen per woningtype op de totale hoeveelheid nieuwbouwwoningen per periode

Op basis van de hieruit afgeleide trends wordt in Tabel 25 vervolgens de prognose voor 2020 afgeleid. Zoals blijkt, wordt voor 2020 een verdere daling van het aandeel van de vrijstaande woningen verwacht, die bijna volledig wordt opgenomen door de stijging in het aandeel van de appartementsbouw. Het aandeel van de halfopen bebouwingen en de rijwoningen zal naar verwachting (nagenoeg) constant blijven.

	huidig aandeel nieuwbouw woningen (2008)	evolutie	verwacht aandeel nieuwbouw woningen (2020)
vrijstaand	25.0%	-13%	12.0%
halfopen	16.7%	+2%	18.7%
rijwoning	6.2%	status quo	6.2%
appartement	52.0%	+11%	63.0%

Tabel 25: Evolutie in het aandeel van de verschillende woningtypes in het totaal aantal nieuwbouwwoningen

Wanneer we ten slotte de raming van het totaal aantal nieuwbouwwoningen nu en in 2020 combineren met de respectievelijke verdelingen over de verschillende woningtypes, dan bekomen we de totale aantallen nieuwbouwwoningen per woningtype en dit zowel voor nu (2008) als voor binnen tien jaar (2020) (zie Figuur 89). Het zijn deze cijfers die in paragraaf 2.3.4 gebruikt worden voor het kwantificeren van de effecten van de toepassing van de nieuwe bouwconcepten tegen 2020.



Figuur 89: Totale aantallen nieuwbouwwoningen per woningtype in 2008 en in 2020

2.3.3.2 Evolutie van de bouwconcepten tegen 2020

Na het bepalen van de evolutie in de woningbouwsector tegen 2020, is het eveneens belangrijk om de evolutie van de verschillende bouwconcepten in te schatten, om het totale effect na te gaan.

Het inschatten van het toekomstig marktaandeel van de verschillende bouwconcepten is echter niet eenvoudig. Dit hangt immers af van allerlei factoren, zoals in paragraaf 2.3.2 al werd aangetoond door middel van de SWOT analyses. Daarom worden er voor 2020 drie verschillende toekomstscenario's met een verschillend niveau van marktacceptatie verondersteld.

Marktacceptatie wordt hierbij begrepen als de perceptie van de bouwsector, de opdrachtgevers en de overheid over een bepaald bouwconcept. De marktacceptatie weerspiegelt met andere woorden de mate, waarin een bepaald bouwconcept ingeburgerd is of geaccepteerd wordt bij de verschillende belanghebbende partijen in het bouwproces. Vanzelfsprekend is de marktacceptatie sterk afhankelijk van de ervaringen met een bepaald bouwconcept en de communicatie, die errond gebeurt, maar ook van de invloed, die het beleid uitoefent op de eventuele toepassing van een bouwconcept (vb. via aanpassen van bouwopleidingen, implementatie van stimuleringsprogramma's, invoeren van nieuwe prestatievoorschriften, ...).

Bij het opstellen van de toekomstscenario's wordt een onderscheid gemaakt tussen het marktaandeel bij eengezinswoningen en bij appartementen. Dit wordt gedaan, omdat uit de consultatie van experts duidelijk is gebleken dat er een groot verschil bestaat in de toepassing van de bouwconcepten bij eengezinswoningen en bij appartementen.

De door de experts aangegeven indicatie van het huidig marktaandeel van elk bouwconcept vormt het vertrekpunt voor de evaluatie van de toekomstige effecten (zie Tabel 26).

	Huidige marktsituatie	
	Eengezinswoningen	Appartementen
	huidig marktaandeel van de bouwconcepten	huidig marktaandeel van de bouwconcepten
traditioneel	87.5%	95%
houtskelet	10%	1%
bio-ecologisch	2%	0%
staalskelet	0.50%	2%
maximale recyclage	0%	0%
IFD	0%	2%

Tabel 26: Huidig marktaandeel van de bouwconcepten, met onderscheid tussen eengezinswoningen en appartementen

In Tabel 27 wordt vervolgens de verwachte evolutie weergegeven van het marktaandeel van de bouwconcepten in 2020 bij gelijk gebleven marktacceptatie. Hierbij wordt duidelijk dat voor een aantal bouwconcepten een lichte stijging van het marktaandeel verwacht wordt, hoewel ervan uitgegaan wordt dat de perceptie van het bouwconcept onveranderd blijft. Dit heeft te maken met tendensen, die nu reeds kunnen vastgesteld worden en waarvan dus aangenomen wordt dat deze zich tegen 2020 zullen blijven verderzetten.

Houtskeletbouw, bijvoorbeeld, is in Vlaanderen sowieso al aan een opmars bezig, zodat het meer dan waarschijnlijk is dat het aandeel van houtskeletbouw tegen 2020 inderdaad nog zal toenemen.

Ook prefabricatie en industrialisatie zijn hoe langer hoe belangrijker in de woningbouw, gezien de toegenomen tijdsdruk en het tekort aan geschoold personeel op de bouwerven. Het is dus logisch om een lichte stijging van het IFD concept te verwachten tegen 2020.

Recyclage, ten slotte, is een thema waarrond in de bouwsector al jaren hard gewerkt wordt. Het sluiten van de kringloop van materialen is bovendien een doelstelling van de Vlaamse overheid, met het oog op een meer milieuverantwoord materiaalgebruik in de bouw. Ook hiervoor ligt een lichte stijging van het marktaandeel bij gelijkgebleven marktacceptatie voor de hand.

	gelijke marktacceptatie			
	Eengezinswoningen		Appartementen	
	toekomstscenario - verwachte evolutie	toekomstig marktaandeel	toekomstscenario - verwachte evolutie	toekomstig marktaandeel
traditioneel	-4.0%	83.5%	-4.0%	91.0%
houtskelet	+2%	12%	+0%	1%
bio-ecologisch	+0%	2%	+0%	0%
staalskelet	+0.0%	0.5%	+0%	2%
maximale recyclage	+1%	1%	+2%	2%
IFD	+1%	1%	+2%	4%

Tabel 27: Verwachte evolutie van het marktaandeel van de bouwconcepten tegen 2020 bij gelijke marktacceptatie, met onderscheid tussen eengezinswoningen en appartementen

De verwachte evoluties voor licht gestegen en sterk gestegen marktacceptatie zijn gebaseerd op de feedback van de gecontacteerde experts tijdens de consultatie. Daarnaast wordt ook rekening gehouden met de marktcijfers, zoals vastgesteld in de analyse van een aantal Noordwest-Europese landen (zie 3.1). Dit resulteert in de toekomstscenario's, zoals voorgesteld in Tabel 28 en Tabel 29.

	licht gestegen marktacceptatie			
	Eengezinswoningen		Appartementen	
	toekomstscenario - verwachte evolutie	toekomstig marktaandeel	toekomstscenario - verwachte evolutie	toekomstig marktaandeel
traditioneel	-14.0%	73.5%	-13.0%	82.0%
houtskelet	+5%	15%	+1%	2%
bio-ecologisch	+1%	3%	+1%	1%
staalskelet	+2.0%	2.5%	+5%	7.0%
maximale recyclage	+3%	3%	+3%	3%
IFD	+3%	3%	+3%	5%

Tabel 28: Verwachte evolutie van het marktaandeel van de bouwconcepten tegen 2020 bij licht gestegen marktacceptatie, met onderscheid tussen eengezinswoningen en appartementen

	sterk gestegen marktacceptatie			
	Eengezinswoningen		Appartementen	
	toekomstscenario - verwachte evolutie	toekomstig marktaandeel	toekomstscenario - verwachte evolutie	toekomstig marktaandeel
traditioneel	-27.5%	60.0%	-23.0%	72.0%
houtskelet	+10%	20%	+4%	5%
bio-ecologisch	+3%	5%	+2%	2%
staalskelet	+4.5%	5%	+7%	9%
maximale recyclage	+5%	5%	+5%	5%
IFD	+5%	5%	+5%	7%

Tabel 29: Verwachte evolutie van het marktaandeel van de bouwconcepten tegen 2020 bij sterk gestegen marktacceptatie, met onderscheid tussen eengezinswoningen en appartementen

Gebruik makend van de hierboven beschreven toekomstscenario's worden in de volgende paragraaf de impacten op de milieu-impact en het gebruik van primaire oppervlaktedelfstoffen becijferd.

2.3.4 Impact van de toekomstscenario's

Om de impact van de bouwconcepten op middellange termijn na te gaan, worden de berekende effecten per woning (zie hoofdstuk 2.1 en 2.2) gecombineerd met de hiervoor beschreven toekomstscenario's voor de woningbouw en de bouwconcepten.

Omdat echter in hoofdstuk 2.1 en 2.2 niet alle bouwconcepten voor elk van de woningtypes werden geanalyseerd, dienen eerst extrapolaties gemaakt te worden voor de niet geëvalueerde varianten. Dit gebeurt, bijvoorbeeld, voor de metaalskeletvariant van de rijwoning door de gemiddelde verhouding van de resultaten voor de rijwoningvarianten (nl. referentie, houtskeletbouw en bio-ecologisch) ten opzichte van de resultaten van de vrijstaande woning te bepalen. Vervolgens wordt dan, gebruik makend van deze gemiddelde verhouding, aan de hand van het resultaat van de metaalskeletbouwvariant van de vrijstaande woning het resultaat voor de rijwoning berekend. Op een analoge manier worden de andere resultaten voor de rijwoning en het appartement berekend.

Ook voor de halfopen woningen worden resultaten geëxtrapoleerd uit de berekende resultaten. Hierbij wordt uitgegaan van de hypothese dat de resultaten voor de halfopen woning het gemiddelde bedragen van de resultaten voor de vrijstaande woning en de rijwoning.

2.3.4.1 Milieu-impact

In Tabel 30 wordt een samenvattend overzicht gegeven van de resultaten van de milieu-evaluatie van de verschillende woningen, zoals beschreven in hoofdstuk 2.1. De in het grijs aangeduide waarden in de tabel zijn de geëxtrapoleerde resultaten voor de niet geëvalueerde varianten. De halfopen woning wordt hier niet expliciet vermeld, omdat hiervoor, zoals vermeld, gebruik gemaakt wordt van het gemiddelde van de resultaten voor de vrijstaande woning en de rijwoning.

	vrijstaande woning	rijwoning	appartement
	ecopunten/m ² /jaar	ecopunten/m ² /jaar	ecopunten/m ² /jaar
Referentie	1.6082	1.3255	1.9925
Houtskelet	1.4468	1.2372	1.7988
Bio-ecologisch	1.5783	1.3500	1.9625
Metaal	1.5630	1.3206	1.9313
Metaal_variant	1.6050	1.3561	1.9831
Max. recyclage	1.7242	1.4568	2.0306
IFD	1.5558	1.3145	1.8461

Tabel 30: Overzicht van de totale milieu-impact per gebouwtype voor de verschillende bouwconcepten, uitgedrukt in ecopunten per m² vloer en per jaar

Belangrijk om op te merken is dat de resultaten voor de milieu-impact uitgedrukt worden per m² vloer en per jaar. Om de totale milieu-impact per woning te bekomen, moet men deze cijfers dus nog vermenigvuldigen met de oppervlakte van de woning en de levensduur van de woning. Daarenboven moet men deze resultaten ook nog vermenigvuldigen met het totaal aantal woningen per woningtype, om een zicht te krijgen op de globale milieu-impact van de woningbouw in een bouwjaar.

Voor het bepalen van het effect van de toepassing van de nieuwe bouwconcepten op de milieubelasting, worden de resultaten op twee manieren voorgesteld. Enerzijds worden de resultaten weergegeven door middel van het gewogen gemiddelde van de milieu-impact per bouwconcept (uitgedrukt in ecopunten per m² vloer en per jaar), waarbij de verdeling over de verschillende woningtypes ingerekend wordt.

Anderzijds wordt ook het totaalresultaat voor de totale levenscyclusimpact voor alle woningen in een bouwjaar berekend, waarbij dus ook rekening gehouden wordt met de respectievelijke oppervlaktes en de levensduur per bouwtype en per bouwconcept. Hierbij wordt in herinnering gebracht dat de levensduur van de IFD woningen 150 jaar bedraagt, ten opzichte van 90 jaar voor de andere bouwconcepten. Hierdoor is de totale milieu-impact van de IFD woningen hoger. Er moet echter rekening gehouden worden met deze langere levensduur bij de interpretatie van de resultaten. Op langere termijn zullen immers minder woningen noodzakelijk zijn, wanneer men volgens het IFD concept bouwt. Om eenduidige conclusies te kunnen trekken over het al of niet positieve effect op lange termijn van de IFD woningen, zou men een totaalberekening van de milieu-impact over een bepaald tijdsperiode moeten beschouwen, waarbij voor de gebouwen met een kortere levensduur een scenario voor afbraak en opnieuw bouwen moet worden ingerekend. Een dergelijke studie ligt echter buiten de scope van deze studie.

In Tabel 31 worden deze resultaten voor de milieu-impact gegeven voor de huidige marktsituatie van de bouwconcepten, zoals beschreven in de vorige paragraaf. Dit is de referentiesituatie, vanwaaruit de toekomstscenario's worden bepaald.

Huidige marktsituatie		
MILIEU-IMPACT	gewogen gemiddelde milieu-impact	totale milieu-impact
	ecopunten/m ² /jaar	ecopunten
traditioneel	1.6236	607 411 119
houtskelet	0.0757	38 336 474
bio-ecologisch	0.0145	7 820 199
staalskelet	0.0237	7 287 517
maximale recyclage	0.0000	0
IFD	0.0211	9 390 123
totaal	1.7586	670 245 432

Tabel 31: Overzicht van de milieu-impact voor de huidige marktsituatie van de bouwconcepten, uitgedrukt in ecopunten

Tabel 32 geeft vervolgens de resultaten voor de milieu-impact anno 2020, uitgaande van een gelijk gebleven marktacceptatie. De percentages, aangeduid in blauw onderaan de tabel, geven het effect weer ten opzichte van de huidige situatie. We kunnen vaststellen dat er een stijging van 2.35% van de gewogen gemiddelde milieu-impact zal plaatsvinden en een toename van 11.67% van de totale milieu-impact.

Gelijke marktacceptatie

MILIEU-IMPACT	gewogen gemiddelde milieu-impact	totale milieu-impact
	ecopunten/m ² /jaar	ecopunten
traditioneel	1.6026	646 212 328
houtskelet	0.0716	42 105 009
bio-ecologisch	0.0110	7 021 085
staalskelet	0.0270	9 227 598
maximale recyclage	0.0305	11 251 461
IFD	0.0572	32 638 320
totaal	1.7999	748 455 801
	+2.35%	+11.67%

Tabel 32: Overzicht van de milieu-impact voor het toekomstscenario 2020 bij gelijk gebleven marktacceptatie, uitgedrukt in ecopunten

Er liggen verschillende redenen aan de basis van deze stijgingen. Zo is de milieu-impact per m² en per jaar voor het geëvalueerde appartement groter dan deze voor de vrijstaande woning en de rijwoning. Gezien het grotere aandeel van appartementen op het totaal aantal nieuwbouwwoningen in 2020, ligt de gewogen gemiddelde milieu-impact dus iets hoger. Dit effect speelt uiteraard ook mee bij de berekening van de totale milieu-impact. Hier moeten we er echter bijkomend mee rekening houden dat het geëvalueerde appartement een kleinere oppervlakte heeft dan de vrijstaande woning en de rijwoning, wat eerder een daling van de gemiddelde milieu-impact met zich mee zou brengen. Er zijn echter nog twee elementen, die bijdragen aan de grotere totale milieu-impact, met name de verwachte stijging van het globaal aantal gebouwde woningen ten opzichte van de huidige situatie, met logischerwijze een grotere totale impact als gevolg, en het effect van het licht toegenomen aandeel van IFD woningen, die sowieso al een hogere milieu-impact hebben omwille van de langere totale levensduur.

Dezelfde effecten kunnen we ook vaststellen voor de milieu-impact bij licht gestegen marktacceptatie (zie Tabel 33) en bij sterk gestegen marktacceptatie (zie Tabel 34). De stijging van de gewogen gemiddelde milieu-impact per m² en per jaar is ten opzichte van de huidige situatie respectievelijk 2.13% en 1.79% bij licht gestegen en bij sterk gestegen marktacceptatie. Met andere woorden, wanneer de nieuwe bouwconcepten een groter marktaandeel krijgen, zal de milieu-impact minder sterk stijgen dan bij gelijk gebleven marktacceptatie. Dit is te verklaren door de kleinere milieu-impact per m² en per jaar van de meeste nieuwe bouwconcepten ten opzichte van de referentie. Het verschil in marktaandeel heeft echter geen bijzonder grote invloed op de milieu-impact. Wanneer we de gewogen gemiddelde milieu-impact voor 2020 bij gelijke marktacceptatie vergelijken met deze bij licht gestegen en sterk gestegen marktacceptatie, dan zien we dat de daling in milieu-impact beperkt is tot respectievelijk 0.21% en 0.55% (aangeduid in paars in Tabel 33 en Tabel 34).

Wat de totale milieu-impact voor de woningbouw anno 2020 betreft, stellen we echter een omgekeerd effect vast. De totale milieu-impact bij licht gestegen en sterk gestegen marktacceptatie ligt hoger dan deze bij gelijk gebleven marktacceptatie, namelijk respectievelijk 0.84% en 1.91% (aangeduid in paars). Logischerwijze is dus ook de stijging ten opzichte van de huidige situatie groter, in casu 12.61% bij licht gestegen marktacceptatie en 13.80% bij sterk gestegen marktacceptatie ten opzichte van 11.67% bij gelijk gebleven marktacceptatie (aangeduid in blauw).

De verklaring hiervoor ligt in het grotere aandeel van de concepten maximale recyclage en IFD, waarvoor de milieu-impact per woning hoger ligt dan voor de referentie. Aangezien het marktaandeel van deze bouwconcepten echter niet zo groot is (maximaal 5% bij eengezinswoningen en 7% bij appartementen), is de invloed op het totale resultaat niet bijzonder groot, waardoor de verschillen ten opzichte van gelijke marktacceptatie beperkt blijven.

Licht gestegen marktacceptatie

MILIEU-IMPACT	gewogen gemiddelde milieu-impact	totale milieu-impact
	ecopunten/m ² /jaar	ecopunten
traditioneel	1.4345	576 163 842
houtskelet	0.0980	55 250 198
bio-ecologisch	0.0288	14 341 383
staalskelet	0.0987	34 890 944
maximale recyclage	0.0541	22 205 254
IFD	0.0819	51 927 081
totaal	1.7960	754 778 702
	+2.13%	+12.61%
	-0.21%	+0.84%

Tabel 33: Overzicht van de milieu-impact voor het toekomstscenario 2020 bij licht gestegen marktacceptatie, uitgedrukt in ecopunten

Sterk gestegen marktacceptatie

MILIEU-IMPACT	gewogen gemiddelde milieu-impact	totale milieu-impact
	ecopunten/m ² /jaar	ecopunten
traditioneel	1.2346	489 914 540
houtskelet	0.1571	81 814 737
bio-ecologisch	0.0521	25 172 224
staalskelet	0.1366	51 036 810
maximale recyclage	0.0902	37 008 756
IFD	0.1194	77 785 539
totaal	1.7900	762 732 606
	+1.79%	+13.80%
	-0.55%	+1.91%

Tabel 34: Overzicht van de milieu-impact voor het toekomstscenario 2020 bij sterk gestegen marktacceptatie, uitgedrukt in ecopunten

Concluderend kan voor de milieu-impact gesteld worden dat de gewogen gemiddelde milieu-impact per m² vloer en per jaar van de woningbouw lager zal liggen, wanneer de nieuwe bouwconcepten meer toegepast worden. De huidige studie toont daarentegen een stijging van de totale milieu-impact bij toenemend marktaandeel van de nieuwe bouwconcepten. Eén van de oorzaken hiervan is, zoals eerder vermeld, de grotere milieu-impact van de bouwconcepten maximale recyclage en IFD. Een veralgemening van deze conclusie wat betreft de totale milieu-impact is echter niet vanzelfsprekend. De oppervlakte van de woningen speelt immers een belangrijke rol in de totale milieu-impact. Bij de huidige analyse werd gebruik gemaakt van een aanzienlijk kleinere oppervlakte voor het appartement dan voor de rijwoning of de vrijstaande woning. Het is echter moeilijk in te schatten of de

resultaten hetzelfde zouden zijn, wanneer uitgegaan wordt van een grotere oppervlakte voor het appartement. Langs de ene kant zou dan waarschijnlijk de milieu-impact per m² appartement kleiner worden (de gemene delen van het appartementsgebouw zouden dan immers gedeeld worden door een grotere oppervlakte). Maar anderzijds zou men dan voor het berekenen van de totale milieu-impact moeten vermenigvuldigen met een grotere oppervlakte. Welk van beide effecten het meeste zou doorwegen, zal dus sterk afhangen van het ontwerp van het gebouw.

2.3.4.2 Impact op het verbruik van primaire oppervlakedelfstoffen

In deze paragraaf wordt, analoog aan de evaluatie van de milieu-impact, het effect nagegaan van de toepassing van de nieuwe bouwconcepten op het verbruik van primaire oppervlakedelfstoffen. Naast een vergelijking tussen de huidige situatie en de drie mogelijke toekomstscenario's, wordt ook nagegaan in welke mate de evolutie in de woningbouw en de bouwconcepten een invloed heeft op de globale behoefte aan primaire oppervlakedelfstoffen in Vlaanderen. Om deze afweging te kunnen maken, wordt in Tabel 35 eerst een overzicht gegeven van de huidige geraamde behoefte aan oppervlakedelfstoffen in Vlaanderen. Wat het zand betreft, wordt enkel rekening gehouden met bouwzand en vulzand. Kwartszand wordt buiten beschouwing gelaten, omdat dit enkel gebruikt wordt voor glasproductie en omdat de benodigde hoeveelheid zand voor de beglazing in de geanalyseerde woningen minimaal is ten opzichte van de totale benodigde hoeveelheid zand in de woningen.

	behoefte in Vlaanderen
	kton per jaar
zand (bouwzand + vulzand)	17 980
klei en leem	3 911
grind en grove granulaten	13 733
TOTAAL	35 624

Tabel 35: Behoefteraming voor het jaarlijks verbruik van primaire oppervlakedelfstoffen in Vlaanderen [85]

Net zoals voor de milieu-impact, dienen voor het berekenen van de globale behoefte aan oppervlakedelfstoffen voor de woningbouw eerst nog extrapolaties gemaakt te worden voor het verbruik van zand, klei en leem en grind en grove granulaten van de niet geanalyseerde woningtypes en bouwconcepten. Het overzicht van het verbruik van de drie grondstofgroepen per woning wordt gegeven in Tabel 36, Tabel 37 en Tabel 38. Het verbruik wordt hier uitgedrukt in kg per m² vloer en per jaar, zoals beschreven in hoofdstuk 2.2. De geëxtrapoleerde resultaten zijn in het grijs aangeduid in deze tabellen.

	vrijstaande woning		rijwoning		appartement	
Zand	initieel kg/m ² /jaar	Totaal kg/m ² /jaar	Initieel kg/m ² /jaar	Totaal kg/m ² /jaar	initieel kg/m ² /jaar	Totaal kg/m ² /jaar
REF_K32	2.25	1.36	1.99	1.24	2.52	1.91
Houtskelet	0.93	0.03	0.83	0.04	0.94	0.04
	-59.0%	-97.8%	-58.1%	-97.1%	-62.6%	-97.7%
Bio-ecologisch	0.90	0.42	0.70	0.35	0.91	0.61
	-60.1%	-69.3%	-64.7%	-71.3%	-63.7%	-68.2%
Metaal	2.12	0.34	1.81	0.34	2.15	0.50

	-6.1%	-74.8%	-9.1%	-72.6%	-14.5%	-73.9%
Metaal_variant	2.02	1.10	1.72	1.09	2.05	1.60
	-10.6%	-19.2%	-13.4%	-12.1%	-18.6%	-16.5%
Max. recyclage	0.02	0.05	0.02	0.05	0.02	0.07
	-99.0%	-96.4%	-99.0%	-96.1%	-99.2%	-96.5%
IFD	1.05	0.41	0.90	0.41	1.08	0.65
	-53.2%	-69.5%	-54.7%	-66.9%	-57.2%	-65.8%

Tabel 36: Overzicht van het verbruik van zand per bouwtype voor de verschillende bouwconcepten, uitgedrukt in kg per m² en per jaar

	vrijstaande woning		rijwoning		appartement	
Klei en leem	initieel kg/m ² /jaar	Totaal kg/m ² /jaar	initieel kg/m ² /jaar	Totaal kg/m ² /jaar	initieel kg/m ² /jaar	Totaal kg/m ² /jaar
REF_K32	5.10	4.87	4.44	3.97	5.76	4.96
Houtskelet	0.76	0.67	0.48	0.42	1.20	1.26
	-85.2%	-86.2%	-89.2%	-89.5%	-79.2%	-74.6%
Bio-ecologisch	1.13	0.16	0.53	0.11	1.78	0.30
	-77.9%	-96.7%	-88.0%	-97.3%	-69.0%	-94.0%
Metaal	0.29	0.28	0.19	0.20	0.46	0.52
	-94.3%	-94.3%	-95.7%	-95.1%	-92.0%	-89.5%
Metaal_variant	0.32	0.37	0.21	0.26	0.51	0.70
	-93.7%	-92.4%	-95.2%	-93.4%	-91.1%	-86.0%
Max. recyclage	0.32	0.23	0.21	0.16	0.41	0.39
	-93.7%	-95.3%	-95.2%	-95.9%	-92.9%	-92.2%
IFD	0.56	0.56	0.37	0.39	1.30	1.63
	-89.1%	-88.4%	-91.7%	-90.0%	-77.3%	-67.1%

Tabel 37: Overzicht van het verbruik van klei en leem per bouwtype voor de verschillende bouwconcepten, uitgedrukt in kg per m² en per jaar

	vrijstaande woning		rijwoning		appartement	
Grind en grove granulaten	initieel kg/m ² /jaar	Totaal kg/m ² /jaar	initieel kg/m ² /jaar	Totaal kg/m ² /jaar	initieel kg/m ² /jaar	Totaal kg/m ² /jaar
REF_K32	6.08	-2.61	6.22	-2.08	8.59	-2.38
houtskelet	4.10	0.47	3.24	0.43	4.62	0.75
	-32.6%	+ 118.1%	-47.9%	+ 120.9%	-46.3%	+ 131.5%
Bio-ecologisch	1.88	0.45	1.49	0.41	2.11	0.71
	-69.2%	+ 117.1%	-76.1%	+ 119.5%	-75.4%	+ 129.8%
Metaal	3.93	0.28	3.41	0.24	4.42	0.44
	-35.4%	+ 110.7%	-45.1%	+ 111.7%	-48.5%	+ 118.6%
Metaal_variant	4.10	0.57	3.56	0.50	4.61	0.91
	-32.6%	+ 121.9%	-42.8%	+ 124.1%	-46.3%	+ 138.2%
Max. recyclage	1.81	1.66	1.57	1.45	1.23	1.53
	-70.2%	+ 163.7%	-74.7%	+ 170.0%	-85.7%	+ 164.2%
IFD	4.98	-0.06	4.33	-0.06	6.41	-0.19
	-18.1%	+ 97.6%	-30.4%	+ 97.3%	-25.4%	+ 92.1%

Tabel 38: Overzicht van het verbruik van grind en grove granulaten per bouwtype voor de verschillende bouwconcepten, uitgedrukt in kg per m² en per jaar

Voor het verbruik van de oppervlakedelfstoffen wordt telkens zowel de initiële behoefte, voor het oprichten van het gebouw, als de totale behoefte voor de volledige levensduur beschouwd. Omwille van de terugwinst van een deel van de grondstoffen als secundaire grondstof ligt het netto totale verbruik immers lager dan de initiële behoefte, zoals aangetoond werd in hoofdstuk 2.2. Uitsluitend met het totaalcijfer rekening houden, zou dus een vertekend beeld geven van de reële behoefte aan oppervlakedelfstoffen, die nodig zijn om de gebouwen initieel te kunnen bouwen.

Voor het bepalen van het effect van de toepassing van de nieuwe bouwconcepten op het globale verbruik van oppervlakedelfstoffen in de woningbouw, worden de resultaten opnieuw voorgesteld op twee manieren. Enerzijds wordt het verbruik per m² vloer en per jaar van de woning berekend, rekening houdend met het gebouwde aantal van de verschillende woningtypes. Anderzijds wordt er een globale behoefteberekening gemaakt (uitgedrukt in kton per bouwjaar), rekening houdend met de oppervlaktes van de verschillende woningtypes en de levensduur van de woningen. Het vergelijken van de verschillende toekomstscenario's gebeurt uitsluitend aan de hand van deze globale behoeftebeoordeling, omdat hiermee bovendien kan nagegaan worden in welke mate de woningbouwsector een invloed heeft op de totale behoefte aan oppervlakedelfstoffen in Vlaanderen (zie Tabel 35).

In Tabel 39 worden deze resultaten voor het verbruik van de oppervlakedelfstoffen gegeven voor de huidige marktsituatie van de bouwconcepten, zoals beschreven in paragraaf 2.3.3. Dit is de referentiesituatie, vanwaaruit de toekomstscenario's worden bepaald. De in het rood aangeduide percentages geven het aandeel weer van het verbruik van de oppervlakedelfstoffen in de totale behoeftebeoordeling voor Vlaanderen. Dit aandeel wordt bepaald zowel voor de verschillende grondstofgroepen afzonderlijk, als voor het geheel van het verbruik van oppervlakedelfstoffen.

Huidige marktsituatie

ZAND	initieel		totaal levenscyclus	
	kg/m ² /jaar	kton	kg/m ² /jaar	kton
traditioneel	75 776	824.61	52 717	552.07
houtskelet	1 685	24.57	61	0.89
bio-ecologisch	283	4.34	134	2.06
staalskelet	934	8.38	444	3.84
maximale recyclage	0	0.00	0	0.00
IFD	394	4.98	239	3.03
totaal	79 071	866.87	53 596	561.89
		4.8%		3.1%
KLEI EN LEEM	initieel		totaal levenscyclus	
	kg/m ² /jaar	kton	kg/m ² /jaar	kton
traditioneel	172 318	1869.85	154 082	694.78
houtskelet	1 354	18.95	1 233	17.02
bio-ecologisch	320	4.84	48	0.73
staalskelet	201	1.70	248	2.07
maximale recyclage	0	0.00	0	0.00
IFD	477	6.03	598	7.56
totaal	174 670	1 901.38	156 209	1

					722.17
					44.0%
GRIND & GROVE GRANULATEN	initieel		totaal levenscyclus		
	kg/m ² /jaar	kton	kg/m ² /jaar	kton	
	traditioneel	239 607	2527.65	-77 466	-867.28
	houtskelet	7 320	105.63	914	12.99
	bio-ecologisch	593	9.09	146	2.25
	staalskelet	1 977	17.53	282	2.41
	maximale recyclage	0	0.00	0	0.00
	IFD	2 342	29.62	-68	-0.87
	totaal	251 839	2 689.51	-76 192	-850.51
					-6.2%
TOTAAL OPP.- DELSTOFFEN	initieel		totaal levenscyclus		
	kg/m ² /jaar	kton	kg/m ² /jaar	kton	
	505 581	5 458	133 612	1 434	
					4.02%
					15.32%

Tabel 39: Overzicht van het verbruik van oppervlaktedelfstoffen voor de huidige marktsituatie van de bouwconcepten

Op basis van deze gegevens kunnen we vaststellen dat het verbruik van zand in de woningbouw slechts een beperkt aandeel heeft in het totale verbruik van zand in Vlaanderen. Daarentegen bedraagt het verbruik van klei en leem in de woningbouw bijna de helft van de totale behoefte in Vlaanderen. Beide cijfers hebben logische verklaringen. Zand wordt immers in zeer veel andere toepassingen gebruikt, bijvoorbeeld in infrastructuurwerken, water- en spoorwegbouw, ... waardoor het aandeel van de woningbouw eerder beperkt is. Klei en leem daarentegen worden voornamelijk gebruikt in de productie van keramische producten, zoals baksteen, kleidakpannen, ... Gelet op de huidige woningbouwcultuur, waarbij nog steeds zeer veel gebruik gemaakt wordt van deze materialen, is het normaal dat de woningbouw een grote afnemer is van deze producten.

Wat betreft grind en grove granulaten stellen we een opmerkelijk verschil vast tussen de initiële behoefte en de totale netto behoefte voor de volledige levenscyclus. Initieel is de woningbouwsector verantwoordelijk voor bijna 20% van de totale behoefte aan oppervlaktedelfstoffen. Op levenscyclustermijn zien we echter dat de woningbouwsector netto een leverancier van grove granulaten wordt, waarbij meer grove granulaten als secundaire grondstof ter beschikking komen, dan er initieel nodig zijn. In totaal kan op deze manier aan 6% van de Vlaamse behoefte aan grind en grove granulaten worden voldaan.

Dit effect is ook merkbaar in de totaalcijfers voor het verbruik van primaire oppervlaktedelfstoffen. Initieel vraagt de woningbouw ongeveer 15% van de totale behoefte aan oppervlaktedelfstoffen in Vlaanderen. Netto op levenscyclustermijn is het aandeel van de woningbouw echter veel kleiner, met name 4% van de totale behoefte.

Gelijke marktacceptatie

ZAND	initieel		totaal levenscyclus	
	kg/m ² /jaar	kton	kg/m ² /jaar	kton
traditioneel	85 389	868.16	60 883	596.60
houtskelet	1 835	27.03	69	1.01
bio-ecologisch	245	3.85	117	1.85
staalskelet	1 220	10.45	590	4.92
maximale recyclage	14	0.13	42	0.38
IFD	1 250	17.84	732	10.10
totaal	89 952	927.45	62 433	614.86
		5.2%		3.4%
		+6.99%		+9.43%

KLEI EN LEEM	initieel		totaal levenscyclus	
	kg/m ² /jaar	kton	kg/m ² /jaar	kton
traditioneel	194 425	1970.77	171 825	1 763.67
houtskelet	1 459	20.38	1 339	18.37
bio-ecologisch	263	4.10	41	0.64
staalskelet	268	2.20	333	2.70
maximale recyclage	251	2.24	229	1.98
IFD	1 407	18.76	1 746	23.08
totaal	198 074	2 018.44	175 514	1 810.45
		51.6%		46.3%
		+6.16%		+5.13%

GRIND & GROVE GRANULATEN	initieel		totaal levenscyclus	
	kg/m ² /jaar	kton	kg/m ² /jaar	kton
traditioneel	276 873	2737.16	-85 289	-891.13
houtskelet	7 909	114.93	1 012	14.43
bio-ecologisch	514	8.09	129	2.03
staalskelet	2 596	22.03	376	3.10
maximale recyclage	886	8.83	1 018	9.66
IFD	7 261	101.48	-201	-2.66
totaal	296 039	2 992.52	-82 955	-864.56
		21.8%		-6.3%
		+11.27%		+1.65%

	initieel		totaal levenscyclus	
	kg/m ² /jaar	kton	kg/m ² /jaar	kton
Totaal opp.delfstoffen	584 065	5 938	154 992	1 561
		16.67%		4.38%
		+8.81%		+8.87%

Tabel 40: Overzicht van het verbruik van oppervlakedelfstoffen voor het toekomstscenario 2020 bij gelijk gebleven marktacceptatie

Bovenstaande Tabel 40 geeft vervolgens de resultaten voor de milieu-impact anno 2020, uitgaande van een gelijk gebleven marktacceptatie. De percentages, aangeduid in blauw onderaan de tabel, geven het effect weer ten opzichte van de huidige situatie. In het rood aangeduid zijn opnieuw de percentages van de woningbouw ten opzichte van de totale behoefte in Vlaanderen. Analooq aan de

vaststellingen voor de milieu-impact, kunnen we voor dit eerste toekomstscenario een stijging vaststellen voor het verbruik van oppervlaktedelfstoffen. Omdat we vergelijken met dezelfde behoefteaming op Vlaams niveau, concluderen we logischerwijze ook een groter aandeel van het verbruik voor de woningbouw in de totale behoefte. De verklaring hiervoor is opnieuw de verwachte evolutie in de woningbouw tegen 2020, met een groter totaal aantal gebouwde woningen.

In Tabel 41 en Tabel 42 worden vervolgens de resultaten gegeven voor de toekomstscenario's bij licht gestegen en sterk gestegen marktacceptatie. De rode en blauwe percentages hebben opnieuw dezelfde betekenis, zijnde respectievelijk het aandeel van de woningbouw in de totale behoefte in Vlaanderen en de wijziging in de behoefte ten opzichte van de huidige marktsituatie (Tabel 39). Daarenboven wordt in het paars het verschil aangegeven met het toekomstscenario 2020 bij gelijke marktacceptatie (Tabel 40).

Licht gestegen marktacceptatie

ZAND	initieel		totaal	
	kg/m ² /jaar	kton	kg/m ² /jaar	kton
traditioneel	76 384	773.45	54 520	532.20
houtskelet	2 474	35.15	95	1.33
bio-ecologisch	601	7.55	331	3.96
staalskelet	4 486	40.00	2 145	18.50
maximale recyclage	25	0.27	73	0.74
IFD	1 823	29.13	1 023	15.49
totaal	85 793	885.56	58 188	572.20
		4.9%		3.2%
		+2.16%		+1.84%
		-4.52%		-7%

KLEI EN LEEM	initieel		totaal	
	kg/m ² /jaar	kton	kg/m ² /jaar	kton
traditioneel	173 937	1755.96	153 658	1 570.75
houtskelet	2 053	27.22	1 915	24.79
bio-ecologisch	852	9.61	137	1.54
staalskelet	969	8.15	1 199	9.97
maximale recyclage	439	4.34	389	3.69
IFD	1 884	26.71	2 312	32.23
totaal	180 133	1 832.00	159 611	1 642.96
		46.8%		42.0%
		-3.65%		-4.60%
		-9.24%		-9%

GRIND & GROVE GRANULATEN	initieel		totaal	
	kg/m ² /jaar	kton	kg/m ² /jaar	kton
traditioneel	247 885	2441.00	-76 231	-793.18
houtskelet	10 772	150.39	1 410	19.13
bio-ecologisch	1 310	16.23	375	4.43
staalskelet	9 513	83.84	1 363	11.58
maximale recyclage	1 714	19.32	1 881	20.09
IFD	10 312	159.37	-267	-3.74

totaal	281 506	2 870.16	-71 470	-741.70
		20.9%		-5.4%
		+6.72%		-12.79%
		-4.09%		-14%
	initieel		totaal	
	kg/m ² /jaar	kton	kg/m ² /jaar	kton
Totaal opp.delfstoffen	547 433	5 588	146 329	1 473
		15.69%		4.14%
		+2.38%		+2.78%
		-5.91%		-6%

Tabel 41: Overzicht van het verbruik van oppervlakedelfstoffen voor het toekomstscenario 2020 bij licht gestegen marktacceptatie

Uit Tabel 41 blijkt dat de toepassing van de nieuwe bouwconcepten wel degelijk een effect heeft op het verbruik van oppervlakedelfstoffen in de woningbouw. Ten opzichte van de huidige marktsituatie constateren we namelijk een opmerkelijk kleinere stijging van het verbruik van zand en van grind en grove granulaten. Vergeleken met het scenario van gelijke marktacceptatie, ligt het initiële verbruik van zand en van grind en grove granulaten ongeveer 4% lager bij een grotere toepassing van de nieuwe bouwconcepten. Op levenscyclustermijn bedraagt het verschil voor zand zelfs 7%. Voor grind en grove granulaten is er een nog grotere vermindering (14%) merkbaar. Hier gaat het echter om een daling in het vrijkomen van secundaire granulaten. Met andere woorden, door de toegenomen toepassing van de nieuwe bouwconcepten komen er minder secundaire grondstoffen beschikbaar op de markt, zodat volgens dit scenario slechts aan 5.4% van de totale behoefte in Vlaanderen kan worden voldaan, ten opzichte van 6% volgens de huidige marktsituatie.

Wat het verbruik van klei en leem betreft, stellen we vast dat er bij een lichte stijging van de marktacceptatie al een daling te verwachten is in het verbruik ten opzichte van de huidige marktsituatie, ondanks de absolute stijging in de woningbouwsector. Wanneer we vergelijken met het scenario van gelijk gebleven marktacceptatie, zijn de verschillen logischerwijze nog sprekender, aangezien we hierbij echt de evolutie in de toepassing van de bouwconcepten kunnen bekijken.

Voor het totale verbruik van de oppervlakedelfstoffen concluderen we uit Tabel 41 dat er slechts een lichte stijging merkbaar is ten opzichte van de huidige marktsituatie, namelijk een initiële stijging van 2.38% en een levenscyclusstijging van 2.78%. Dat deze beperkte stijging te danken is aan de toegenomen toepassing van de nieuwe bouwconcepten, valt af te leiden uit de vergelijking met het scenario van gelijke marktacceptatie. Ten opzichte van deze situatie, waarbij het aantal gebouwde woningen en de verdeling over de woningtypes dezelfde is, stellen we immers een daling vast in het totale verbruik van oppervlakedelfstoffen van ongeveer 6%.

Sterk gestegen marktacceptatie

ZAND	initieel		totaal	
	kg/m ² /jaar	kton	kg/m ² /jaar	kton
traditioneel	65 611	656.10	46 982	453.23
houtskelet	3 860	51.13	152	1.96
bio-ecologisch	1 079	13.18	604	6.99
staalskelet	6 288	59.63	2 950	26.83
maximale recyclage	42	0.45	122	1.23

IFD	2 671	43.91	1 481	22.99
totaal	79 550	824.39	52 292	513.22
		4.6%		2.9%
		-4.90%		-8.66%
		-6.91%		-10%
KLEI EN LEEM	initieel		totaal	
	kg/m ² /jaar	kton	kg/m ² /jaar	kton
traditioneel	149 443	1490.00	131 863	1 331.02
houtskelet	3 452	41.71	3 305	38.75
bio-ecologisch	1 572	17.17	254	2.76
staalskelet	1 317	11.59	1 618	14.01
maximale recyclage	732	7.23	649	6.14
IFD	2 694	38.89	3 296	46.67
totaal	159 209	1 606.60	140 985	1 439.36
		41.1%		36.8%
		-15.50%		-16.42%
		-12.30%		-12%
GRIND & GROVE GRANULATEN	initieel		totaal	
	kg/m ² /jaar	kton	kg/m ² /jaar	kton
traditioneel	213 476	2077.04	-65 312	-670.88
houtskelet	17 117	221.42	2 328	28.91
bio-ecologisch	2 364	28.42	685	7.84
staalskelet	13 246	123.84	1 860	16.59
maximale recyclage	2 857	32.20	3 135	33.48
IFD	15 001	237.98	-381	-5.43
totaal	264 062	2 720.90	-57 685	-589.49
		19.8%		-4.3%
		+1.17%		-30.69%
		-5.20%		-21%
Totaal opp.delfstoffen	initieel		totaal	
	kg/m ² /jaar	kton	kg/m ² /jaar	kton
	502 822	5 152	135 591	1 363
		14.46%		3.83%
		-5.60%		-4.92%
		-7.80%		-7%

Tabel 42: Overzicht van het verbruik van oppervlaktedelfstoffen voor het toekomstscenario 2020 bij sterk gestegen marktacceptatie

Op basis van de resultaten uit Tabel 42 kunnen we concluderen dat bij een sterk gestegen marktacceptatie, waarbij de nieuwe bouwconcepten tot hun maximale aandeel in de woningbouw toegepast worden, het effect op het verbruik van oppervlaktedelfstoffen nog meer uitgesproken is. Ten opzichte van de huidige marktsituatie stellen we voor de drie grondstofgroepen een daling vast van het verbruik en dit zowel initieel als op levenscyclustermijn. De enige uitzondering is het initiële verbruik van grind en grove granulaten, waarbij er toch nog een lichte stijging is ten opzichte van de huidige situatie, wat te wijten is aan de toename van het bouwconcept IFD, waarbij de betonnen draagstructuur een groter verbruik van grind en grove granulaten met zich meebrengt. Vergeleken met het scenario van gelijke

marktacceptatie, is er echter wel een daling van 5% vast te stellen in het initiële verbruik. Op levenscyclustermijn zien we echter ook dat er veel minder grove granulaten vrijkomen als secundaire grondstof. Ten opzichte van de huidige situatie bedraagt deze daling zelfs meer dan 30%. Dit zou een belangrijke impact kunnen hebben op de totale voorziening aan grind en grove granulaten in Vlaanderen, zeker wanneer men ermee rekening houdt dat momenteel 37% van de jaarlijkse behoefte ingevuld wordt door het gebruik van secundaire grondstoffen [85]. Het effect op de totale behoefte in Vlaanderen is echter beperkt. Er komen slechts 2% minder secundaire grove granulaten vrij door deze toekomstige evolutie in de woningbouw.

Ook het globale effect van de toepassing van de nieuwe bouwconcepten op het totale verbruik van oppervlakedelfstoffen in de woningbouwsector blijft relatief beperkt, ondanks de aanzienlijke mogelijkheden tot besparingen per individuele woning. Bij een sterk toegenomen marktacceptatie van de bouwconcepten bedraagt de daling van het verbruik, ten opzichte van gelijk gebleven marktacceptatie, initieel bijna 8% en op levenscyclustermijn 7%.

Eén van de verklaringen voor deze eerder beperkte daling is het feit dat tegen 2020 de bouw van appartementen het merendeel van de nieuwbouwwoningen voor zich neemt en dat de nieuwe bouwconcepten bij de appartementsbouw een kleiner aandeel van de markt vertegenwoordigen volgens het toekomstscenario. De kleinere oppervlakte van de appartementen, met een kleiner totaalverbruik van oppervlakedelfstoffen, compenseert dit effect maar gedeeltelijk. Hier ligt dus zeker nog een belangrijk potentieel voor een verdere daling van het verbruik van oppervlakedelfstoffen. Met name wanneer het marktaandeel van de nieuwe bouwconcepten in de appartementsbouw sterker zou toenemen, zou het totale verbruik van oppervlakedelfstoffen nog aanzienlijk kunnen dalen.

Ten slotte kunnen we uit Tabel 42 afleiden dat het effect van het toekomstscenario met sterk gestegen marktacceptatie op de totale behoefte aan oppervlakedelfstoffen in Vlaanderen nagenoeg verwaarloosbaar is. In de huidige situatie is het initiële verbruik van grondstoffen voor de woningbouw verantwoordelijk voor 15.3% van de totale behoefte in Vlaanderen (Tabel 39). Volgens het toekomstscenario met sterk gestegen marktacceptatie bedraagt dit aandeel 14.5%, ofwel een verschil van slechts 1.2%. Ook wanneer we de vergelijking maken met het toekomstscenario met gelijke marktacceptatie, waarbij de woningbouw goed is voor 16.7% van de totale behoefte in Vlaanderen (Tabel 40), bedraagt het effect van de grotere toepassing van de nieuwe bouwconcepten slechts 2.2%. Met andere woorden, de bredere toepassing van de nieuwe bouwconcepten zal het verbruik van oppervlakedelfstoffen in Vlaanderen niet drastisch beïnvloeden.

Deze beperkte invloed is nog duidelijker wanneer we de netto totaalstromen voor de volledige levenscyclus uit Tabel 39, Tabel 40 en Tabel 42 vergelijken. Voor de huidige situatie bedraagt dit totaalverbruik 4.02% van de behoefte in Vlaanderen. Bij gelijke marktacceptatie tegen 2020 bedraagt dit aandeel 4.38%, waarbij de stijging toe te schrijven is aan de evolutie in de woningbouw. Bij sterk gestegen marktacceptatie van de bouwconcepten, daarentegen, is het aandeel van de woningbouw slechts 3.83%. Met andere woorden, het netto verschil toe te wijzen aan de toepassing van de bouwconcepten bedraagt slechts 0.5% van de totale behoefte aan oppervlakedelfstoffen in Vlaanderen.

3 Fase 3 - Conclusies voor het beleid

In de derde fase van deze studie wordt de aandacht gelegd op het binnen- en buitenlandse beleid aangaande de onderzochte bouwconcepten, alsook op het grondstoffenbeleid in Vlaanderen.

In de eerste deelfase worden de toepassing van en het beleid aangaande de verschillende nieuwe bouwconcepten en hun constructiemethoden in een aantal Noordwest-Europese landen onder de loep genomen. Vooral het marktaandeel en beleidsacties ter bevordering van de nieuwe bouwmethoden worden geïnventariseerd en geanalyseerd (deelfase 3a, zie 3.1).

In een tweede deelfase worden ten slotte voorstellen gedaan inzake beleidsopties in functie van een duurzaam voorraadbeheer in Vlaanderen (deelfase 3b, zie 3.2). Hierbij wordt rekening gehouden met de resultaten van de evaluatie van de verschillende bouwconcepten, met de toekomstscenario's, zoals gedefinieerd in fase 2c, en met de ervaringen vanuit het buitenlandse beleid, zoals geïnventariseerd in fase 3a.

3.1 Fase 3a - Nieuwe bouwconcepten in Noordwest Europa

Auteurs: An Janssen, Katrien Putzeys – WTCB

3.1.1 Inleiding

Belgen worden spreekwoordelijk geboren met een baksteen in de maag. Een uitdrukking, die rechtstreeks verwijst naar de jarenlange bouwtraditie in België en Vlaanderen. Een bouwtraditie, die sterk afhankelijk is van onder andere de lokaal beschikbare grondstoffen en het heersende klimaat.

Vermits deze lokale omstandigheden verschillen van land tot land, kan ook de bouwtraditie verschillen tussen de verschillende landen en kunnen verschillende bouwconcepten traditioneel toegepast worden. Hierdoor zijn sommige van de hier beschouwde voor Vlaanderen nieuwe en duurzame bouwconcepten in een aantal landen reeds meer ingeburgerd dan in de Vlaamse regio.

Daarom is het interessant om na te gaan in welke mate en op welke manier de in deze studie beschouwde nieuwe bouwconcepten reeds toegepast worden in een aantal ons omringende landen. Als selectie van landen werd gekozen voor onze buurlanden Nederland, Frankrijk, Duitsland en Groot-Brittanië, voor Oostenrijk, dat gekend is voor zijn bio-ecologische houtskeletbouw, en voor de Scandinavische landen, Denemarken, Noorwegen, Zweden en Finland, waar houtskeletbouw traditioneel wordt toegepast.

In de onderstaande paragrafen wordt eerst voor elk van de geselecteerde landen een ruwe inschatting gemaakt van de toepassing en het marktaandeel binnen de woningmarkt van elk van de hier beschouwde bouwconcepten. Vervolgens wordt op basis van deze analyse per bouwconcept één land geselecteerd, waarvoor een diepgaandere analyse van zowel de toepassing en het marktaandeel van het beschouwde bouwconcept als van de beleidsopties ter bevordering van de toepassing ervan uitgevoerd wordt. Tot slot worden een aantal conclusies getrokken

aangaande de toepassing van de nieuwe bouwconcepten in de geselecteerde Noordwest-Europese landen.

3.1.2 Houtskeletbouw

3.1.2.1 Toepassing en marktaandeel van houtskeletbouw in een aantal Noordwest-Europese landen

Op basis van nationale statistieken, gegevens van federaties en verenigingen en cijfers uit recente studies kan het marktaandeel van houtskeletbouw in een aantal Noordwest-Europese landen ingeschat worden. Een overzicht van de meest recente cijfers wordt weergegeven in Tabel 43.

Land	Marktaandeel houtskeletbouw
Nederland (2004)	10 % van de nieuwbouwwoningen 13.4 % van de nieuwe eengezinswoningen
Frankrijk (2005)	4 % van de nieuwbouwwoningen 4.3 % van de eengezinswoningen
Duitsland (2008)	15 % van de een- en tweegezinswoningen
Groot-Brittanië (2008)	24.9 % van de woningen (75 % in Schotland) 22.2 % van de nieuwbouwwoningen Europese marktleider in middelhoge houtskeletbouw- woningen
Oostenrijk (2009)	5.8 % van de nieuwbouwwoningen 6 % van de woningbouw
Denemarken (2004)	5.6 % van de nieuwbouwwoningen 8.5 % van de nieuwe eengezinswoningen
Zweden (2009)	> 90 % van de nieuwe eengezinswoningen 10 % tot 30 % van de nieuwe meergezinswoningen 5 % tot 10 % van de meerverdiepingenwoningen
Noorwegen (2004)	60.9 % van de nieuwbouwwoningen 76.5 % van de nieuwe eengezinswoningen 44.7 % van de meerverdiepingenwoningen
Finland (2008)	90 % van de eengezinswoningen 2 % van de meerverdiepingenwoningen

Tabel 43: Marktaandeel van houtskeletbouw in een aantal Noordwest-Europese landen [1][55][93][94][95][96][97][98][99][100][101][102][103][104][105][106][107][119].

Uit de tabel blijkt dat houtskeletbouw in alle onderzochte landen in meer of mindere mate toegepast wordt. Toch zijn er grote verschillen tussen de verschillende landen. De landen, waar houtskeletbouw het meeste wordt toegepast, zijn de Scandinavische landen, Groot-Brittanië en Duitsland. Het land, waar houtskeletbouw het minste ingeburgerd is, is Frankrijk.

Gedurende de laatste tien jaar kenden alle landen een constante toename van het gebruik van hout in de bouw en van houtbouw (vooral houtskeletbouw) in zowel een- en meergezinswoningen als in de appartementsbouw (meerverdiepingenbouw).

3.1.2.2 Toepassing en beleid aangaande houtskeletbouw in Zweden

Toepassing van houtskeletbouw in Zweden

Houtbouwwoningen kennen reeds een lange traditie in Zweden [1][55][96][97][98]. Voor de meeste eengezinswoningen wordt gebruik gemaakt van een licht houtskelet, dat door geïndustrialiseerde bouwfirmas opgebouwd wordt (ongeveer 74 % van de woningen tijdens de periode van 1990 tot 2002). Slechts een klein percentage (2 %) van de woningen bestaat uit houtmassiefbouw, terwijl voor 5 tot 15 % van de meerverdiepingengebouwen een dragende houtstructuur gebruikt wordt. Het merendeel van het gebruikte hout is inlands hout, dat in grote mate beschikbaar is.

Gedurende de laatste 10 jaar is de Zweedse markt voor nieuwe eengezinswoningen in hout, na een periode van sterke groei, stabiel gebleven [1][55][96][97][98][108]. Binnen de markt voor appartementsgebouwen heeft zich de laatste 10 jaar een stijging in het houtverbruik voorgedaan. Dit laatste is vooral zichtbaar sinds in 1994 dragende houtstructuren voor gebouwen van meer dan twee verdiepingen na meer dan 120 jaar wettelijk toegelaten werden. Dankzij deze wetswijziging kon de markt van de meerverdiepingenbouw in hout snel groeien en zou binnen de 10 jaar een marktaandeel van 30 % voor de meerverdiepingenbouw bekomen kunnen worden.

De belangrijkste factoren, die houtbouw in Zweden stimuleren of gestimuleerd hebben, zijn de reeds lange traditie van houtbouw, de beschikbaarheid van voldoende inlands hout, de wetswijziging van 1994, die houtbouw voor middelhoogbouw toeliet, de toenemende nood aan hernieuwing van de woningen uit de jaren 1960 en 1970 en de toenemende bevolkingsgroei in de grote steden en de hieraan gerelateerde nood aan een groot aantal kleine appartementen [1][96].

De belangrijkste factoren, die houtbouw in Zweden belemmeren of belemmerd hebben, zijn de grote efficiëntie van de betonindustrie in het snel bouwen van gebouwen, de moeilijkheden van de houtindustrie om nieuwe technologieën te ontwikkelen of te introduceren in bedrijven en het eventuele gebrek aan kennis van houtbouw binnen de bouwbedrijven [1][96].

Beleid en initiatieven aangaande houtskeletbouw in Zweden

Beleid aangaande duurzaam bouwen

De Zweedse overheid streeft naar een goede bebouwde omgeving met betaalbare woningen van een hoge kwaliteit, die op een milieuvriendelijke wijze ontworpen worden, die uitgaan van een efficiënt energieverbruik en een effectief grondstoffen-gebruik en die aanleiding geven tot een gezond binnenklimaat [109][110][111][112][113][114][115].

Zweedse bouwreglementen

De overschakeling van een bouwwetgeving, gebaseerd op gedetailleerde technische vereisten, naar een functie- en prestatiegebaseerde wetgeving in 1994, zorgde ervoor dat dragende houtstructuren in gebouwen van meer dan twee verdiepingen wettelijk toegelaten werden [108][110]. Deze wetswijziging betekende een belangrijke impuls voor de ontwikkeling van houtbouwwoningen met meerdere verdiepingen.

Promotie van houtbouw

Stimuli voor houtbouwwoningen bestaan uit het op de markt brengen van moderne handboeken aangaande hout als bouw materiaal, de ontwikkeling van nieuwe bouw-systemen om sneller middelhoog te kunnen bouwen, de ontwikkeling van geprefa-

briceerde bouwdelen, zoals vloeren met goede akoestische eigenschappen, en de ontwikkeling van producten, processen, ontwerpen en methodes, die de voordelen van houtgebruik binnen de woningbouw op technisch, milieu- en economisch vlak in het licht stellen [1].

Daarnaast wordt houtbouw gestimuleerd door middel van subsidies van de overheid voor o.a. appartementsgebouwen, die, in vergelijking met andere gebouwen in de omgeving, een duurzamer profiel en lagere bouwkosten hebben. Deze subsidies dienen om de extra kosten voor het investeren in duurzame technieken te compenseren.

Nationella träbyggnadsstrategin

De Zweedse Nationale Strategie voor Houtbouw (2006-2008) is een overheidsprogramma met als doelstelling het gebruik van hout in de appartementsbouw en in openbare gebouwen te promoten en de kennis rond hout te vergroten via het verlenen van informatie aan architecten en bouwingenieurs, een verdere opleiding en onderzoek binnen de houtbouw en het documenteren van een aantal bouwprojecten [1][116][117][119]. Eén van de voorbeeldprojecten bestaat uit de appartementsgebouwen te Växjö (Figuur 90) [117].



Figuur 90: Illustratie van een appartementsgebouw uit houtskelet te Växjö, Zweden [117].



Trästad 2012

Het Zweedse programma Houten Stad 2012 is een voortzetting en een versterking van de Nationale Strategie voor Houtbouw met focus op het klimaat, houtbouw en een duurzame stedelijke ontwikkeling [118][119]. De doelstelling van het project bestaat uit het creëren van klimaatvriendelijke en aantrekkelijke woningen en steden, alsook nieuwe productieprocessen, die minder grondstoffen en arbeid vergen. Vier regio's en 16 steden in Zweden nemen deel aan het project. Zij werken samen om ervaringen en kennis uit te wisselen. Eind 2012 zal het project eindigen met een aantal tentoonstellingen van moderne houtconstructies over het gehele land. Deze projecten dienen dan als inspiratiebron voor lokale bouwheren, architecten en openbare en politieke diensten.



Trä 2010

Hout 2010 is de derde grote tentoonstelling ter promotie van houtbouw en houtarchitectuur in Zweden sinds 2004 [120]. Het thema van de tentoonstelling is het klimaat, duurzaamheid en duurzame steden en de beste houtarchitectuur ter wereld.

De tentoonstelling zal gedurende 2 jaar Scandinavië en Europa rondreizen en zo'n 200.000 bezoekers trekken.

3.1.3 Bio-ecologisch bouwen

3.1.3.1 Toepassing en marktaandeel van bio-ecologisch bouwen in een aantal Noordwest-Europese landen

Bio-ecologisch bouwen is in de meeste landen pas gestart [53][99][106][122]. Hierdoor blijft het een nichemarkt. Het totale marktaandeel is niet exact bekend, maar bedraagt maximum slechts enkele procenten van de nieuwe woningen.

Dit is ook het geval in Duitsland en Oostenrijk, die toch beiden koplopers zijn aangaande bio-ecologisch bouwen in Europa. In Duitsland wordt gesproken over een stijgend marktaandeel voor natuurlijke isolatiematerialen van momenteel zo'n 5 tot 6 %. Ook het marktaandeel van bio-ecologische woningen stijgt er langzaam. Bij bijna de helft van alle nieuwe houtbouwwoningen in Duitsland (44 %) kan in meer of mindere mate gesproken worden over ecologisch bouwen. Daarnaast zijn Duitsland en Oostenrijk de grootste producenten van passiefhuizen en van houten prefab-woningen (35.7 % van alle nieuwe woningen in Oostenrijk).

De stijging van het marktaandeel van bio-ecologische producten en woningen kadert in een toenemende vraag naar bio-ecologische woningen ten gevolge van het toegenomen milieubewustzijn en de steeds strenger wordende milieuwetgeving en vereisten voor gebouwen.

De belangrijkste factoren, die bio-ecologisch bouwen afremmen, zijn de nog te grote onbekendheid, de negatieve vooroordelen, de soms hogere initiële kosten en het teveel aan aandacht aan het financiële aspect van een gebouw en te weinig aan het milieu.

3.1.3.2 Toepassing en beleid aangaande bio-ecologisch bouwen in Oostenrijk

Toepassing van bio-ecologisch bouwen in Oostenrijk

Oostenrijk is één van de koplopers wat betreft bio-ecologisch bouwen in Europa. Dit is vooral een gevolg van het traditioneel sterke milieubewustzijn en de toenemende milieukennis van zowel de Oostenrijkse overheid als de bouwprofessionelen en de particulieren.

Beleid en initiatieven aangaande bio-ecologisch bouwen in Oostenrijk

De centrale doelstelling van het Oostenrijkse bouwbeleid is gericht op het creëren van comfortabele, gezonde en energiebewuste woningen via nieuwbouw en renovatie van een- en meergezinswoningen [123][124][125][126][127][128][129]. Deze doelstelling wil de overheid bereiken via een aantal nationale, regionale, gemeentelijke en individuele maatregelen, zoals specifieke wet- en regelgeving, richtlijnen voor duurzaam bouwen, promotiecampagnes, ondersteunen van initiatieven van organisaties en certificatie en/of financiële ondersteuning van projecten, die gericht zijn op energie-efficiëntie en –besparing en/of op andere ecologische maatregelen.

Eén van de nationale overheidsprogramma's aangaande duurzame ontwikkeling en klimaatbescherming is het initiatief Klima:aktiv [126]. Dit programma heeft als doelstelling klimaatvriendelijke technologieën, activiteiten en diensten op de Oostenrijkse markt te brengen via opleiding van bouwprofessionelen, het opstellen van bouw- en kwaliteitsstandaarden, het verschaffen van informatie, advies en ondersteuning en het verhogen van het bewustzijn van alle betrokken partijen. Binnen dit initiatief worden alle stimuleringsprogramma's aangaande bouwen en renoveren, hernieuwbare energie, energiesparen en mobiliteit gebundeld.

De centrale doelstelling van de Klima:aktiv thematische cluster rond bouwen en renoveren is te komen tot energie-efficiëntie, ecologische kwaliteit, comfort en uitvoeringskwaliteit bij zowel nieuwbouw als renovatie van woningen [124][125][126][127][128]. De nadruk wordt dus gelegd op zowel bouwecologische kwaliteiten (nl. energie, water en materialen) als bouwbiologische kwaliteiten (nl. comfort en gezond binnenklimaat) van de woning. Hiertoe worden binnen de Klima:aktiv Gebäudestandard van 2005 hoge energetische en ecologische eisen opgenomen. Wat de energievereisten betreft, wordt vooral gefocust op lage-energie- en passiefwoningen. Wat de ecologische kwaliteit en het comfort en de binnenluchtkwaliteit betreft, worden een aantal verplichte en vrijwillige eisen aangaande de gebruikte bouwmaterialen opgenomen in de bouwstandaard. Deze eisen hebben vooral betrekking op het gebruik van emissiearme en oplosmiddelvrije bouwmaterialen zonder schadelijke stoffen (vb. HCFK-vrije isolatiematerialen, geen formaldehydes of biocides), het gebruik van bouwmaterialen, die zeer goed scoren over hun gehele levenscyclus, en het gebruik van ecologische materialen, zoals niet-tropisch hout of hout met FSC label, en van bouwmaterialen met een ecolabel (vb. NaturePlus).

Ökologische Wohnbauförderungen

Om zowel privépersonen als sociale huisvestingsmaatschappijen en bouwverenigingen te stimuleren om de richtlijnen binnen het Klima:aktiv programma toe te passen bij de bouw of de renovatie van een eengezinswoning of bij grotere bouwprojecten, kennen de verschillende overheidsinstanties subsidies en andere financiële ondersteuning toe. Een voorbeeld hiervan zijn de Ökologische Wohnbauförderungen van de regionale overheden (Länder) [124][125]. Deze bestaan in feite uit goedkope geldleningen van de staat aan de bouwheer, waarbij het bedrag van de lening afhankelijk is van allerlei factoren, zoals inkomen, woninggrootte en de geplande energetische (vb. verwarming en warmwaterproductie) en ecologische maatregelen (vb. milieuvriendelijke bouwmaterialen) binnen de woning. De exacte voorwaarden en de hoogte van de lening verschillen van regio tot regio (vb. een lening over 15 jaar met een maximumbedrag van 370 euro/m² tot maximum 26.000 euro met een rente tussen 2 tot 4 % of een lening over 27 jaar met een maximumbedrag tussen 80 en 150 euro/m², afhankelijk van de woning- en gezinsgrootte, en met een rente tussen 1 en 4 %).

Haus der Zukunft

Een tweede overheidsprogramma aangaande duurzaam bouwen in Oostenrijk is het in 1999 gestarte Programma Haus der Zukunft [133][134]. Dit programma richt zich op het onderzoek naar en de ontwikkeling van innovatieve, marktgerichte en energie-efficiënte bouwdeelen en bouwconcepten met een hoog marktpotentieel in zowel de nieuwbouw als de renovatie. De basisuitgangspunten voor dit onderzoek zijn een verminderd energie- en grondstoffenverbruik, een verhoogd gebruik van hernieuwbare energie, zoals zonne-energie, en van nagroeibare en ecologische bouw-

producten en een verhoogde levenskwaliteit. Gedurende de duur van het project werden van de 700 ingediende projecten meer dan 300 door de overheid gefinancierd. Een voorbeeld van een project aangaande bio-ecologisch bouwen is het nieuwe gemeenschapscentrum in massieve houtbouw van Ludesch [135] (Figuur 91).



Figuur 91: Het nieuwe bio-ecologische gemeenschapscentrum van Ludesch als voorbeeldproject in het kader van het Haus der Zukunft [135]



Certificatie

Een andere stimulans om ecologisch bouwen te bevorderen, zijn de certificaten, die met steun van de overheid ontwikkeld werden en die aan duurzame en/of ecologische woningen toegekend kunnen worden. Voorbeelden hiervan zijn het Total Quality Gebäudezertifikat (TQB 2002), dat vergelijkbaar is met BREEAM, LEED of HQE en dat rekening houdt met de gebouwkwaliteit vanaf de planning, over de bouw tot en met het gebruik, en de IBO-Ökopass, die zowel bouwbiologische als bouwecologische vereisten oplegt aan de betrokken woningen [129][130].

Staatsprijs voor Milieu- en Energietechnologie

Een laatste overheidsinitiatief omvat de Staatsprijs voor Milieu- en Energietechnologie, die jaarlijks door de nationale overheid overhandigd wordt aan bedrijven, die zich op energie-efficiëntie-, milieu- en innovatiegebied onderscheiden hebben [132]. Binnen deze nominaties bevinden zich heel wat technieken, die op woningen van toepassing zijn (vb. zonne-energiesystemen, ...).

3.1.4 Metaalbouw

3.1.4.1 Toepassing en marktaandeel van metaalbouw in een aantal Noordwest-Europese landen

Het marktaandeel van metaalbouw in een aantal Noordwest-Europese landen kan ingeschat worden op basis van nationale statistieken, gegevens van federaties, verenigingen en producenten en een aantal recente studies. Een overzicht van de meest recente cijfers wordt weergegeven in Tabel 44.

Land	Marktaandeel metaalbouw
Nederland (2008)	100.000 ton/jaar voor nieuwbouwwoningen 10.000den ton/jaar voor renovatiewoningen >40 % stalen draagconstructies beperkt marktaandeel voor staalframebouw
Frankrijk (2007-2008)	7 % van de nieuwbouwwoningen 2 % staalframebouw ± 25 % van de stalen gebouwen zijn woningen ± 26 % van de stalen gebouwen zijn meer-verdiepingengebouwen
Duitsland (2004-2008)	<1 % staalframebouw 12 % van de stalen gebouwen zijn meer-verdiepingengebouwen
Groot-Brittanië (2008)	7 % van de nieuwbouwwoningen 97 % van de 1 verdiepinggebouwen met grote skeletstructuur 72 % van de meerverdiepingengebouwen met grote skeletstructuur
Oostenrijk (2010)	<1 % van de woningen beperkt marktaandeel voor niet-residentiële gebouwen
Denemarken (2008)	± 10 % van de stalen gebouwen zijn woningen
Zweden (2007)	<1 % van de woningen 65 % van de meerverdiepingengebouwen 15 % staalframebouw
Noorwegen (2008-2009)	<1 % van de woningen ± 12 % van de stalen gebouwen zijn woningen

Tabel 44: Marktaandeel van metaalbouw in een aantal Noordwest-Europese landen
[16][17][97][106][137][138][139][140][141][142][143][144]

Uit de tabel blijkt dat metaalbouw in de meeste landen slechts een zeer beperkt marktaandeel kent binnen de woningbouw. Staal wordt er voornamelijk toegepast in middelhoge, niet-residentiële, industriële en kantoorgebouwen. Enkel in Groot-Brittanië wordt staal vaker gebruikt in lage en middelhoge woongebouwen. Hier is staal het belangrijkste bouw materiaal in geval van structurele skeletoplossingen voor woningen.

De belangrijkste redenen voor de slechts beperkte toepassing van staal in de woningbouw in de meeste Europese landen zijn de beperkte bekendheid van staalbouw bij de bouwheren, de aannemers en de architecten, het beperkte aantal aannemers en architecten, die zich met staalbouw bezighouden, de grote concurrentie van andere bouwmaterialen, zoals hout, de soms hogere voorbereidings-, studie- en bouwkosten voor staalbouwwoningen, mogelijke misvattingen over en/of slechte ervaringen met staalbouw en de bestaande bouwcultuur, die eerder gericht is op bouwen met steen, beton of hout in de plaats van met staal [140][145].

3.1.4.2 Toepassing en beleid aangaande metaalbouw in Groot-Brittanië

Toepassing van metaalbouw in Groot-Brittanië

Staal is in Groot-Brittanië momenteel het belangrijkste bouw materiaal in geval van structurele skeletoplossingen voor woningen en voor commerciële gebouwen met meerdere verdiepingen [19][161][164]. Het marktaandeel is in stijgende lijn. Op

korte termijn wordt een constante groei verwacht met in de toekomst een gemiddeld marktaandeel voor staalskelet binnen de woningbouw van 10 % of meer.

De eerste pogingen van de Britse overheid tijdens de 19^{de} en de eerste helft van de 20^{ste} eeuw om metaalbouw binnen de woningbouw te introduceren, leidden wegens de slechte kwaliteit van deze woonmodules tot een zekere weerstand tegen geprefabriceerde staalbouwwoningen [145][150]. Deze weerstand wordt nog gevoed door de soms hogere kosten voor moderne bouwmethoden, mogelijke problemen van de industrie om een toenemende vraag te kunnen volgen, misvattingen over de voor- en nadelen ervan en mogelijke discrepanties tussen de eisen van de woningbouwsector en de op de markt zijnde producten.

Toch werd vanuit een toenemende vraag naar sneller bouwen tijdens de laatste jaren meer en meer gebruik gemaakt van moderne bouwmethoden, gebaseerd op prefabricatie (waaronder staalbouw), en werd staalskeletbouw meer en meer toegepast in de sociale woningbouw en bij innovatieve gemengde publiek-private ontwikkelingen [150]. Daarnaast zou de weerstand tegen prefabwoningen bij particulieren en professionelen verminderen en zou een bepaalde groep van de bevolking bereid zijn om een staalskeletwoning op te trekken of aan te kopen op voorwaarde dat door de overheid de nodige stimulansen gegeven worden (vb. aanpassing van de prijs of van de kamergrootte of van beiden) [145].

Beleid en initiatieven aangaande metaalbouw in Groot-Brittanië

Beleid aangaande duurzaam bouwen

Duurzaam bouwen neemt binnen het Britse overheidsbeleid een centrale plaats in. Gedurende de laatste 15 jaar werden verschillende overheidsdocumenten aangaande duurzaam bouwen gepubliceerd [145][146][147][148][149][150][162]. De focus van deze documenten ligt op het verhogen van de bouwefficiëntie (vb. via prefabricatie), de bouwkwaliteit en de voldoening van de bouwheer, alsook op energieverbruik, afvalproductie, grondstoffengebruik en het geven van het goede voorbeeld door de overheid.

Promotie van metaalbouw

Metaalbouw wordt door de overheid niet rechtstreeks gepromoot of gesubsidieerd [150]. De bouwregelgeving legt geen specifieke bouwmaterialen of bouwmethoden op, maar stelt enkel minimumprestatie-eisen vast, waaraan woningen moeten voldoen, ongeacht hun bouwmethode. Toch kunnen de regelgeving en de doelstellingen en focuspunten van de overheid de toepassing van bepaalde bouwmethoden vergemakkelijken of onrechtstreeks promoten (vb. promotie van snel en efficiënt bouwen of van energiezuinig bouwen).

Promotie van moderne bouwmethoden

De Britse overheid gaat momenteel volop voor een snellere en efficiëntere woningbouw met een betere kwaliteit (nl. minder bouwfouten en betere milieu- en gezondheidsprestaties) [146][150][151][152][153]. Om deze doelstellingen te bereiken vertrekt de overheid van een betere aankoop en ontwerp, een continue verbetering van de bouwprocessen, constante innovatie en het gebruik van moderne bouwmethoden.

De door de overheid voorziene moderne bouwmethoden bestaan uit een scala aan bouwconcepten en –producten, maar zijn vooral gericht op prefabricatie, snelheid en een hoge kwaliteit, drie eigenschappen, waaraan staalbouw volledig voldoet [146][150][151][152][153]. Zowel de economische en de sociale als de milieuvoordelen

van deze moderne bouwmethoden tegenover de traditionele woningbouw worden als doorslaggevend geacht.

De Britse regering onderneemt verschillende initiatieven om het gebruik van moderne bouwmethoden, zoals staal(skelet)bouw, binnen de sociale woningbouw te stimuleren [150]. Zo werd in 2004 met de sector afgesproken dat een kwart van de nieuwe woningen gebouwd zal worden op basis van zulke moderne bouwmethoden. Dit komt overeen met ongeveer 3 % van de nieuwe woningen in Engeland en Wales.

Wat de private bouwsector betreft, is de invloed van de overheid beperkter [150]. Moderne bouwmethoden, waaronder staal(skelet)bouw, worden niet direct gestimuleerd door het planningsbeleid of door de bouwregelgeving. Er werden slechts enkele specifieke initiatieven ondernomen. Zo stimuleerde het Rethinking Construction programma de toepassing van moderne bouwmethoden via de publicatie van beste praktijkgidsen en het verschaffen van de nodige informatie en werd het drie jaar durende proSPa project (Promoting Off-site Production Applications), dat prefabricatie stimuleert, deels door de overheid gesponsord [146]. Dit laatste project had tot doel de belemmeringen voor een toenemend gebruik van prefabricatie bij alle actoren te identificeren. Binnen dit project was de staalsector verantwoordelijk voor het uitwerken van vijf gevalstudies.



The Code for Sustainable Homes

Een recent initiatief van de Britse overheid om te komen tot duurzame woningen is de Code for Sustainable Homes [154][155]. Deze Code doet dienst als vrijwillige, nationale standaard voor het ontwerp en de bouw van nieuwe duurzame woningen en bestaat uit een reeks van duurzaamheidscategorieën, waaraan, afhankelijk van de karakteristieken van de woning, punten toegekend kunnen worden. Om de punten te bekomen moet voldaan worden aan een aantal minimumstandaarden wat betreft energie- en waterverbruik en de milieu-impact van de gebruikte materialen (op basis van de BRE ratings en het gebruik van (milieu)labels, zoals FSC en NaturePlus). Extra punten kunnen bekomen worden door bijkomende categorieën (vb. flexibiliteit en aanpasbaarheid, gezond binnenklimaat, ...) in rekening te brengen. De totale duurzaamheid van de nieuwbouwwoning wordt op basis van deze punten bepaald en wordt weergegeven onder de vorm van 1 tot 6 sterren. Staalskeletbouw kan sterk bijdragen tot een goede score op een groot aantal van de in deze code opgenomen duurzaamheidscategorieën (vb. milieuvriendelijke materialen, thermische prestaties, flexibiliteit, ...).



Building for Life

Building for Life is de nationale standaard voor goed-ontworpen huizen en wijken, die op sociaal, economisch en milieuvlak duurzaam zijn, alsook van hoge kwaliteit en betaalbaar [156]. Deze standaard omvat een reeks van 20 duurzaamheidscriteria, waaronder de toepassing van moderne bouwmethoden en een goede score binnen de Code for Sustainable Homes, waartegen nieuwe bouwprojecten door middel van een Building for Life evaluatie (assessment) afgewogen worden. De goed-scorende projecten krijgen een prijs (award) en de best-scorende projecten een zilveren of gouden standaard. Ter illustratie en promotie van goed-ontworpen woningen en wijken worden een aantal voorbeeldprojecten op de website van het project weergegeven. Een voorbeeld van een geheel van 23 woningen, opgetrokken uit staalskelet (als toepassing van moderne bouwmethoden) en afgewerkt met metselwerk, platen of houtpanelen, die een zilveren standaard behaalden en dus gekenmerkt worden door een zeer goede score op milieu-, sociaal en economisch

duurzaamheidsvlak, is het Allerton Bywater project in Castleford, West Yorkshire (Figuur 92).



Figuur 92: Illustratie van 23 woningen, opgebouwd uit staalskelet, in het Allerton Bywater woonproject te Castleford, West Yorkshire [156].

Milieu-evaluatiemethoden

Er bestaan in Groot-Brittannië verschillende methodes om de milieu-impact van bouwmaterialen, gebouwcomponenten en gehele woningen in te schatten om op die manier het gebruik van duurzame bouwmaterialen binnen de woningbouw te promoten (vb. Environmental Profiles, Green Guide to Specification en BREEAM Ecohomes) [157][158][159][160]. Deze methoden stimuleren staal(skelet)bouw onrechtstreeks door aan te tonen dat staalskeletstructuren op milieuvlak zeer goed scoren.

Door de overheid gesteunde initiatieven van de staalsector

Er is zeer veel informatie over staalbouw beschikbaar via de websites van verschillende organisaties [138][19][161][162][164][165]. Deze organisaties ondernemen regelmatig door de overheid gesteunde acties om staalbouw als duurzame bouwmethode te promoten en om van de staalsector een duurzame sector te maken. Voorbeelden van zulke initiatieven zijn de duurzaamheidsstrategie van de staalbouwsector met als titel 'Sustainable steel construction – building a better future' en het Sustainability Charter van de British Constructional Steelwork Association (BCSA) [145][146]. In het eerste document worden de overheidsdoelstellingen aangaande duurzame ontwikkeling verder uitgewerkt voor de staalbouwindustrie. Hierin worden isolatie, koudebruggen en luchtdichtheid als prioritair beschouwd wat betreft de vermindering van het energieverbruik bij woningen, terwijl recyclage, hergebruik en efficiënt en demontabel bouwen centraal gesteld worden wat betreft de vermindering van het grondstoffenverbruik. In het Sustainability Charter worden vrijwillige milieu-doelstellingen voor de staalsector opgelegd.

Voorbeeld van modulaire, geprefabriceerde, stalen woningen

Een voorbeeld van woningen, opgebouwd volgens moderne bouwmethoden, zijn de modulaire, geprefabriceerde, stalen Cub Homes van Britse makelij [167]. Deze woningen hebben lichte stalen frames als basisstructuur en zijn zeer flexibel en aanpasbaar, in de zin dat ze beschikbaar zijn in drie groottes van vloeroppervlakte en dat er naar wens extra verdiepingen toegevoegd kunnen worden. Verder worden deze woningen gekenmerkt door een hoge duurzaamheidsscore volgens de Code for Sustainable Homes.



Figuur 93: Cub Homes als voorbeeld van modulaire, geprefabriceerde, stalen woningen in Groot-Brittannië [167].

3.1.5 Maximale recyclage of cradle-to-cradle (C2C)

3.1.5.1 Toepassing en marktaandeel van cradle-to-cradle bouwen in een aantal Noordwest-Europese landen

Behalve voor Nederland, is er geen informatie beschikbaar aangaande de toepassing en het marktaandeel van cradle-to-cradle (C2C) bouwen of bouwen met maximale recyclage in de beschouwde Noordwest-Europese landen.

3.1.5.2 Toepassing en beleid aangaande cradle-to-cradle bouwen in Nederland

Toepassing van cradle-to-cradle bouwen in Nederland

De belangstelling voor de toepassing van het cradle-to-cradle principe binnen de Nederlandse bouwsector is sterk gegroeid sinds de Nederlandse uitgave van het boek 'Cradle-to-cradle, Afval = voedsel' en de documentaires van de VPRO aangaande dit onderwerp in 2006 en 2007 [168][169][170][172][173].

Binnen de Nederlandse bouwsector zijn de eerste pioniers (bedrijven en overheden) op het vlak van cradle-to-cradle bouwen onlangs begonnen [169][170][172][173]. Er zijn een aantal initiatieven en projecten aangaande een- en meergezinswoningen lopende, maar deze bevinden zich nog in de plannings- en opstartfase. De concrete vertaling van het principe naar de praktijk moet nog voor een groot deel invulling krijgen.

Beleid en initiatieven aangaande cradle-to-cradle bouwen in Nederland

De Nederlandse overheid tracht op alle niveaus in te spelen op de toegenomen interesse voor het principe van cradle-to-cradle (C2C) in de bouwsector en is op zoek naar een manier om C2C bouwen te promoten en zelf toe te passen en de markt te ondersteunen [173][177]. Daarnaast zet ze de eerste stappen om de implicaties van C2C voor het bestaande beleid en de bijhorende instrumenten in kaart te brengen.

Nationaal Actieprogramma Duurzame Daadkracht

Op nationaal niveau werd binnen het Actieprogramma Duurzame Ontwikkeling met als titel 'Duurzame Daadkracht' tot doel gesteld dat Nederland tegen 2030 een duurzame samenleving zal zijn [176][177]. Om deze doelstelling te bereiken plant de overheid een actieve rol te spelen in de maatschappelijke dialoog over duurzaamheid. Eén van de thema's binnen dit actieprogramma is gericht op duurzaam bouwen en verbouwen en stelt het C2C-concept centraal.



Leren voor Duurzame Ontwikkeling en Community of Practice (CoP) C2C

Binnen het nationale Programma Leren voor Duurzame Ontwikkeling (LvDO) in het kader van het Actieprogramma Duurzame Ontwikkeling van de Nederlandse overheid werden zogenaamde Communities of Practice (CoP) opgericht [173][174]. Eén van deze CoPs is gericht op cradle-to-cradle (C2C) en heeft tot doel de nodige kennis aangaande cradle-to-cradle te ontwikkelen.

De rol van de overheid in dit programma bestaat uit het bijeenbrengen van de juiste mensen, het afstemmen van de resultaten van de CoP op de C2C-initiatieven en kennisontwikkeling elders, het focussen op het resultaat en het zorgen voor de organisatie en facilitatie van de bijeenkomsten. De eerste CoP rond gebiedsontwikkeling werd opgestart in 2008 en bestond uit de koplopers Venlo, Almere, Haarlemmermeer en Maastricht, alsook de gerelateerde provincies, de nationale overheid en TNO.

Beleidskader Duurzame Ontwikkeling 2008-2011

Op provinciaal niveau heeft de Provincie Limburg in haar Beleidskader Duurzame Ontwikkeling 2008-2011 het cradle-to-cradle principe centraal gesteld binnen het speerpunt duurzaam bouwen en wonen [177].

Binnen dit project bestaat de taak van de provincie erin om tot 2011 te verbinden, te faciliteren en te stimuleren om duurzame en/of C2C alternatieven bekend, toepasbaar en betaalbaar te maken en om zo de basis te leggen voor een bredere toepassing van het C2C principe in Limburg door de relevante actoren na 2011.

Hiervoor zal de provincie de nodige middelen vrijmaken, waaronder financiële ondersteuning en ter beschikking stellen van de nodige evaluatieprogramma's, zoals GPR Gebouw en DPL, en stimulerende acties ondernemen, zoals het sensibiliseren via overlegtafels en het geven van goede voorbeelden en het ondersteunen van vier woningbouw- en twee utiliteitsbouwprojecten, uitgewerkt volgens het C2C concept.

Gemeentelijke plannen en case-studies

Op gemeentelijk niveau werden recentelijk een aantal concrete plannen en case-studies met als thema cradle to cradle op het vlak van ontwerpen van een regio of een gebied uitgewerkt [169][170][175].

Zo plant de gemeente Almere tot 2030 de bouw van 60.000 nieuwe woningen volgens het C2C concept [175]. Cradle to Cradle is de basis van de zeven 'Almere Principles', het richtsnoer voor de groei-ontwerpen van Almere, die ondertekend werden door de Almeerse wethouder Ruimtelijke Ordening, door William McDonough, één van de initiatiefnemers aangaande cradle-to-cradle, en door de bevoegde VROM-minister.

Andere voorbeelden op gemeentelijk vlak zijn het plan van aanpak voor Amsterdam met C2C-initiatieven in de Amsterdamse haven, bij stedelijke ontwikkeling en op de Zuidas, het demonstratieproject 'Cradle Kring Noord' voor duurzame innovatie in

Noord-Nederland, het C2C Partnership aangaande een drijvend gebouw, dat gebruikt kan worden als paviljoen, kantoor en woonhuis, een duurzaam bedrijventerrein in Haarlemmermeer en de Floriade 2012 gebouwen in Venlo [169][170][173][175]. Een voorbeeld van een gepland C2C project in Wageningen wordt weergegeven in Figuur 94 [179].



Figuur 94: Illustratie van het nieuwe C2C gebouw voor het Nederlands Instituut voor Ecologie te Wageningen (NIOO-KNAW) [179].

Cradle-to-cradle initiatieven, ondernomen of ondersteund door de overheid

De Nederlandse overheid heeft concrete plannen om zich te positioneren als C2C-economie via een publiek-private aanpak, waarin kennis, innovatie en ondernemerschap worden gebundeld [177]. Verder denkt de overheid aan een mogelijke opstart van een maatschappelijk innovatieprogramma aangaande C2C in het kader van het Project Nederland Ondernemend Innovatieland.

Het Agentschap NL ondersteunt initiatieven aangaande cradle-to-cradle via allerlei programma's onder de vorm van advies, informatie en financiële steun [173].

Andere cradle-to-cradle initiatieven, ondersteund door de overheid, zijn de website aangaande cradle-to-cradle, de C2C toolkit voor de woningbouw, de publicatie van het cradle-to-cradle ideeënboekje en het SBR Duurzaamheidscongres 2010 met focus op recycleerbaar bouwen [173][175][180][181].

3.1.6 IFD bouwen

3.1.6.1 Toepassing en marktaandeel van IFD bouwen in een aantal Noordwest-Europese landen

Behalve voor Nederland, is er geen informatie beschikbaar aangaande de toepassing en het marktaandeel van industrieel, flexibel en demontabel (IFD) bouwen in de beschouwde Noordwest-Europese landen.

3.1.6.2 Toepassing en beleid aangaande IFD bouwen in Nederland

Toepassing van IFD bouwen in Nederland

IFD bouwen is niet nieuw in Nederland [183]. Verschillende bouwpartijen zijn al jaren bezig met het implementeren van industriële, flexibele en/of demontabele aspecten in hun bouwprojecten. Voorbeelden hiervan zijn systemen, waarmee gehele

gebouwen gerealiseerd kunnen worden. Deze systemen zijn van oudsher door hun doel om in een korte tijd gebouwen te realiseren reeds industrieel en daarbij tevens vaak flexibel en demontabel.

Toch blijft anno 2010 een IFD-project in Nederland nog een uitzondering [183]. Het marktaandeel ervan is niet bekend. Wel is bekend dat prefab gietbouw met 8 % van de woningen al een paar jaar een stabiel marktaandeel bezit [177].

In het segment woningbouw is IFD bouwen een veelbelovende ontwikkeling, die invulling kan geven aan consumentgericht bouwen [183]. Modulaire IFD-bouw-systemen, samen met een gecontroleerd productieproces, brengen het gewenste wonen binnen handbereik. Bovendien zijn de marktverhoudingen dusdanig gewijzigd, dat elke grote bouwonderneming een eigen initiatief op dit gebied heeft ontwikkeld.

Beleid en initiatieven aangaande IFD bouwen in Nederland

Nationaal programma IFD Bouwen 1998-2005

Het belangrijkste initiatief van de Nederlandse overheid ter stimulering van industrieel, flexibel en demontabel (IFD) bouwen is het Nationaal Programma IFD Bouwen 1998-2005 [183]. De Ministeries van VROM en van Economische Zaken namen het initiatief om innovatie in de bouwwereld te bewerkstelligen via informatie over en stimulatie van de speerpunten industrieel, flexibel en demontabel bouwen om op die manier de belangen van milieu en economie in de bouwsector te kunnen combineren en IFD bouwen een regulier onderdeel van het Nederlandse bouwproces te laten worden.

De Stuurgroep Experimenten Volkshuisvesting (SEV) werkte hiertoe een nationaal programma uit [183][184]. Dit programma gaat ervan uit dat verandering voortkomt vanuit de opdrachtgevers en dat de marktwerking, die leidt tot verandering in de bouwwereld, vanuit die kant gestimuleerd moet worden. Daarom konden binnen dit programma opdrachtgevers nieuwe bouwprojecten, die zich kenmerken door vernieuwende aspecten van IFD bouwen, aanmelden. Een deel hiervan werd aangewezen als demonstratieproject en werd bijgevolg gesubsidieerd om de eventuele meerkosten voor de IFD-aspecten te verminderen. Er werd maximaal 6 miljoen gulden subsidie per jaar uitgetrokken en maximaal 500.000 gulden per goedgekeurd project toegewezen. Deze projecten werden vervolgens gebruikt om de markt en de industrie voor te lichten over de voordelen van IFD Bouwen. Dit geschiedde via congressen over en excursies naar de demonstratieprojecten, alsook via speciale brochures over de projecten, voorbeeldboeken en een speciale website [183][184][185][186][187]. De lessen en ervaringen van de demonstratieprojecten dienen dan als basis om andere projecten en processen vorm te geven.

In vier opeenvolgende wervingsronden (van 1999 tot 2005) werden in totaal 91 inspirerende demonstratieprojecten geselecteerd en uitgevoerd. Een overzicht van deze projecten kan teruggevonden worden op de website van de SEV [184]. Twee voorbeelden van zulke demonstratieprojecten zijn weergegeven in Figuur 95.



A+ rijwoningen te Etten-Leur



Het scharnier, combinatiegebouw met scholen, kinderopvang en woningen te Hoogvliet

Figuur 95: Illustratie van twee IFD demonstratieprojecten in Nederland [183][184][185][186].

3.1.7 Conclusies aangaande de toepassing en het marktaandeel van nieuwe bouwconcepten in Noordwest-Europa

De doelstelling van de bovenstaande analyse is om een zicht te krijgen op beleids-opties ter stimulering van de toepassing van de hier beschouwde nieuwe bouwconcepten, die mogelijk ook in Vlaanderen en België uitgewerkt zouden kunnen worden. Hierbij is het echter belangrijk om te beseffen dat de bouwsituatie in de geselecteerde landen niet altijd helemaal vergelijkbaar is met de Vlaamse en de Belgische situatie. Zo wordt de Vlaamse woningbouw gekenmerkt door een aantal specifieke karakteristieken, zoals het grote aantal verkavelingen, de grote verscheidenheid aan toegelaten bouwstijlen, het grote aantal individuele bouwprojecten en private bouwheren en het beperktere aantal grote bouwprojecten, de doe-het-zelf cultuur, ... Hierdoor moeten de mogelijke beleids-opties en stimuleringsmaatregelen, zoals toegepast in de andere landen, zeker aangepast worden aan deze specifieke Vlaamse bouwsituatie.

Wat de toepassing van de hier beschouwde nieuwe bouwconcepten in een aantal Noordwest-Europese landen betreft, blijkt dat sommige bouwconcepten in een aantal landen reeds meer ingeburgerd zijn dan in Vlaanderen of zelfs behoren tot de nationale of regionale bouwtraditie. Dit is vooral het geval voor houtskeletbouw in de Scandinavische landen, metaalbouw in Groot-Brittannië en bio-ecologische bouwen in Oostenrijk. Andere nieuwe bouwconcepten, daarentegen, worden in de beschouwde landen slechts beperkt toegepast of zitten slechts in de beginfase. Dit is het geval voor cradle-to-cradle bouwen en voor IFD bouwen.

Verder blijkt uit de analyse dat alle landen, waar de nieuwe bouwconcepten reeds meer ingeburgerd zijn, allerlei acties en maatregelen ondernemen en/of reeds ondernomen hebben om de toepassing van deze bouwconcepten binnen de woningbouw te stimuleren. Deze acties gaan van nationale en regionale, algemene en meer specifieke beleidsplannen en regelgeving, waarbinnen het beschouwde bouwconcept onrechtstreeks in het kader van duurzaam bouwen of rechtstreeks gepromoot wordt, over het verschaffen van de nodige informatie en opleiding tot specifieke acties en maatregelen ter toepassing van het bouwconcept via subsidiëring en financiering, demonstratieprojecten, websites, ... Deze acties hebben in alle gevallen geleid tot een verhoogde toepassing van de bouwconcepten binnen de woningbouw.

3.2 Fase 3b - Beleidsopties in functie van een duurzaam voorraadbeheer

*Auteurs: An Janssen, Katrien Putzeys – WTCB
Karen Allacker, Frank De Troyer – K.U.Leuven
Wim Debacker – VITO*

3.2.1 Inleiding

Op basis van de gegevens, verzameld in de voorgaande fases van deze studie, worden in deze derde en laatste fase conclusies getrokken over de relatie van de te verwachten ontwikkelingen in de woningbouw en het oppervlakedelfstoffenbeleid in Vlaanderen.

Uit dit onderzoek is gebleken dat de toegepaste bouwconcepten en hun constructiemethoden in de Vlaamse woningbouw (zowel eengezinswoningen als appartementen) een rechtstreekse invloed uitoefenen op de benodigde bouwmaterialen en bouwproducten en dus ook op de benodigde basisgrondstoffen of primaire oppervlakedelfstoffen in Vlaanderen. Bijgevolg is het belangrijk dat binnen het Vlaamse oppervlakedelfstoffenbeleid rekening gehouden wordt met de huidige en toekomstige vraag naar grondstoffen in relatie met de in fase 1 geïdentificeerde nieuwe en als duurzaam geclaimde bouwmethoden.

Daarom wordt in deze deelfase in de eerste plaats een overzicht gegeven van de belangrijkste resultaten uit de eerder uitgevoerde analyses. Op basis van dit overzicht worden een reeks conclusies aangaande de huidige en toekomstige vraag naar primaire oppervlakedelfstoffen uit Vlaanderen afgeleid.

Ten slotte worden, rekening houdend met de doelstellingen aangaande duurzame ontwikkeling bij de ontginning van primaire oppervlakedelfstoffen, zoals opgenomen in de Vlaamse oppervlakedelfstoffenwetgeving en in het Algemeen Oppervlakedelfstoffenplan, een aantal beleidsopties in functie van een duurzaam voorraadbeheer in Vlaanderen voorgesteld.

3.2.2 Belangrijkste resultaten en conclusies in verband met de milieu-impact en het primaire oppervlakedelfstoffen-gebruik van nieuwe bouwconcepten

Binnen de Vlaamse woningbouw (zowel eengezinswoningen als appartementen) kunnen een groot aantal nieuwe en vaak als duurzaam geclaimde bouwconcepten toegepast worden.

Om na te gaan of deze nieuwe bouwconcepten inderdaad een positieve invloed uitoefenen op de duurzaamheid van een woning in zijn geheel, alsook om een idee te krijgen van hun behoefte aan primaire oppervlakedelfstoffen in vergelijking met de traditionele woningbouw, worden in deze studie een vijftal nieuwe bouwconcepten geselecteerd en via een objectieve benadering geëvalueerd wat betreft hun globale milieu-impact en hun verbruik aan primaire oppervlakedelfstoffen.

Het gaat hier in concreto om de volgende vijf nieuwe bouwconcepten (fase 1a):

- houtskeletbouw;
- bio-ecologisch bouwen;

- metaalbouw;
- cradle-to-cradle (C2C) of kringloop bouwen, gedefinieerd als de maximale inzet van gerecycleerde materialen;
- industrieel, flexibel en demontabel bouwen (IFD).

Deze vijf nieuwe bouwconcepten, alsook traditioneel bouwen (nl. metselwerk), worden toegepast op drie typewoningen, die als representatief beschouwd kunnen worden voor de woningbouw in Vlaanderen (fase 2a, paragraaf 2.1.3.4), zijnde:

- een vrijstaande woning;
- een rijwoning;
- een middelhoog appartementsgebouw.

Voor elk van de typewoningen en voor elk bouwconcept wordt vervolgens één bouwtechnische oplossing voor de verschillende bouwelementen gedefinieerd (fase 2a, paragraaf 2.1.3.4). Hierbij wordt in de eerste plaats uitgegaan van de doelstelling om te komen tot een minimaal verbruik aan primaire oppervlaktedelfstoffen binnen de woningen en niet zozeer tot een zo klein mogelijke milieu-impact van het gebouw. Daarnaast worden de concepten ook zover mogelijk doorgedreven, m.a.w. er worden zoveel mogelijk alternatieven voor de traditionele opbouw van de bouwelementen meegenomen, om op die manier de effecten van de alternatieve materialen zoveel mogelijk te benadrukken (vb. zo veel mogelijk houten afwerkingen bij de houtskelet-bouwvariant en zoveel mogelijk volledig gerecycleerde materialen bij de maximale recyclage variant). Tot slot wordt ervoor gekozen om het isolatiepeil van de woningen gelijk te stellen (nl. K-peil van 32), om op die manier de effecten van het verschillend materiaalgebruik bij de verschillende bouwconcepten beter te kunnen evalueren. Het gaat hier dus in feite om specifieke gevalstudies, waarvan de resultaten niet noodzakelijkerwijze veralgemeend kunnen worden.

Vervolgens worden de typewoningen geanalyseerd wat betreft hun globale milieu-impact (fase 2a, paragrafen 2.1.4, 2.1.5 en 2.1.6) en hun primair oppervlaktedelfstoffenverbruik (fase 2a, paragrafen 2.2.4, 2.2.5 en 2.2.6) in vergelijking met de traditionele woningbouw. Hierbij worden drie groepen van primaire oppervlaktedelfstoffen beschouwd, zijnde:

- zand;
- klei en leem;
- grind en grove granulaten.

De analyse van de woningen gebeurt met behulp van de SuFiQuaD methodologie en het bijhorende, voor deze studie aangepaste rekenmodel. De specifieke aannames en aanpassingen, die binnen dit model van toepassing zijn, worden in fase 2a, paragraaf 2.1.3 in detail besproken. Bij de interpretatie van de resultaten dient hiermee rekening gehouden te worden, alsook met het feit dat deze studie uitgevoerd werd met focus op het primaire oppervlaktedelfstoffenverbruik van de beschouwde bouwconcepten en in mindere mate op de milieu-effecten ervan.

De belangrijkste conclusies, die uit de analyses van de bovenstaande typewoningen, opgebouwd volgens de hier beschouwde vijf nieuwe bouwconcepten (fasen 2a en 2b), getrokken kunnen worden, worden hieronder weergegeven.

In de eerste plaats blijkt uit de milieu-evaluatie (fase 2a) van de vrijstaande woning, de rijwoning en het appartement dat de alternatieve bouwconcepten over hun gehele levenscyclus slechts een relatief beperkte daling (en in sommige gevallen zelfs een lichte stijging) in milieu-impact ten opzichte van de traditionele bouwwijze met zich meebrengen. De maximale daling bedraagt zo'n 10 % op woningniveau.

De verklaring voor deze beperkte daling in milieu-impact in de huidige studie ligt in het feit dat de gebruiksfase (vooral het energieverbruik, maar ook het onderhoud en de vervangingen) omwille van de lange levensduur dominant is voor de totale milieu-impact van de woningen. Het is dus in de eerste plaats van belang om goed te isoleren. De milieueffecten ten gevolge van het verschillend materiaalgebruik bij de verschillende bouwconcepten lopen in elk van de beschouwde levenscyclusfasen sterk uiteen, maar resulteren op levenscyclustermijn netto gezien in ongeveer dezelfde totale milieu-impact. Bijgevolg blijkt het veranderen van bouwconcept op dit moment en in de nabije toekomst (zeker tot 2020) eerder van secundair belang te zijn voor de totale milieu-impact van wonen.

Uit deze studie is dus niet gebleken dat de als duurzaam bestempelde bouwconcepten sowieso leiden tot een aanzienlijke daling in de milieu-impact. Deze conclusie bevestigt de resultaten uit de literatuurstudie, waaruit eveneens geen eenduidige conclusies getrokken kunnen worden aangaande de milieuprestaties van de verschillende bouwconcepten. Hierbij moet wel nogmaals benadrukt worden dat in deze studie slechts één bouwtechnische oplossing per bouwconcept werd geanalyseerd. Het zou kunnen dat met andere oplossingen de milieu-impact wel sterker daalt, maar het is alleszins niet mogelijk om dat uit deze studie te concluderen. Ook is het zo dat voor deze studie de concepten sterk doorgedreven werden (vb. zo veel mogelijk houten afwerkingen bij de houtskeletbouwvariant). Het zou beter zijn om te zoeken naar een optimale combinatie van bouwtechnische oplossingen om de milieu-impact zo sterk mogelijk te laten dalen. Dit was echter niet de opzet van de huidige studie, maar maakt wel het onderwerp uit van andere onderzoeksprojecten, zoals het SuFiQuaD project.

Op basis van de onderzochte toekomstscenario's (fase 2c), waarin verschillende marktacceptatiegraden voor de nieuwe bouwconcepten beschouwd worden, kan vastgesteld worden dat de gemiddelde jaarlijkse milieu-impact per m² vloeroppervlakte tegen 2020, waarbij ook de evoluties in de woningbouwsector in rekening worden gebracht, slechts 0.5% lager ligt bij een sterke stijging van de marktacceptatie voor de nieuwe bouwconcepten ten opzichte van de situatie, waarbij de marktacceptatie gelijk zou blijven.

In tegenstelling tot de globale milieu-impact, blijkt dat de nieuwe bouwconcepten wel een belangrijke invloed uitoefenen op het verbruik van primaire oppervlaktedelfstoffen van de woningen (zie fase 2b). Alle bouwconcepten verbruiken initieel veel minder oppervlaktedelfstoffen dan de traditioneel gebouwde referentiewoning. Een andere vaststelling uit de analyses is dat de daling in het initiële verbruik niet hetzelfde is voor elk van de drie groepen van primaire oppervlaktedelfstoffen. De daling is voor de meeste bouwconcepten het grootst voor het verbruik van klei en leem en dat zijn precies de delfstoffen, waar de woningbouw relatief gezien het meeste gebruik van maakt binnen de totale Vlaamse behoefte aan primaire oppervlaktedelfstoffen. De daling in het initiële verbruik van grind en grove granulaten is het kleinst. De consequentie van de nieuwe bouwconcepten is natuurlijk wel dat er meer hout en staal nodig zullen zijn; materialen, die vanzelfsprekend meer vanuit het buitenland aangeleverd dienen te worden.

Ook op levenscyclustermijn kunnen we een aantal conclusies trekken voor het verbruik van primaire oppervlaktedelfstoffen per woning. In de eerste plaats stellen we vast dat het totale nettoverbruik (initieel + tijdens gebruik + einde levensduur) van zand en van klei en leem veel hoger ligt bij de traditionele bouwwijze dan bij de andere bouwconcepten. Daarnaast zien we dat het verbruik van grind en grove granulaten voor de traditionele woning een negatief eindresultaat heeft, met andere

woorden dat de traditionele bouwwijze uiteindelijk leidt tot een netto opbrengst van grind en grove granulaten. Dit is echter te wijten aan de recuperatie van secundaire granulaten ten gevolge van de recyclage en het hergebruik van bijna alle inerte primaire materialen, dus ook de gemetste muren, bij de sloop van de woning. Het enige alternatieve bouwconcept, waar zich hetzelfde fenomeen voordoet – zij het in veel beperktere mate – is de IFD bouwwijze. Alle andere bouwconcepten hebben een nettoverbruik van grind en grove granulaten. Dit kan verklaard worden door het feit dat bij de alternatieve bouwconcepten de gemetste muren meestal vervangen worden door andere bouwtechnische oplossingen. Hierdoor kan er op het einde van de levensduur dus ook minder materiaal gerecupereerd worden als secundaire granulaten.

Wanneer we ten slotte op woningniveau het totale verbruik van de drie groepen van primaire oppervlakedelfstoffen bekijken voor de volledige levenscyclus, dan komen we tot de conclusie dat, ondanks het “negatieve” verbruik van grind en grove granulaten voor de traditionele bouwwijze, alle alternatieve bouwconcepten leiden tot een grote besparing in het verbruik van primaire oppervlakedelfstoffen.

Ondanks de goede resultaten voor het verbruik van primaire oppervlakedelfstoffen op woningniveau, kunnen we op basis van de in fase 2c geëvalueerde toekomstscenario's concluderen dat het effect van de nieuwe bouwconcepten op het globale verbruik van oppervlakedelfstoffen beperkt is. Bij een sterk toegenomen marktacceptatie van de bouwconcepten tegen 2020 bedraagt de daling van het verbruik initieel net geen 8% en op levenscyclustermin 7%, wanneer we het verbruik vergelijken met de situatie in 2020 bij gelijk gebleven marktacceptatie. De verklaring hiervoor ligt, onder andere, in de verwachte evolutie in de woningbouwsector tegen 2020. Zoals in paragraaf 2.3 werd toegelicht, zal de toename van de bevolking en het aantal huishoudens leiden tot een toegenomen vraag naar nieuwe woningen. Het aantal nieuwbouwoonheden zal toenemen ten opzichte van de huidige situatie, maar relatief minder snel dan de woningvraag, gelet op het groeiende aandeel van de renovatiemarkt. Daarenboven neemt de bouw van appartementen de overhand op de bouw van eengezinswoningen. In dit marktsegment zullen de nieuwe bouwconcepten echter een relatief beperkt marktaandeel vertegenwoordigen.

Ten slotte kunnen we uit de toekomstscenario's afleiden dat het effect van een sterk gestegen marktacceptatie op de totale behoefte aan primaire oppervlakedelfstoffen in Vlaanderen (zoals geraamd in het Algemeen Oppervlakedelfstoffenplan [85]) nagenoeg verwaarloosbaar is. In de huidige situatie is het initiële verbruik van grondstoffen voor de woningbouw verantwoordelijk voor 15.3% van de totale behoefte in Vlaanderen. Volgens het toekomstscenario met sterk gestegen marktacceptatie bedraagt dit aandeel 14.5% of dus een verschil van slechts 1.2%. Ook wanneer we de vergelijking maken met het toekomstscenario met gelijke marktacceptatie, bedraagt het effect van de grotere toepassing van de nieuwe bouwconcepten slechts 2.2%. Met andere woorden, de bredere toepassing van de nieuwe bouwconcepten zal het verbruik van primaire oppervlakedelfstoffen in Vlaanderen niet drastisch beïnvloeden.

Deze beperkte invloed is nog duidelijker, wanneer we de netto totaalstromen voor de volledige levenscyclus vergelijken. Hiervoor wordt het totaal berekend van het verbruik van de verschillende grondstofgroepen over de volledige levenscyclus, dus zowel initieel bij de bouw, als tijdens het gebruik van het gebouw en op het einde van de levensduur (inclusief eventuele recuperatie van bepaalde stromen) en dit, rekening houdend met het gebouwde aantal woningen per woningtype in een bepaalde periode. Voor de huidige situatie bedraagt dit totaalverbruik van de woningbouw 4.02% van de totale geraamde jaarlijkse behoefte aan primaire oppervlakte-

delfstoffen in Vlaanderen. Bij gelijke marktacceptatie tegen 2020 bedraagt dit aandeel 4.38%, als we uitgaan van dezelfde geraamde totale behoefte voor Vlaanderen, waarbij de stijging in het aandeel van de woningbouw toe te schrijven is aan de evolutie in de nieuwbouwwoningen. Bij sterk gestegen marktacceptatie van de bouwconcepten, daarentegen, daalt het aandeel van de woningbouwsector echter tot 3.83%. Met andere woorden, het nettoverschil in het verbruik van oppervlakedelfstoffen, dat toe te wijzen is aan de toepassing van de bouwconcepten - dit is het verschil tussen het scenario van gelijke marktacceptatie en het scenario met sterk gestegen marktacceptatie -, bedraagt slechts 0.5% van de totale behoefte aan primaire oppervlakedelfstoffen in Vlaanderen.

3.2.3 Aanbevelingen voor mogelijke beleidsopties voor een duurzaam voorraadbeheer in Vlaanderen

Rekening houdend met de algemene conclusies, die geformuleerd werden in de vorige paragraaf, kunnen een aantal mogelijke beleidsopties geïdentificeerd worden, die kunnen bijdragen tot een duurzaam voorraadbeheer in Vlaanderen.

1) Afstemmen van het oppervlakedelfstoffenbeleid op korte en lange termijn effecten

De Vlaamse behoefte aan primaire oppervlakedelfstoffen per nieuw gebouwde woning zal dalen ten gevolge van de toename van de nieuwe bouwconcepten. Dit zal enerzijds een socio-economische invloed hebben op de ontginningssector en vooral ook op de keramische sector, alsook op andere gerelateerde sectoren, zoals de milieusector (nl. duurzame bouwbedrijven, (bouw)afvalrecyclagebedrijven, hernieuwbare energiesector, ...). Anderzijds raken de voorraden delfstoffen in Vlaanderen hierdoor minder snel uitgeput. Deze afweging tussen kortetermijn- en langetermijnbelang dient op beleidsniveau gemaakt te worden. Ook macro-economische factoren zijn bij deze afweging zeker niet onbelangrijk.

Vanuit het perspectief van het Vlaamse oppervlakedelfstoffenbeleid - met name de doelstelling met betrekking tot het zuinig omgaan met de voorraden van de verschillende primaire oppervlakedelfstoffen - genieten de nieuwe bouwconcepten de volledige steun. Daarentegen moet hierbij wel de kanttekening geplaatst worden dat er, bij een toegenomen toepassing van de nieuwe bouwconcepten, (elders op de wereld) meer hout en staal geproduceerd en ingevoerd moeten worden, met de bijhorende milieueffecten ten gevolge van de ontginning, de productie en het transport tot gevolg.

2) Stimuleren van innovatie

Het vermijden of verminderen van het verbruik van primaire oppervlakedelfstoffen kan onder andere beïnvloed worden door:

- het selecteren van delfstofarme bouwmaterialen in de (her)ontwerpfase
- het verlengen van de levensduur van delfstofvrije bouwmaterialen
- het recupereren van de delfstoffen door kringloopsluiting
- op termijn de technische mogelijkheden voor recyclage van vrijkomend bouwafval op hoogwaardig niveau te stimuleren (cfr. OVAM acties met betrekking tot kwalitatieve recyclage van puingranulaten). Er kan immers op termijn een verzadiging optreden in de huidige afzetmarkt van puingranulaten, die vooral in funderingen gebruikt worden.

Om tot een duurzaam voorraadbeheer te komen, zal echter een integrale milieu-evaluatie moeten gebeuren, waarin naast de uitputting van grondstoffen, ook gekeken wordt naar de impact op de menselijke gezondheid en de kwaliteit van

ecosystemen. Enkel op basis van een combinatie van een globale milieu-evaluatie en een evaluatie van het verbruik van primaire grondstoffen kunnen correcte beslissingen aangaande de te stimuleren bouwconcepten genomen worden. Daarnaast dienen ook de socio-economische factoren mede in rekening gebracht te worden. Deze duurzame doelstellingen moeten ondersteund worden door het onderzoek naar nieuwe materialen, het verbeteren van bestaande materialen en de ontwikkeling van nieuwe en milieuvriendelijke(re) productie- en recyclageprocédés. Ook al stimuleren de Vlaamse en de federale overheid vandaag dergelijke initiatieven, is het van belang dat zij dit blijven doen, in het licht van steeds veranderende noden en (technische) evolutie.

3) Stimuleren van duurzame renovatie

Deze studie beperkt zich tot de nieuwbouwwoningen. Nieuwe woningen vertegenwoordigen echter jaarlijks maar 1 à 1,5% van het gehele woningpatrimonium in België. Rekeninghoudend met de traditionele manier van bouwen, wil dit dus zeggen dat het grootste deel van de voorraad van (oppervlakte)delfstoffen vevat zit in de bestaande woningen (en andere gebouwen).

Duurzame renovatie moet er enerzijds voor zorgen dat de vraag naar nieuwbouw daalt – en hierbij het verbruik aan primaire grondstoffen. Vervolgens moet de levensduur van de draagconstructie en de gebouwschil van de traditionele woningbouw verlengd worden, zodanig dat het “ingebodde verbruik van grondstoffen” (in het Engels embodied resources), waaronder oppervlakedelfstoffen, optimaal geconserveerd wordt. Tenslotte moeten de bouwonderdelen met een korte(re) levensduur, zoals leidingen, niet-dragende binnenwanden, binnenafwerking en -bekleding, zodanig (her)ontworpen worden dat de grondstoffen gemakkelijk gerecupereerd kunnen worden, mits de milieu-impact en de financiële kost ervan aanvaardbaar zijn. Hergebruik van onderdelen en recyclage van materialen kunnen vanaf de ontwerpfasen mogelijk gemaakt worden door de bouwelementen zodanig te ontwerpen dat ze gemakkelijk en selectief ontmanteld kunnen worden. Selectieve ontmanteling of selectieve sloop moeten gestimuleerd en, bij voldoende concrete resultaten, zo nodig op termijn verplicht worden. Het is dus van belang om de (her)ontwerper van het gebouw en de bouwonderdelen te sensibiliseren voor een duurzame renovatie.

4) Communicatie over de invloed van de toepassing van nieuwe bouwconcepten

Momenteel is er onvoldoende kennis over de nieuwe bouwconcepten en de invloed van de toepassing ervan. Er moet meer gecommuniceerd worden, zowel naar de bouwsector als naar opdrachtgevers voor nieuwe gebouwen. Deze communicatie moet ook de invloed van de nieuwe bouwconcepten op het vlak van de milieu-impact en het verbruik van primaire oppervlakedelfstoffen benadrukken.

5) Beïnvloeden van beleid in andere beleidsdomeinen

Als men vanuit de overheid de toepassing van nieuwe bouwconcepten zou willen stimuleren, moeten acties ondernomen worden op heel wat gebieden buiten het beleidsdomein van ALBON, onder meer leefmilieu, woonbeleid, productbeleid. Een goede samenwerking tussen de verschillende beleidsdomeinen zal met het oog hierop in de toekomst enkel aan belang winnen. Mogelijke acties zijn bijvoorbeeld:

- Aanpassing van typebestekken om niet-traditionele bouwwijzen mogelijk te maken
- Aanpassing van stedenbouwkundige voorschriften met betrekking tot toegelaten materialen

- Aanpassing van bouwgerelateerde opleiding om de kennis over nieuwe bouwconcepten te vergroten
- Stimuleren van duurzame gebouwen, bijvoorbeeld door gebouwcertificatie, toekennen van premies / groene leningen, ...

Ten slotte worden er ook een aantal aanbevelingen gedaan, die betrekking hebben op mogelijk vervolgonderzoek:

6) Uitvoeren van meer uitgebreide studies voor de vergelijking van de milieu-impact en het verbruik van primaire oppervlaktedelfstoffen voor nieuwe bouwconcepten

De resultaten uit de huidige studie leiden tot interessante inzichten over de milieu-impact en het verbruik van primaire oppervlaktedelfstoffen van verschillende woningtypes en bouwconcepten. Toch mogen de conclusies uit deze analyses niet zomaar veralgemeend worden. Er werden in deze studie immers slechts drie specifieke woningen onderzocht, met telkens slechts één specifieke bouwtechnische oplossing per bouwconcept, waarbij de focus vooral lag op het zoveel mogelijk uitsparen van primaire oppervlaktedelfstoffen en minder op het verminderen van de globale milieu-impact van de woningen. Uit de analyses blijkt dat de gemaakte keuzes vooral een sterke invloed hebben op de globale milieu-impactresultaten van de woningen, maar ook op het verbruik van primaire grondstoffen. Het is dus noodzakelijk om de kennis over de nieuwe bouwconcepten verder te vergroten, door meer uitgebreide studies uit te voeren. Hierbij zouden dan voor elk bouwconcept verschillende gebouwtypes, verschillende bouwtechnische oplossingen en verschillende groottes van woningen geëvalueerd moeten worden op zowel hun milieu-impact als het verbruik van primaire oppervlaktedelfstoffen. Daarnaast zou ook uitgegaan kunnen worden van één referentiewoning (vb. traditioneel metselwerk), die vervolgens zodanig aangepast wordt wat betreft de technische oplossingen voor de verschillende bouw-elementen, dat een minimale milieu-impact en/of een minimaal oppervlaktedelfstoffenverbruik voor die woning bereikt wordt. De technische oplossingen voor deze woning zouden dan vergeleken kunnen worden met de verschillende bouwconcepten. Deze bijkomende studies zouden dan toelaten om de geldigheid van de conclusies op basis van de beperkte evaluaties in de huidige studie, alsook de conclusies uit de literatuurstudie, na te gaan en eventueel bij te sturen, indien noodzakelijk.

7) Onderzoek naar nieuwe milieu-indicatoren, die het verbruik van oppervlaktedelfstoffen in kaart kunnen brengen

In Eco-Indicator 99 wordt de uitputting van grondstoffen ingerekend via de extra energie, die nodig is om nieuwe delfstoffen te ontginnen (en te transporteren). Dit wordt uitgedrukt in "MegaJoule surplus" energie. De grondstoffen, die hierbij beschouwd worden, zijn ertsen en brandstoffen. Dezelfde aanpak zou kunnen uitgebreid worden naar oppervlaktedelfstoffen. De extra energie, die nodig is om grondstoffen te winnen en/of het extra transport, nodig om de grondstoffen tot aan de productiesites te krijgen, zouden op deze manier kunnen meegenomen worden in de globale berekening van de milieu-impact. A priori kan men veronderstellen dat, macro-economisch gezien, eerst de reserves worden aangeboord, die het minste energie vergen.

8) Gedetailleerd in kaart brengen van de actuele situatie met betrekking tot de toepassing van de nieuwe bouwconcepten

Eén van de moeilijkste punten in de huidige studie was het bepalen van het marktaandeel van de verschillende bouwconcepten in de huidige marktsituatie. Statistische informatie hierover is niet voorradig, waardoor uitsluitend kan gewerkt worden op basis van inschattingen van experts uit de praktijk. De onzekerheid over

de gebruikte cijfers is bijgevolg relatief groot. Hetzelfde geldt voor de toekomstscenari's, waarin de evolutie van het marktaandeel van de bouwconcepten wordt ingeschat. Een gevolg hiervan is dat de theoretisch berekende evoluties voor het verbruik van oppervlaktedelfstoffen kunnen afwijken van de realiteit. Om deze onzekerheid weg te werken, is het nodig dat de reële marktsituatie van de bouwconcepten op een objectieve en gedetailleerde manier in kaart wordt gebracht. Een mogelijkheid hiervoor is een uitgebreide bevraging van de sector. Om evoluties in de bouwsector op een meer systematische manier te kunnen opvolgen, zou een uitbreiding van de nationale statistische gegevensverzameling echter een beter instrument kunnen zijn – bijvoorbeeld door de bouwwijze te registreren bij het aanvragen van de bouwvergunning.

Referenties

- [1] Van Dessel J. & Van Rompay W., 2004, Onderzoek inzake de duurzaamheid van houtbouwsystemen en de groeiverwachting van deze markt, Bestek nr. VLA03-4.1, Studie uitgevoerd door het WTCB in opdracht van het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Administratie Economie, Afdeling Natuurlijke Rijdommen en Energie, Eindrapport, 202 blz.
- [2] Dobbels F., 2004, Houtskeletbouw in Vlaanderen anno 2004: overzicht van de actuele kenmerken, belemmeringen en mogelijkheden, WTCB, FOD studiedag, 2004, 100 blz.
- [3] Belgian Woodforum, websites www.woodforum.be en www.hout.be
- [4] Houtinfobois, website www.houtinfobois.be
- [5] TCHN-CTIB, website www.ctib-tchn.be
- [6] Bois & Habitat, website www.bois-habitat.be
- [7] Wat is bio-ecologisch bouwen ? Dossier bij Wonen met de Natuur, nr. 43, 2007, VIBE 16 blz.
- [8] Ecologische verkavelingen, voorbeeldprojecten en literatuur, 3 blz., VIBE, 2008, website www.vibe.be
- [9] Bio-ecologische bouwwijzen, VIBE vzw, 3 blz., VIBE, 2009, website www.vibe.be
- [10] Architecten Atelier Archi4, website www.archi4.be/bio_ecologisch_bouwen.html
- [11] Bewust duurzaam bouwen, tips op een rij voor milieusparend bouwen & verbouwen, brochure van de Vlaamse Provincies i.s.m. VIBE vzw, WWF, VVSG, Aminal, Stip en Dialoog, 2003, 24 blz.
- [12] Ecomat, groot- en kleinhandel in bio-ecologische bouwmaterialen, website www.ecologischbouwen.be
- [13] Wonen en natuur C.V.B.A. – Ecologische bouwmaterialen en natuurlijke verven – Industriestraat 30, 8755 Ruiselede – 051 / 65 85 97 – info@wonenennatuur.be – www.wonenennatuur.be
- [14] AVORA, Atelier voor Organische en Ecologische Architectuur – Jep Bogemans – Bloemenveld 23, 2610 Wilrijk-Antwerpen – 03 / 239 47 44 – 0473 / 27 23 05 – info@avora.be – www.avora.be
- [15] Casa Prima – bouwfirma bio-ecologische bouwen – info@casaprima.be – www.casaprima.be – Voorbeeldproject Deurne – Architecten Tom Wuyts en Bianca Smet
- [16] Bouwen met staal, 2008 a, Voorbeelden in staalbouw, Woningbouw, Keuzegids voor constructeurs, architecten en aannemers, Eurobuild in Steel, www.infosteel.be, 65 blz.
- [17] Bouwen met staal, 2008 b, Voorbeelden in staalbouw, Verdiepingbouw, Keuzegids voor constructeurs, architecten en aannemers, Eurobuild in Steel, www.infosteel.be, 58 blz.
- [18] Lobon bvba Bouwpromotie – website www.lobon.be
- [19] Staalinfocentrum, website www.infosteel.be
- [20] Bouwen met staal, Nederland, website www.bouwenmetstaal.nl
- [21] Experimentele woning in staalskelet – Groupe Arcelor-Mittal, Boulevard de Colonster, 4000 Liège, Société des Architectes, Véronique Salmon
- [22] Woning Buelens-Vanderlinden, websites <http://www.mijn-architect.be/project.cfm?context=mpm-1-4-2862-1> en <http://www.ney.be/nl/fiche-projets.php?pid=25>
- [23] Huis Denis-Ortmans, website <http://www.ney.be/nl/fiche-projets.php?pid=16>.
- [24] Atsma, M. (2009). Cradle to Cradle en de Circulaire Economie in Nederland - www.cradletocradle.nl
- [25] EPEA. (sd) - website www.epea.com

- [26] MBDC. (sd). MBDC - cradle to cradle certification – website www.mbdc.com/c2c/list.php?order=type
- [27] McDonough, W., & Braungart, M. (2002). Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things. New York, US: North Point Press.
- [28] Recyhouse voorbeeldproject (sd) - website www.recyhouse.be
- [29] Tweewaters voorbeeldproject (sd) – website www.tweewaters.be
- [30] IFD-bouwen 2000 - een omslag in bouwen, Rotterdam, SEV, 2001
- [31] IFD-bouwen 2002 - op de drempel van een doorbraak, Rotterdam, SEV, 2003
- [32] IFD-bouwen 2004 – continuïteit in IFD, Rotterdam, SEV, 2004
- [33] Leren door demonstreren - De oogst van zeven jaar Industrieel, Flexibel en Demontabel Bouwen, Rotterdam, SEV, 2007
- [34] Frank De Troyer, Raymond Kenis - Industrieel, Flexibel en demontabel bouwen – Toekomstgericht ontwerpen, Brussel, WTCB-FEBE, 2004
- [35] 2-Torenwijk – Hasselt - Architect: 50°N5°E – Holistic Architecture – website www.holisticarch.be
- [36] Vinken Hof – Houthalen Helchteren - Architect: 50°N5°E – Holistic Architecture – website www.holisticarch.be
- [37] Sectoraal uitvoeringsplan milieuverantwoord materiaalgebruik en afvalbeheer in de bouw, OVAM, September 2007, 152 blz.
- [38] Nemry F. & Uihlein A., 2008, Environmental Improvement Potentials of Residential Buildings (IMPRO-Building), JRC Scientific and Technical Reports, JRC & IPTS, EUR 23493 EN, ISBN 978-92-79-09767-6, 103 blz.
- [39] Verbeeck G., 2007, Optimisation of extremely low energy residential buildings. Proefschrift voorgedragen tot het behalen van het doctoraat in de ingenieurswetenschappen, K.U.Leuven, mei 2007, 273 blz.
- [40] Allacker K. & De Troyer F., 2009, ArDuCoKlei-project: Levenscyclusanalyse (LCA) van 'wiegt-tot-graf'. Binnenwand en buitenwand. Third Party Report. Studie uitgevoerd in opdracht van de Belgische Baksteenfederatie, 2007-2009, K.U.Leuven, december 2009, 39 blz.
- [41] Institut Wallon, 2001a, Greenhouse gas emissions reduction and material flows, Housing system analysis, Part I, Detailed description of the system and evaluation of the potential of emissions reduction, Institut Wallon, June 2001.
- [42] Institut Wallon, 2001b, Greenhouse gas emissions reduction and material flows, Housing system analysis, Part II, Processes description, Institut Wallon, January 2001.
- [43] IDD, Institut Wallon & VITO, 2001, Greenhouse gas emissions reduction and material flows, Final report, June 2001.
- [44] K.U.Leuven, 2002a, Studie van Substitutiemogelijkheden voor Primaire Oppervlakedelfstoffen (VLA00-ALTMAT): Deelrapport IV d: Gevallestudie 2: duurzaamheid en kwaliteiten van een houtskeletbouwwand versus traditionele baksteen- en betonblokkenwand, F. De Troyer et al., 2002.
- [45] K.U.Leuven, 2002b, Studie van Substitutiemogelijkheden voor Primaire Oppervlakedelfstoffen (VLA00-ALTMAT): Deelrapport IV: Analyse van de duurzaamheid van alternatieven voor oppervlakedelfstoffen, F. De Troyer et al., 2002.
- [46] De Troyer F. & Allacker K., 2004, HSB: duurzame bouwmethode bij uitstek? Duurzaamheid en bouwkwaliteiten: hoe afwegen? Een toepassing op wanden in houtskeletbouw of baksteen, KVIV, Studiedag 'Duurzaam bouwen in houtskeletbouw', april 2004.
- [47] De Troyer F. & Allacker K., 2003, Wand en houtskeletbouw of baksteen? Een kwestie van duurzaamheid en kwaliteiten, KVIV Studiedag Hout, november 2003.
- [48] TNO, 2002, Vergelijkend onderzoek milieuaspecten HSB-casco en een traditioneel casco, TNO in opdracht van SIBOMAT, TNO rapport 2002-DEG-RO31, december 2002.

- [49] Philippe, 2001, Comparaison écologique entre une maison en bois et une maison traditionnelle par l'analyse de cycle de vie, Travail de fin d'études présenté en vue de l'obtention du grade d'ingénieur civil architecture, Année académique 2000–2001, Université de Liège, Faculté des Sciences Appliquées.
- [50] Canadian Wood Council, Energy and the Environment in residential construction, Canadian Wood Council, Sustainable Building Series n°1, geen datum (www.cwc.ca/publications/tech_bulletins)
- [51] Canadian Wood Council, 1999, A Case Study 'Life Cycle Analysis for Residential Buildings', Canadian Wood Council, N°5.
- [52] Scharai-Rad A. & Welling J., 2002, Environmental and energy balances of wood products and substitutes, executed for FAO, 2002 (www.fao.org/DOCREP/004/Y3609E/Y3609E00.HTM).
- [53] Haraldsson H. & Svensson M.G.E., 1998, Is Ecological living sustainable? A case study from two Swedish villages in South Sweden, 1998, 18 blz.
- [54] BRE, 2008, BRE Green Guide 2008 Ratings, website www.bre.co.uk/greenguide
- [55] ISO, 2006, Management environnemental – Analyse du cycle de vie – Principes et cadre, ISO norme internationale ISO 14040:2006 (F).
- [56] Putzeys K., Janssen A., Allacker K., De Troyer F., Spirinckx C., Vercalsteren A., de Nocker L. & Debacker W., 2010, Optimalisatie van financiële kosten en milieu-impact van bouwelementen, WTCB technisch rapport, in voorbereiding.
- [57] BELSPO, 2010, Duurzaamheid, financiële en kwaliteitsevaluatie van woontypes (SuFiQuaD) (Fase II), Onderzoeksproject SD/TA/12B, website <http://www.belspo.be/belspo/fedra/proj.asp?l=nl&COD=SD/TA/12B>
- [58] WTCB, 2010, SUFIQUAD - Sustainability, Financial and Quality evaluation of Dwelling types, website http://www.wtcb.be/homepage/index.cfm?cat=bbri&sub=rd&action=detail&project_id=576
- [59] Frischknecht R., Jungbluth N., Althaus H.J., Doka G., Dones R., Heck T., Hellweg S., Hischer R., Nemecek T., Rebitzer G., Spielmann M. & Wernet G., 2007, Ecoinvent v. 2.0, Overview and Methodology, Data v. 2.0, Ecoinvent report No. 1, December 2007, 77 p., website http://www.ecoinvent.org/fileadmin/documents/en/01_OverviewAndMethodology.pdf
- [60] VROM, 1999, The Eco-indicator 99, A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment, Methodology Report, Publicatiereeks Productenbeleid, nr. 1999 / 36A, 144 p.
- [61] Goedkoop M. & Spriensma R., 2001, The Eco-indicator 99, A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment, Methodology Annex, 22 June 2001, Third Edition, Pré Consultants, 87 p.
- [62] ExternE, 1995, DGXII (JOULE Programme), Externalities of Energy, ExternE Project, Report Number 2, Methodology. Prepared by ETSU and others.
- [63] ExternE, 1999, DGXII (JOULE Programme), Externalities of Energy, ExternE Project, Report Number 7, Methodology: Update 1998. Holland, M.R. and Forster, D. (eds.).
- [64] ExternE, 2003, EC, DG Research, 2003, External Costs Research results on socioenvironmental damages due to electricity and transport EUROPEAN COMMISSION 2003, EUR 20198, website http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/externe_en.pdf
- [65] ExternE, 2005, New results of ExternE after the NewExt and Externe-Pol projects, website <http://www.externe.info>; <http://europa.eu.int/comm/environment/climat/studies.htm>
- [66] Guinée, J.B., Gorrée M., Heijungs R., Huppes G., Kleijn R., de Koning A., van Oers L., Wegener Sleeswijk A., Suh S., de Haes S.A.U., de Bruijn J.A., van

- Duin R. & Huijbregts M.A.J., 2002. Handbook on Life Cycle Assessment: Operational Guide to the ISO Standards. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, ISBN 1-4020-0228-9 & 1-4020-0557-1.
- [67] WTCB, 2005, Belgisch Bouwplatform 'Bouwen en Innoveren' – Bouwen aan de toekomst, VISIE 2030, September 2005, website <http://visie2030.wtcb.be>
 - [68] Heylen K., Le Roy M., Vanden Broucke S., Vandekerckhove B. & Winters S., 2007, Wonen in Vlaanderen, De resultaten van de Woonsurvey 2005 en de Uitwendige Woningschouwing 2005, Onderzoek uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Departement RWO – Woonbeleid, Samenvatting, Februari 2007, 48 blz.
 - [69] Vanneste D., Thomas I. & Goossens L., 2007, Woning en woonomgeving in België, Sociaaleconomische enquête 2001, Monografieën, met medewerking van De Decker P., Laureys J. Laureysen I., Querriau X., Vanderstraeten L. & Wevers W., FOD Economie, K.M.O., Middenstand en Energie, Algemene Directie Statistiek en Economische Informatie, 2007, 201 blz.
 - [70] Confederatie bouw, 2008, De allerbelangrijkste trend : wonen in wat er is. Dossier : Trends in de woningbouw, Bouwbedrijf, januari 2008, p. 20.
 - [71] Ecoquantum, Software tool en handleiding, relevante informatie, Nederland
 - [72] Huffmeijer, F.J.M., 1998, Levensduur van bouwproducten, praktijkwaarden, Rotterdam, SBR, Stichting Bouw Research, 1985, herzien in 1998
 - [73] BRE, 2004, Environmental profiles, element profiles, website BRE, <http://www.bre.co.uk/service.jsp?id=53>
 - [74] INIES, 2007, INventaire des Impacts Environnementaux et Sanitaires, Fiches de déclaration environnementale et sanitaire, FDES, inies website, www.inies.fr
 - [75] NIS, 2001, Socio-economische enquête (SEE), 2001
 - [76] Vandekerckhove B., Le Roy M. & Myncke R., 2006, Ruimte voor woonbeleid – Stand van zaken onderzoek woningaanbod in Vlaanderen, Kenniscentrum voor Duurzaam Woonbeleid, SumResearch, Urban Consultancy, juli 2006, 79 p.
 - [77] VMSW, 2008, C 2008 – Concepten voor sociale woningbouw. Leidraad voor bouwheer en ontwerpers, Vlaamse Maatschappij voor Sociale Woningbouw, 288 p.
 - [78] VIBE, 2007, Vloeren, Gezonde en milieuverantwoorde woningen, Technische fiche, VIBE, Juni 2007, 22 blz.
 - [79] Blanchard S. & Reppe P., 1998, Life cycle analysis of a residential home in Michigan, Center for Sustainable Systems, University of Michigan, Report No. 1998-5, September 1998, 60 p.
 - [80] W/E Adviseurs, 2005, Meer halen uit materialen, Management Summary, Handreiking voor de besparing van grondstoffen in de woningbouw, in opdracht van de Provincie Flevoland en de Gemeente Almere, Nederland, December 2005, 12 blz.
 - [81] Federaal Planbureau; FOD Economie - Algemene Directie Statistiek en Economische Informatie, Loop van de bevolking per gewest, <http://statbel.fgov.be>
 - [82] Federaal Planbureau; FOD Economie - Algemene Directie Statistiek en Economische Informatie, Structuur van de bevolking volgens huishoudens: gemiddelde grootte en per gewest, <http://statbel.fgov.be>
 - [83] Federaal Planbureau; FOD Economie - Algemene Directie Statistiek en Economische Informatie, Kadastrale statistiek van het bestand van de gebouwen, <http://statbel.fgov.be>
 - [84] Federaal Planbureau; FOD Economie - Algemene Directie Statistiek en Economische Informatie, Bouwvergunningen 1996-2009, <http://statbel.fgov.be>
 - [85] Het algemeen oppervlakedelfstoffenplan, Vlaamse Overheid - Departement Leefmilieu, Natuur en Energie - Afdeling Land en Bodembescherming, Ondergrond, Natuurlijke Rijkdommen (ALBON), juli 2008, 198 blz.

- [86] WTCB, LUC, VITO & OCW, 2005, Tweede actualisatiestudie, Globaal actieplan (Eindverslag), Studie uitgevoerd in opdracht van het Onderzoekscomité van het Grindfonds, WTCB rapport DE 61010, 159 blz.
- [87] Van der Meulen M.J., Koopmans T.P.F. & Pietersen H.S., 2003, Construction raw materials policy and supply practices in Northwestern Europe, Facts & Figures – Main report, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Rapport nummer DWW-2002-051, Publicatiereeks grondstoffen, 2003/11, juni 2003, 58 blz.
- [88] Desmyter J., Van Dessel J., Hilde V. & Leuridan A., 2003, Construction raw materials policy and supply practices in Northwestern Europe, Facts & Figures – Belgium. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Rapport nummer DWW-2003-020, Publicatiereeks grondstoffen 2003/01, mei 2003, 102 blz
- [89] Koopmans T.P.F., Broers J.W. & Pietersen H.S., 2003, Construction raw materials policy and supply practices in Northwestern Europe, Facts & Figures – the Netherlands. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Rapport nummer DWW-2003-024, Publicatiereeks grondstoffen 2003/05, mei 2003, 88 blz.
- [90] Knoll A. & Kramer R., 2003, Construction raw materials policy and supply practices in Northwestern Europe, Facts & Figures – Lower Saxony and North-Rhine/Westphalia (Germany). Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Rapport nummer DWW-2003-023, Publicatiereeks grondstoffen 2003/04, mei 2003, 120 blz
- [91] Harisson D.J., Chapman G.R., Hillier J.A. & Highley D.E., 2003, Construction raw materials policy and supply practices in Northwestern Europe, Facts & Figures – England, Scotland and Wales. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Rapport nummer DWW-2003-022, Publicatiereeks grondstoffen 2003/03, mei 2003, 87 blz.
- [92] Jonsson R., 2007, Market potential and lifecycle analysis of massive wood buildings, Output report from EU-funded project 'Sustainable Energy Systems in Advanced Cities' (SESAC) (Work Package 16.2), Prospects for timber frame in multi-storey house-building in England, France, Germany, Ireland, the Netherlands & Sweden, powerpoint presentation, 34 blz.
- [93] Profnews, 2003, Marktaandeel houtskeletbouw is in vijf jaar verdubbeld, gebaseerd op duurzame bouwen, 15/02/2003, www.profnews.nl
- [94] Vereniging van Houtskeletbouwers, website www.vhsb.nl
- [95] SBR, 2002, Houtskeletbouw populairder, Stichting Bouwresearch, 22/03/2002, www.sbr.nl
- [96] Tykkae S., McCluskey D., Nord T., Ollonqvist P., Hugosson M., Roos A., Ukrainski K., Q Nyrud A. & Bajric F., Development of timber framed firms in the construction sector - Is EU policy one source of their innovation?, 2010, Forestry Policy and Economics, nr. 12, 3, p. 199-206, <http://dx.doi.org/10.1016/j.forpol.2009.10.003>.
- [97] Sarden Y., 2005, Complexity and learning in timber frame housing. The case of a solid wood pilot project. Doctoral thesis, Luleå University of Technology, Department of Civil and Environmental Engineering, Division of Structural Engineering - Timber Structures, 2005, 162 blz.
- [98] Bergström M., 2004, Industrialised Timber Frame Housing. Managing customisation, changes and information. Doctoral thesis, Luleå University of Technology, Department of Civil and Environmental Engineering, Division of Structural Engineering - Timber Structures, 2004, 165 blz.
- [99] Ökologisch bauen, website www.oekologisch-bauen.de
- [100] UKTFA, 2009, UKTFA preview 2010. To better meet the code, think fabric first, timber frame makes sustainable easily attainable, UKTFA, 28 blz, www.timber-frame.org

- [101] Scottish Forest Industries Cluster, ???, Timber Frame Construction, Prospects for home-grown timber, 6 blz.
- [102] Abibois, 2009, Etude de marché de la maison à ossature bois en Bretagne, Communiqué de presse, 11 juin 2009, www.rennes.cci.fr
- [103] CNDB, 2006, Le bois avance, Dossier de presse, www.pointsdactu.org, 9 blz.
- [104] Holzbau, website www.holzbau.at
- [105] Holzhaus, website www.holzhaus.at
- [106] Solidbau, website www.solidbau.at
- [107] Nordic Timber Council, Treteknisk, Skogsindustrierna, Woodfocus & Nordic Industrial Fund, Wood components in steel and concrete buildings – In-fill exterior wall panels, Study compiled for the Nordic Timber Council, December 2003, 55 p.
- [108] Nord T., 2008, Prefabrication Strategies in the Timber Housing Industry, Case studies from Swedish and Austrian markets, Technical report, Luleå University of Technology, 2008:16, 110 p.
- [109] Regeringskansliet – Government Offices of Sweden, Ministry of Sustainable Development, Areas of Responsibility, website www.sweden.gov.se/sb.
- [110] The National Board of Housing, Building and Planning - Boverket, website www.boverket.se.
- [111] Miljö- och samhällsbyggnadsdepartementet, Zweeds Ministerie voor Duurzame Ontwikkeling, website www.sweden.gov.se/sb
- [112] Miljö- och samhällsbyggnadsdepartementet, 2004, A Swedish Strategy for Sustainable Development – Economic, Social and Environmental. Summary. Government Communication 2003/04.129, Artikel nummer M2004.06, Regeringskansliet, 24 blz.
- [113] Miljö- och samhällsbyggnadsdepartementet, 2000, The Swedish Environmental Code. Ministry Publication Series, Ds 2000:61, 164 blz.
- [114] Miljö- och samhällsbyggnadsdepartementet, 2001, The Swedish Environmental Code. A resume of the text of the Code and related Ordinances. Ministry of the Environment, Regeringskansliet, 40 blz.
- [115] Government Offices of Sweden, Sida & Boverket, 2008, Sustainability by Sweden, Perspectives on urban governance, brochure, 40 p.
- [116] Sveriges Träbyggnadskansli, website <http://trabyggnadskansliet.se>
- [117] Stehn L., Rask L.O., Nygren I. & Östman B., 2008, Byggandet av flervåningshus i trä. Erfarenheter efter tre års observation av träbyggandets utveckling, Technical Report, Lulea Technical University, 2008:18, 2008, 132 p.
- [118] Trästad 2012, website www.trastad2012.se
- [119] Bengtsson C., 2009, Wood construction towards the sky, FTPC 2009, From research to business, Stockholm, 9-11 November 2009, www.se2009.eu, 15 p.
- [120] Viserums Konsthall, 2010, WOOD 2010 and Wood Summit Småland 2010, The third major exhibition for the promotion of wood construction and architecture to be held at Virserum Art Museum, website <http://www.virserumskonsthall.com>
- [121] Hauk, 2010, Ökologisches Bauen - Umweltgerechtes Bauen, BisTech Fachinformationen, 29/03/2010, website www.fachinfo.bis-tech.de, 7 blz.
- [122] Der Lifestyle Presseservice, website www.lifepr.de
- [123] Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (Lebensministerium), website www.lebensministerium.at
- [124] Austrian Energy Agency, Kompetenzzentrum für Energie, website www.energyagency.at
- [125] Energieinstitut Vorarlberg, website www.energieinstitut.at
- [126] Klimaatbeschermingsinitiatief Klima:aktiv, website www.klimaaktiv.at
- [127] Österreichische Gesellschaft für Umwelt und Technik & Österreichisches Energieagentur, 2009, Einfamilienhaus, behaglich, gesund und energiebewusst, Klima:aktiv Bauen und Sanieren, Brochure, 8 blz.

- [128] Österreichische Gesellschaft für Umwelt und Technik & Energieinstitut Vorarlberg, 2008, Klima:aktiv Gebäudestandard, Kriterienübersicht für Neubau von Wohnbauten, Klima:aktiv Haus und Klima:aktiv Passivhaus, brochure, 40 blz.
- [129] Österreichische Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (OGNB), website www.oegnb.net
- [130] Österreichisches Institut für Baubiologie und Bauökologie, website www.ibo.at
- [131] Österreichisches Ökologie Institut, website www.ecology.at
- [132] Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie & Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend, 2010, Staatspreis Umwelt- und Energietechnologie 2010, Nominierte und Preisträger, 2010, 44 blz.
- [133] Haus der Zukunft, website www.hausderzukunft.at
- [134] Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2009, 10 Jahre Programmlinie Haus der Zukunft 1999-2009, Brochure, 32 blz., www.hausderzukunft.at
- [135] Wehinger R., Torghelle K., Mötzl G., Bertsch G., Weithas B., Gludovatz M., Studer F. et al., 2006, Neubau ökologisches Gemeindezentrum Ludesch, Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie Haus der Zukunft, Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften, Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie, mei 2006, 146 blz., www.hausderzukunft.at
- [136] Staalframebouw, 2003, Nieuwsbrief Staalframebouw, 3 juni 2003, jaargang 2, 6 blz., www.staalframebouw.eu
- [137] Heikkinen V. & Koukkari H., 2007, Sustainability in steel construction sector, FTP Conference Hannover, 15/05/2007
- [138] Staalframebouw, 2010, website www.staalframebouw.eu
- [139] Stalbyggnadsinstitutet, website www.sbi.se
- [140] Office Technique pour l'Utilisation de l'Acier (OTUA), website www.otua.org
- [141] Bouwen met staal, Nederland, website www.bouwenmetstaal.nl
- [142] Bouwen met Staal, 2004, Handboek staalframebouw, ISBN 90-72830-50-4, 72 blz
- [143] Raiffeisen, 2010, Bauen mit Stahl, website www.raiffeisen.at
- [144] ECCS, 2009, Annual meetings 2009, Statistical bulletin for the production in 2008, Barcelona, Spain, September 2009, European Convention for Constructional Steelwork, website www.steelconstruct.com, 132 blz.
- [145] Hughes T. & Burton M., 2004, Consumer Response to Steel Frame Housing: A choice modelling experiment, A paper to the European Network for Housing Research Conference, Cambridge, July 2004, 17 p.
- [146] CTF, 1998, Rethinking Construction. The report of the Construction Task Force to the Deputy Prime Minister, John Prescott, On the scope for improving the quality and efficiency of UK construction.
- [147] DETR, 1999, A better quality of life, A strategy for sustainable development for the UK, May 1999.
- [148] DETR, 2000, Building a better quality of life, A strategy for more sustainable construction. Department of the Environment, Transport and the Regions, London, april 2000, 33 blz.
- [149] GCCP, 2000, Achieving sustainability in construction procurement. Sustainability Action Plan. Government Construction Clients Panel of the Office of Government Commerce, juni 2000, 13 blz.
- [150] Parliamentary Office of Science and Technology, 2003, Modern Methods of House building, Postnote, December 2003, Number 209, 4 p.
- [151] Housing Forum, 2002, Homing in on excellence: A commentary on the use of offsite fabrication methods for the UK house building industry, The Housing Forum, London, www.thehousingforum.org.uk.

- [152] Venables T., Barlow J. & Gann D., 2004, Manufacturing Excellence, UK capacity in offsite manufacturing, The Housing Forum, www.thehousingforum.org.uk, January 2004, 62 p.
- [153] Office of the Deputy Prime Minister, 2003, Sustainable communities: Building for the Future, 72 p.
- [154] SBTG, 2004, Code for Sustainable Buildings, Sustainable Buildings Task Group, U.K., 2004.
- [155] Communities & Local Government, 2006, Code for Sustainable Homes, A step-change in sustainable home building practice, December 2006, www.communities.gov.uk, 29 blz.
- [156] Building for Life, website www.buildingforlife.org
- [157] Howard N., Edwards S. & Anderson J., 1999, BRE methodology for environmental profiles of construction materials, components and buildings. BRE report, ISBN 1-86081-294-5, 65 blz.
- [158] Llewellyn J.W. & Edwards S., 1998, Towards a framework for environmental assessment of building materials and components. BRE report, ISBN 1-86081-252-X, 1998, 114 blz.
- [159] Anderson J. & Howard N., 2000, The Green Guide to Housing Specification, BRE report, ISBN 1-86081-376-3, 2000, 40 blz.
- [160] Rao S., Yates A., Brownhill D. & Howard N., 2000, EcoHomes, The environmental rating for homes. BRE rapport, ISBN 1-86081-375-5, 20 blz.
- [161] British Constructional Steelwork Association (BCSA), websites www.steelconstruction.org & www.sustainablesteel.co.uk
- [162] SCTG, 2000, Towards sustainability, A strategy for the construction industry, Sustainable Construction Task Group / Construction Federation, June 2000.
- [163] International Iron Steel Institute (IISE), website www.worldsteel.org Livingsteel, website www.livingsteel.org
- [164] Steel Construction Institute (SCI), website www.steel-sci.org
- [165] Corus Construction, website www.corusconstruction.com
- [166] Corus, Steel Construction Institute, BCSA & University of Sheffield, 2010, Sustainable Steel Construction, Building a Better Future, A sustainability strategy for the UK steel construction sector developed by the Steel Construction Sustainability Committee (SCSSC), 42 p.
- [167] Cub Housing Solutions Ltd, 2010, Cub Homes, Brochure, www.cubhousingsolutions.com, 17 p.
- [168] McDonough W. & Braungart M., 2002, Cradle-to-cradle, afval=voedsel, vertaling van Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things, ISBN 0-86547-587-3
- [169] Bokern A., 2009, Hype or a vision to the future ? Cradle to cradle in the Netherlands, DETAIL Green, 2009, 2, p. 4-5
- [170] Bouwen Nu, 2008, Project. 'Cradle to Cradle' gaat verder dan Duurzaam Bouwen: Nieuw kantoor levert energie en is al klaar voor hergebruik, Bouwen Nu, NLD, 2008/06/00, vol. 37, n° 3, p. 8-11.
- [171] Bouwsystemen, 2006, Duurzaam gebouwd ? Een inventarisatie van de gangbare bouwmethoden voor de woningbouw in Noord-Nederland, Bouwsystemen, 10 juli 2006, 72 blz.
- [172] Koster G., 2010, Cradle to Cradle: Een winst voor bouwbedrijven?, Eindwerk Nyenrode Business Universiteit, Nederland, 1 februari 2010, 85 blz.
- [173] Agentschap NL, website www.agentschapnl.nl
- [174] Leren voor duurzame ontwikkeling, website www.lerenvoorduurzameontwikkeling.nl
- [175] Cradle-to-cradle, website www.cradletocradle.nl
- [176] VROM, 2003, Duurzame Daadkracht. Actieprogramma duurzame ontwikkeling. Samenvatting. Ministerie van VROM, augustus 2003, 60 blz.

- [177] Provinciale Staten van Limburg, 2009, Beleidskader Duurzame Ontwikkeling / Cradle to Cradle, 2008-2011, 13 februari 2009, 42 blz.
- [178] VROM, 2008, Toekomst oneindig Laagland, Communities of practice als effectieve ondersteuning bij duurzame gebiedsontwikkeling, Vooruitblik, brochure, 7 blz.
- [179] Nederlands Instituut voor Ecologie, website www.nioo.knaw.nl
- [180] Bouwtrefpunt, 2010, C2C toolkit voor de woningbouw, website www.bouwtrefpunt.nl
- [181] Stichting Bouwresearch, website www.sbr.nl
- [182] Centrum Gietbouw, 2006, Marktaandeel gietbouw groeit ten koste van stapelbouw, GietbouwNieuws, Woningbouw, nummer 2, 2006, pag. 1, www.gietbouwcentrum.nl
- [183] IFD bouwen in Nederland, website www.ifd.nl
- [184] Stuurgroep Experimenten Volkshuisvesting (SEV), websites www.sev.nl en <http://www.sev-realisatie.nl/ifd/>.
- [185] SEV, 2004, A+ woningen, Rijenwoningen in Etten-Leur, IFD Factsheet, Woningbouw W1, Demonstratieproject Industrieel, Flexibel en Demontabel Bouwen, augustus 2004, 6 blz.
- [186] SEV, 2004, Het scharnier, Combinatiegebouw met scholen, kinderopvang en woningen te Hoogvliet, IFD Factsheet, Woningbouw W5, Demonstratieproject Industrieel, Flexibel en Demontabel Bouwen, augustus 2004, 6 blz.
- [187] SEV, 2007, Leren door demonstreren. De oogst van zeven jaar industrieel, flexibel en demontabel bouwen.

Lijst van bijlagen

Bijlage 1: Consultatiefiche voor experts

Bijlage 2: Lijst van gecontacteerde experts

Bijlage 3: Gedetailleerd overzicht van de resultaten voor de vrijstaande woning

Bijlage 4: Gedetailleerd overzicht van de resultaten voor de rijwoning

Bijlage 5: Gedetailleerd overzicht van de resultaten voor het appartement



Onderzoek naar mogelijke nieuwe bouwconcepten en het effect ervan op het gebruik van oppervlaktedelfstoffen

BESTEK VLA09-3.2

Voor

**VLAAMSE OVERHEID - DEPARTEMENT LEEFMILIEU, NATUUR EN ENERGIE
AFDELING LAND EN BODEMBESCHERMING, ONDERGROND EN
NATUURLIJKE RIJKDOMMEN (ALBON)**

Dienst Natuurlijke Rijkdommen

Bijlagen bij het eindrapport

Door

In samenwerking met

WTCB Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf 	VITO Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek 	KUL Katholieke Universiteit Leuven 
--	---	---

Bijlage 1 - Consultatiefiche

Expertconsultatie

Identificatie

<i>Naam en voornaam</i>		
<i>Organisatie</i>		
<i>Adres</i>		
<i>Telefoon</i>		
<i>E-mail</i>		
<i>Website van de organisatie</i>		
<i>Type expert</i>	Federatie / infopunt	
	Aannemer / bouwbedrijf	
	Architect	
	Bouwmaterialenproducent	
	Bouwmaterialenleverancier	
	Andere	

Bouwconcept “xxx”

- Belangrijkste **kenmerken** van het bouwconcept (opbouw, constructiemethode(n), technische eigenschappen, materiaalgebruik, duurzaamheid, ...).
- Belangrijkste **voordelen** van het bouwconcept in vergelijking met de traditionele woningbouw (vb. bijdrage van het bouwconcept tot de duurzaamheid van de woning).
- **Toepassingsmogelijkheden** van het bouwconcept voor de Vlaamse woningbouw met onderscheid tussen:
 - o eengezinswoningen;
 - o appartementen.

Dit deel is ter controle en/of aanvulling van de gegevens, die reeds opgenomen zijn in de beschrijvende fiche van het bouwconcept.

Huidig marktaandeel in Vlaanderen en in Noord-West Europa in vergelijking met de traditionele woningbouw

- **Huidig belang** van het bouwconcept voor de woningbouw **in Vlaanderen** (met onderscheid tussen eengezinswoningen en appartementen). Waarom is het bouwconcept belangrijk voor de Vlaamse woningbouw (kwalitatieve beoordeling)? Wat kan het bouwconcept bijdragen aan de Vlaamse woningbouw?
- **Huidig marktaandeel** van het bouwconcept **in Vlaanderen** (concrete cijfergegevens; indien niet beschikbaar voor Vlaanderen, dan marktaandeel in België) in vergelijking met de traditionele woningbouw met onderscheid tussen:
 - o eengezinswoningen (opgedeeld per type woning);
 - o appartementen (onderscheid tussen middelhoogbouw en hoogbouw).
- **Huidig marktaandeel** van het bouwconcept **in Noord-West Europa** (met name Scandinavië, Nederland, Frankrijk, Duitsland, Oostenrijk en Groot-Brittannië;

concrete cijfergegevens, voor zover beschikbaar), indien mogelijk met onderscheid tussen:

- o eengezinswoningen (opgedeeld per type woning);
- o appartementen (onderscheid tussen middelhoogbouw en hoogbouw).

Toekomstig marktaandeel in Vlaanderen in vergelijking met de traditionele woningbouw

- **Groeipotentieel** van het bouwconcept wat betreft de woningbouw in Vlaanderen voor de komende 10 jaar (2020) (kwalitatieve beoordeling). Is er een mogelijkheid tot groei en verhoogde toepassing van het bouwconcept in de Vlaamse woningbouw in de volgende 10 jaar (met onderscheid tussen eengezinswoningen en appartementen)?
- **Opportunities** om de markt voor het bouwconcept te stimuleren (vb. beleidsmaatregelen, reclamecampagnes van de overheid, subsidies, isolatiereglementering, ...).
- Mogelijke **knelpunten en belemmeringen** voor de groei van het marktaandeel van het bouwconcept (vb. vooroordelen consument, regelgeving, ...).
- **Randvoorwaarden** voor de groei van het marktaandeel van het bouwconcept (vb. markt, consumenten, woningbouw, beleid, ...).
- **Reële verwachting** in verband met het **marktaandeel** van het bouwconcept voor de komende 10 jaar (2020) (concrete cijfers):
 - o inkrimping;
 - o status quo;
 - o lichte groei;
 - o sterke groei.
- **Redenen** voor de verwachte evolutie van het marktaandeel van het bouwconcept voor de komende 10 jaar (2020). Waarom een inkrimping / groei?
- **Andere opmerkingen** i.v.m. het marktaandeel van het bouwconcept in Vlaanderen voor de komende 10 jaar (2020).

Concrete voorbeelden van woningen

- **Concrete voorbeelden van woningen in Vlaanderen** (eventueel ook in België of het buitenland), die volgens het bouwconcept opgebouwd zijn, met onderscheid tussen:
 - o eengezinswoningen;
 - o appartementen.
- **Concrete informatie** over de voorbeeldwoningen, die direct bruikbaar is voor de analyse:
 - o locatie van de woning;
 - o foto's tijdens de bouw en na aflevering van de woning;
 - o grondplannen gelijkvloers en verdieping;
 - o detailgegevens over gebruikte materialen en hun hoeveelheid;
 - o beschikbare LCA studies op gebouwniveau;
 - o ...

Bijlage 2 - Lijst van gecontacteerde experts

Concept	Expert	Type expert	Telefoon
Houtskelet	Woodforum (Koen De Mesel)	Infocentrum	03/218.10.60
	Dewaele (Johan Dheedene)	Bouwbedrijf	015 41 91 97
	Frank Verplancken	Architect	
Bio-ecologisch	VIBE (Peter Thoelen)	Kenniscentrum	03/218.10.60
	Ecomat	Materialenhandelaar	03/384.19.07
	Casa Prima (Jurgen Temmerman)	Bouwbedrijf	015 41 91 97 0479/63.39.26
	Architecten Atelier Archi4 (Marc Depreeuw)	Architect	03/236.68.54
Maximale recyclage	EPEA (Hans Havers)	C2C in NI	+31 (0)88 00 87 101
	Desso (Erik De Bisschop)	Producent – C2C	02 463 44 85
	Sustenuto (Dirk Leroy)	Certificatie C2C	02/520.12.41 0495.59.45.11
	OVAM (Peter Van Acker)	Overheid – afval	015 / 284 420
IFD	SEV (Hans Vos)	IFD programma	+31 (0)10-2825082
	Enter (Fien Van den Abeele)	Toegankelijkheid	011 26 50 30
	De Leefboom (Hendrik Leurs)	Projectontwikkelaar, Docent	09/355 99 58 0495/522.800
	WIT architecten (Guido Geenen)	Architect	016.413.414
	Raymond Kenis	Architect	016 23 34 01
Staalskelet	Staalinfocentrum (Jo Naessens)	Infocentrum	02/509.15.01
	Lobon	Bouwbedrijf / promotor	03/666.83.69
	Arcelor (Christine Etzenbach)	Producent	04/236.88.20

Bijlage 3 - Gedetailleerd overzicht van de resultaten voor de vrijstaande woning

1. Milieu-impact

1.1. Vergelijking K32 en K42

Ecopunten per m ² en per jaar	Carcinogens	Resp. organics	Resp. inorganics	Climate change	Radiation	Ozone layer	Ecotoxicity	Acidification/ Eutrophication	Land use	Minerals	Fossil fuels	totaal
REF_K32	0.0107	0.0003	0.1409	0.0294	0.0018	0.0001	0.0127	0.0131	0.0149	0.0059	1.3785	1.6082
REF_K42	0.0087	0.0003	0.1397	0.0291	0.0018	0.0001	0.0129	0.0142	0.0156	0.0060	1.5944	1.8228

Tab. 1: Vergelijking van de totale milieu-impact per milieu-indicator van de vrijstaande woning met K42 ten opzichte van K32 (ecopunten per m² vloer en per jaar)

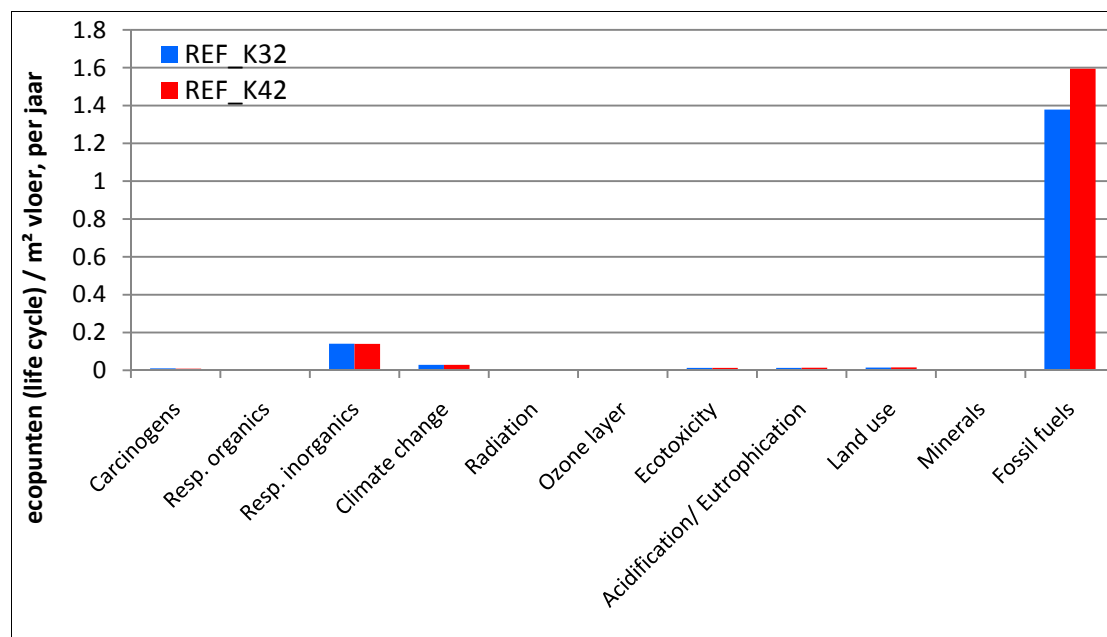


Fig. 1: Vergelijking van de totale milieu-impact per milieu-indicator van de vrijstaande woning met K42 ten opzichte van K32 (ecopunten per m² vloer en per jaar)

Ecopunten per m ² en per jaar	totaal initieel	totaal onderhoud en vervangingen	totaal energie	totaal EOL	Totaal levenscyclus
REF_K42	0.2250	0.2407	1.4014	-0.0443	1.8228
REF_K32	0.2354	0.2404	1.1788	-0.0464	1.6082

Tab. 2: Vergelijking van de totale milieu-impact van de vrijstaande woning met K42 ten opzichte van K32, met verdeling in levenscyclusfasen (ecopunten per m² vloer en per jaar)

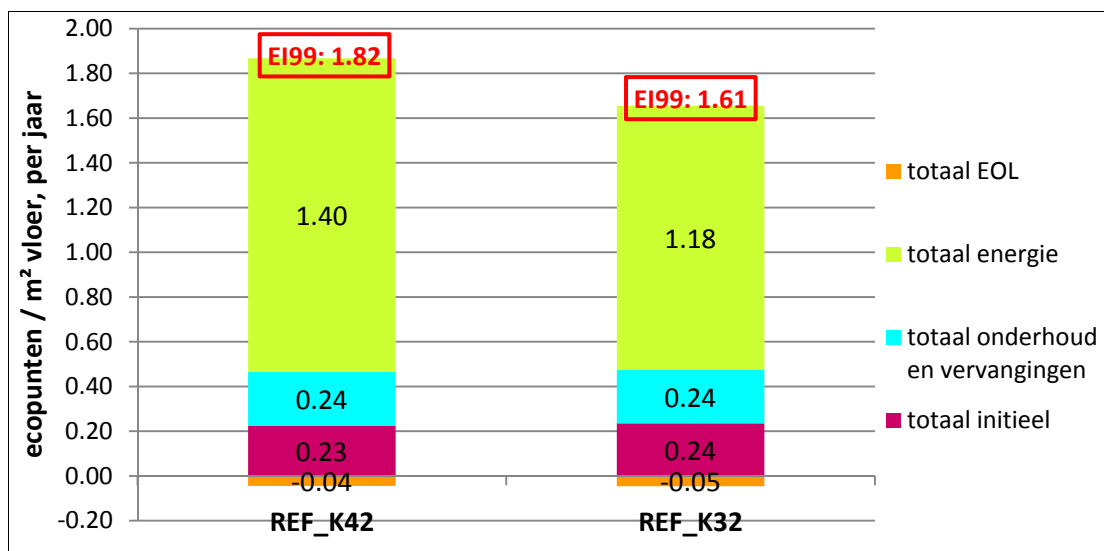


Fig. 2: Vergelijking van de totale milieu-impact van de vrijstaande woning met K42 ten opzichte van K32, met verdeling in levenscyclusfasen (ecopunten per m² vloer en per jaar)

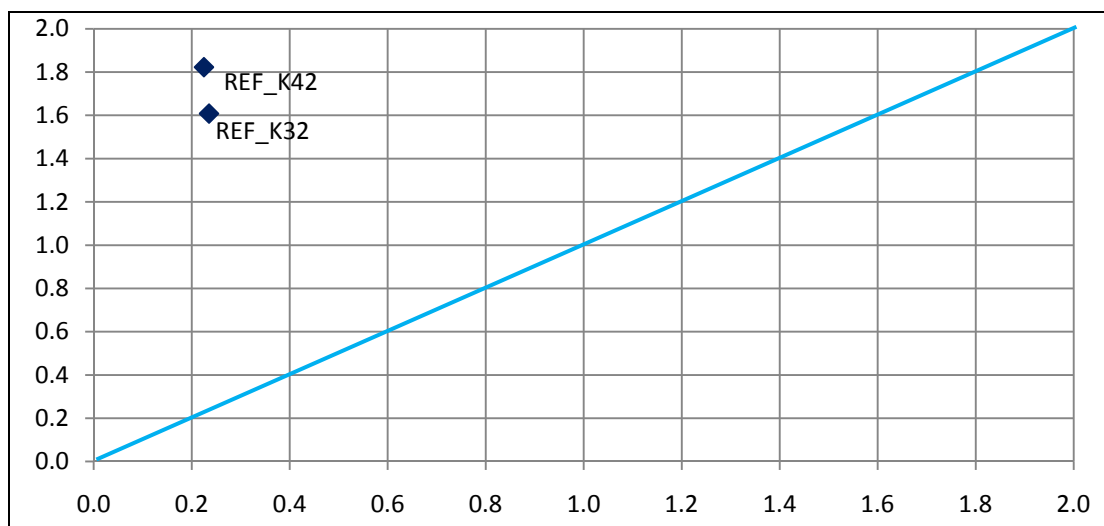


Fig. 3: Vergelijking initiële milieu-impact versus levenscyclus milieu-impact van de vrijstaande woning (ecopunten per m² vloer en per jaar)

Ecopunten per m² en per jaar	vloer op volle grond	fundering	buitenmuur	dragende binnenmuur	niet-dragende binnenmuur	verdiepingsvloer	hellend dak	ramen	garagepoort	binnendeuren
REF_K32	0.1627	0.0051	0.0392	0.0123	0.0340	0.1134	0.0381	0.0072	0.0001	0.0001
REF_K42	0.1578	0.0051	0.0382	0.0124	0.0341	0.1134	0.0351	0.0072	0.0001	0.0001

Tab. 3: Vergelijking voor de vrijstaande woning K42 en K32 van de milieu-impact van de bouwelementen op woningniveau (ecopunten per m² vloer en per jaar)

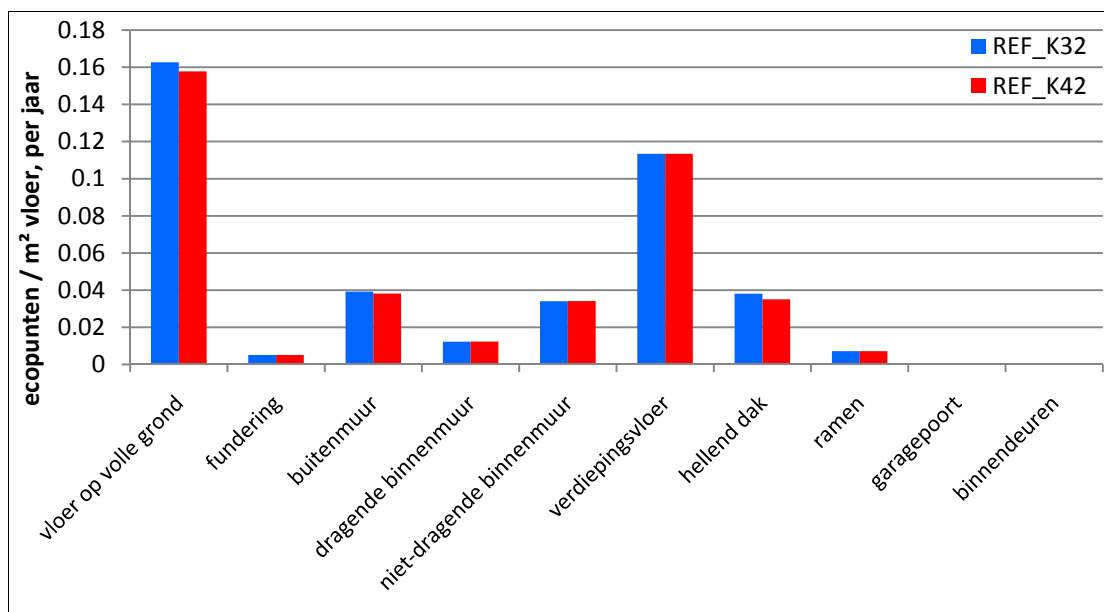


Fig. 4: Vergelijking voor de vrijstaande woning K42 en K32 van de milieu-impact van de bouwelementen op woningniveau (ecopunten per m² vloer en per jaar)

1.1. Vergelijking bouwconcepten

1.1.1. Globale milieu-impact

Ecopunten per m² voor volledige levenscyclus	Carcinogens	Resp. organics	Resp. inorganics	Climate change	Radiation	Ozone layer	Ecotoxicity	Acidification/ Eutrophication	Land use	Minerals	Fossil fuels	totaal
REF K32	0.9587	0.0250	12.6817	2.6464	0.1609	0.0084	1.1398	1.1818	1.3406	0.5291	124.0666	144.7391
houtskelet	1.0025	0.0138	7.1526	1.6161	0.1578	0.0152	0.9742	0.9972	2.5120	0.4075	115.3675	130.2165
bio-ecologisch	0.8263	0.0240	8.8003	2.0529	0.1697	0.0082	1.2159	1.1108	3.5066	0.4426	123.8922	142.0494
metaal	0.7832	0.0184	14.5102	2.5042	0.1541	0.0095	3.2122	1.1243	1.3484	0.4808	116.5284	140.6737
metaal_variant	1.0146	0.0210	15.5399	2.9366	0.1640	0.0096	3.0779	1.2262	1.7385	0.5010	118.2227	144.4520
max. recyclage	1.1526	0.0295	12.7990	4.5030	0.2406	0.0094	1.7105	1.5875	1.6789	0.5443	130.9196	155.1750
IFD	1.4840	0.0383	18.7936	3.4832	0.2608	0.0135	1.8242	1.7881	2.1057	0.8836	202.7006	233.3755

Tab. 4: Vergelijking van de milieu-impact per milieu-indicator voor de vrijstaande woning (ecopunten per m² vloer voor de volledige levensduur)

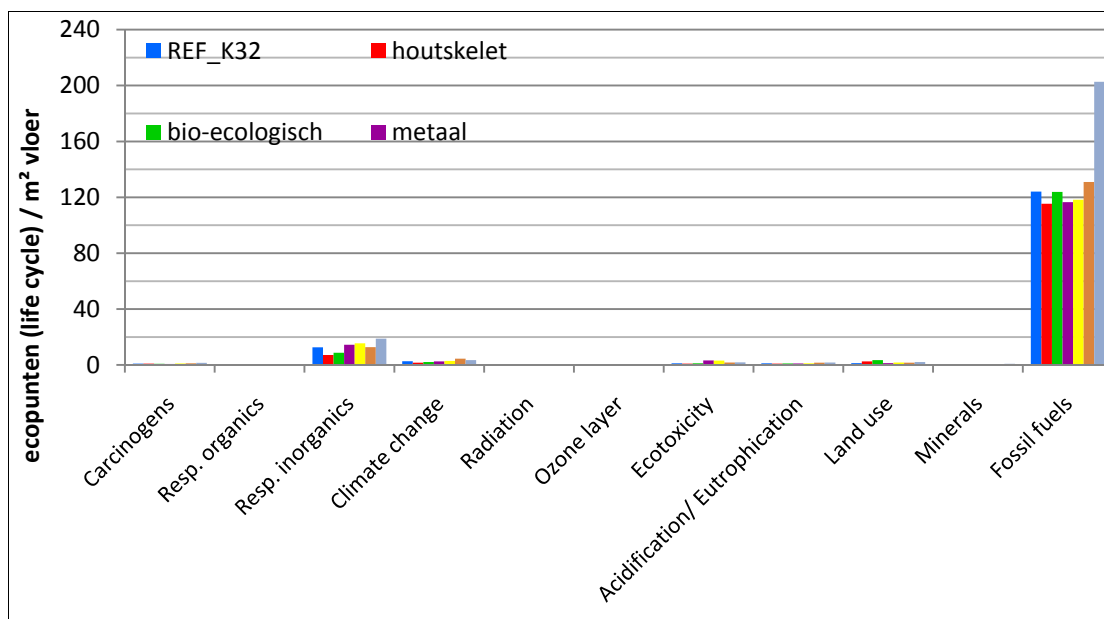


Fig. 5: Vergelijking van de milieu-impact per milieu-indicator voor de vrijstaande woning (ecopunten per m² vloer voor de volledige levensduur)

Ecopunten per m² per jaar	Carcinogens	Resp. organics	Resp. inorganics	Climate change	Radiation	Ozone layer	Ecotoxicity	Acidification/Eutrophication	Land use	Minerals	Fossil fuels	totaal
REF K32	0.0107	0.0003	0.1409	0.0294	0.0018	0.0001	0.0127	0.0131	0.0149	0.0059	1.3785	1.6082
houtskelet	0.0111	0.0002	0.0795	0.0180	0.0018	0.0002	0.0108	0.0111	0.0279	0.0045	1.2819	1.4468
bio-ecologisch	0.0092	0.0003	0.0978	0.0228	0.0019	0.0001	0.0135	0.0123	0.0390	0.0049	1.3766	1.5783
metaal	0.0087	0.0002	0.1612	0.0278	0.0017	0.0001	0.0357	0.0125	0.0150	0.0053	1.2948	1.5630
metaal_variant	0.0113	0.0002	0.1727	0.0326	0.0018	0.0001	0.0342	0.0136	0.0193	0.0056	1.3136	1.6050
max. recyclage	0.0128	0.0003	0.1422	0.0500	0.0027	0.0001	0.0190	0.0176	0.0187	0.0060	1.4547	1.7242
IFD	0.0099	0.0003	0.1253	0.0232	0.0017	0.0001	0.0122	0.0119	0.0140	0.0059	1.3513	1.5558

Tab. 5: Vergelijking van de milieu-impact per milieu-indicator voor de vrijstaande woning (ecopunten per m² vloer en per jaar)

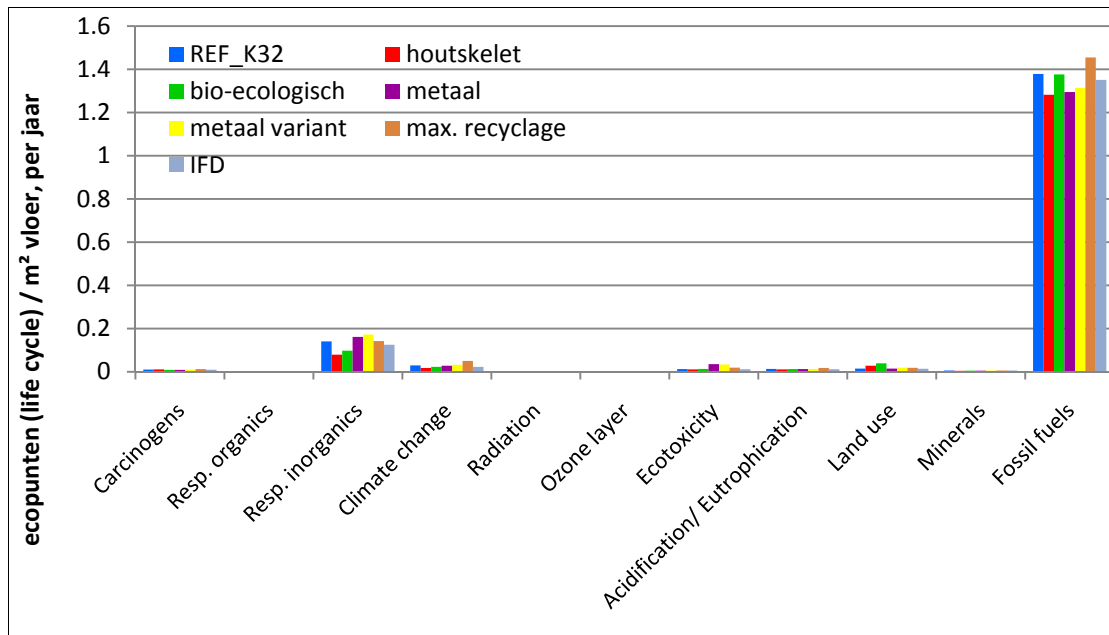


Fig. 6: Vergelijking van de milieu-impact per milieu-indicator voor de vrijstaande woning (ecopunten per m² vloer en per jaar)

Ecopunten per m² en per jaar	totaal initieel	totaal onderhoud en vervangingen	totaal energie	totaal EOL	Totaal levenscyclus
REF_K32	0.2354	0.2404	1.1788	-0.0464	1.6082
houtskelet	0.2191	0.1341	1.1900	-0.0963	1.4468
bio-ecologisch	0.2052	0.2813	1.1865	-0.0948	1.5783
metaal	0.3072	0.2532	1.1624	-0.1597	1.5630
metaal_variant	0.3309	0.2905	1.1494	-0.1657	1.6050
max. recyclage	0.1728	0.3050	1.1776	0.0687	1.7242
IFD	0.1470	0.2654	1.1779	-0.0344	1.5558

Tab. 6: Totale milieu-impact voor de vrijstaande woning, met verdeling in levenscyclusfasen (ecopunten per m² vloer en per jaar)

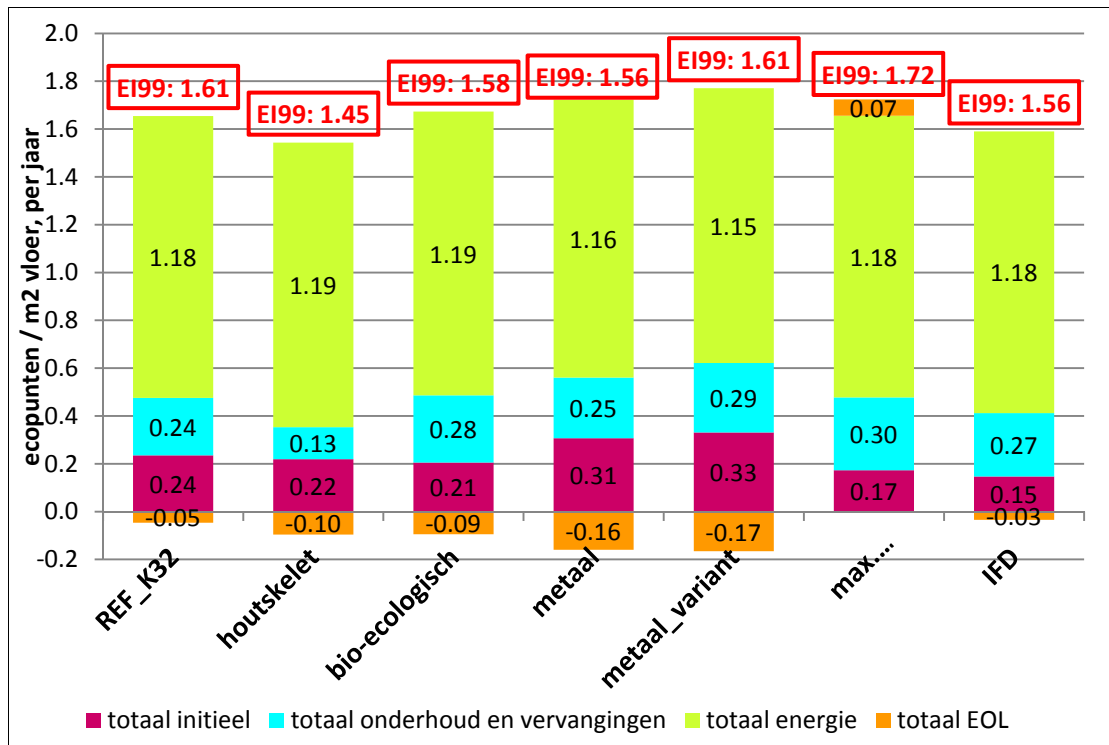


Fig. 7: Totale milieu-impact voor de vrijstaande woning, met verdeling in levenscyclusfasen (ecopunten per m² vloer en per jaar)

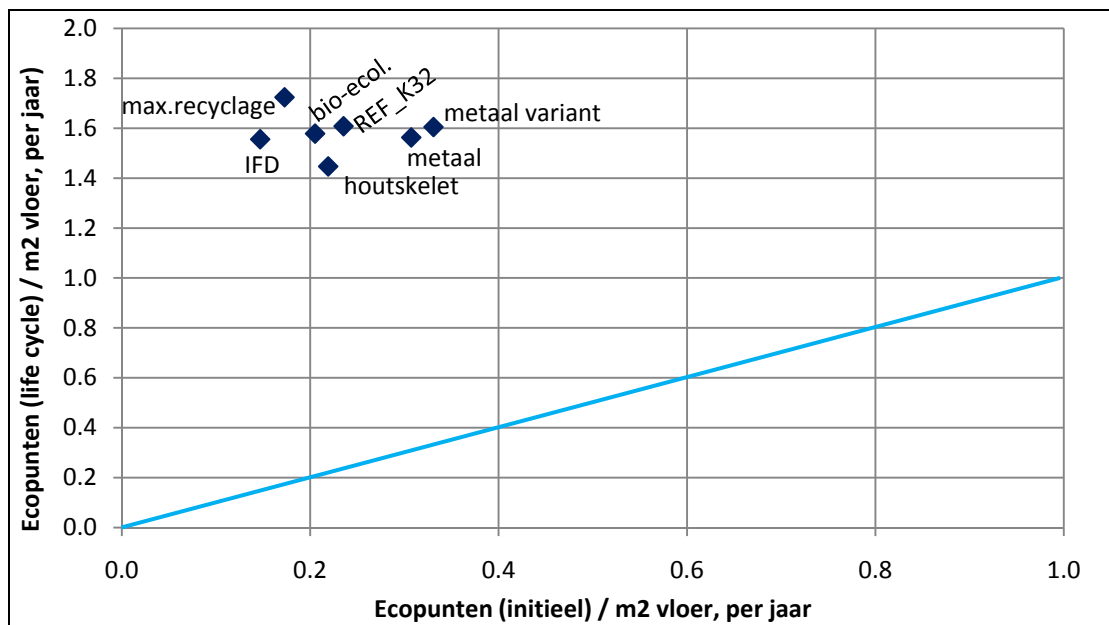


Fig. 8: Vergelijking initiële milieu-impact versus levenscyclus milieu-impact van de vrijstaande woning (ecopunten per m² vloer en per jaar)

1.1.2. Milieu-impact van de bouwelementen

Ecopunten per m ² en per jaar	vloer op volle grond	fundering	buitenmuur	dragende binnenmuur	niet-dragende binnenmuur	verdiepingsvloer	hellend dak	ramen	garagepoort	binnendeuren
REF_K32	0.1627	0.0051	0.0392	0.0123	0.0340	0.1134	0.0381	0.0072	0.0001	0.0001
houtskelet	0.0647	0.0051	0.0315	0.0145	0.0351	0.0315	0.0606	0.0048	0.0001	0.0001
bio-ecologisch	0.1273	0.0031	0.0374	0.0233	0.0291	0.0975	0.0609	0.0048	0.0001	0.0001
metaal	0.1593	0.0051	0.1026	0.0125	0.0428	0.0319	0.0295	0.0072	0.0001	0.0001
metaal_variant	0.1587	0.0051	0.0497	0.0125	0.0428	0.0319	0.1367	0.0072	0.0001	0.0001
max. recyclage	0.1964	0.0412	0.0349	0.0132	0.0276	0.1295	0.0590	0.0193	0.0003	0.0001
IFD	0.1464	0.0031	0.0257	0.0000	0.0523	0.0985	0.0348	0.0074	0.0000	0.0001

Tab. 7: Vergelijking voor de vrijstaande woning van de milieu-impact van de bouwelementen op woningniveau voor de verschillende bouwconcepten (ecopunten per m² vloer en per jaar)

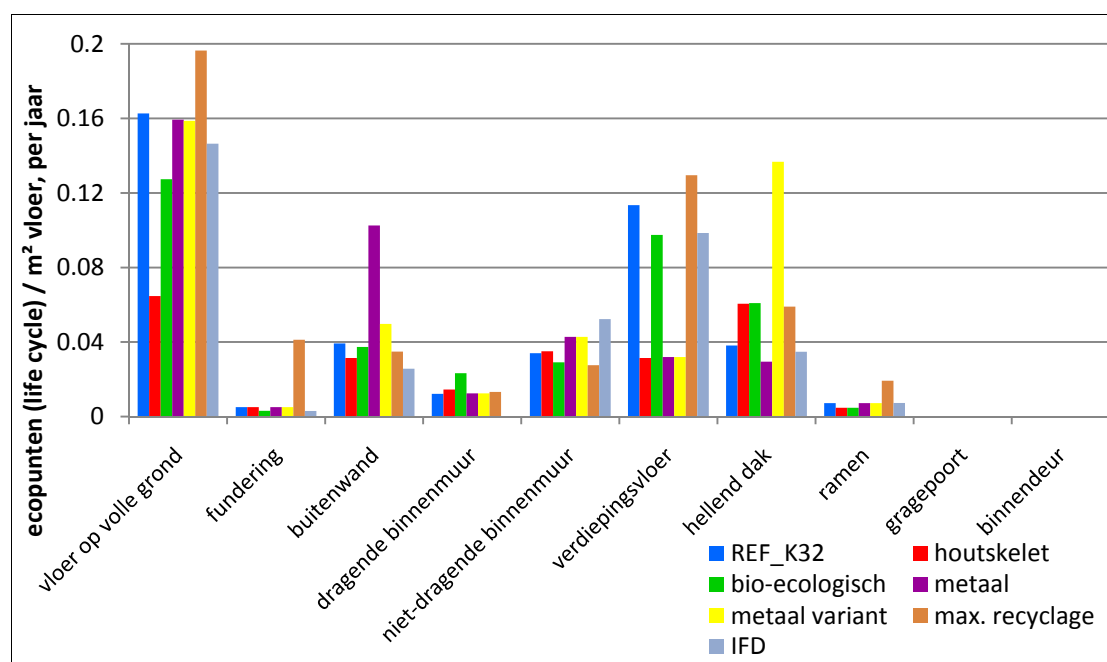


Fig. 9: Vergelijking voor de vrijstaande woning van de milieu-impact van de bouwelementen op woningniveau voor de verschillende bouwconcepten (ecopunten per m² vloer en per jaar)

1.1.3. Milieu-impact van de buitenwand

ecopoints/FU	initieel	onderhoud & vervangingen	EOL
dragend metselwerk	0.0192	0.0000	0.0011
spouwankers	0.0007	0.0000	-0.0007
isolatieclips	0.0000	0.0000	0.0000
gemetste gevelsteen	0.0203	0.0001	0.0032
spouwisolatie (RW 10 cm)	0.0070	0.0000	0.0005
gipspleister	0.0007	0.0031	0.0004
verf	0.0005	0.0043	0.0000

Tab. 8: Detailanalyse milieu-impact van 1m² buitenwand van de referentie vrijstaande woning (ecopunten per jaar)

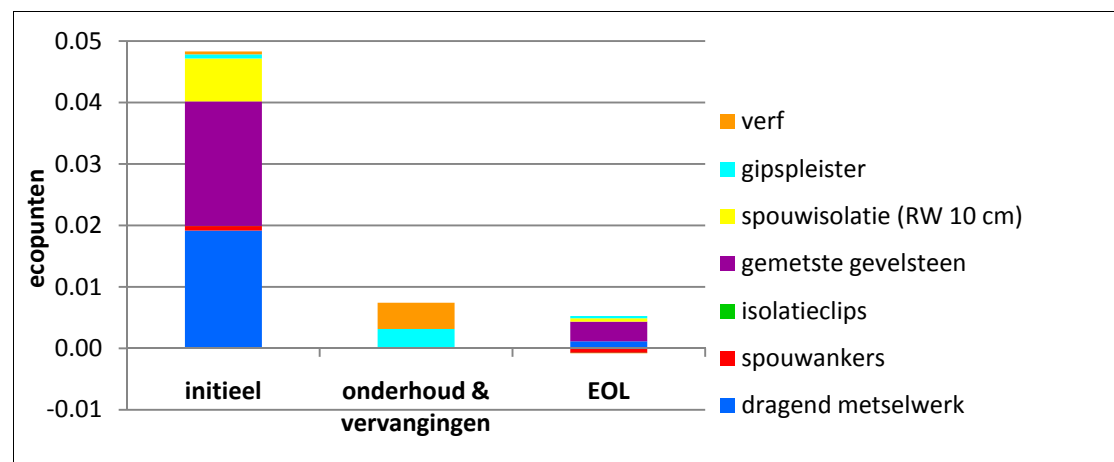


Fig. 10: Detailanalyse milieu-impact van 1m² buitenwand van de referentie vrijstaande woning (ecopunten per jaar)

ecopoints/FU	initieel	onderhoud & vervangingen	EOL
gemetste onderregel	0.0008	0.0000	0.0000
behandeld houtskelet	0.0323	0.0000	-0.0285
isolatie tussen skelet (RW 12 cm)	0.0052	0.0000	0.0004
OSB	0.0083	0.0000	-0.0001
houten gevelbekleding	0.0103	0.0100	-0.0075
onderstructuur gevelbekleding	0.0014	0.0014	-0.0010
waterscherf	0.0007	0.0000	-0.0006
gipskartonplaat	0.0032	0.0067	-0.0001
onderstructuur binnenafwerking	0.0013	0.0005	-0.0011
verf	0.0005	0.0043	0.0000
dampscherf	0.0006	0.0000	-0.0005

Tab. 9: Detailanalyse milieu-impact van 1m² buitenwand van de houtskelet vrijstaande woning (ecopunten per jaar)

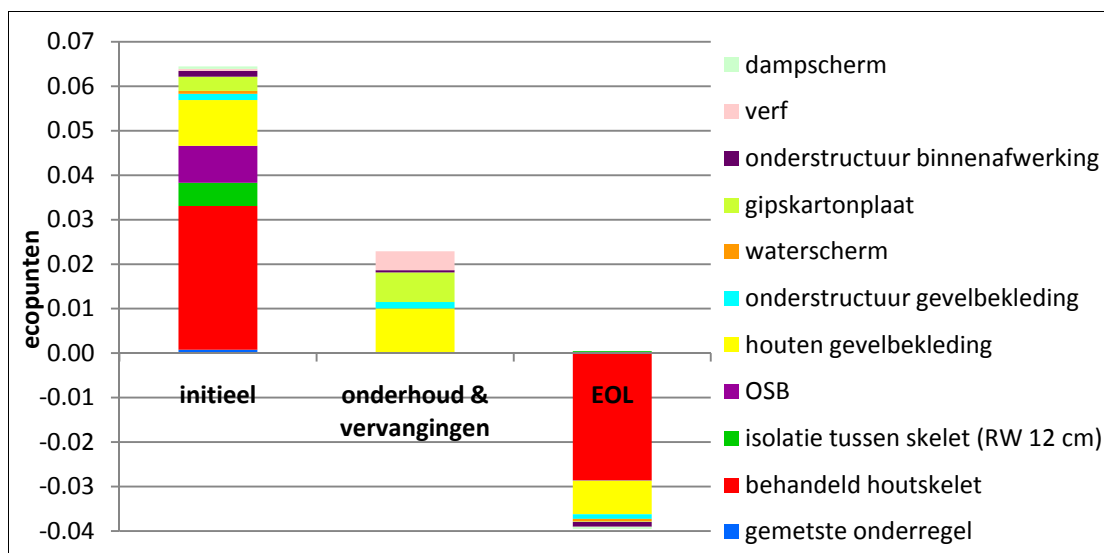


Fig. 11: Detailanalyse milieu-impact van 1m² buitenwand van de houtskelet vrijstaande woning (ecopunten per jaar)

ecopoints/FU	initieel	onderhoud & vervangingen	EOL
onderregel kalkzandsteen	0.0005	0.0000	0.0002
onbehandeld houtskelet	0.0123	0.0000	-0.0095
isolatie tussen skelet (Cell 14 cm)	0.0008	0.0000	0.0004
isolerende houtvezelplaat	0.0005	0.0000	-0.0001
onbehandelde houten gevelbekleding	0.0100	0.0147	-0.0073
onderstructuur gevelbekleding	0.0013	0.0014	-0.0010
gipsvezelplaat	0.0037	0.0081	0.0000
houtvezelplaat (dampscherm)	0.0053	0.0107	-0.0003
onderstructuur binnenafwerking	0.0013	0.0005	-0.0010
verf	0.0005	0.0044	0.0000

Tab. 10: Detailanalyse milieu-impact van 1m² buitenwand van de bio-ecologische vrijstaande woning (ecopunten per jaar)

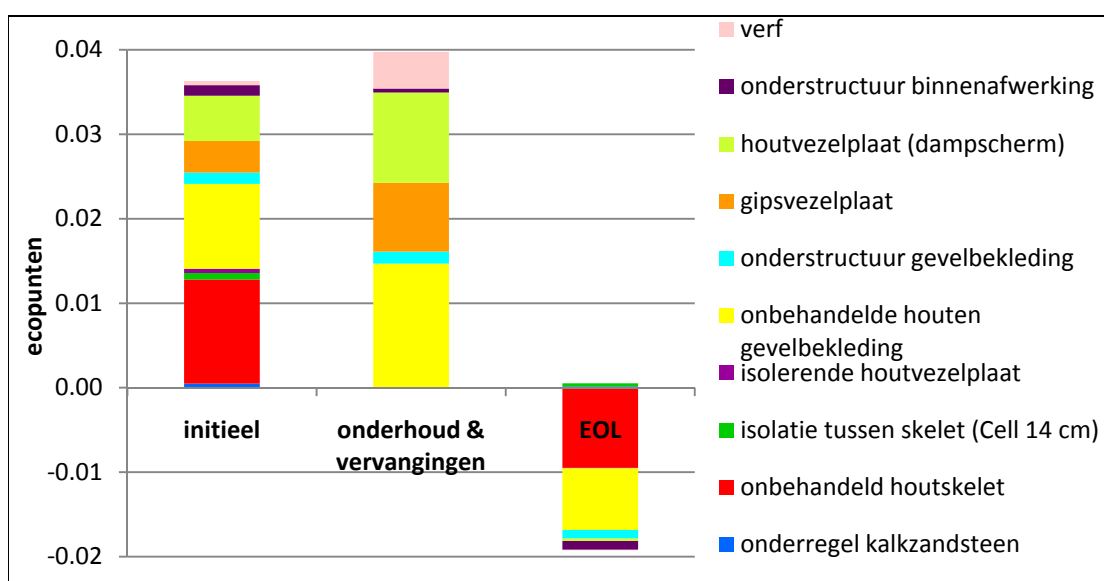


Fig. 12: Detailanalyse milieu-impact van 1m² buitenwand van de bio-ecologische vrijstaande woning (ecopunten per jaar)

ecopoints/FU	initieel	onderhoud & vervangingen	EOL
dragende staalskelet	0.0246	0.0000	-0.0238
isolatie tussen skelet (RW 20 cm)	0.0109	0.0000	0.0008
isolerende houtvezelplaat	0.0005	0.0000	-0.0001
zinken platen gevelbekleding	0.0849	0.0871	-0.0497
secundaire structuur	0.0076	0.0006	-0.0073
waterbestendige houtvezelplaat	0.0073	0.0000	-0.0001
gipskartonplaat	0.0032	0.0068	-0.0001
verf	0.0005	0.0043	0.0000

Tab. 11: Detailanalyse milieu-impact van 1m² buitenwand van de basisoplossing van de metaalskeletbouw vrijstaande woning – zinken beplating (ecopunten per jaar)

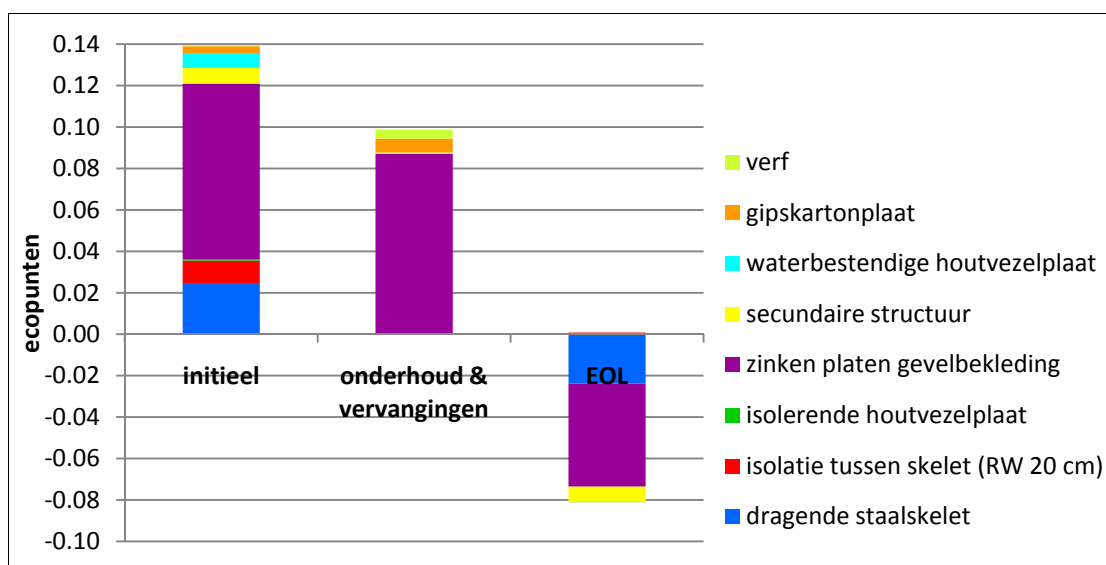


Fig. 13: Detailanalyse milieu-impact van 1m² buitenwand van de basisoplossing van de metaalskeletbouw vrijstaande woning – zinken beplating (ecopunten per jaar)

ecopoints/FU	initieel	onderhoud & vervangingen	EOL
dragende staalskelet	0.0328	0.0000	-0.0318
isolatie tussen skelet (RW 15 cm)	0.0000	0.0000	0.0000
isolerende houtvezelplaat	0.0005	0.0000	-0.0001
crepi buitenpleister	0.0085	0.0264	0.0018
extra isolatie (EPS 5 cm)	0.0048	0.0110	0.0007
waterbestendige houtvezelplaat	0.0072	0.0000	-0.0001
gipskartonplaat	0.0032	0.0066	-0.0001
verf	0.0005	0.0043	0.0000

Tab. 12: Detailanalyse milieu-impact van 1m² buitenwand van de variant van de metaalskeletbouw vrijstaande woning – buitenpleister op isolatie (ecopunten per jaar)

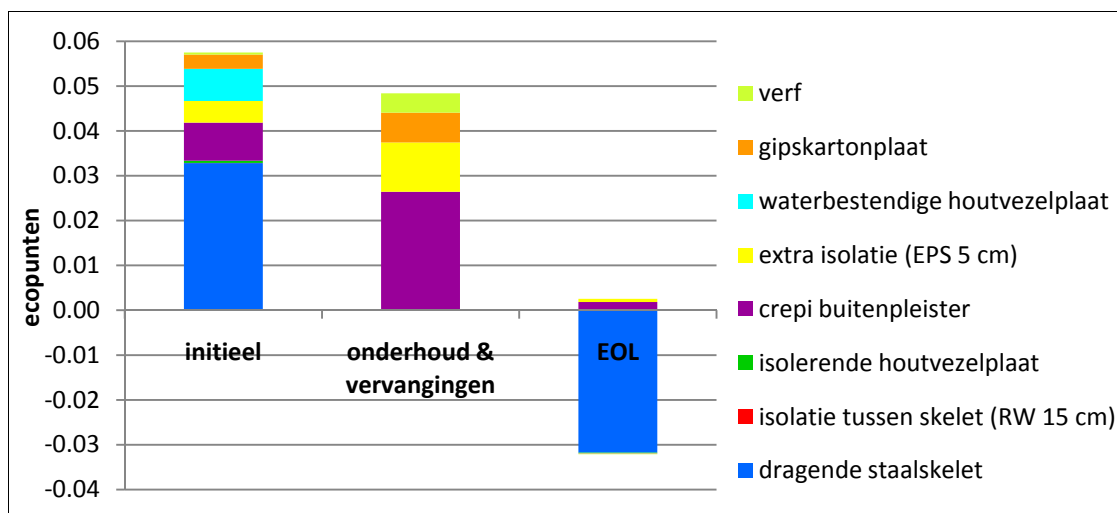


Fig. 14: Detailanalyse milieu-impact van 1m² buitenwand van de variant van de metaalskeletbouw vrijstaande woning – buitenpleister op isolatie (ecopunten per jaar)

ecopoints/FU	initieel	onderhoud & vervangingen	EOL
gerecycleerde snelbouwbaksteen	0.0167	0.0000	0.0025
gerecycleerde spouwankers	0.0000	0.0000	0.0000
gerecycleerde isolatieclips	0.0000	0.0000	0.0000
gerecycleerde handvorm gevelsteen	0.0169	0.0001	0.0051
spouwisolatie (gerecycleerde RW 14 cm)	0.0006	0.0000	0.0009
gerecycleerde gipspleister	0.0002	0.0043	0.0015
verf	0.0005	0.0044	0.0000

Tab. 13: Detailanalyse milieu-impact van 1m² buitenwand van de vrijstaande woning met maximale recyclage (ecopunten per jaar)

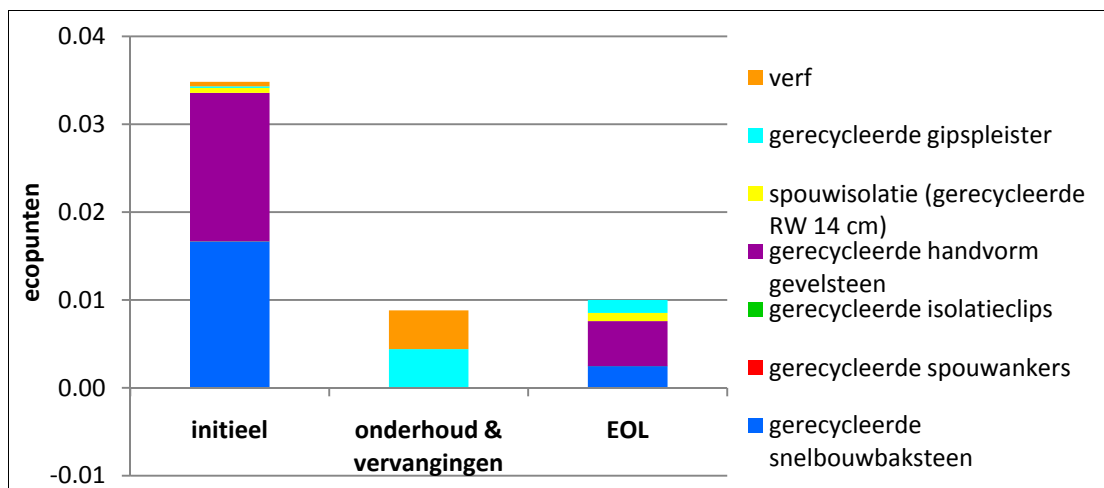


Fig. 15: Detailanalyse milieu-impact van 1m² buitenwand van de vrijstaande woning met maximale recyclage (ecopunten per jaar)

ecopoints/FU	initieel	onderhoud & vervangingen	EOL
in situ beton	0.0159	0.0000	-0.0035
spouwankers	0.0004	0.0000	-0.0004
isolatieclips	0.0000	0.0000	0.0000
gemetste gevelsteen	0.0122	0.0001	0.0019
spouwisolatie (RW 11 cm)	0.0046	0.0000	0.0004
gipspleister	0.0004	0.0027	0.0002
verf	0.0003	0.0043	0.0000

Tab. 14: Detailanalyse milieu-impact van 1m² buitenwand van de IFD vrijstaande woning (ecopunten per jaar)

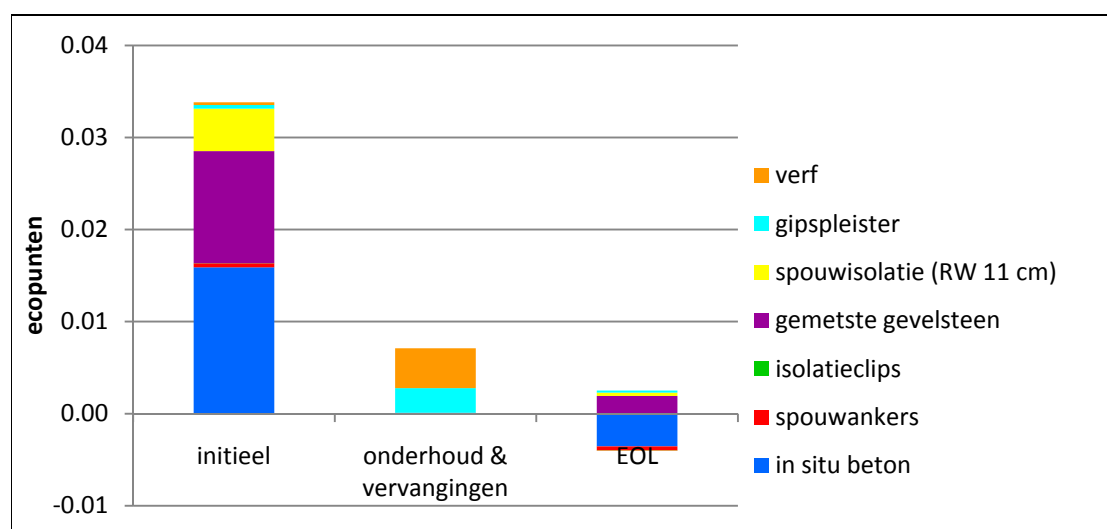


Fig. 16: Detailanalyse milieu-impact van 1m² buitenwand van de IFD vrijstaande woning (ecopunten per jaar)

2. Verbruik van oppervlaktedelfstoffen

2.1. Overzicht verbruik van oppervlaktedelfstoffen op woningniveau

kg per m ² en per jaar	Zand	Klei en leem	Grind en grove granulaten
REF_K32	1.3586	4.8702	-2.6073
houtskelet	0.0297	0.6718	0.4716
bio-ecologisch	0.4175	0.1586	0.4454
metaal	0.3428	0.2793	0.2780
metaal_variant	1.0978	0.3717	0.5718
max. recyclage	0.0487	0.2294	1.6607
IFD	0.4138	0.5627	-0.0636

Tab. 15: Vergelijking voor de vrijstaande woning van het totale verbruik van oppervlaktedelfstoffen voor de verschillende bouwconcepten (kg per m² vloer per jaar)

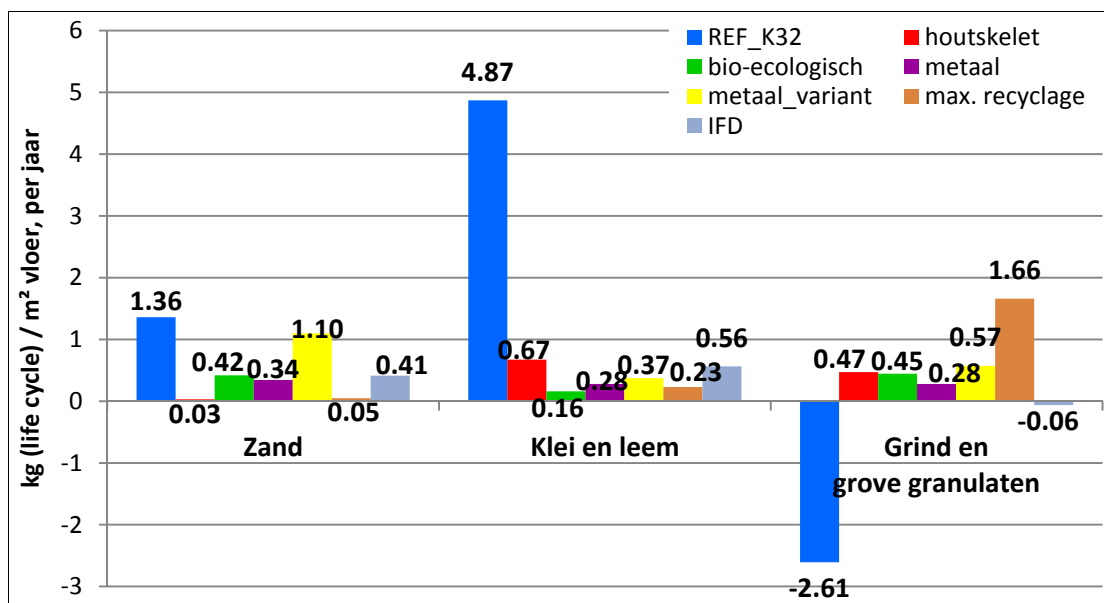


Fig. 17: Vergelijking voor de vrijstaande woning van het totale verbruik van oppervlaktedelfstoffen voor de verschillende bouwconcepten (kg per m² vloer per jaar)

kg per m² en per jaar	initieel			onderhoud en vervanging			EOL		
	Zand	Klei	Grind	Zand	Klei	Grind	Zand	Klei	Grind
REF_K32	2.2550	5.0989	6.0832	0.6304	1.2707	-0.3086	-1.5268	-1.4994	-8.3820
houtskelet	0.9252	0.7570	4.0999	0.0139	0.1406	0.3542	-0.9094	-0.2259	-3.9825
bio-ecologisch	0.8989	1.1293	1.8753	0.0160	0.0458	0.5084	-0.4974	-1.0165	-1.9383
metaal	2.1166	0.2918	3.9298	0.0450	0.0984	0.3610	-1.8188	-0.1109	-4.0128
metaal_variant	2.0159	0.3233	4.0973	0.5493	0.1616	0.5897	-1.4675	-0.1132	-4.1152
max. recyclage	0.0225	0.5566	1.8104	0.0330	0.0690	0.4873	-0.0067	-0.1629	-0.6370
IFD	1.0547	1.5040	4.9832	0.2029	0.4518	0.3969	-0.8438	-0.4457	-5.4437

Tab. 16: Vergelijking voor de vrijstaande woning van het totale verbruik van zand, met opdeling in levenscyclusfasen (kg per m² vloer per jaar)

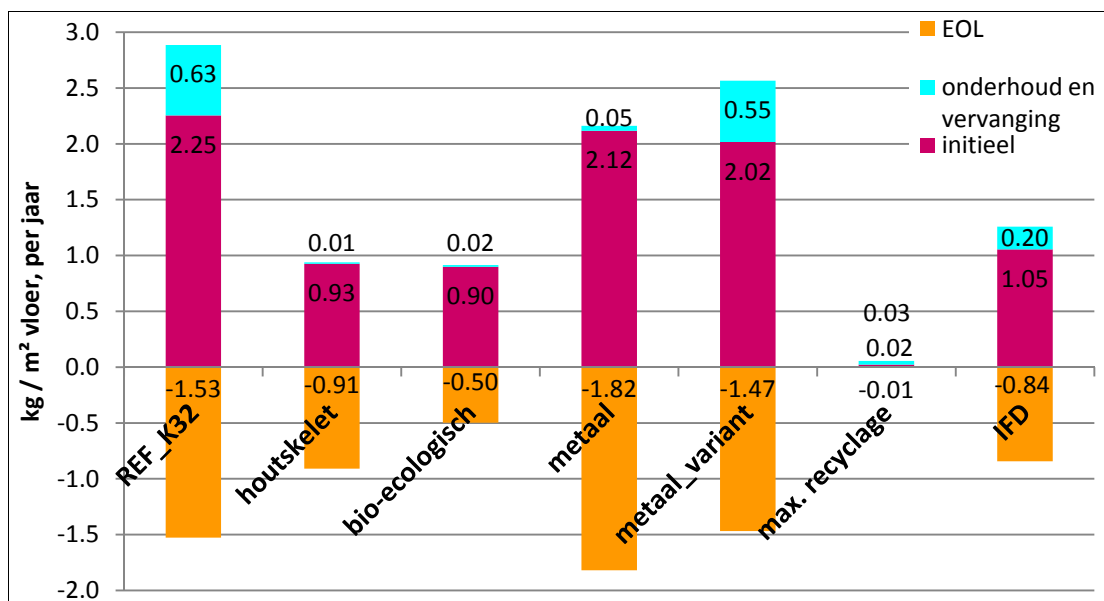


Fig. 18: Vergelijking voor de vrijstaande woning van het totale verbruik van zand, met opdeling in levenscyclusfasen (kg per m² vloer per jaar)

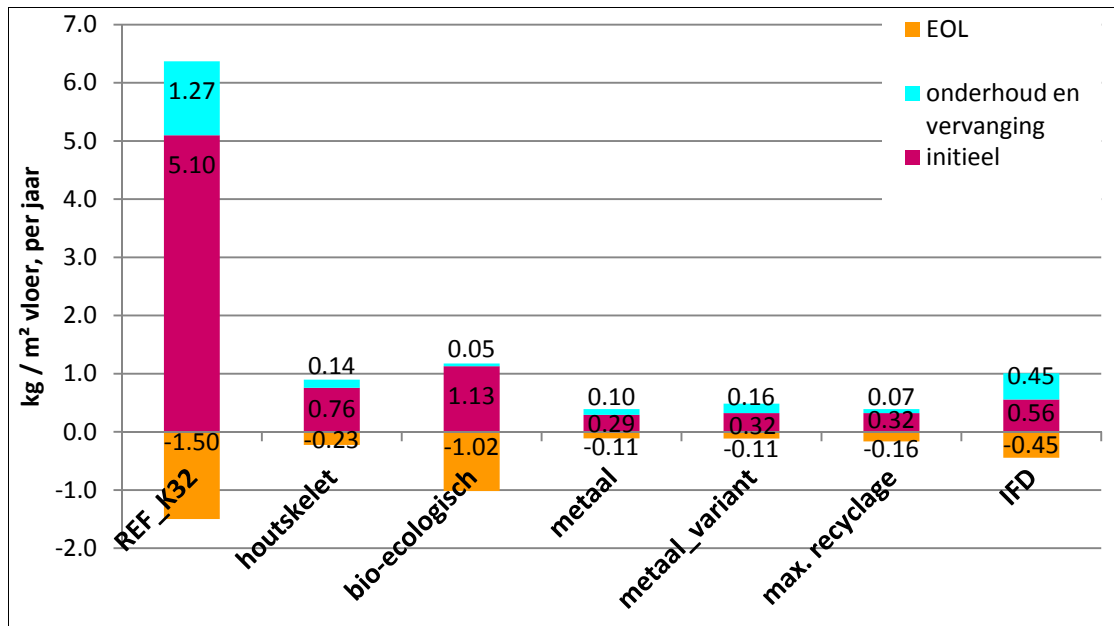


Fig. 19: Vergelijking voor de vrijstaande woning van het totale verbruik van klei en leem, met opdeling in levenscyclustfasen (kg per m² vloer per jaar)

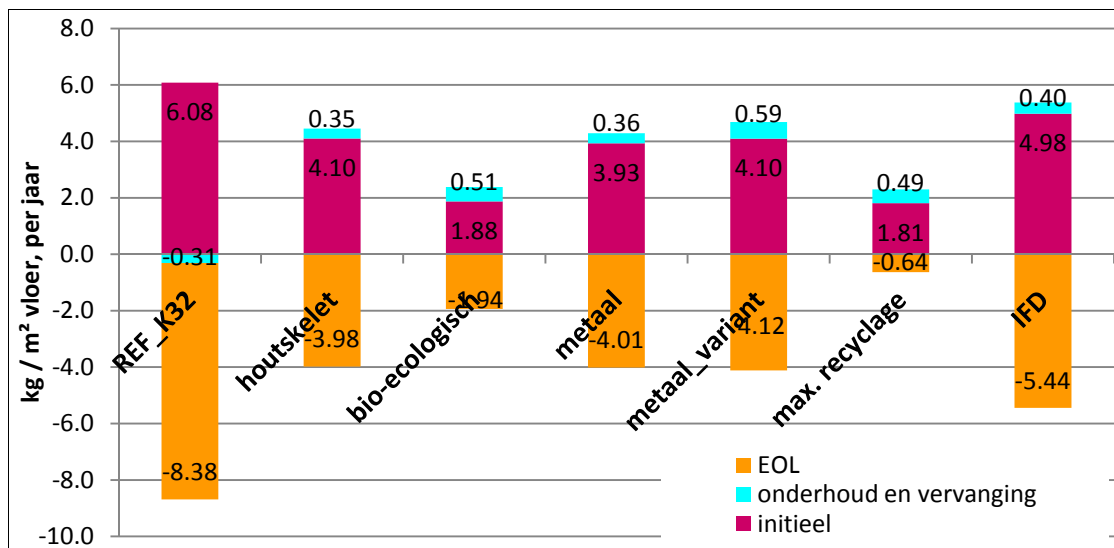


Fig. 20: Vergelijking voor de vrijstaande woning van het totale verbruik van grind en grove granulaten, met opdeling in levenscyclustfasen (kg per m² vloer per jaar)

2.2. Verbruik van oppervlaktedelfstoffen voor de verschillende bouwelementen

ZAND	vloer op volle grond	fundering	buitenmuur	dragende binnenmuur	niet-dragende binnenmuur	Verdiepingsvloer	hellend dak	ramen	garagepoort	binnendeuren
kg per m ² en per jaar										
REF_K32	0.0550	0.0007	0.4608	0.2065	0.4820	0.1463	0.0071	0.0001	0.0000	0.0000
houtskelet	0.0028	0.0007	0.0069	0.0024	0.0050	0.0020	0.0097	0.0002	0.0000	0.0000
bio-ecologisch	0.0517	0.2913	0.0388	0.0035	0.0043	0.0223	0.0054	0.0002	0.0000	0.0000
metaal	0.3202	0.0007	0.0070	0.0023	0.0053	0.0022	0.0049	0.0001	0.0000	0.0000
metaal_variant	0.3202	0.0007	0.7516	0.0023	0.0053	0.0022	0.0153	0.0001	0.0000	0.0000
max. recyclage	0.0044	0.0054	0.0067	0.0067	0.0041	0.0063	0.0120	0.0007	0.0000	0.0000
IFD	0.0488	0.0004	0.2357	0.0000	0.0074	0.1137	0.0076	0.0001	0.0000	0.0000

Tab. 17: Vergelijking van het verbruik van zand per bouwelement voor de vrijstaande woning (kg per m² vloer per jaar)

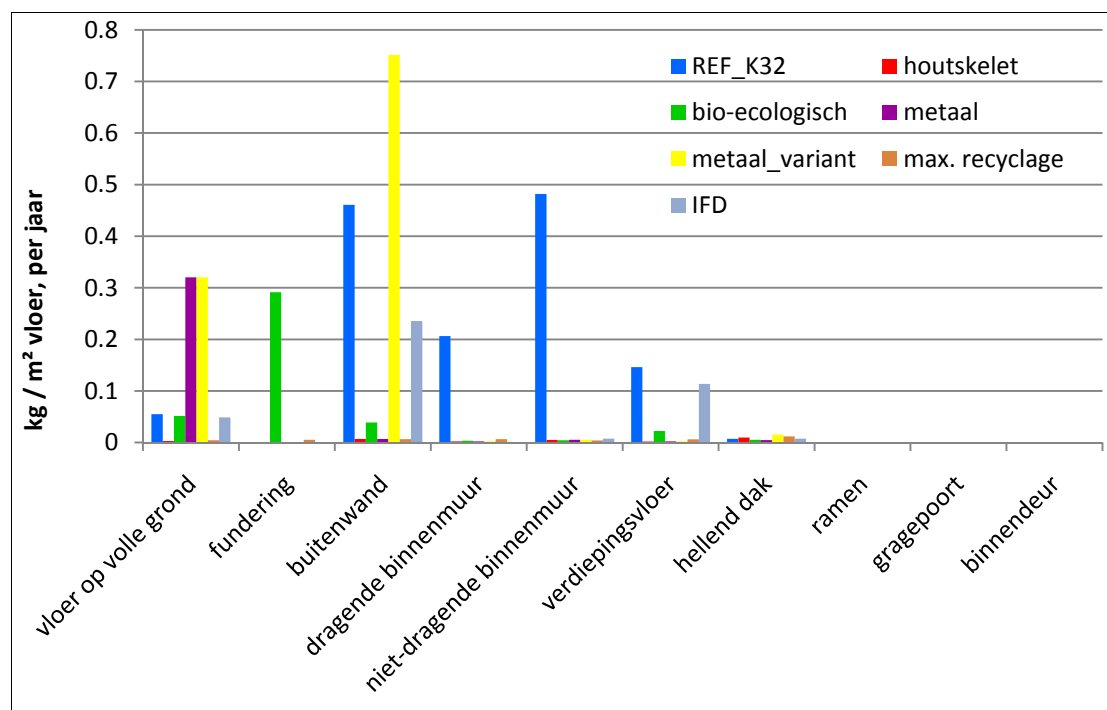


Fig. 21: Vergelijking van het verbruik van zand per bouwelement voor de vrijstaande woning (kg per m² vloer per jaar)

KLEI EN LEEM										
kg per m ² en per jaar	vloer op volle grond	fundering	buitenmuur	dragende binnenmuur	niet-dragende binnenmuur	Verdiepings-vloer	hellend dak	ramen	garagepoort	binnendeuren
REF_K32	0.2404	0.0330	2.0022	0.4463	1.5269	0.1712	0.4500	0.0001	0.0000	0.0000
houtskelet	0.1164	0.0328	0.0458	0.0048	0.0136	0.0065	0.4512	0.0006	0.0000	0.0000
bio-ecologisch	0.1175	0.0014	0.0051	0.0040	0.0070	0.0166	0.0064	0.0006	0.0000	0.0000
metaal	0.2026	0.0332	0.0097	0.0047	0.0154	0.0062	0.0075	0.0001	0.0000	0.0000
metaal_variant	0.2026	0.0332	0.0815	0.0047	0.0154	0.0062	0.0280	0.0001	0.0000	0.0000
max. recyclage	0.0926	0.2256	0.0063	0.0079	0.0089	0.0957	0.0227	0.0029	0.0000	0.0000
IFD	0.1833	0.0198	0.6610	0.0000	0.0228	0.1139	0.5092	0.0001	0.0000	0.0000

Tab. 18: Vergelijking van het verbruik van klei en leem per bouwelement voor de vrijstaande woning (kg per m² vloer per jaar)

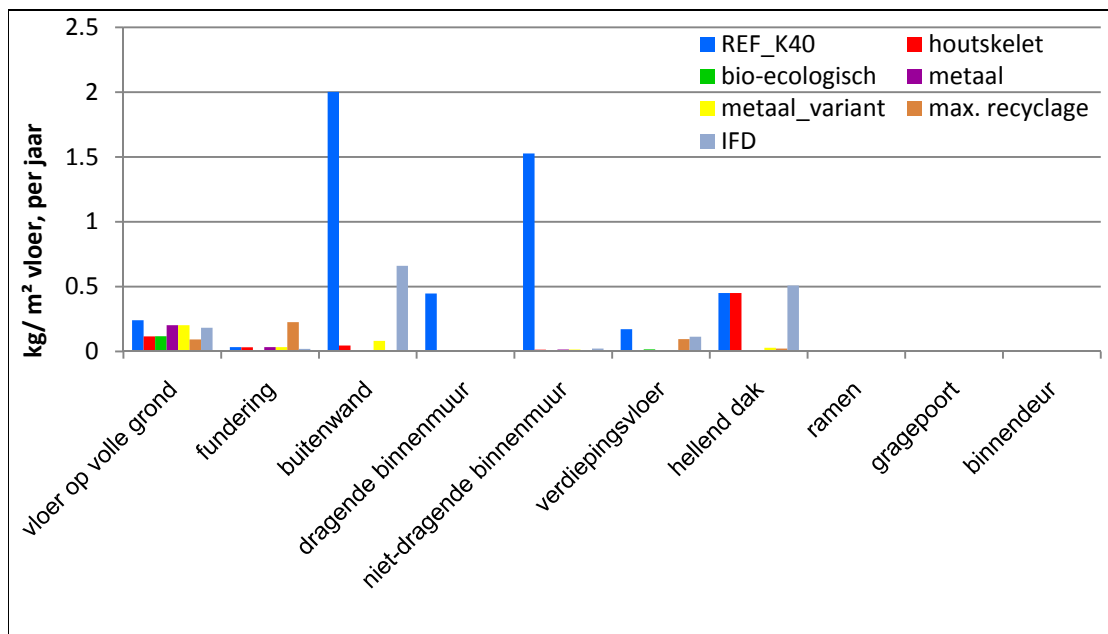


Fig. 22: Vergelijking van het verbruik van klei en leem per bouwelement voor de vrijstaande woning (kg per m² vloer per jaar)

GRIND EN GROVE GRANULATEN										
kg per m ² en per jaar	vloer op volle grond	fundering	buitenmuur	dragende binnenmuur	niet-dragende binnenmuur	Verdiepings-vloer	hellend dak	ramen	garagepoort	binnendeuren
REF_K32	0.0809	0.0038	-1.4722	-0.2264	-1.0477	0.1452	-0.0936	0.0022	0.0000	0.0001
houtskelet	0.0625	0.0038	0.1009	0.0568	0.1758	-0.0460	0.0057	0.0171	0.0000	0.0001
bio-ecologisch	0.1348	-0.2325	0.0840	0.0584	0.0973	0.1295	0.1563	0.0171	0.0000	0.0001
metaal	-0.2725	0.0039	0.1208	0.0495	0.2095	0.0899	0.0743	0.0022	0.0000	0.0001
metaal_variant	-0.2721	0.0039	0.2734	0.0495	0.2095	0.0899	0.2150	0.0022	0.0000	0.0001
max. recyclage	0.3231	0.6222	0.0413	0.0378	0.0777	0.3617	0.1493	0.0312	0.0002	0.0001
IFD	0.0732	0.0023	-0.3974	0.0000	0.2899	0.1360	-0.1707	0.0026	0.0000	0.0001

Tab. 19: Vergelijking van het verbruik van grind en grove granulaten per bouwelement voor de vrijstaande woning (kg per m² vloer per jaar)

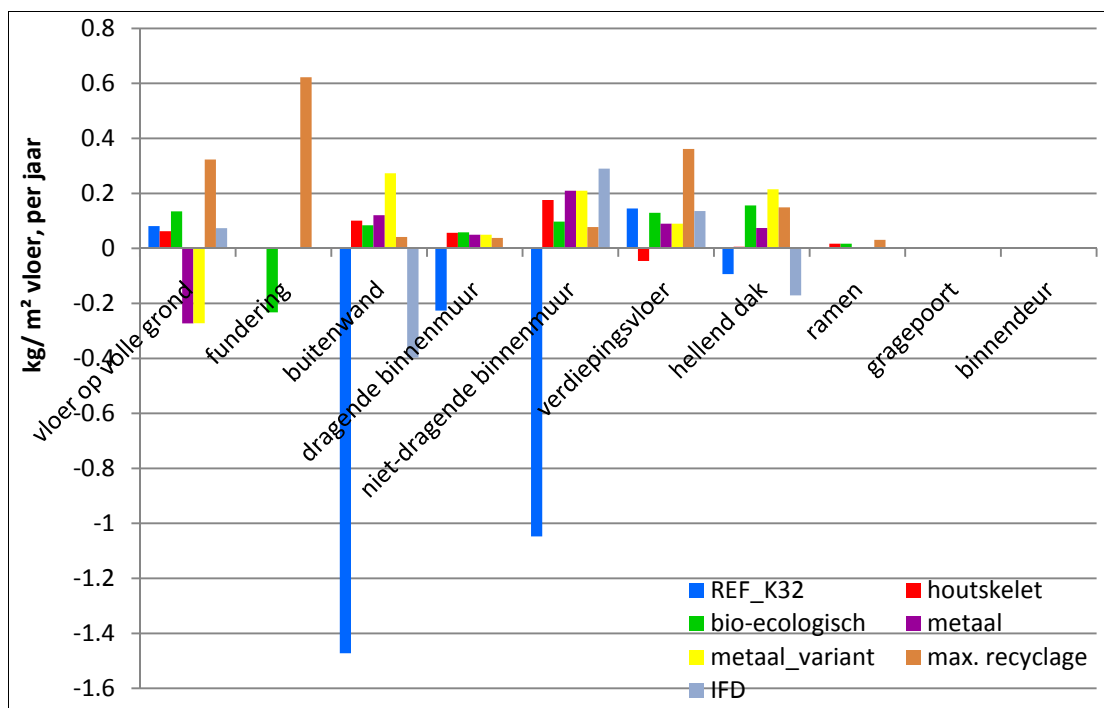


Fig. 23: Vergelijking van het verbruik van grind en grove granulaten per bouwelement voor de vrijstaande woning (kg per m² vloer per jaar)

2.3. Detailanalyse van de buitenwand

(kg/FU)	zand				klei				grind			
	initieel	Ond & verv	EOL	Totaal	initieel	Ond & verv	EOL	Totaal	initieel	Ond & verv	EOL	Totaal
dragend metselwerk	0.2522	0.0000	-0.0743	0.1779	2.1650	0.0000	-0.6370	1.5280	0.1107	0.0000	-1.2865	-1.1758
spouwankers	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	-0.0001	0.0000	0.0010	0.0000	-0.0010	0.0000
isolatieclips	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
gemetste gevelsteen	0.4486	0.0012	-0.1321	0.3178	2.1371	0.0013	-0.6289	1.5094	0.1787	0.0045	-1.4520	-1.2688
spouwisolatie (RW 10 cm)	0.0005	0.0000	0.0000	0.0005	0.0041	0.0000	0.0000	0.0041	0.0633	0.0000	0.0000	0.0633
gipspleister	0.0774	0.1423	-0.0091	0.2106	0.0086	0.0216	-0.0010	0.0292	0.0333	0.0834	-0.0039	0.1128
verf	0.0000	0.0002	0.0000	0.0003	0.0002	0.0012	0.0000	0.0014	0.0011	0.0087	-0.0001	0.0096

Tab. 20: Detailanalyse van het verbruik van oppervlaktedelfstoffen van 1m² buitenwand van de referentie vrijstaande woning per levenscyclusfase (kg per jaar)

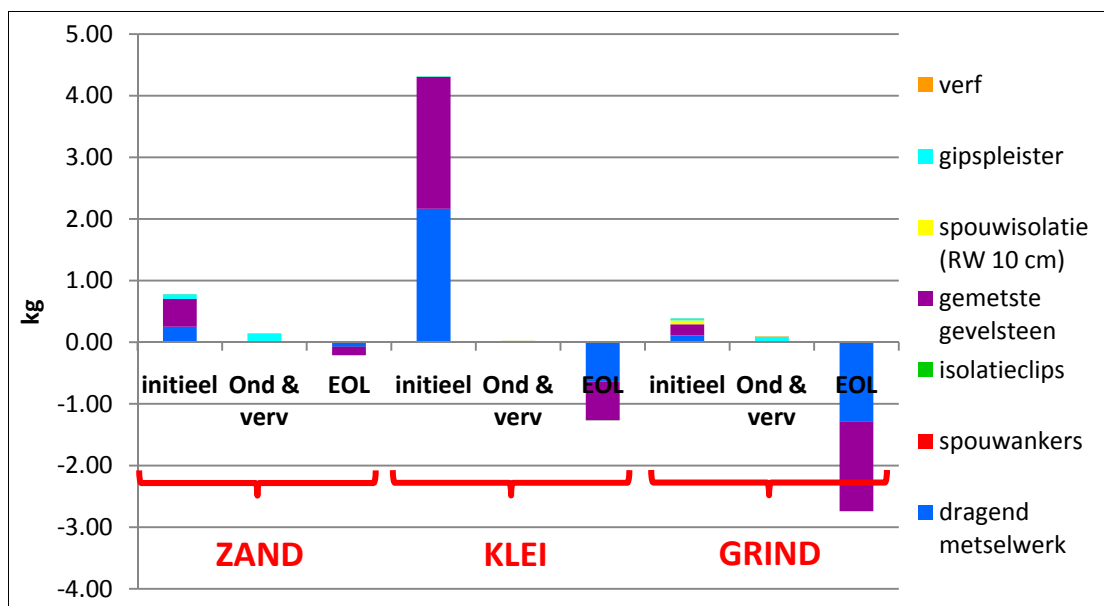


Fig. 24: Detailanalyse van het verbruik van oppervlaktedelfstoffen van 1m² buitenwand van de referentie vrijstaande woning per levenscyclusfase (kg per jaar)

(kg/FU)	zand				klei				grind			
	initieel	Ond & verv	EOL	Totaal	initieel	Ond & verv	EOL	Totaal	initieel	Ond & verv	EOL	Totaal
gemetste onderregel	0.0101	0.0000	-0.0030	0.0071	0.0866	0.0000	-0.0255	0.0611	0.0044	0.0000	-0.0515	-0.0470
behandeld houtskelet	0.0005	0.0000	-0.0004	0.0001	0.0009	0.0000	-0.0008	0.0001	0.1273	0.0000	-0.1213	0.0060
isolatie tussen skelet (RW 12 cm)	0.0003	0.0000	0.0000	0.0003	0.0031	0.0000	0.0000	0.0031	0.0474	0.0000	0.0000	0.0474
OSB	0.0004	0.0000	0.0000	0.0004	0.0011	0.0000	0.0000	0.0010	0.0220	0.0000	-0.0004	0.0216
houten gevelbekleding	0.0004	0.0001	-0.0003	0.0001	0.0007	0.0005	-0.0006	0.0006	0.1195	0.0554	-0.1042	0.0708
onderstructuur gevelbekleding	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	-0.0001	0.0001	0.0145	0.0073	-0.0127	0.0092
waterscherm	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0001
gipskartonplaat	0.0003	0.0019	0.0000	0.0022	0.0005	0.0025	-0.0001	0.0029	0.0106	0.0245	-0.0015	0.0336
onderstructuur binnenafwerking	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	-0.0001	0.0000	0.0099	0.0024	-0.0087	0.0035
verf	0.0000	0.0002	0.0000	0.0003	0.0001	0.0012	0.0000	0.0013	0.0011	0.0086	-0.0001	0.0096
dampscherm	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0001

Tab. 21: Detailanalyse van het verbruik van oppervlaktedelfstoffen van 1m² buitenwand van de houtskeletbouw vrijstaande woning per levenscyclusfase (kg per jaar)

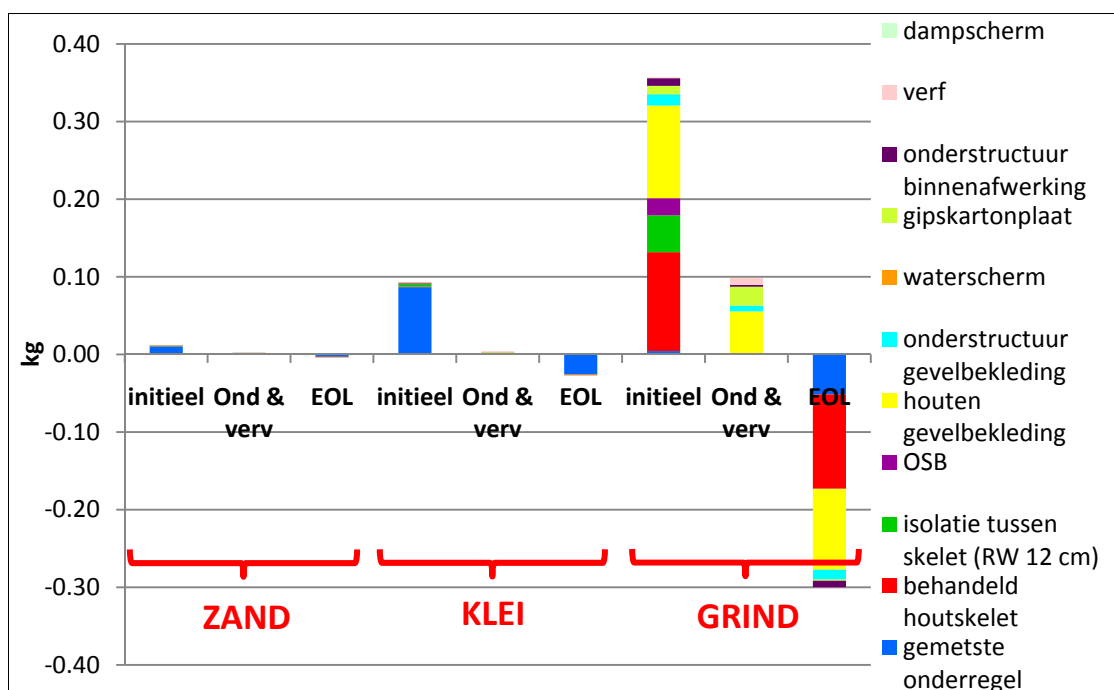


Fig. 25: Detailanalyse van het verbruik van oppervlakedelfstoffen van 1m² buitenwand van de houtskeletbouw vrijstaande woning per levenscyclusfase (kg per jaar)

(kg/FU)	zand				klei				grind			
	initieel	Ond & verv	EOL	Totaal	initieel	Ond & verv	EOL	Totaal	initieel	Ond & verv	EOL	Totaal
onderregel	0.0754	0.0000	-0.0222	0.0532	0.0010	0.0000	-0.0003	0.0007	0.0215	0.0000	-0.0643	-0.0428
kalkzandsteen	0.0003	0.0000	-0.0003	0.0000	0.0008	0.0000	-0.0007	0.0001	0.0747	0.0000	-0.0669	0.0079
onbehandeld houtskelet	0.0001	0.0000	0.0000	0.0001	0.0002	0.0000	0.0000	0.0002	0.0052	0.0000	0.0000	0.0052
isolatie tussen skelet (Cell 14 cm)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0032	0.0000	0.0000	0.0032
isolerende houtvezelplaat	0.0003	0.0002	-0.0003	0.0002	0.0007	0.0005	-0.0006	0.0006	0.0607	0.0477	-0.0530	0.0554
onbehandelde houten gevelbekleding	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	-0.0001	0.0001	0.0074	0.0037	-0.0065	0.0046
onderstructuur gevelbekleding	0.0003	0.0021	0.0000	0.0023	0.0002	0.0021	0.0000	0.0023	0.0147	0.0318	-0.0020	0.0444
gipsvezelplaat	0.0006	0.0027	0.0000	0.0033	0.0003	0.0022	0.0000	0.0025	0.0116	0.0284	-0.0006	0.0394
houtvezelplaat (dampscherm)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	-0.0001	0.0000	0.0054	0.0012	-0.0048	0.0018
onderstructuur binnenafwerking	0.0000	0.0002	0.0000	0.0003	0.0002	0.0012	0.0000	0.0014	0.0011	0.0088	-0.0001	0.0098
verf												

Tab. 22: Detailanalyse van het verbruik van oppervlakedelfstoffen van 1m² buitenwand van de bio-ecologische vrijstaande woning per levenscyclusfase (kg per jaar)

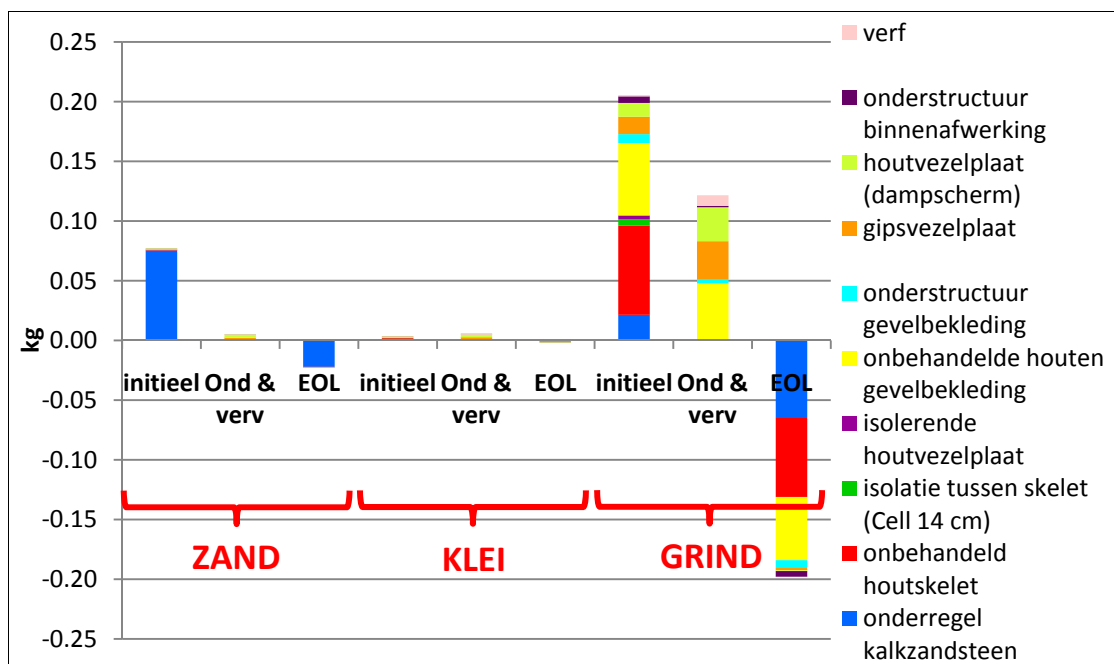


Fig. 26: Detailanalyse van het verbruik van oppervlakedelfstoffen van 1m² buitenwand van de bio-ecologische vrijstaande woning per levenscyclusfase (kg per jaar)

(kg/FU)	zand				klei				grind			
	initieel	Ond & verv	EOL	Totaal	initieel	Ond & verv	EOL	Totaal	initieel	Ond & verv	EOL	Totaal
dragende staalskelet	0.0019	0.0000	-0.0019	0.0000	0.0061	0.0000	-0.0061	0.0000	0.0809	0.0000	-0.0809	0.0000
isolatie tussen skelet (RW 20 cm)	0.0007	0.0000	0.0000	0.0007	0.0065	0.0000	0.0000	0.0065	0.0989	0.0000	0.0000	0.0989
isolerende houtvezelplaat	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0032	0.0000	0.0000	0.0032
zinken platen	0.3687	0.0073	-0.3687	0.0073	0.0169	0.0033	-0.0169	0.0033	0.1113	0.0220	-0.1113	0.0220
secundaire structuur	0.0006	0.0000	-0.0006	0.0000	0.0018	0.0000	-0.0018	0.0000	0.0246	0.0000	-0.0246	0.0000
waterbestendige houtvezelplaat	0.0004	0.0000	0.0000	0.0004	0.0009	0.0000	0.0000	0.0009	0.0192	0.0000	-0.0004	0.0189
gipskartonplaat	0.0003	0.0020	0.0000	0.0022	0.0005	0.0025	-0.0001	0.0029	0.0108	0.0249	-0.0015	0.0341
verf	0.0000	0.0002	0.0000	0.0003	0.0002	0.0012	0.0000	0.0014	0.0011	0.0087	-0.0001	0.0097

Tab. 23: Detailanalyse van het verbruik van oppervlakedelfstoffen van 1m² buitenwand van de basisoplossing van de metaalskeletbouw vrijstaande woning per levenscyclusfase (kg per jaar)

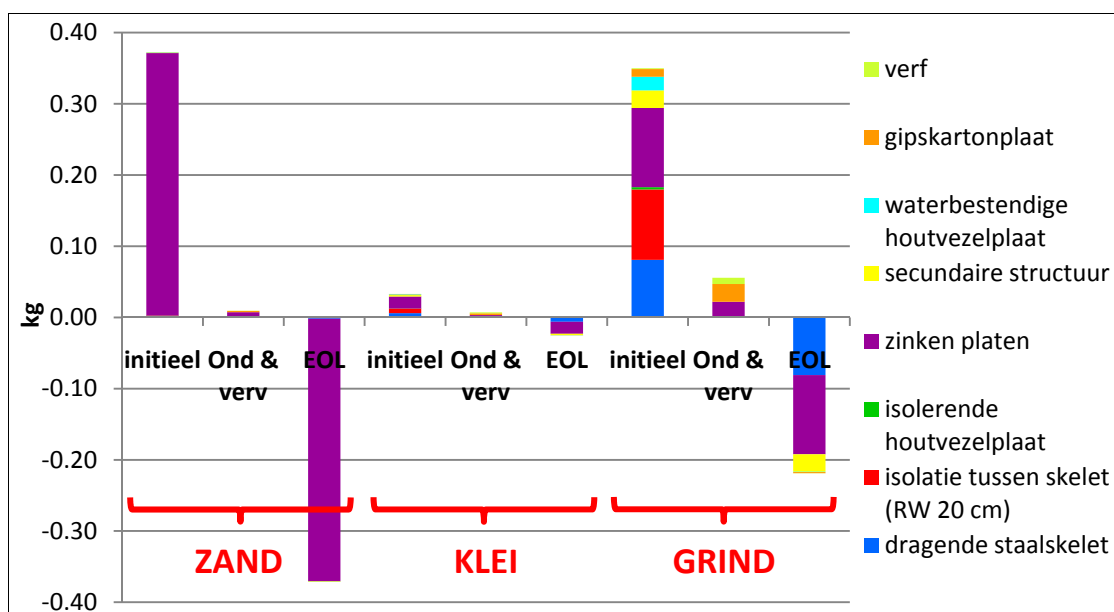


Fig. 27: Detailanalyse van het verbruik van oppervlakedelfstoffen van 1m² buitenwand van de basisoplossing van de metaalskeletbouw vrijstaande woning per levenscyclusfase (kg per jaar)

(kg/FU)	zand				klei				grind			
	initieel	Ond & verv	EOL	Totaal	initieel	Ond & verv	EOL	Totaal	initieel	Ond & verv	EOL	Totaal
dragende staalskelet	0.0025	0.0000	-0.0025	0.0000	0.0081	0.0000	-0.0081	0.0000	0.1079	0.0000	-0.1079	0.0000
isolatie tussen skelet (RW 15 cm)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0003	0.0000	0.0000	0.0003
isolerende houtvezelplaat	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0032	0.0000	0.0000	0.0032
crepi buitenpleister	0.4406	0.7703	-0.0606	1.1503	0.0427	0.0831	-0.0061	0.1198	0.1722	0.2490	-0.0681	0.3531
extra isolatie (EPS 5 cm)	0.0000	0.0001	0.0000	0.0001	0.0000	0.0001	0.0000	0.0001	0.0004	0.0007	0.0000	0.0011
waterbestendige houtvezelplaat	0.0004	0.0000	0.0000	0.0004	0.0009	0.0000	0.0000	0.0009	0.0190	0.0000	-0.0004	0.0187
gipskartonplaat	0.0003	0.0019	0.0000	0.0022	0.0005	0.0024	-0.0001	0.0028	0.0105	0.0244	-0.0015	0.0334
verf	0.0000	0.0002	0.0000	0.0003	0.0002	0.0012	0.0000	0.0014	0.0011	0.0087	-0.0001	0.0097

Tab. 24: Detailanalyse van het verbruik van oppervlakedelfstoffen van 1m² buitenwand van de variant van de metaalskeletbouw vrijstaande woning per levenscyclusfase (kg per jaar)

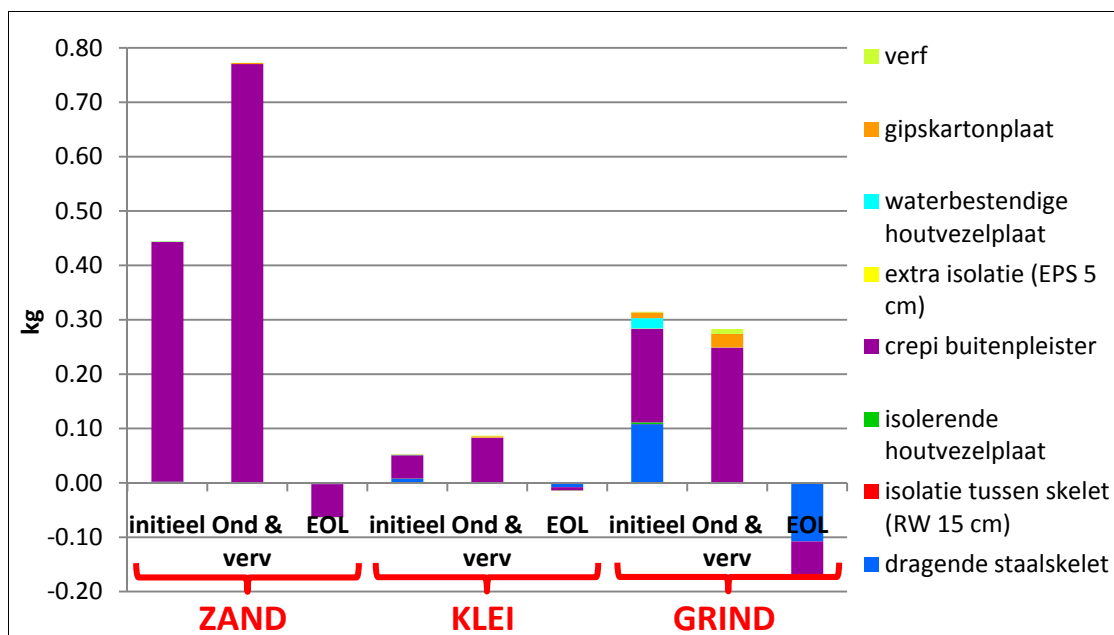


Fig. 28: Detailanalyse van het verbruik van oppervlakedelfstoffen van 1m² buitenwand van de variant van de metaalskeletbouw vrijstaande woning per levenscyclusfase (kg per jaar)

(kg/FU)	zand				klei				grind			
	initieel	Ond & verv	EOL	Totaal	initieel	Ond & verv	EOL	Totaal	initieel	Ond & verv	EOL	Totaal
gerecycleerde snelbouwbaksteen	0.0021	0.0000	-0.0006	0.0015	0.0002	0.0000	-0.0001	0.0002	0.0127	0.0000	-0.0037	0.0090
gerecycleerde spouwankers	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0001
gerecycleerde isolatieclips	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
gerecycleerde handvorm gevelsteen	0.0021	0.0012	-0.0006	0.0027	0.0002	0.0013	-0.0001	0.0014	0.0146	0.0045	-0.0043	0.0148
spouwisolatie (gerecycleerde RW 14 cm)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0001	0.0021	0.0000	-0.0002	0.0018
gerecycleerde gipspleister	0.0000	0.0059	0.0000	0.0059	0.0000	0.0066	0.0000	0.0066	0.0009	0.0269	-0.0001	0.0277
verf	0.0000	0.0002	0.0000	0.0003	0.0002	0.0013	0.0000	0.0014	0.0011	0.0089	-0.0001	0.0099

Tab. 25: Detailanalyse van het verbruik van oppervlakedelfstoffen van 1m² buitenwand van de vrijstaande woning met maximale recyclage per levenscyclusfase (kg per jaar)

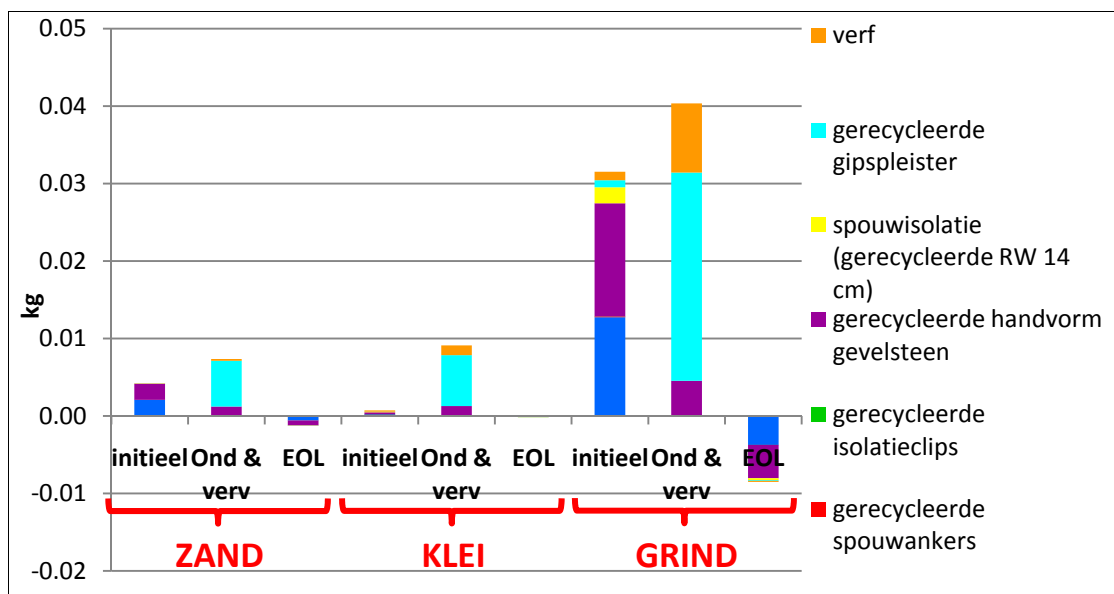


Fig. 29: Detailanalyse van het verbruik van oppervlakedelfstoffen van 1m² buitenwand van de vrijstaande woning met maximale recyclage per levenscyclusfase (kg per jaar)

(kg/FU)	zand				klei				grind			
	initieel	Ond & verv	EOL	Totaal	initieel	Ond & verv	EOL	Totaal	initieel	Ond & verv	EOL	Totaal
in situ beton	0.0032	0.0000	-0.0015	0.0017	0.1182	0.0000	-0.0373	0.0809	2.1521	0.0000	-2.1427	0.0094
spouwankers	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0006	0.0000	-0.0006	0.0000
isolatieclips	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
gemetste gevelsteen	0.2692	0.0011	-0.0792	0.1911	1.2822	0.0012	-0.3773	0.9061	0.1072	0.0042	-0.8712	-0.7598
spouwisolatie (RW 11 cm)	0.0003	0.0000	0.0000	0.0003	0.0027	0.0000	0.0000	0.0027	0.0419	0.0000	0.0000	0.0419
gipspleister	0.0464	0.1273	-0.0055	0.1683	0.0052	0.0186	-0.0006	0.0232	0.0200	0.0718	-0.0023	0.0894
verf	0.0000	0.0002	0.0000	0.0003	0.0001	0.0012	0.0000	0.0013	0.0006	0.0088	-0.0001	0.0094

Tab. 26: Detailanalyse van het verbruik van oppervlakedelfstoffen van 1m² buitenwand van de IFD vrijstaande woning per levenscyclusfase (kg per jaar)

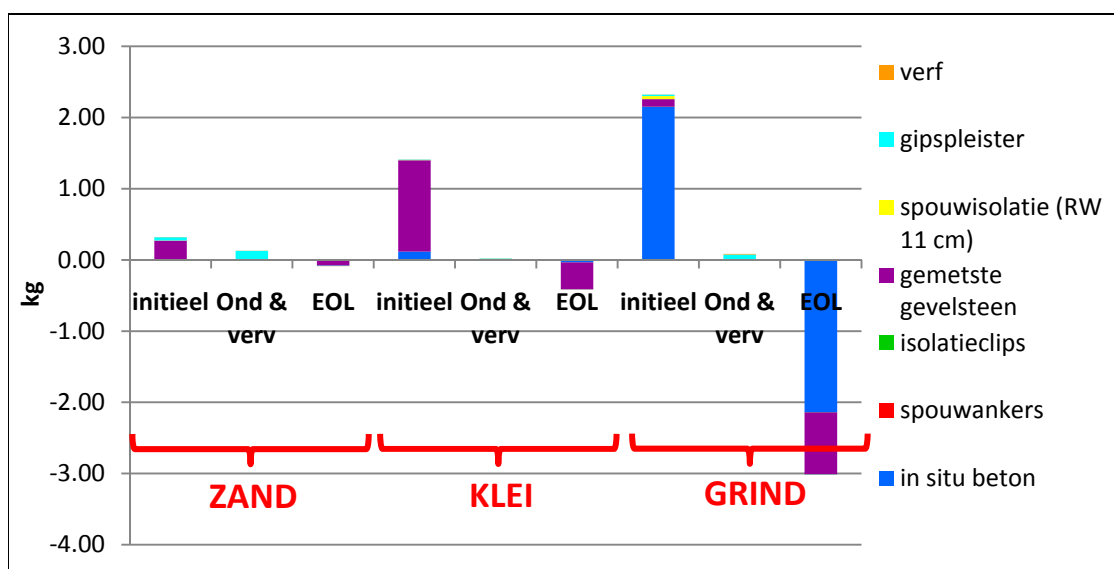


Fig. 30: Detailanalyse van het verbruik van oppervlakedelfstoffen van 1m² buitenwand van de IFD vrijstaande woning per levenscyclusfase (kg per jaar)

Bijlage 4 - Gedetailleerd overzicht van de resultaten voor de rijwoning

1. Milieu-impact

1.1. Globale milieu-impact van de woning

Ecopunten per m ² per jaar	Carcinogens	Resp. organics	Resp. inorganics	Climate change	Radiation	Ozone layer	Ecotoxicity	Acidification/ Eutrophication	Land use	Minerals	Fossil fuels	totaal
referentie	0.0082	0.0002	0.1027	0.0228	0.0016	0.0001	0.0094	0.0104	0.0134	0.0045	1.1523	1.3255
houtskelet	0.0084	0.0001	0.0624	0.0137	0.0016	0.0001	0.0084	0.0091	0.0236	0.0038	1.1060	1.2372
bio-ecologisch	0.0077	0.0002	0.0784	0.0181	0.0017	0.0001	0.0112	0.0102	0.0332	0.0041	1.1852	1.3500

Tab. 27: Vergelijking van de milieu-impact per milieu-indicator voor de rijwoning (ecopunten per m² vloer en per jaar)

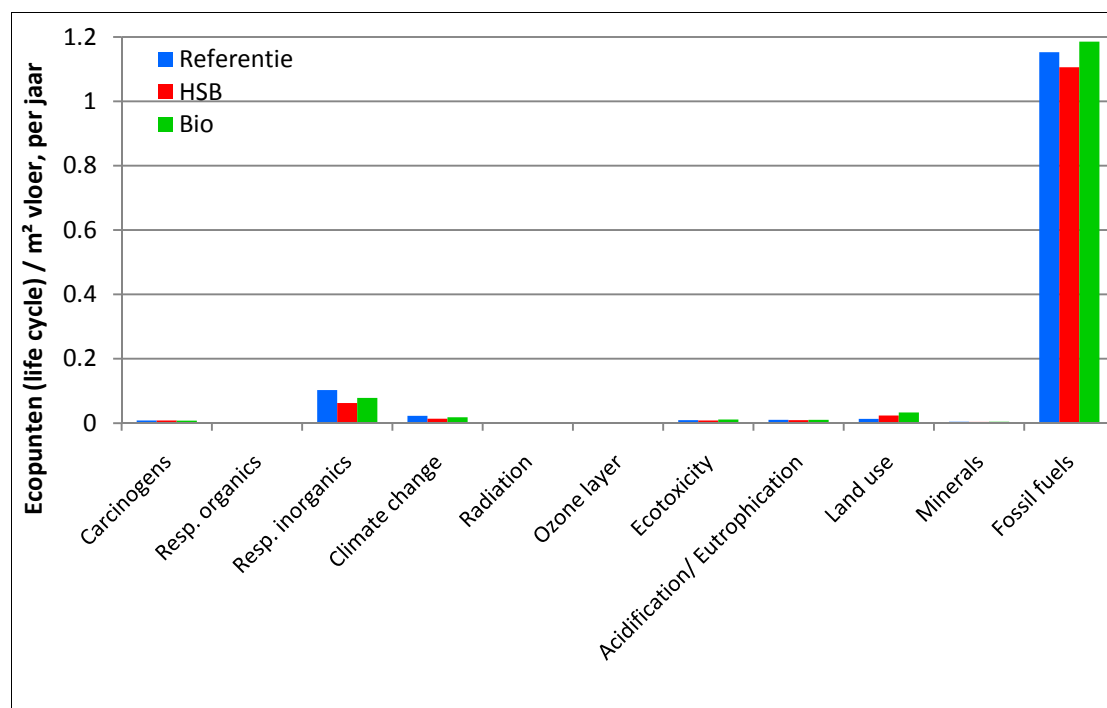


Fig. 31: Vergelijking van de milieu-impact per milieu-indicator voor de rijwoning (ecopunten per m² vloer en per jaar)

Ecopunten per m ² en per jaar	totaal initieel	totaal onderhoud en vervangingen	totaal energie	totaal EOL	Totaal levenscyclus
referentie	0.1633	0.1737	-0.0245	1.0130	1.3255
houtskelet	0.1635	0.1052	-0.0693	1.0378	1.2372
bio-ecologisch	0.1565	0.2188	-0.0663	1.0410	1.3500

Tab. 28: Totale milieu-impact voor de rijwoning, met verdeling in levenscyclusfasen (ecopunten per m² vloer en per jaar)

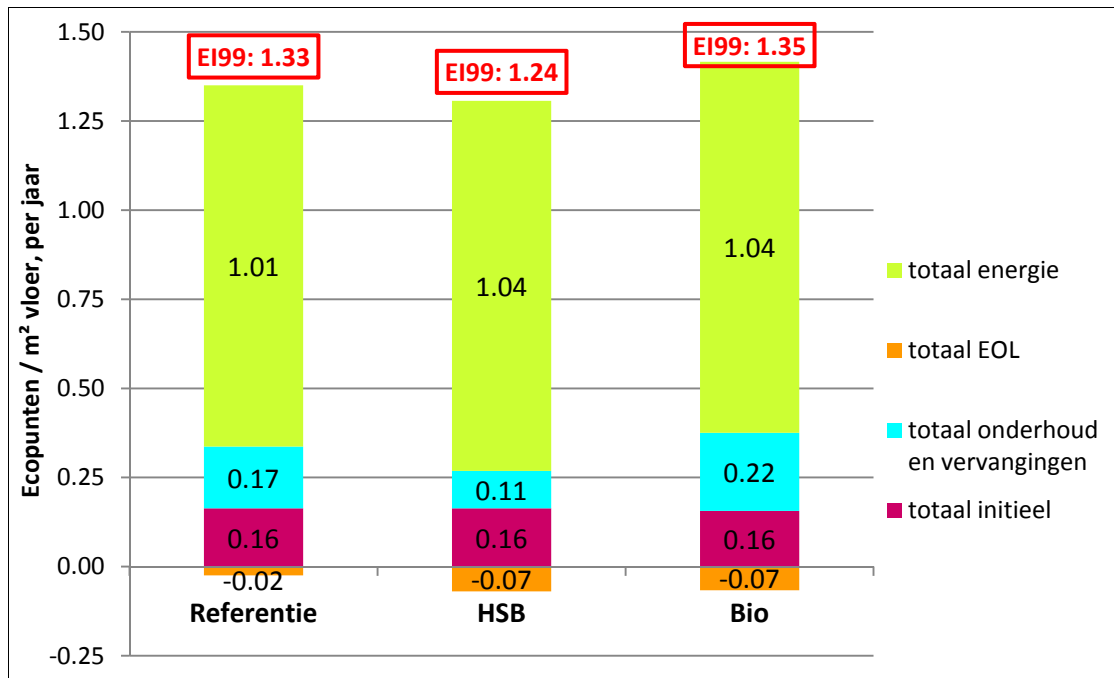


Fig. 32: Totale milieu-impact voor de rijwoning, met verdeling in levenscyclusfasen (ecopunten per m² vloer en per jaar)

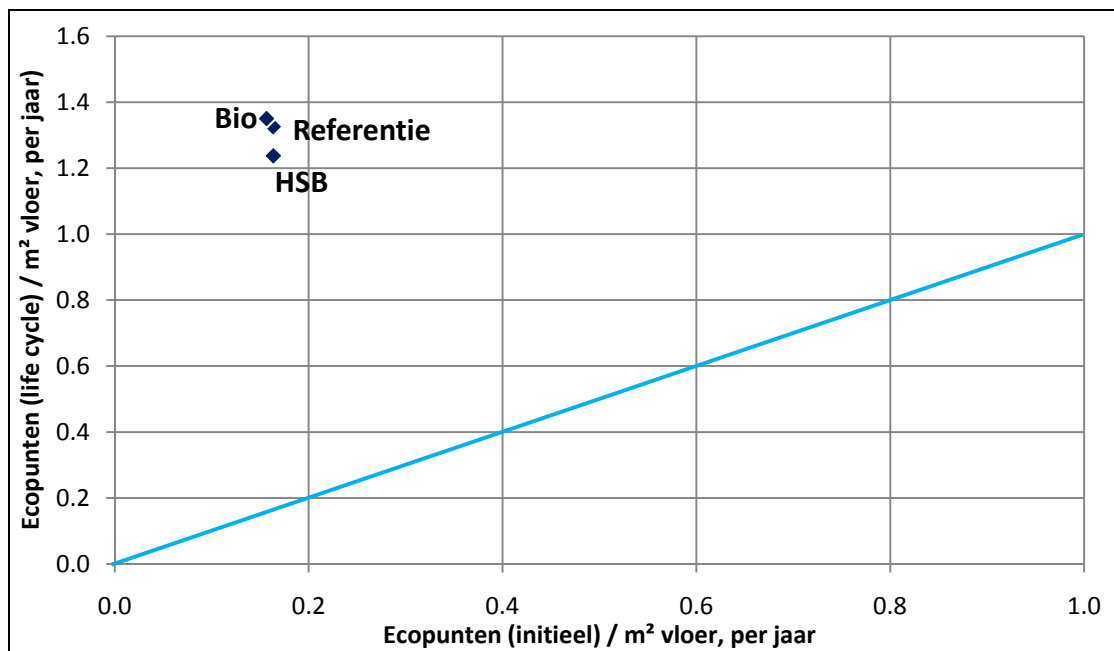


Fig. 33: Vergelijking initiële milieu-impact versus levenscyclus milieu-impact van de rijwoning (ecopunten per m² vloer en per jaar)

1.2. Milieu-impact van de bouwelementen

Ecopunten per m ² en per jaar	vloer op volle grond	fundering	buitenmuur	dragende binnenmuur	niet-dragende binnenmuur	gemene muur	verdiepingsvloer	zoldervloer	hellend dak	Plat dakp	ramen	garagepoort	binnendeuren
referentie	0.1154	0.0042	0.0254	0.0070	0.0217	0.0183	0.0741	0.0128	0.0095	0.0180	0.0056	0.0000	0.0001
houtskelet	0.0461	0.0040	0.0212	0.0083	0.0224	0.0236	0.0206	0.0133	0.0068	0.0290	0.0037	0.0000	0.0001
bio-ecologisch	0.0896	0.0025	0.0254	0.0132	0.0186	0.0394	0.0639	0.0110	0.0100	0.0311	0.0037	0.0000	0.0001

Tab. 29: Vergelijking voor de rijwoning van de milieu-impact van de bouwelementen op woningniveau voor de verschillende bouwconcepten (ecopunten per m² vloer en per jaar)

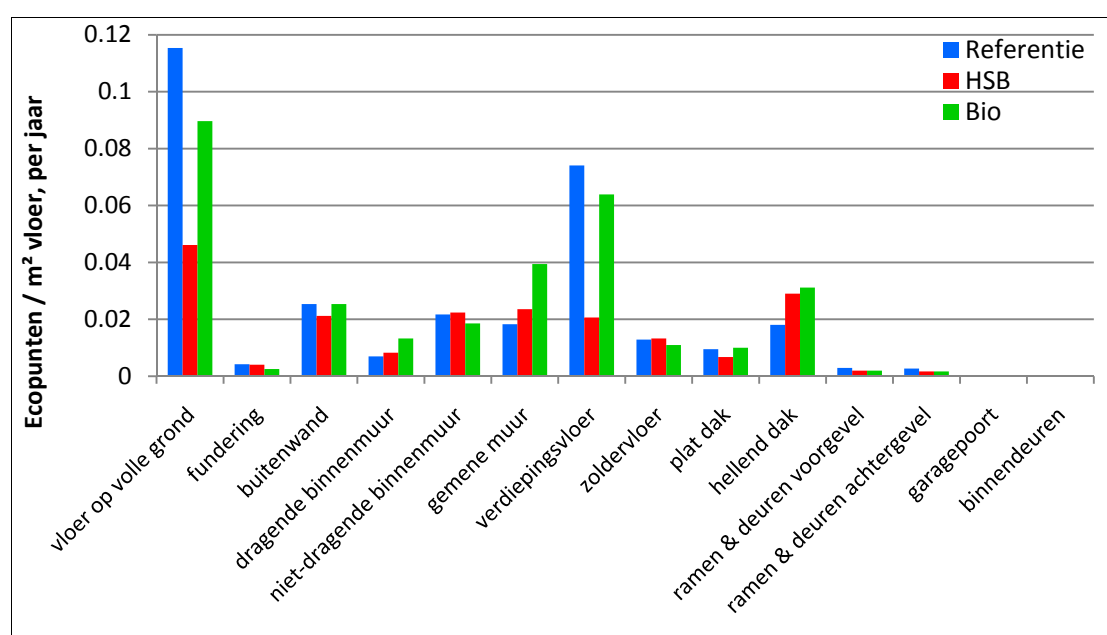


Fig. 34: Vergelijking voor de rijwoning van de milieu-impact van de bouwelementen op woningniveau voor de verschillende bouwconcepten (ecopunten per m² vloer en per jaar)

1.3. Milieu-impact van de vloer op volle grond

ecopoints/FU	initieel	onderhoud & vervangingen	EOL
uitgraving	0.00020	0.00000	0.00000
uitvullaag zand	0.00023	0.00000	0.00207
draagvloer (beton)	0.02415	0.00000	-0.00157
dichtingsmembraan	0.00063	0.00000	-0.00054
keramische tegels	0.06538	0.19013	-0.01829
dekvloer	0.00474	0.00000	0.00451
plint	0.00251	0.00183	-0.00070
randisolatie	0.00005	0.00000	0.00001
PUR isolatie (8 cm)	0.00894	0.00000	0.00396

Tab. 30: Detailanalyse milieu-impact van 1m² vloer op volle grond van de referentie rijwoning (ecopunten per jaar)

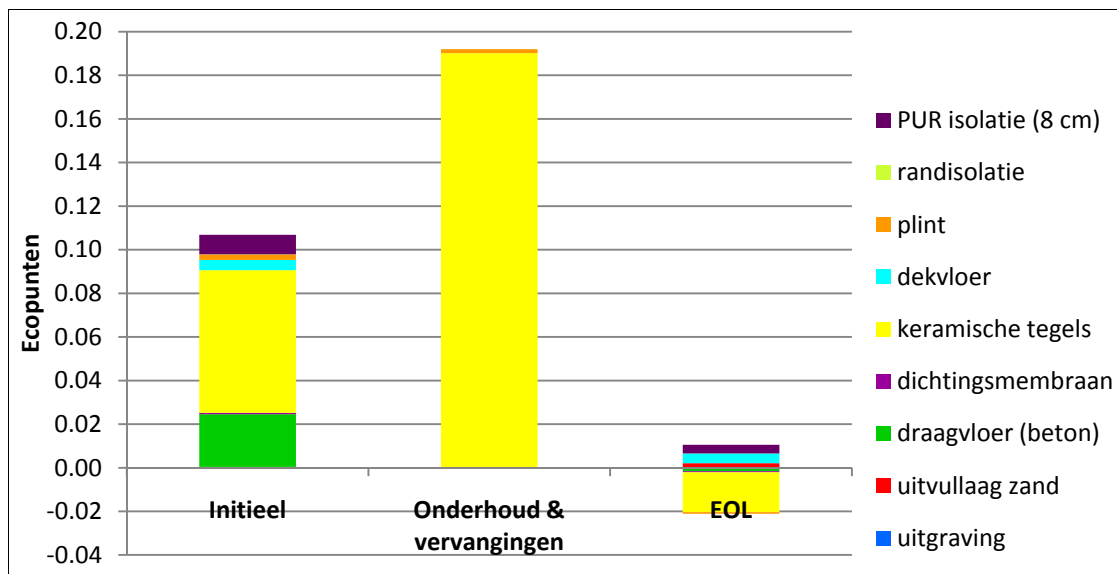


Fig. 35: Detailanalyse milieu-impact van 1m² vloer op volle grond van de referentie rijwoning (ecopunten per jaar)

ecopoints/FU	initieel	onderhoud & vervangingen	EOL
uitgraving	0.00020	0.00000	0.00000
uitvullaag zand	0.00027	0.00000	0.00249
draagvloer (beton)	0.02415	0.00000	-0.00157
dichtingsmembraan	0.00063	0.00000	-0.00054
parket	0.02539	0.05926	-0.01756
dekvloer	0.00474	0.00000	0.00451
houten plint	0.00025	0.00019	-0.00020
randisolatie	0.00005	0.00000	0.00001
PUR isolatie (8 cm)	0.00894	0.00000	0.00396

Tab. 31: Detailanalyse milieu-impact van 1m² vloer op volle grond van de houtskelet rijwoning (ecopunten per jaar)

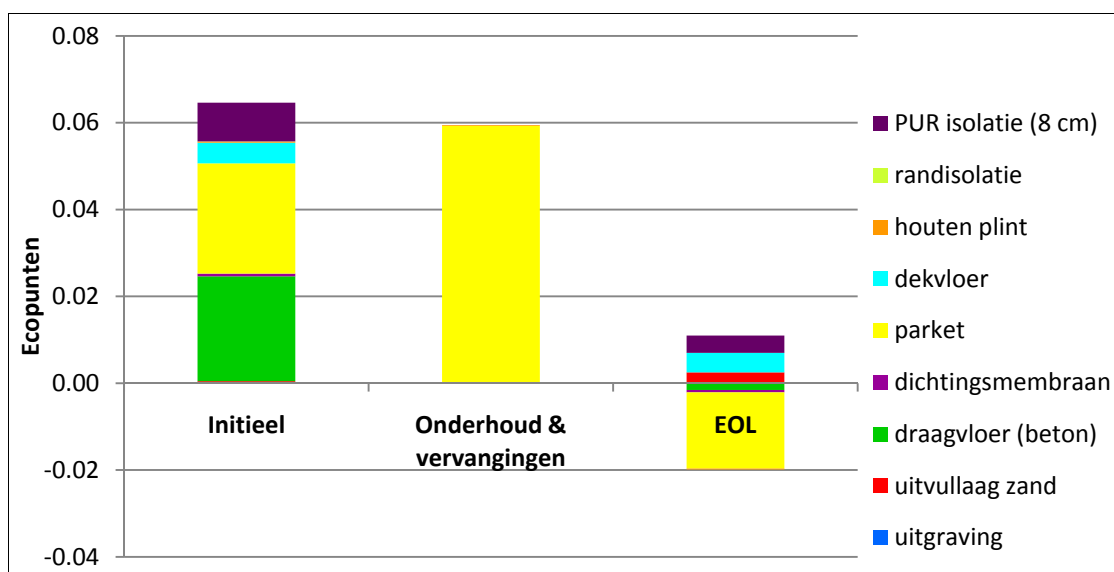


Fig. 36: Detailanalyse milieu-impact van 1m² vloer op volle grond van de houtskelet rijwoning (ecopunten per jaar)

ecopoints/FU	initieel	onderhoud & vervangingen	EOL
uitgraving	0.00020	0.00000	0.00000
uitvullaag grind	0.00037	0.00000	0.00298
geëxp. kleikorrels (10 cm)	0.01775	0.00000	-0.01465
dichtingsmembraan	0.00063	0.00000	-0.00054
egalisatielaag	0.00045	0.00000	0.00061
linoleum	0.00339	0.15986	0.00001
dekvloer	0.00237	0.00000	0.00225
werkvloer traskalk mortel	0.05433	0.00000	-0.00858
wapeningsnet	0.01100	0.00000	-0.01093
linoleum plint	0.00015	0.00078	0.00000
geëxp. kleikorrels met traskalkmortel (5 cm)	0.00730	0.00000	-0.00584
randisolatie	0.00005	0.00000	0.00001

Tab. 32: Detailanalyse milieu-impact van 1m² vloer op volle grond van de bio-ecologische rijwoning (ecopunten per jaar)

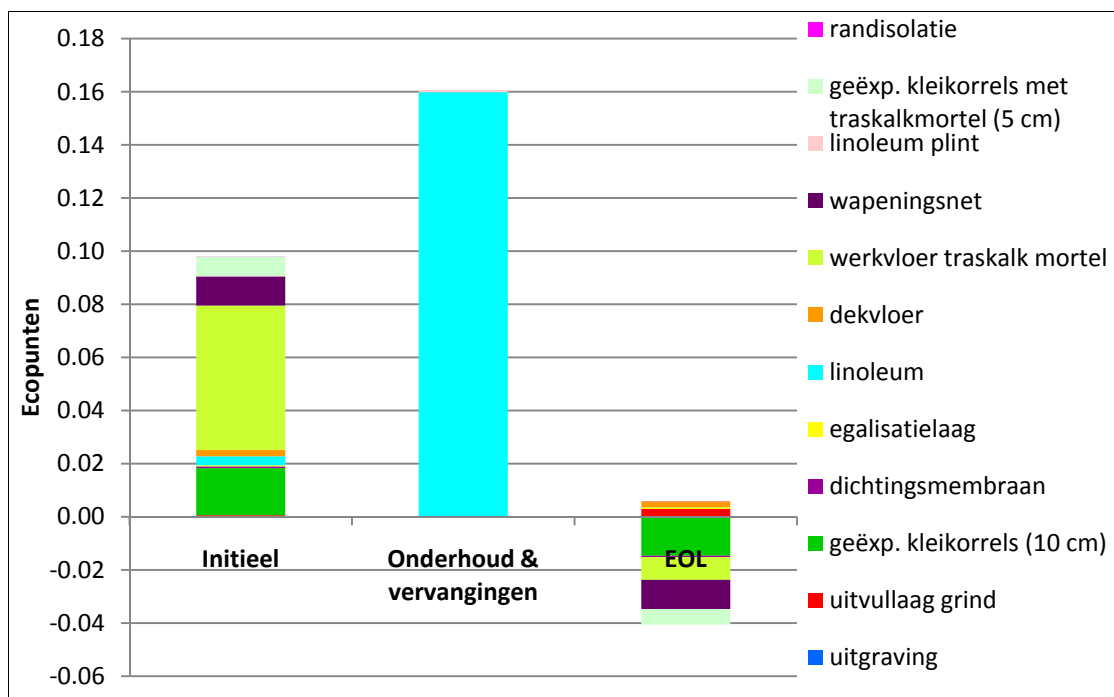


Fig. 37: Detailanalyse milieu-impact van 1m² vloer op volle grond van de bio-ecologische rijwoning (ecopunten per jaar)

1.4. Milieu-impact van de buitenwand

ecopoints/FU	initieel	onderhoud & vervangingen	EOL
dragend metselwerk	0.01916	0.00000	0.00114
spouwankers	0.00073	0.00000	-0.00073
isolatieclips	0.00002	0.00000	-0.00002
gemetste gevelsteen	0.01852	0.00009	0.00293
spouwisolatie (RW 10 cm)	0.00666	0.00000	0.00051
gipspleister	0.00070	0.00319	0.00040
verf	0.00050	0.00446	-0.00005

Tab. 33: Detailanalyse milieu-impact van 1m² buitenwand van de referentie rijwoning (ecopunten per jaar)

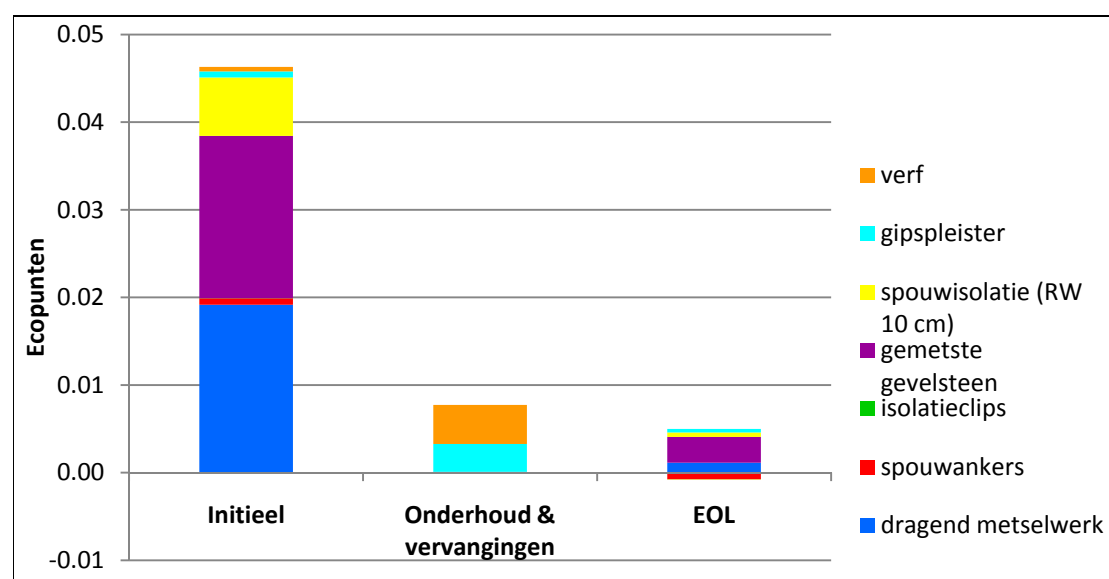


Fig. 38: Detailanalyse milieu-impact van 1m² buitenwand van de referentie rijwoning (ecopunten per jaar)

ecopoints/FU	initieel	onderhoud & vervangingen	EOL
gemetste onderregel	0.00077	0.00000	0.00005
behandeld houtskelet	0.03232	0.00000	-0.02852
isolatie tussen skelet (RW 12 cm)	0.00522	0.00000	0.00040
OSB	0.00841	0.00000	-0.00014
houten gevelbekleding	0.00991	0.00967	-0.00726
onderstructuur gevelbekleding	0.00133	0.00139	-0.00101
waterscherp	0.00069	0.00000	-0.00059
gipskartonplaat	0.00338	0.00707	-0.00013
onderstructuur binnenafwerking	0.00134	0.00049	-0.00111
verf	0.00050	0.00445	-0.00005
dampscherp	0.00059	0.00000	-0.00051

Tab. 34: Detailanalyse milieu-impact van 1m² buitenwand van de houtskelet rijwoning (ecopunten per jaar)

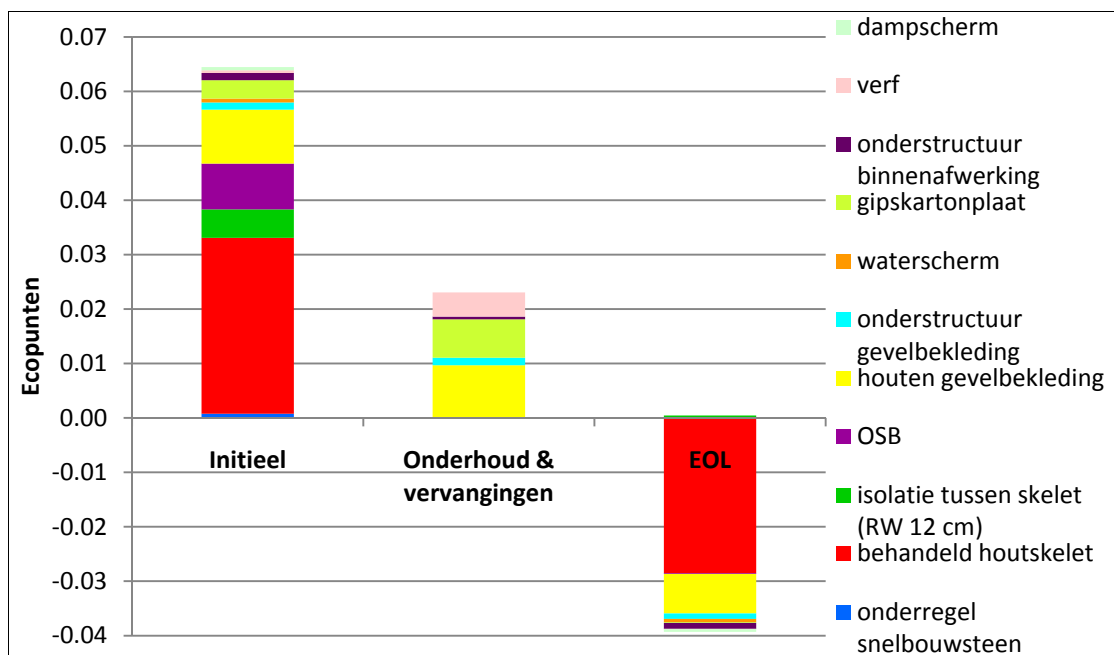


Fig. 39: Detailanalyse milieu-impact van 1m² buitenwand van de houtskelet rijwoning (ecopunten per jaar)

ecopoints/FU	initieel	onderhoud & vervangingen	EOL
onderregel kalkzandsteen	0.00048	0.00000	0.00016
onbehandeld houtskelet	0.01234	0.00000	-0.00948
isolatie tussen skelet (Cell 14 cm)	0.00075	0.00000	0.00036
isolerende houtvezelplaat	0.00052	0.00000	-0.00006
onbehandelde houten gevelbekleding	0.00962	0.01407	-0.00699
onderstructuur gevelbekleding	0.00129	0.00138	-0.00098
gipsvezelplaat	0.00394	0.00858	-0.00001
houtvezelplaat (dampscherm)	0.00563	0.01123	-0.00029
onderstructuur binnenafwerking	0.00132	0.00049	-0.00110
verf	0.00051	0.00450	-0.00005

Tab. 35: Detailanalyse milieu-impact van 1m² buitenwand van de bio-ecologische rijwoning (ecopunten per jaar)

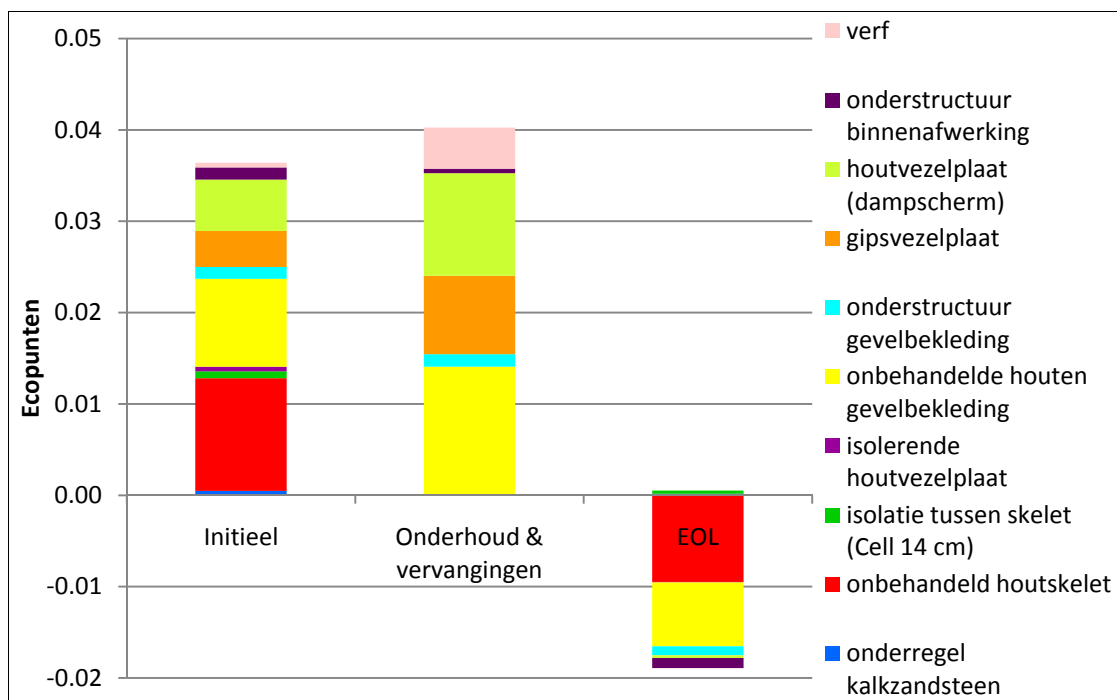


Fig. 40: Detailanalyse milieu-impact van 1m² buitenwand van de bio-ecologische rijwoning (ecopunten per jaar)

2. Verbruik van oppervlakedelfstoffen

2.1. Overzicht verbruik van oppervlakedelfstoffen op woningniveau

kg per m ² en per jaar	Zand	Klei en leem	Grind en grove granulaten
referentie	1.24	3.97	-2.08
houtskelet	0.04	0.42	0.43
bio-ecologisch	0.35	0.11	0.41

Tab. 36: Vergelijking voor de rijwoning van het totale verbruik van oppervlakedelfstoffen voor de verschillende bouwconcepten (kg per m² vloer per jaar)

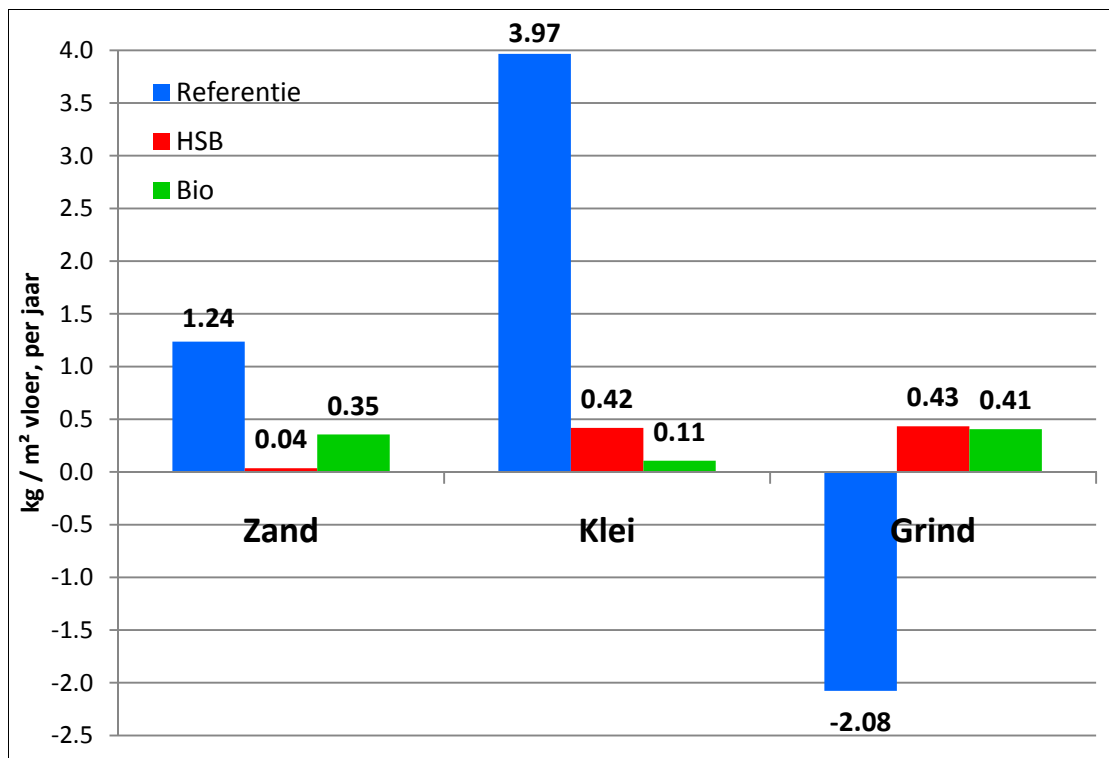


Fig. 41: Vergelijking voor de rijwoning van het totale verbruik van oppervlaktedelfstoffen voor de verschillende bouwconcepten (kg per m² vloer per jaar)

kg per m² en per jaar	initieel			onderhoud en vervanging			EOL		
	Zand	Klei	Grind	Zand	Klei	Grind	Zand	Klei	Grind
referentie	1.9855	4.4384	6.2175	0.5800	0.8325	-0.0745	-1.3297	-1.3052	-8.2203
houtskelet	0.8310	0.4796	3.2368	0.0189	0.0814	0.2799	-0.8140	-0.1434	-3.0831
bio-ecologisch	0.7010	0.5315	1.4859	0.0233	0.0389	0.4285	-0.3693	-0.4645	-1.5084

Tab. 37: Vergelijking voor de rijwoning van het totale verbruik van zand, met opdeling in levenscyclustfasen (kg per m² vloer per jaar)

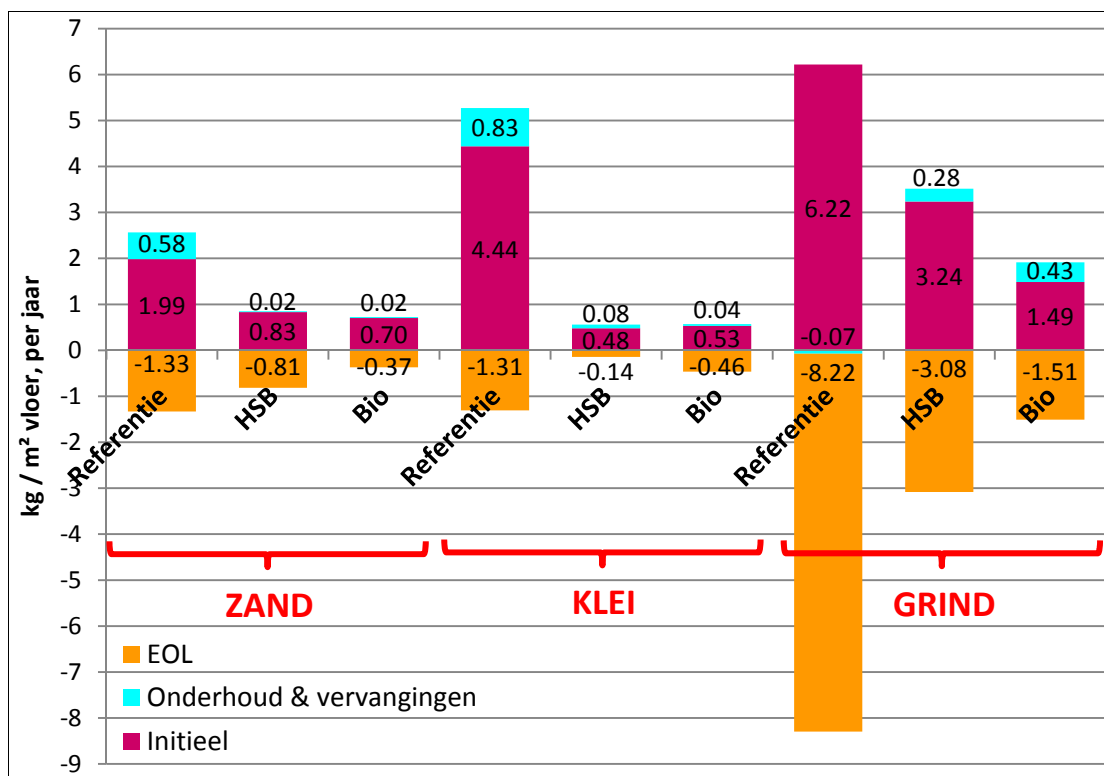


Fig. 42: Vergelijking voor de rijwoning van het totale verbruik van zand, klei en leem, en grind en grove granulaten, met opdeling in levenscyclusfasen (kg per m² vloer per jaar)

2.2. Verbruik van oppervlaktedelfstoffen voor de verschillende bouwelementen

ZAND	vloer op volle grond	fundering	buitenmuur	dragende binnenmuur	niet-dragende binnenmuur	gemene muur	Verdiepingsvloer	zoldervloer	hellend dak	Plat dakp	ramen	garagepoort	binnendeuren
kg per m² en per jaar													
referentie	0.0393	0.0006	0.3003	0.1172	0.3069	0.2496	0.0956	0.0889	0.0338	0.0035	0.0001	0.0000	0.0000
houtskelet	0.0021	0.0005	0.0047	0.0014	0.0032	0.0052	0.0013	0.0016	0.0109	0.0048	0.0002	0.0000	0.0000
bio-ecologisch	0.0367	0.2344	0.0261	0.0020	0.0027	0.0229	0.0146	0.0013	0.0114	0.0027	0.0002	0.0000	0.0000

Tab. 38: Vergelijking van het verbruik van zand per bouwelement voor de rijwoning (kg per m² vloer per jaar)

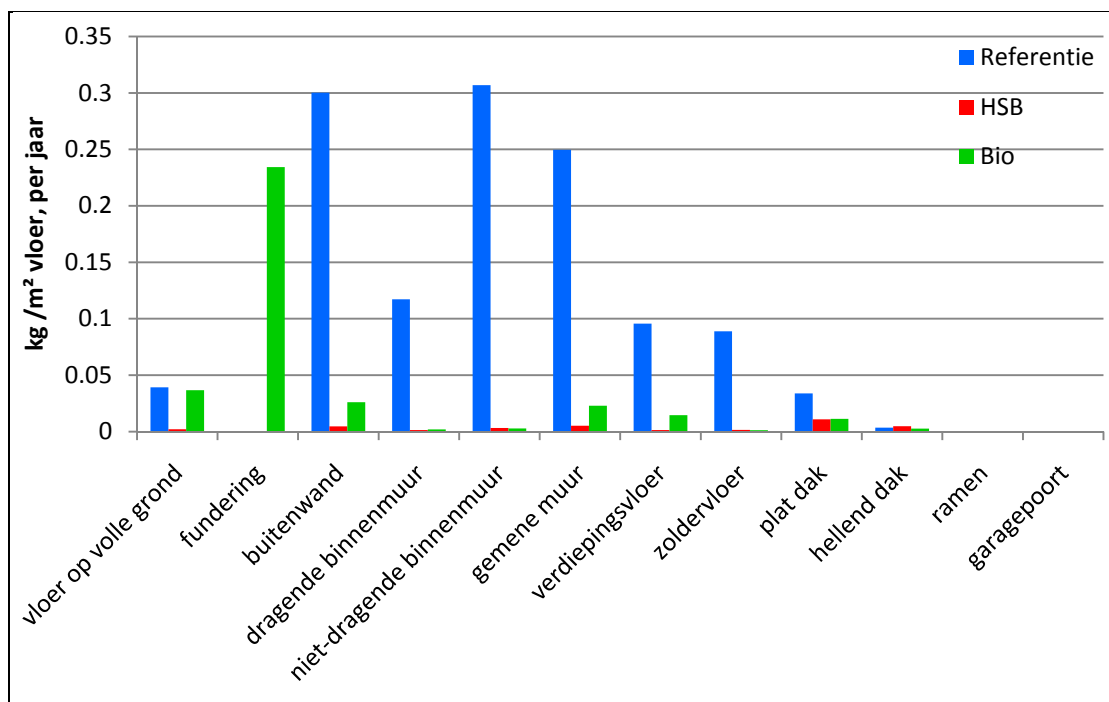


Fig. 43: Vergelijking van het verbruik van zand per bouwelement voor de rijwoning (kg per m² vloer per jaar)

KLEI EN LEEM	vloer op volle grond	fundering	buitenmuur	dragende binnenmuur	niet-dragende binnenmuur	gemene muur	Verdiepings- vloer	zoldervloer	hellend dak	Plat dakp	ramen	garagepoort	binnendeuren
kg per m² en per jaar													
referentie	0.1767	0.0271	1.2825	0.2543	0.9764	0.8167	0.1115	0.0729	0.0188	0.2286	0.0001	0.0000	0.0000
houtskelet	0.0885	0.0259	0.0307	0.0028	0.0087	0.0212	0.0042	0.0037	0.0023	0.2290	0.0005	0.0000	0.0000
bio-ecologisch	0.0683	0.0011	0.0035	0.0022	0.0044	0.0069	0.0109	0.0025	0.0024	0.0032	0.0005	0.0000	0.0000

Tab. 39: Vergelijking van het verbruik van klei en leem per bouwelement voor de rijwoning (kg per m² vloer per jaar)

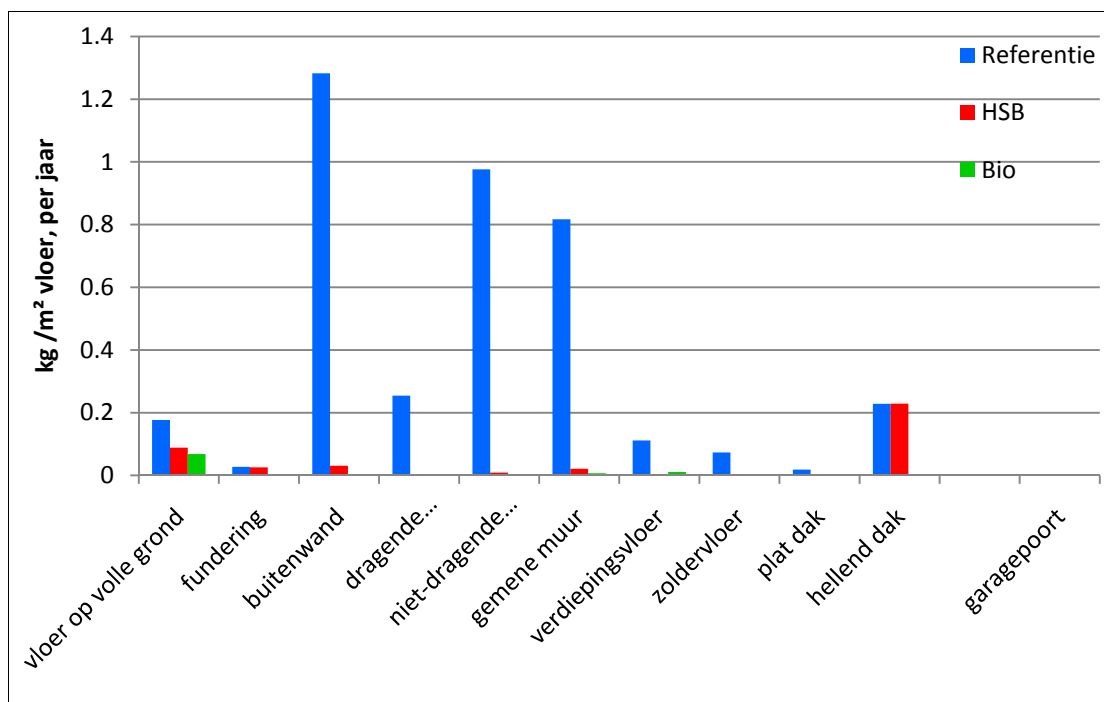


Fig. 44: Vergelijking van het verbruik van klei en leem per bouwelement voor de rijwoning (kg per m² vloer per jaar)

GRIND EN GROVE GRANULATEN	vloer op volle grond	fundering	buitenmuur	dragende binnenmuur	niet-dragende binnenmuur	gemene muur	Verdiepingsvloer	zoldervloer	hellend dak	Plat dak	ramen	garagepoort	binnendeuren
referentie	0.0574	0.0032	-0.9354	-0.1293	-0.6710	-0.5262	0.0956	0.0629	0.0231	-0.0596	0.0016	0.0000	0.0001
houtskelet	0.0444	0.0030	0.0675	0.0324	0.1122	0.0597	0.0656	0.0569	0.0171	-0.0388	0.0132	0.0000	0.0001
bio-ecologisch	0.0982	-0.1871	0.0572	0.0332	0.0620	0.1051	0.0849	0.0379	0.0218	0.0791	0.0132	0.0000	0.0001

Tab. 40: Vergelijking van het verbruik van grind en grove granulaten per bouwelement voor de rijwoning (kg per m² vloer per jaar)

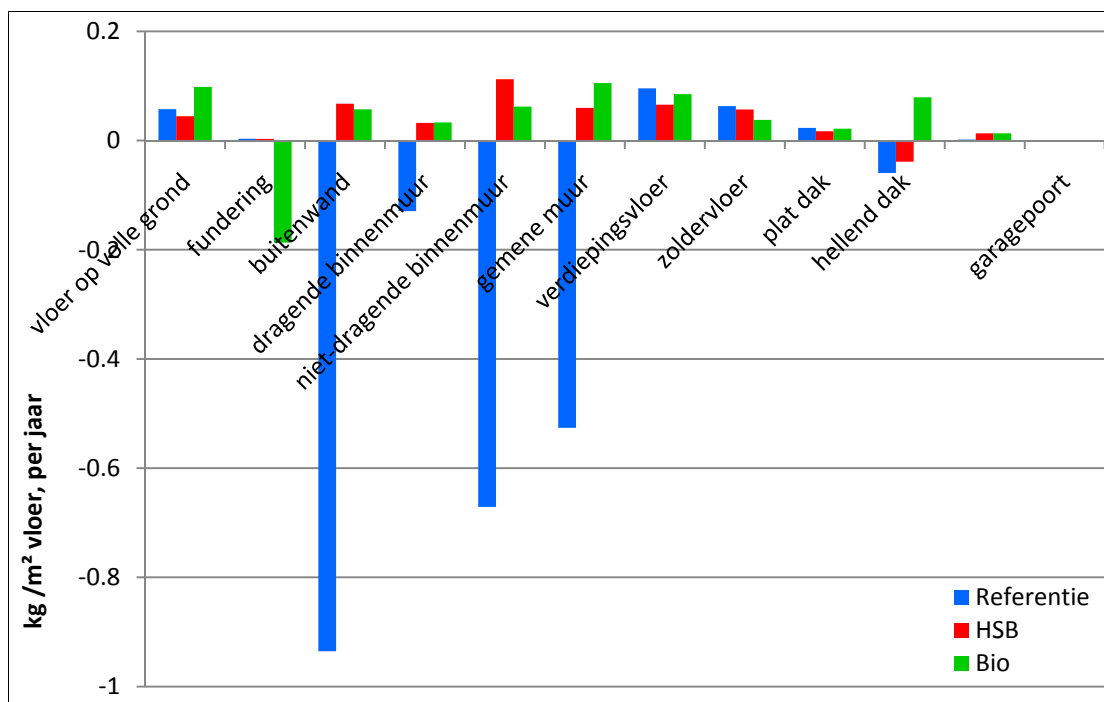


Fig. 45: Vergelijking van het verbruik van grind en grove granulaten per bouwelement voor de rijwoning (kg per m² vloer per jaar)

2.3. Detailanalyse van de vloer op volle grond

(kg/FU)	zand				klei				grind			
	initieel	Ond & verv	EOL	Totaal	initieel	Ond & verv	EOL	Totaal	initieel	Ond & verv	EOL	Totaal
uitgraving	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
uitvullaag zand	0.7440	0.0000	-0.7440	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0583	0.0000	-0.0583	0.0000
draagvloer (beton)	0.0056	0.0000	-0.0025	0.0032	0.2183	0.0000	-0.0679	0.1504	3.9829	0.0000	-3.9654	0.0175
dichtings-membraan	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0001
keramische tegels	0.0627	0.0445	-0.0185	0.0888	0.1368	0.1188	-0.0403	0.2153	0.2016	0.1250	-0.2282	0.0984
dekvloer	1.0932	0.0000	-1.0918	0.0014	0.0940	0.0000	-0.0277	0.0663	0.3343	0.0000	-0.3113	0.0230
plint	0.0032	0.0024	-0.0009	0.0046	0.0062	0.0045	-0.0018	0.0089	0.0089	-0.0014	-0.0107	-0.0032
randisolatie	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
PUR isolatie (8 cm)	0.0001	0.0000	0.0000	0.0001	0.0006	0.0000	0.0000	0.0006	0.0075	0.0000	0.0000	0.0075

Tab. 41: Detailanalyse van het verbruik van oppervlakedelfstoffen van 1m² vloer op volle grond van de referentie rijwoning per levenscyclusfase (kg per jaar)

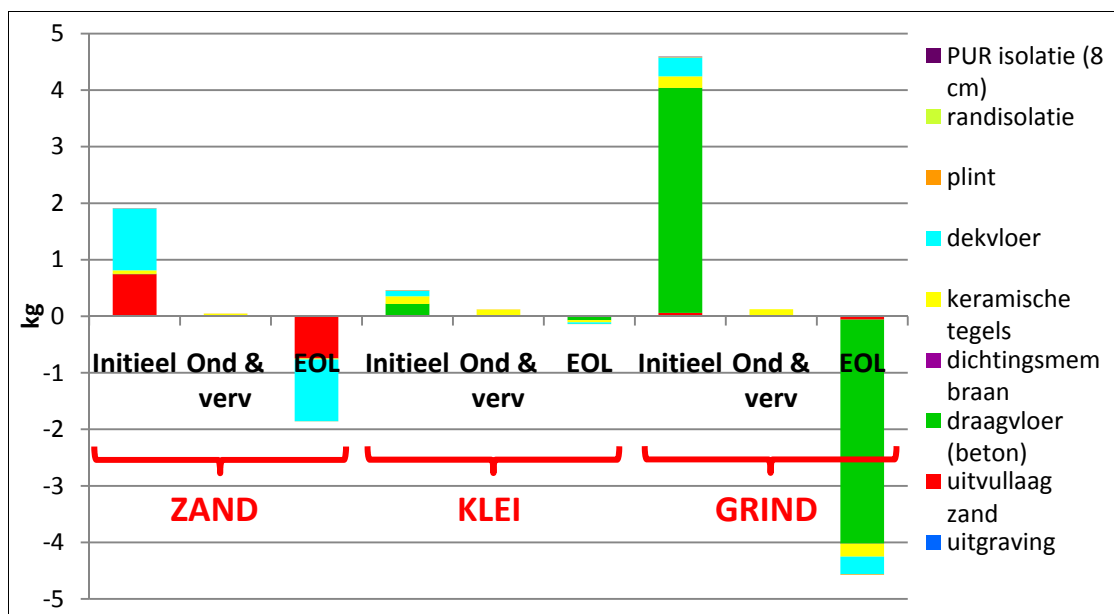


Fig. 46: Detailanalyse van het verbruik van oppervlaktedelfstoffen van 1m² vloer op volle grond van de referentie rijwoning per levenscyclusfase (kg per jaar)

(kg/FU)	zand				klei				grind			
	initieel	Ond & verv	EOL	Totaal	initieel	Ond & verv	EOL	Totaal	initieel	Ond & verv	EOL	Totaal
uitgraving	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
uitvullaag zand	0.8928	0.0000	-0.8928	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0699	0.0000	-0.0699	0.0000
draagvloer (beton)	0.0056	0.0000	-0.0025	0.0032	0.2183	0.0000	-0.0679	0.1504	3.9829	0.0000	-3.9654	0.0175
dichtingsmembraan	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0001
parket	0.0003	0.0003	-0.0002	0.0004	0.0007	0.0036	-0.0005	0.0038	0.0916	0.0490	-0.0790	0.0615
dekvloer	1.0932	0.0000	-1.0918	0.0014	0.0940	0.0000	-0.0277	0.0663	0.3343	0.0000	-0.3113	0.0230
houten plint	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0024	0.0010	-0.0021	0.0013
randisolatie	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
PUR isolatie (8 cm)	0.0001	0.0000	0.0000	0.0001	0.0006	0.0000	0.0000	0.0006	0.0075	0.0000	0.0000	0.0075

Tab. 42: Detailanalyse van het verbruik van oppervlaktedelfstoffen van 1m² vloer op volle grond van de houtskeletbouw rijwoning per levenscyclusfase (kg per jaar)

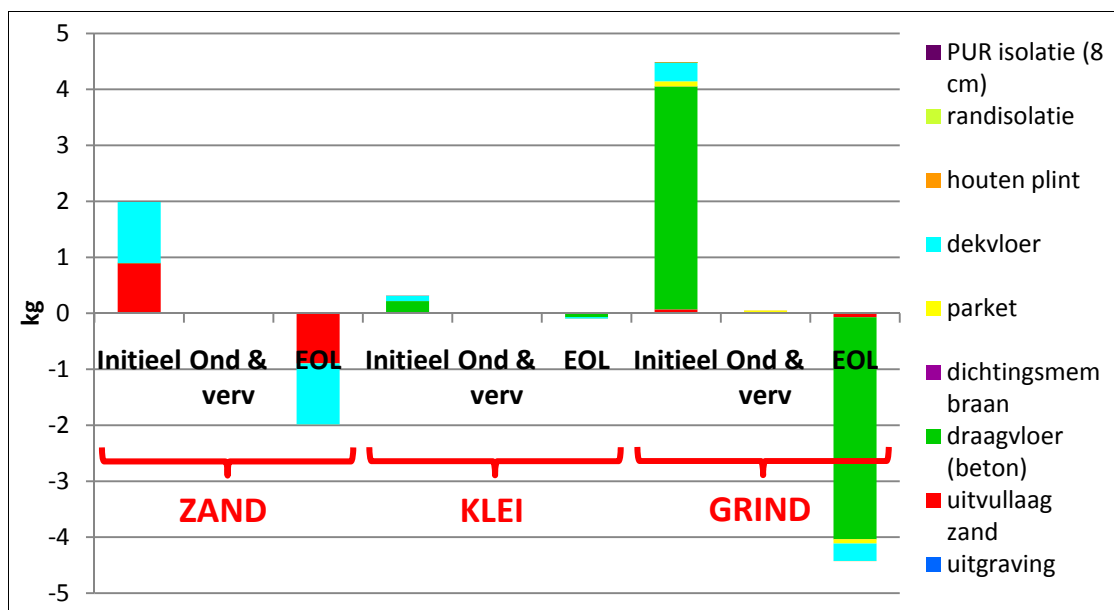


Fig. 47: Detailanalyse van het verbruik van oppervlaktedelfstoffen van 1m² vloer op volle grond van de houtskeletbouw rijwoning per levenscyclusfase (kg per jaar)

(kg/FU)	zand				klei				grind			
	initieel	Ond & verv	EOL	Totaal	initieel	Ond & verv	EOL	Totaal	initieel	Ond & verv	EOL	Totaal
uitgraving	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
uitvullaag grind	0.0001	0.0000	-0.0001	0.0000	0.0003	0.0000	-0.0003	0.0000	1.2511	0.0000	-1.1814	0.0698
geëxp. Klei-korrels (10 cm)	0.0015	0.0000	-0.0014	0.0001	0.8394	0.0000	-0.7926	0.0468	0.0112	0.0000	-0.0106	0.0006
dichtingsmembraan	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0001
egalisatielaag	0.0586	0.0000	-0.0172	0.0414	0.0062	0.0000	-0.0018	0.0043	0.0205	0.0000	-0.0565	-0.0360
linoleum	0.0001	0.0005	0.0000	0.0006	0.0002	0.0230	0.0000	0.0232	0.0041	0.1712	0.0000	0.1753
dekvloer	0.5466	0.0000	-0.5459	0.0007	0.0470	0.0000	-0.0139	0.0331	0.1672	0.0000	-0.1557	0.0115
werkvloer traskalk mortel	0.0690	0.0000	-0.0203	0.0487	0.0631	0.0000	-0.0188	0.0443	0.6810	0.0000	-0.6583	0.0226
wapeningsnet	0.0004	0.0000	-0.0004	0.0000	0.0008	0.0000	-0.0008	0.0000	0.0156	0.0000	-0.0156	0.0000
linoleum plint	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0009	0.0000	0.0011
geëxp. kleikorrels met traskalkmortel (5 cm)	0.0009	0.0000	-0.0006	0.0003	0.3327	0.0000	-0.3139	0.0188	0.0078	0.0000	-0.0075	0.0004
randisolatie	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Tab. 43: Detailanalyse van het verbruik van oppervlaktedelfstoffen van 1m² vloer op volle grond van de bio-ecologische rijwoning per levenscyclusfase (kg per jaar)

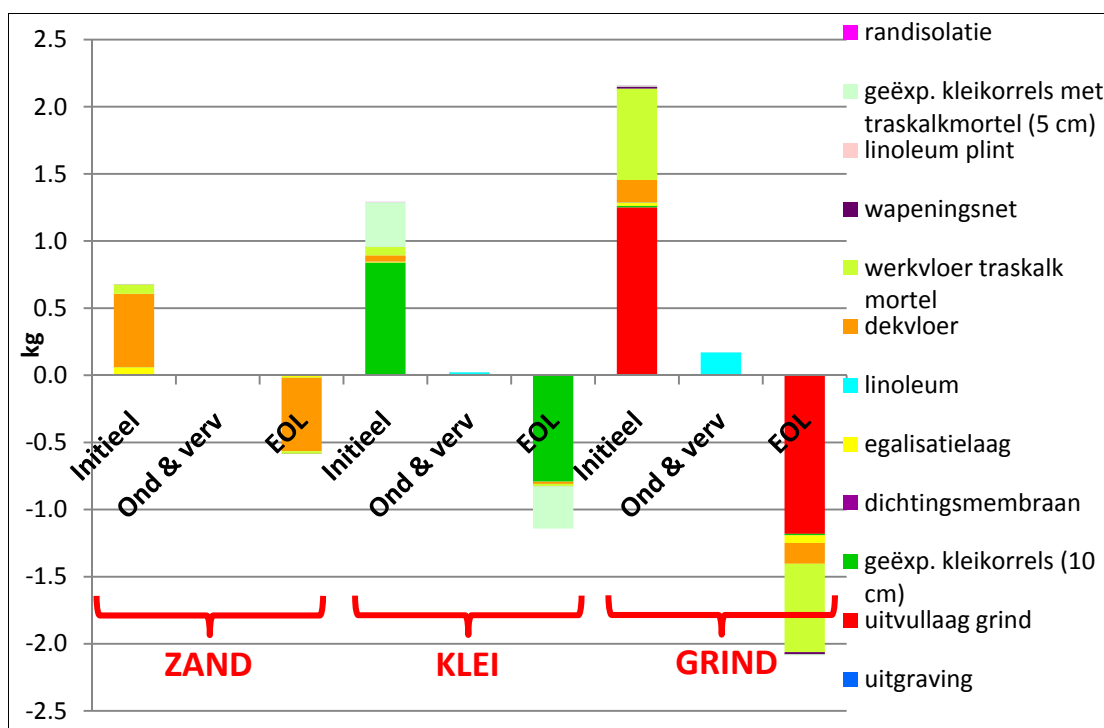


Fig. 48: Detailanalyse van het verbruik van oppervlakedelfstoffen van 1m² vloer op volle grond van de bio-ecologische rijwoning per levenscyclusfase (kg per jaar)

2.4. Detailanalyse van de buitenwand

(kg/FU)	zand				klei				grind			
	initieel	Ond & verv	EOL	Totaal	initieel	Ond & verv	EOL	Totaal	initieel	Ond & verv	EOL	Totaal
dragend metselwerk	0.2522	0.0000	-0.0743	0.1779	2.1650	0.0000	-0.6370	1.5280	0.1107	0.0000	-1.2865	-1.1758
spouwankers	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	-0.0001	0.0000	0.0010	0.0000	-0.0010	0.0000
isolatieclips	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
gemetste gevelsteen	0.4096	0.0011	-0.1206	0.2902	1.9513	0.0012	-0.5742	1.3783	0.1632	0.0041	-1.3258	-1.1585
spouwisolatie (RW 10 cm)	0.0004	0.0000	0.0000	0.0004	0.0040	0.0000	0.0000	0.0040	0.0606	0.0000	0.0000	0.0606
gipspleister	0.0809	0.1487	-0.0095	0.2201	0.0090	0.0226	-0.0011	0.0305	0.0348	0.0871	-0.0041	0.1178
verf	0.0000	0.0002	0.0000	0.0003	0.0002	0.0013	0.0000	0.0014	0.0011	0.0090	-0.0001	0.0100

Tab. 44: Detailanalyse van het verbruik van oppervlakedelfstoffen van 1m² buitenwand van de referentie rijwoning per levenscyclusfase (kg per jaar)

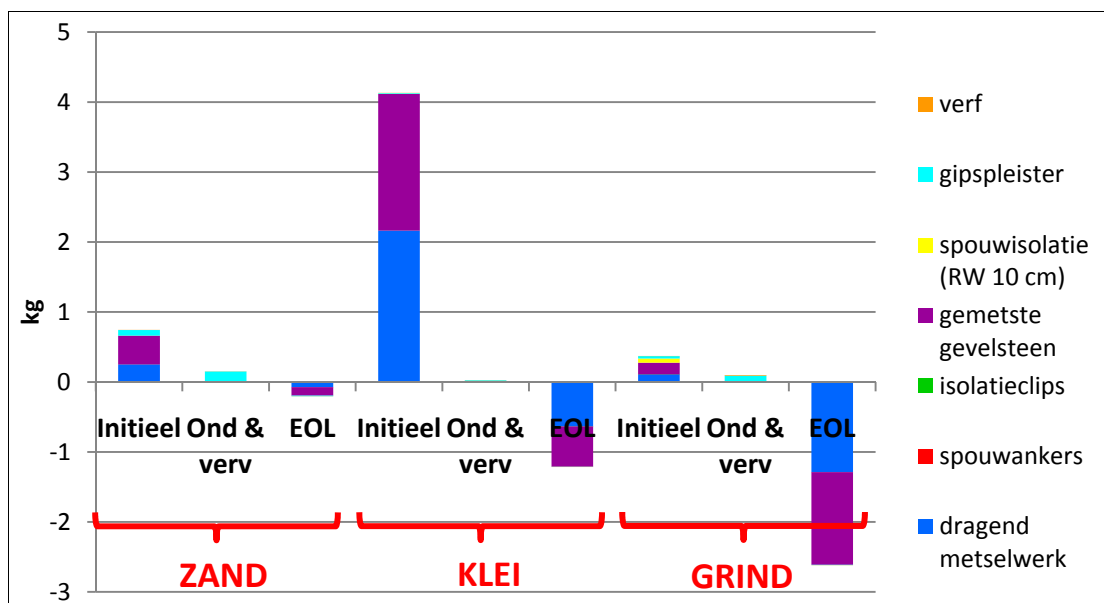


Fig. 49: Detailanalyse van het verbruik van oppervlaktedelfstoffen van 1m² buitenwand van de referentie rijwoning per levenscyclusfase (kg per jaar)

(kg/FU)	zand				klei				grind			
	initieel	Ond & verv	EOL	Totaal	initieel	Ond & verv	EOL	Totaal	initieel	Ond & verv	EOL	Totaal
gemetste onderregel	0.0101	0.0000	-0.0030	0.0071	0.0866	0.0000	-0.0255	0.0611	0.0044	0.0000	-0.0515	-0.0470
behandeld houtskelet	0.0005	0.0000	-0.0004	0.0001	0.0009	0.0000	-0.0008	0.0001	0.1273	0.0000	-0.1213	0.0060
isolatie tussen skelet (RW 12 cm)	0.0003	0.0000	0.0000	0.0003	0.0031	0.0000	0.0000	0.0031	0.0474	0.0000	0.0000	0.0474
OSB	0.0004	0.0000	0.0000	0.0004	0.0011	0.0000	0.0000	0.0011	0.0223	0.0000	-0.0004	0.0219
houten gevelbekleding	0.0003	0.0001	-0.0003	0.0001	0.0007	0.0004	-0.0006	0.0005	0.1150	0.0534	-0.1002	0.0681
onderstructuur gevelbekleding	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	-0.0001	0.0001	0.0140	0.0071	-0.0123	0.0089
waterscherm	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0001
gipskartonplaat	0.0003	0.0020	0.0000	0.0023	0.0005	0.0026	-0.0001	0.0030	0.0112	0.0259	-0.0016	0.0356
onderstructuur binnenafwerking	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	-0.0001	0.0000	0.0104	0.0025	-0.0092	0.0037
verf	0.0000	0.0002	0.0000	0.0003	0.0002	0.0013	0.0000	0.0014	0.0011	0.0090	-0.0001	0.0100
dampscherm	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0001

Tab. 45: Detailanalyse van het verbruik van oppervlaktedelfstoffen van 1m² buitenwand van de houtskeletbouw rijwoning per levenscyclusfase (kg per jaar)

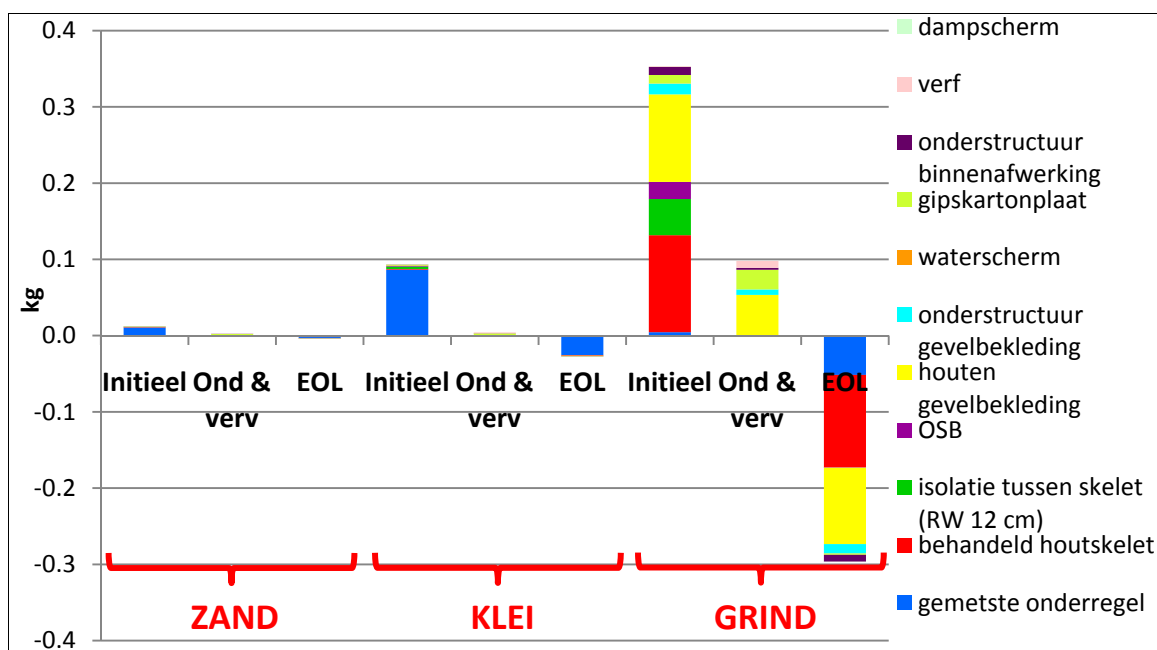


Fig. 50: Detailanalyse van het verbruik van oppervlakedelfstoffen van 1m² buitenwand van de houtskeletbouw rijwoning per levenscyclusfase (kg per jaar)

(kg/FU)	zand				klei				grind			
	initieel	Ond & verv	EOL	Totaal	initieel	Ond & verv	EOL	Totaal	initieel	Ond & verv	EOL	Totaal
onderregel kalkzandsteen	0.0754	0.0000	-0.0222	0.0532	0.0010	0.0000	-0.0003	0.0007	0.0215	0.0000	-0.0643	-0.0428
onbehandeld houtskelet	0.0003	0.0000	-0.0003	0.0000	0.0008	0.0000	-0.0007	0.0001	0.0747	0.0000	-0.0669	0.0079
isolatie tussen skelet (Cell 14 cm)	0.0001	0.0000	0.0000	0.0001	0.0002	0.0000	0.0000	0.0002	0.0052	0.0000	0.0000	0.0052
isolerende houtvezelplaat	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0032	0.0000	0.0000	0.0032
onbehandelde houten gevelbekleding	0.0003	0.0001	-0.0002	0.0002	0.0007	0.0005	-0.0006	0.0006	0.0582	0.0457	-0.0507	0.0531
onderstructuur gevelbekleding	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	-0.0001	0.0001	0.0072	0.0036	-0.0063	0.0045
gipsvezelplaat	0.0003	0.0022	0.0000	0.0025	0.0003	0.0022	0.0000	0.0024	0.0154	0.0334	-0.0021	0.0467
houtvezelplaat (dampscreen)	0.0006	0.0028	0.0000	0.0035	0.0003	0.0023	0.0000	0.0026	0.0122	0.0299	-0.0006	0.0415
onderstructuur binnenafwerking	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	-0.0001	0.0000	0.0056	0.0013	-0.0050	0.0019
verf	0.0000	0.0002	0.0000	0.0003	0.0002	0.0013	0.0000	0.0014	0.0011	0.0091	-0.0001	0.0101

Tab. 46: Detailanalyse van het verbruik van oppervlakedelfstoffen van 1m² buitenwand van de bio-ecologische rijwoning per levenscyclusfase (kg per jaar)

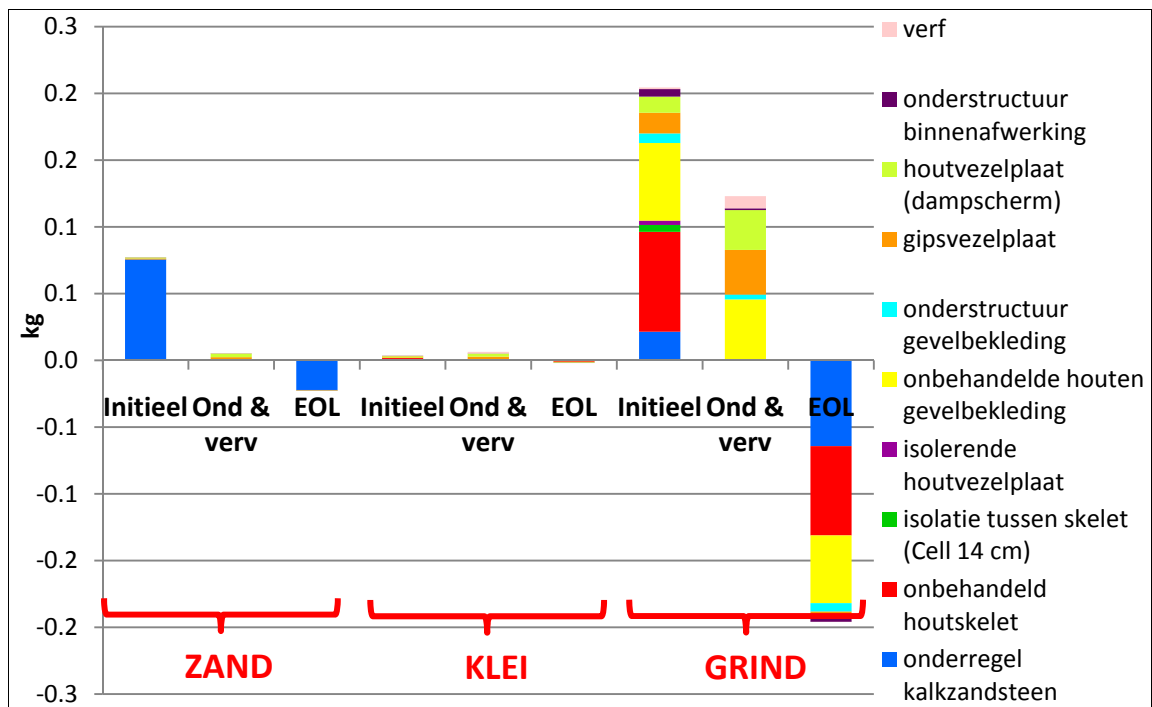


Fig. 51: Detailanalyse van het verbruik van oppervlaktedelfstoffen van 1m² buitenwand van de bio-ecologische rijwoning per levenscyclusfase (kg per jaar)

Bijlage 5 - Gedetailleerd overzicht van de resultaten voor het appartement

1. Milieu-impact

1.1. Globale milieu-impact van de woning

Ecopunten per m ² voor volledige levenscyclus	Carcinogens	Resp. organics	Resp. inorganics	Climate change	Radiation	Ozone layer	Ecotoxicity	Acidification/ Eutrophication	Land use	Minerals	Fossil fuels	totaal
referentie	0.8539	0.0323	13.9645	3.1673	0.2094	0.0106	1.2069	1.3877	1.5484	0.6393	156.3081	179.3283
max. recyclage	1.1329	0.0339	11.4079	4.0806	0.2729	0.0117	1.2845	1.5629	1.6333	0.6273	160.7036	182.7516
IFD	1.3228	0.0396	18.3426	3.6587	0.3000	0.0169	1.5645	2.0235	2.4894	0.8875	246.2696	276.9152

Tab. 47: Vergelijking van de milieu-impact per milieu-indicator voor het appartement (ecopunten per m² vloer voor de volledige levensduur)

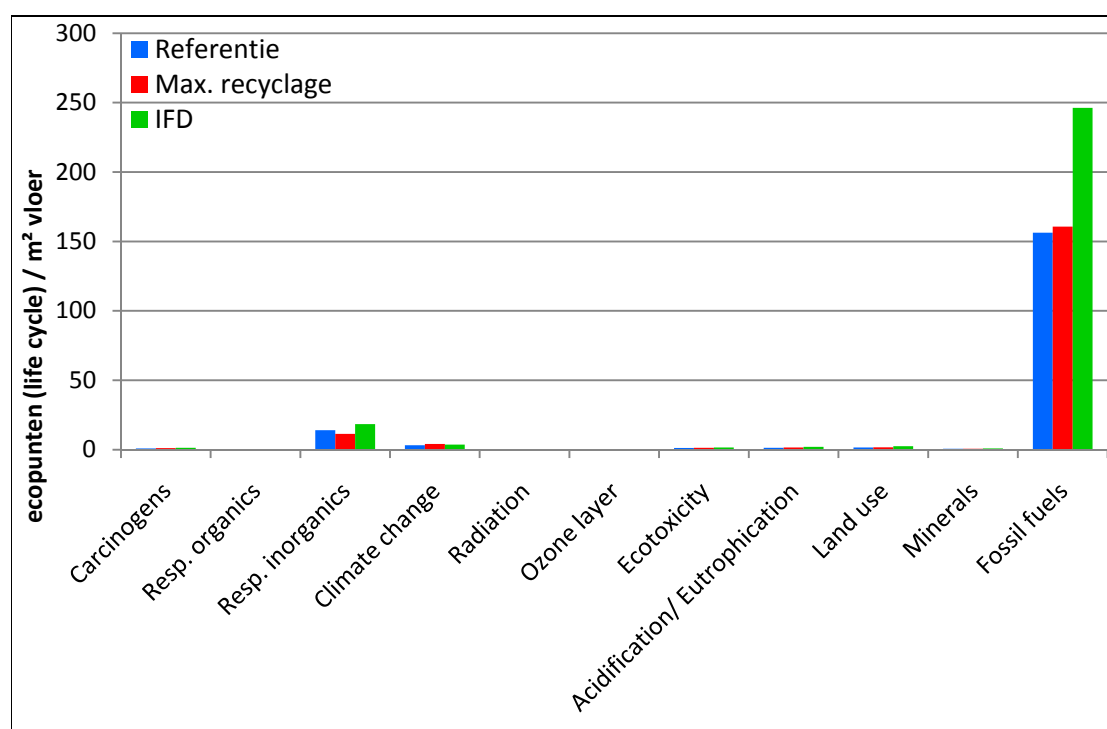


Fig. 52: Vergelijking van de milieu-impact per milieu-indicator voor het appartement (ecopunten per m² vloer voor de volledige levensduur)

Ecopunten per m ² per jaar	Carcinogens	Resp. organics	Resp. inorganics	Climate change	Radiation	Ozone layer	Ecotoxicity	Acidification/ Eutrophication	Land use	Minerals	Fossil fuels	totaal
referentie	0.0095	0.0004	0.1552	0.0352	0.0023	0.0001	0.0134	0.0154	0.0172	0.0071	1.7368	1.9925
max. recyclage	0.0126	0.0004	0.1268	0.0453	0.0030	0.0001	0.0143	0.0174	0.0181	0.0070	1.7856	2.0306
IFD	0.0088	0.0003	0.1223	0.0244	0.0020	0.0001	0.0104	0.0135	0.0166	0.0059	1.6418	1.8461

Tab. 48: Vergelijking van de milieu-impact per milieu-indicator voor het appartement (ecopunten per m² vloer en per jaar)

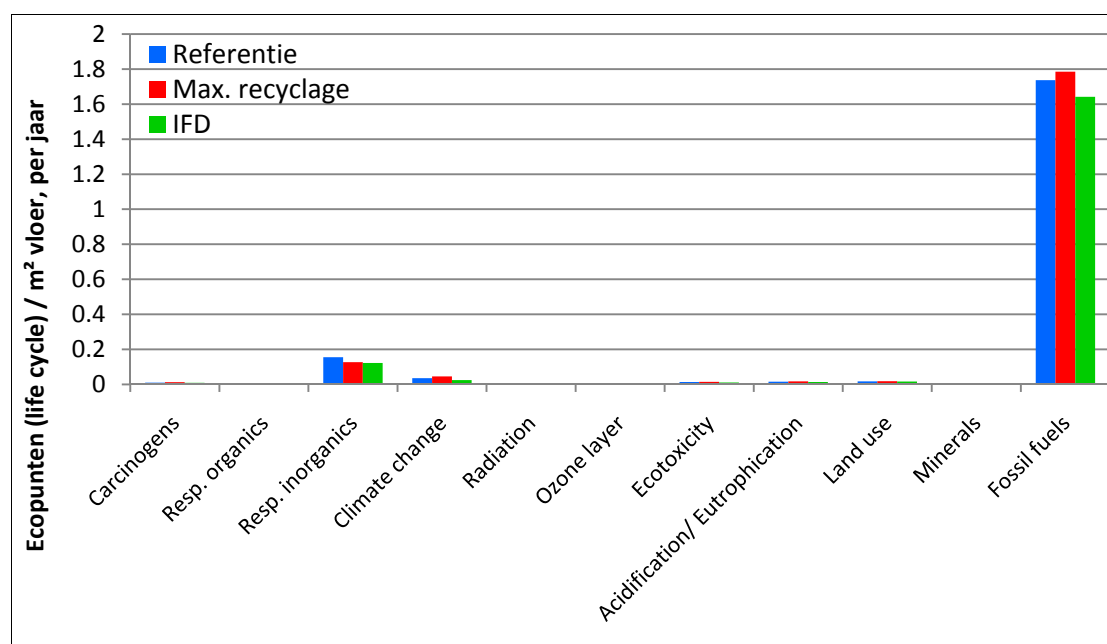


Fig. 53: Vergelijking van de milieu-impact per milieu-indicator voor het appartement (ecopunten per m² vloer en per jaar)

Ecopunten per m ² en per jaar	totaal initieel	totaal onderhoud en vervangingen	totaal energie	totaal EOL	Totaal levenscyclus
referentie	0.2437	0.2952	1.4806	-0.0271	1.9925
max. recyclage	0.1148	0.4182	1.4693	0.0282	2.0306
IFD	0.1575	0.2384	1.4795	-0.0293	1.8461

Tab. 49: Totale milieu-impact voor het appartement, met verdeling in levenscyclusfasen (ecopunten per m² vloer en per jaar)

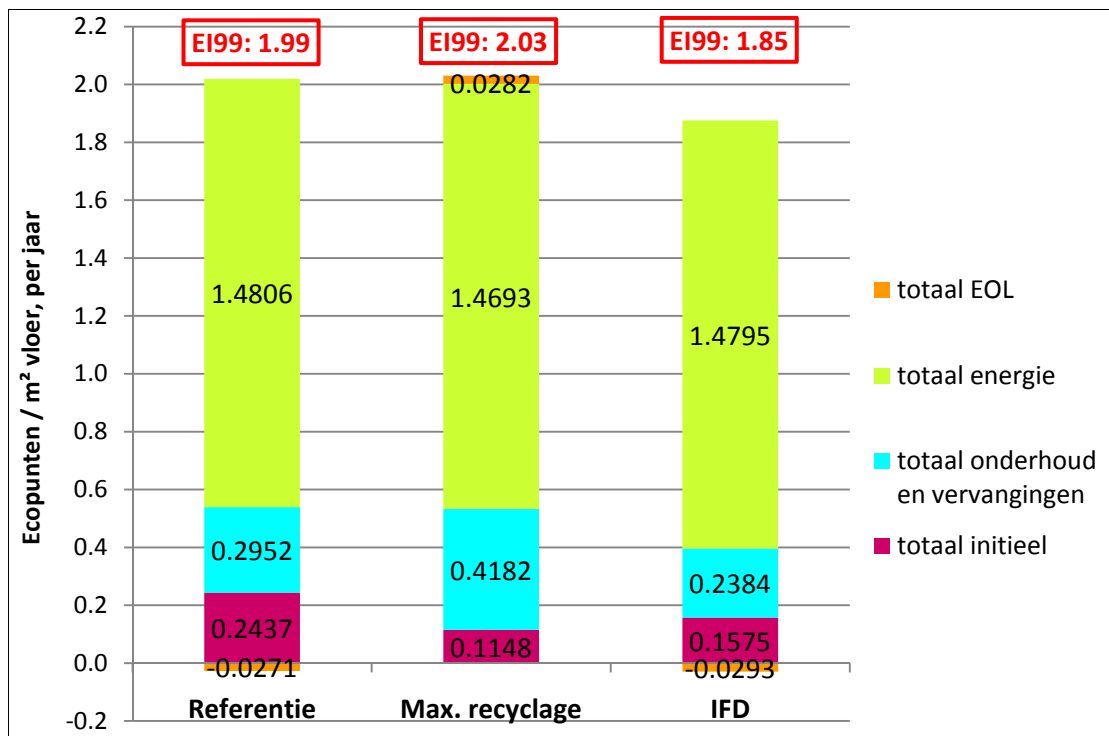


Fig. 54: Totale milieu-impact voor het appartement, met verdeling in levenscyclusfasen (ecopunten per m² vloer en per jaar)

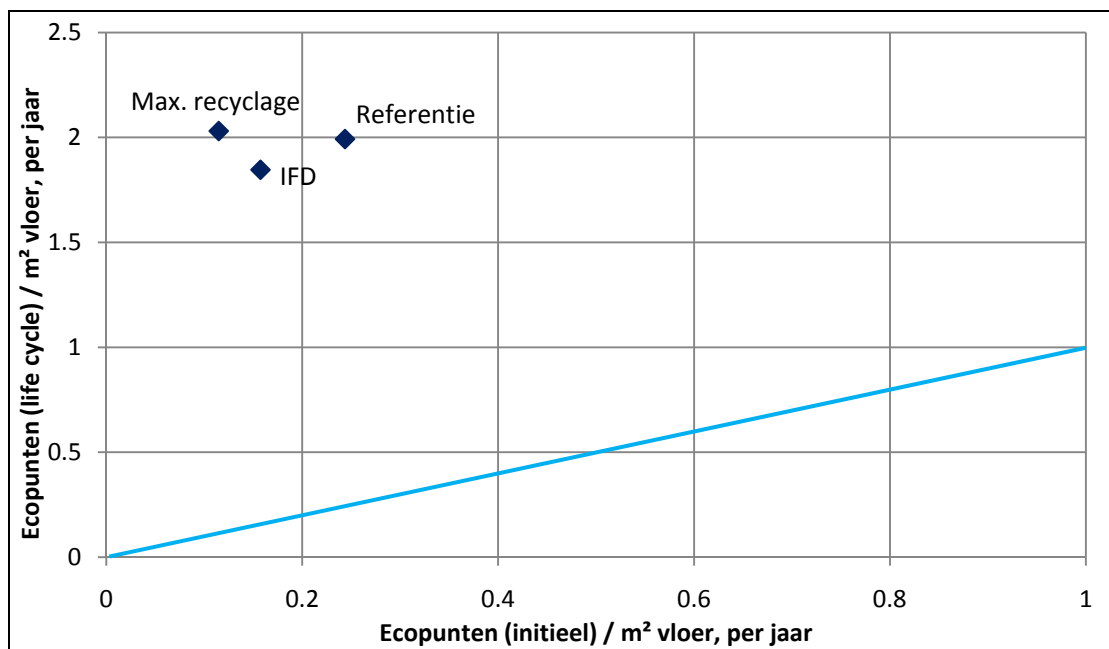


Fig. 55: Vergelijking initiële milieu-impact versus levenscyclus milieu-impact van het appartement (ecopunten per m² vloer en per jaar)

1.2. Milieu-impact van de bouwelementen

Ecopunten per m ² en per jaar	vloer op volle grond	paalfundering	buitenmuur	dragende binnenmuur	niet-dragende binnenmuur	gemene muur	verdiepingsvloer	plat d dak	ramen	binnendeuren
referentie	0.9575	0.1721	0.8965	0.3726	0.5857	0.6304	8.5460	0.2335	0.1988	0.0063
max. recyclage	1.3629	0.0706	0.8157	0.3779	0.4498	0.6423	10.7081	0.1515	0.5808	0.0070
IFD	0.5745	0.1032	0.9519	0.0000	0.8740	0.5221	5.1276	0.2552	0.1193	0.0038

Tab. 50: Vergelijking voor het appartement van de milieu-impact van de bouwelementen op woningniveau voor de verschillende bouwconcepten (ecopunten per m² vloer en per jaar)

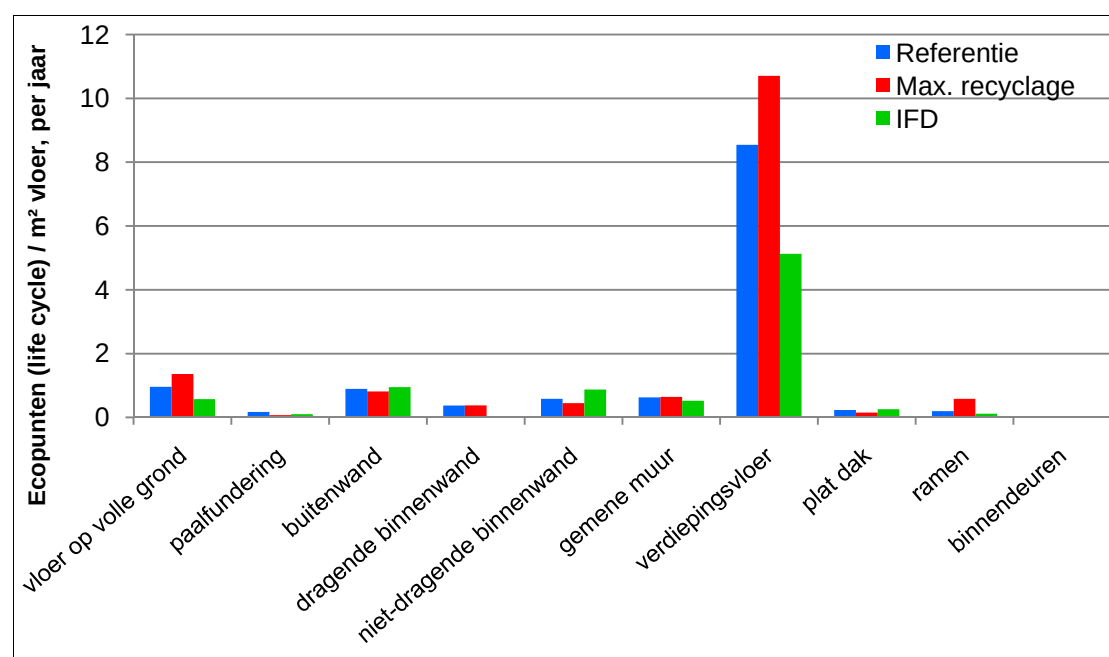


Fig. 56: Vergelijking voor het appartement van de milieu-impact van de bouwelementen op woningniveau voor de verschillende bouwconcepten (ecopunten per m² vloer en per jaar)

1.3. Milieu-impact van de verdiepingsvloer

ecopoints/FU	initieel	onderhoud & vervangingen	EOL
welfsels	0.00948	0.00000	0.00483
druklaag	0.00611	0.00000	0.00106
tegels	0.07308	0.15937	-0.02044
chape	0.00265	0.00000	0.00252
plint	0.00445	0.00325	-0.00125
randisolatie	0.00007	0.00000	0.00001
gipspleister	0.00087	0.00404	0.00049
verf	0.00078	0.00692	-0.00007

Tab. 51: Detailanalyse milieu-impact van 1m² verdiepingsvloer van het referentie en IFD appartement (ecopunten per jaar)

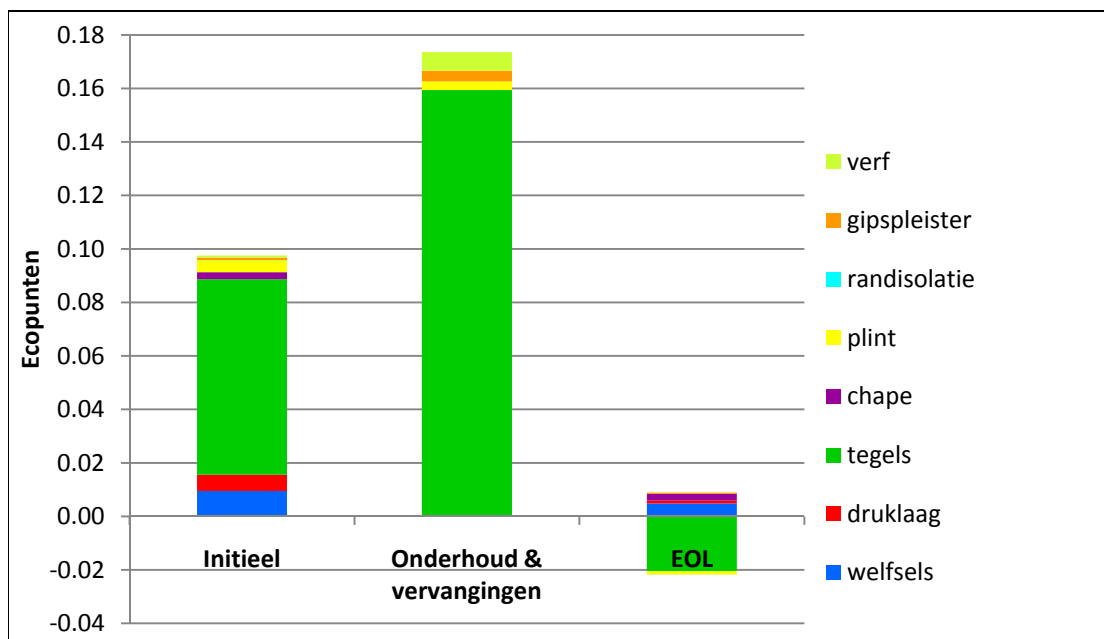


Fig. 57: Detailanalyse milieu-impact van 1m² verdiepingsvloer van het referentie en IFD appartement (ecopunten per jaar)

ecopoints/FU	initieel	onderhoud & vervangingen	EOL
welfsels	0.00700	0.00000	-0.00124
druklaag	0.00376	0.00000	-0.00080
vloerbekleding - gerecycleerde autobanden	0.01655	0.24318	-0.00004
chape - gerecycleerd PUR	0.00032	0.00000	0.00236
isolerende houtvezelplaat (4cm)	0.00184	0.00000	-0.00071
OSB ondervloer	0.00072	0.00000	0.00001
houtvezelplaat (1,5 cm)	0.00195	0.00000	0.00098
plint (gerecycleerde autobanden)	0.00111	0.00588	0.00005
randisolatie	0.00007	0.00000	0.00001
pleister	0.00021	0.00474	0.00155
verf	0.00078	0.00692	-0.00007

Tab. 52: Detailanalyse milieu-impact van 1m² verdiepingsvloer van het appartement met maximale recyclage (ecopunten per jaar)

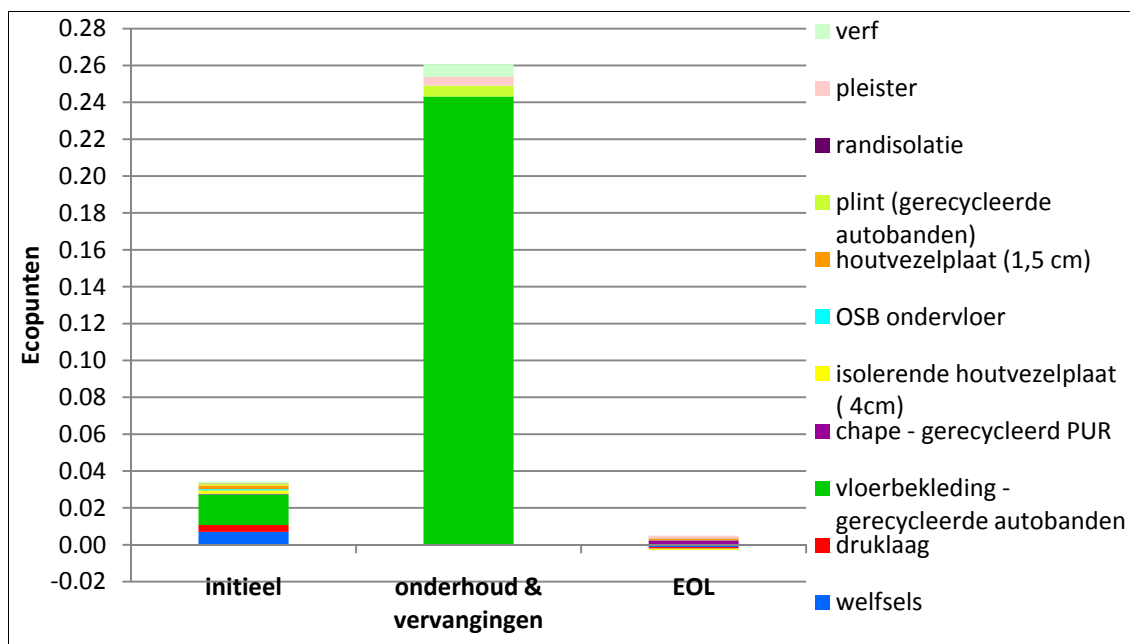


Fig. 58: Detailanalyse milieu-impact van 1m² verdiepingsvloer van het appartement met maximale recyclage (ecopunten per jaar)

2. Verbruik van oppervlakedelfstoffen

2.1. Overzicht verbruik van oppervlakedelfstoffen op woningniveau

kg per m² en per jaar	Zand	Klei en leem	Grind en grove granulaten
referentie	1.9118	4.9644	-2.3803
max. recyclage	0.0670	0.3894	1.5272
IFD	0.6546	1.6343	-0.1873

Tab. 53: Vergelijking voor het appartement van het totale verbruik van oppervlakedelfstoffen voor de verschillende bouwconcepten (kg per m² vloer per jaar)

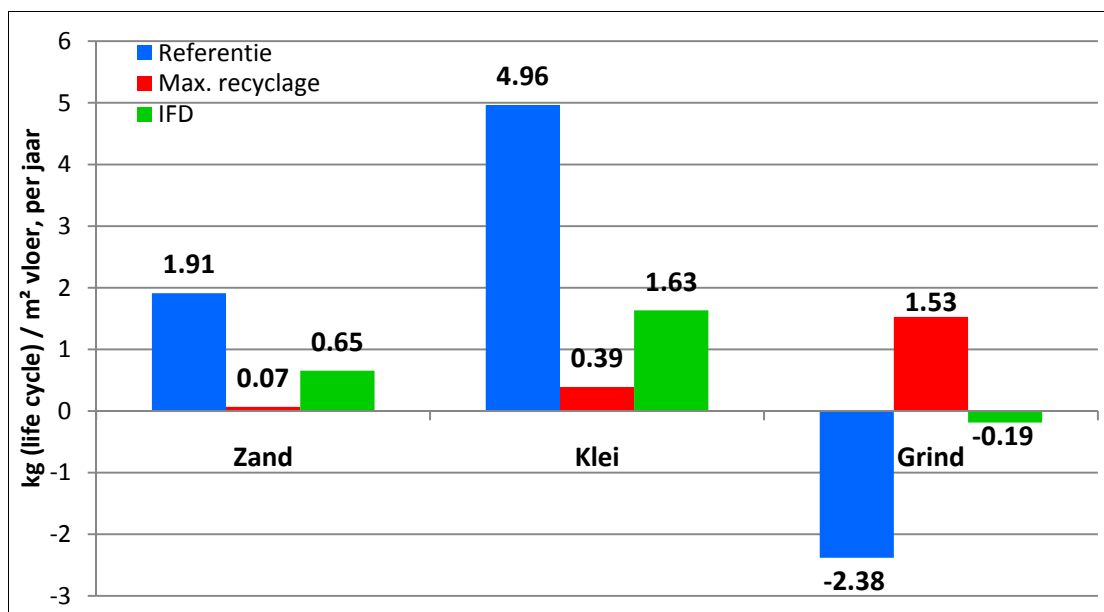


Fig. 59: Vergelijking voor het appartement van het totale verbruik van oppervlaktedelfstoffen voor de verschillende bouwconcepten (kg per m² vloer per jaar)

kg per m² en per jaar	initieel			onderhoud en vervanging			EOL		
	Zand	Klei	Grind	Zand	Klei	Grind	Zand	Klei	Grind
referentie	2.5152	5.7568	8.5884	0.9147	0.8977	0.2189	-1.5181	-1.6901	-11.1877
max. recyclage	0.0205	0.4098	1.2308	0.0522	0.0982	0.6569	-0.0058	-0.1186	-0.3605
IFD	1.0767	1.3049	6.4050	0.3869	0.7166	0.1224	-0.8091	-0.3872	-6.7147

Tab. 54: Vergelijking voor het appartement van het totale verbruik van zand, met opdeling in levenscyclustfasen (kg per m² vloer per jaar)

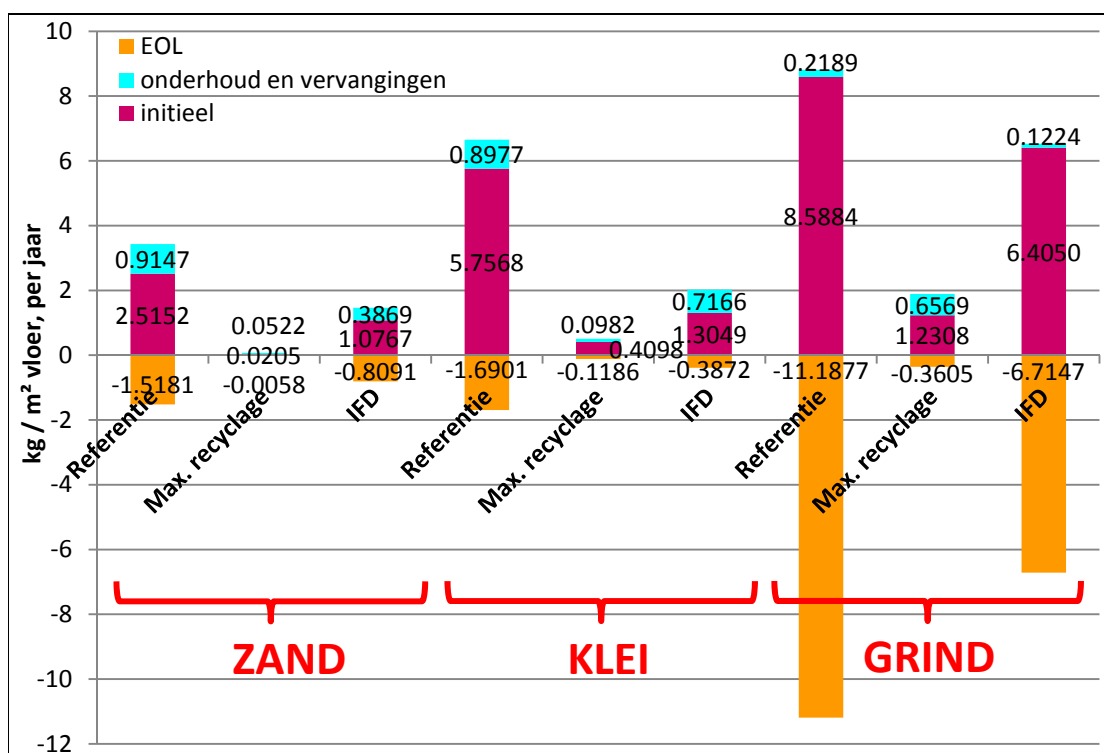


Fig. 60: Vergelijking voor het appartement van het totale verbruik van zand, met opdeling in levenscyclustfasen (kg per m² vloer per jaar)

2.2. Verbruik van oppervlaktedelfstoffen voor de verschillende bouwelementen

ZAND		vloer op volle grond	paalfundering	buitenmuur	dragende binnenmuur	niet-dragende binnenmuur	gemene muur	verdiepingsvloer	plat dak	ramen	binnendeuren
kg per m ² en per jaar											
referentie		0.0147	0.0011	0.4404	0.2430	0.3429	0.4093	0.4216	0.0387	0.0001	0.0000
max. recyclage		0.0011	0.0013	0.0064	0.0078	0.0029	0.0133	0.0242	0.0089	0.0009	0.0000
IFD		0.0088	0.0007	0.3435	0.0000	0.0066	0.0034	0.2530	0.0386	0.0001	0.0000

Tab. 55: Vergelijking van het verbruik van zand per bouwelement voor het appartement (kg per m² vloer per jaar)

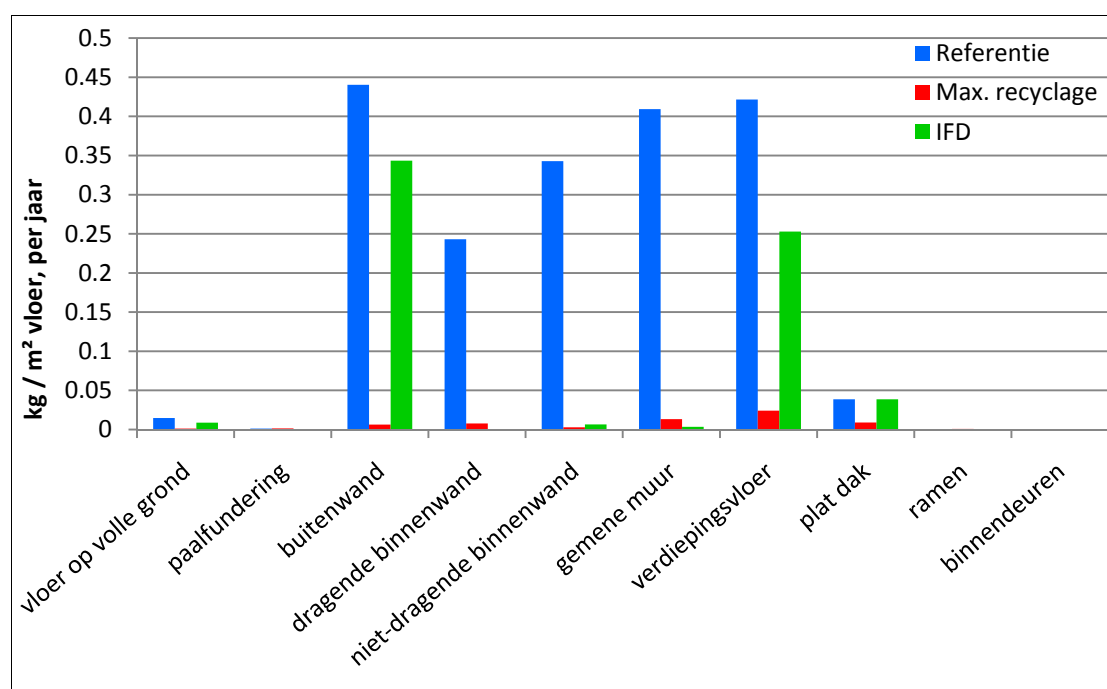


Fig. 61: Vergelijking van het verbruik van zand per bouwelement voor het appartement (kg per m² vloer per jaar)

KLEI EN LEEM		vloer op volle grond	paalfundering	buitenmuur	dragende binnenmuur	niet-dragende binnenmuur	gemene muur	verdiepingsvloer	plat dak	ramen	binnendeuren
kg per m ² en per jaar											
referentie		0.0616	0.0542	1.8947	0.5151	1.0780	0.8673	0.4683	0.0250	0.0001	0.0000
max. recyclage		0.0228	0.0548	0.0060	0.0092	0.0063	0.0156	0.2494	0.0217	0.0035	0.0000
IFD		0.0370	0.0325	1.2286	0.0000	0.0201	0.0066	0.2810	0.0285	0.0001	0.0000

Tab. 56: Vergelijking van het verbruik van klei en leem per bouwelement voor het appartement (kg per m² vloer per jaar)

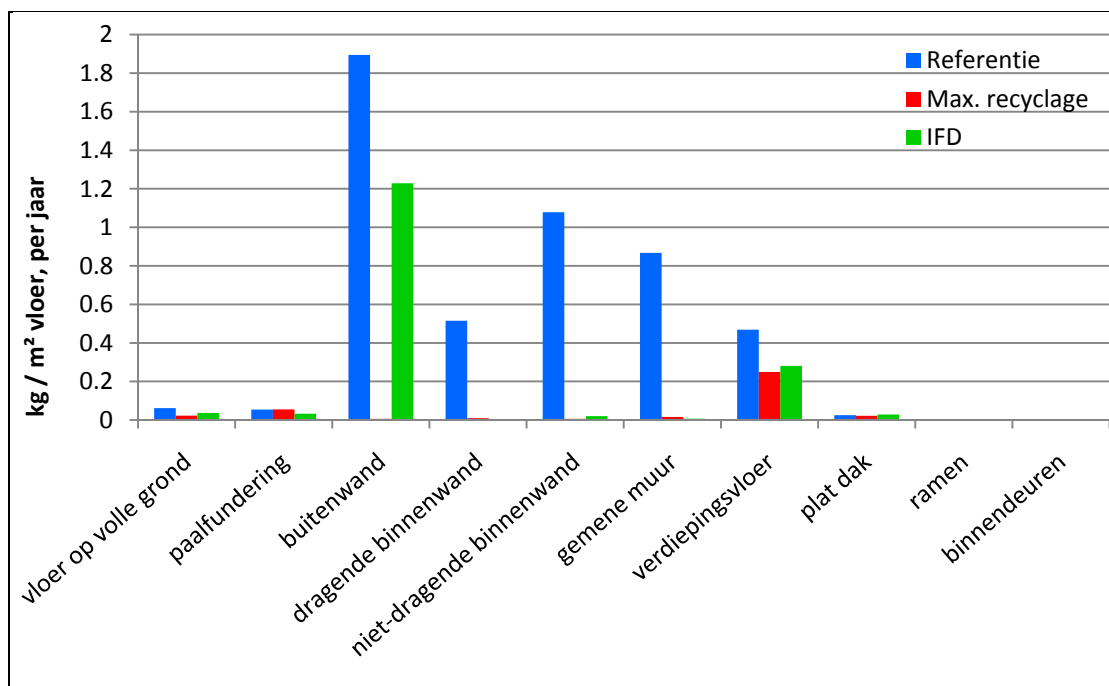


Fig. 62: Vergelijking van het verbruik van klei en leem per bouwelement voor het appartement (kg per m² vloer per jaar)

GRIND EN GROVE GRANULATEN	vloer op volle grond	paalfundering	buitenmuur	dragende binnenmuur	niet-dragende binnenmuur	gemene muur	verdiepings-vloer	plat dak	ramen	binnendeuren
referentie	0.0189	0.0063	-1.3985	-0.2577	-0.7377	-0.4580	0.4148	0.0281	0.0026	0.0003
max. recyclage	0.0807	0.1498	0.0389	0.0439	0.0550	0.0745	0.9708	0.0561	0.0568	0.0002
IFD	0.0113	0.0038	-0.8185	0.0000	0.2550	0.0819	0.2489	0.0280	0.0016	0.0002

Tab. 57: Vergelijking van het verbruik van grind en grove granulaten per bouwelement voor het appartement (kg per m² vloer per jaar)

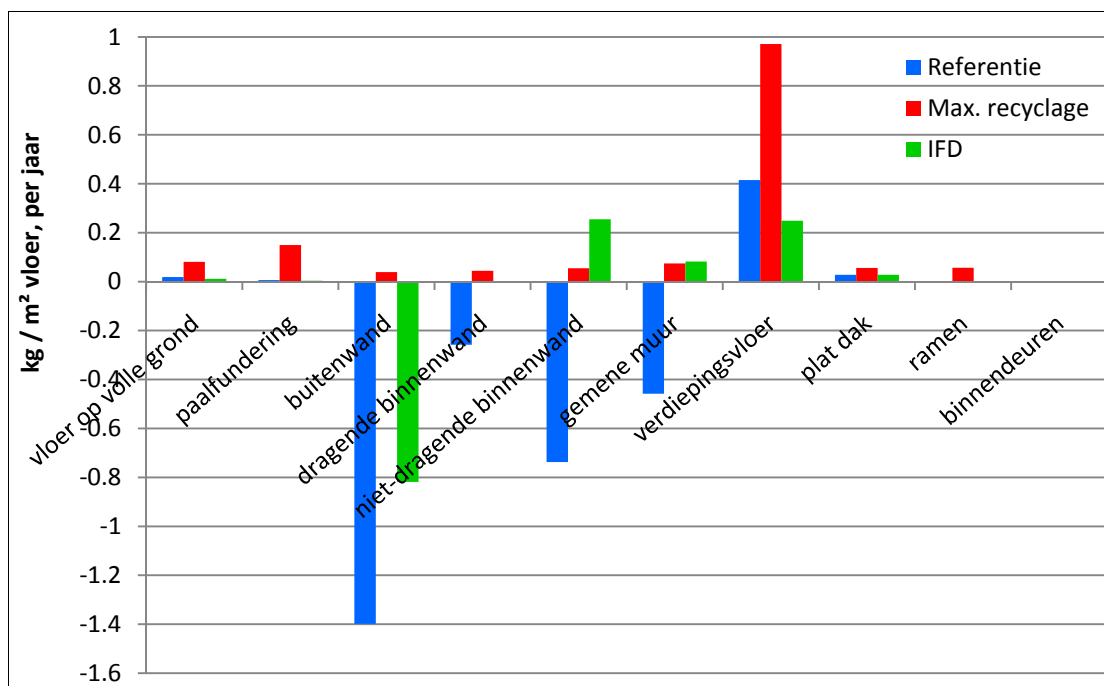


Fig. 63: Vergelijking van het verbruik van grind en grove granulaten per bouwelement voor het appartement (kg per m² vloer per jaar)

2.3. Detailanalyse van de verdiepingsvloer

(kg/FU)	zand				klei				grind			
	initieel	Ond & verv	EOL	Totaal	initieel	Ond & verv	EOL	Totaal	initieel	Ond & verv	EOL	Totaal
welfsels	0.0034	0.0000	-0.0013	0.0021	0.1411	0.0000	-0.0428	0.0983	2.5840	0.0000	-2.5726	0.0114
druklaag	0.0017	0.0000	-0.0007	0.0010	0.0700	0.0000	-0.0215	0.0485	1.2804	0.0000	-1.2747	0.0056
tegels	0.0701	0.0003	-0.0206	0.0498	0.1529	0.0250	-0.0451	0.1329	0.2253	0.1697	-0.2550	0.1399
chape	0.6110	0.0000	-0.6102	0.0008	0.0525	0.0000	-0.0155	0.0371	0.1869	0.0000	-0.1740	0.0129
plint	0.0057	0.0042	-0.0017	0.0082	0.0110	0.0080	-0.0033	0.0157	0.0159	-0.0025	-0.0190	-0.0056
randisolatie	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
gipspleister	0.1003	0.1857	-0.0118	0.2743	0.0112	0.0293	-0.0013	0.0392	0.0432	0.1132	-0.0051	0.1513
verf	0.0001	0.0004	0.0000	0.0004	0.0002	0.0020	0.0000	0.0022	0.0017	0.0140	-0.0002	0.0156

Tab. 58: Detailanalyse van het verbruik van oppervlaktedelfstoffen van 1m² verdiepingsvloer van het referentie en IFD appartement per levenscyclusfase (kg per jaar)

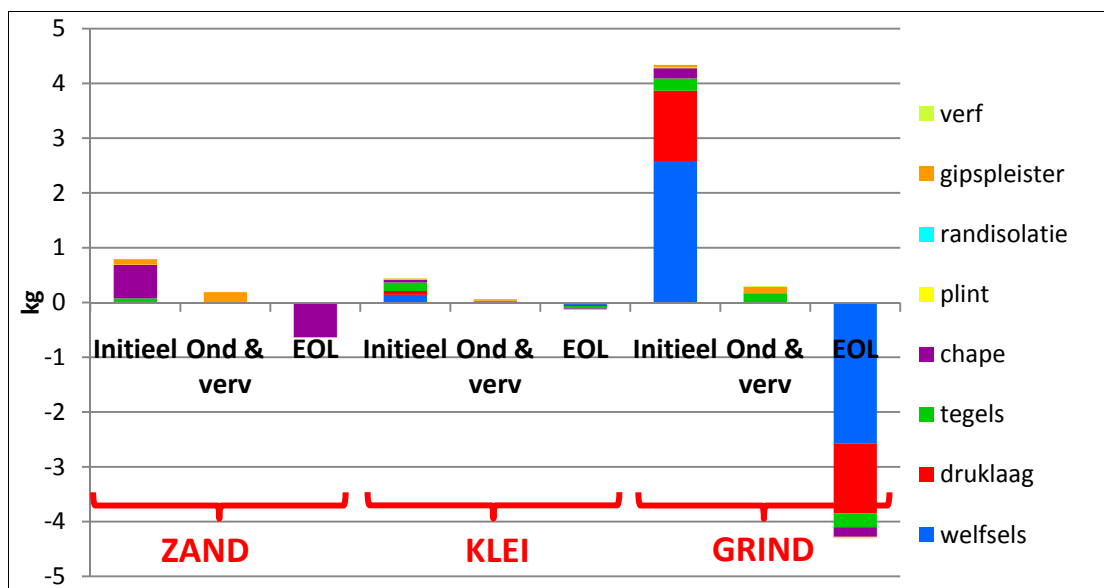


Fig. 64: Detailanalyse van het verbruik van oppervlakedelfstoffen van 1m² verdiepingsvloer van het referentie en IFD appartement per levenscyclusfase (kg per jaar)

(kg/FU)	zand				klei				grind			
	initieel	Ond & verv	EOL	Totaal	initieel	Ond & verv	EOL	Totaal	initieel	Ond & verv	EOL	Totaal
welfsels	0.0032	0.0000	-0.0009	0.0023	0.1402	0.0000	-0.0412	0.0990	0.3811	0.0000	-0.1118	0.2693
druklaag	0.0016	0.0000	-0.0005	0.0012	0.0693	0.0000	-0.0203	0.0490	0.1888	0.0000	-0.0552	0.1335
vloerbekleding - gerecycleerde autobanden	0.0012	0.0051	-0.0001	0.0062	0.0015	0.0315	-0.0002	0.0329	0.0219	0.2654	-0.0026	0.2847
chape - gerecycleerd PUR	0.0001	0.0000	0.0000	0.0001	0.0065	0.0000	-0.0008	0.0058	0.0176	0.0000	-0.0021	0.0155
isolerende houtvezelplaat (4cm)	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	-0.0001	0.0001	0.0115	0.0000	-0.0045	0.0070
OSB ondervloer	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0001	0.0019	0.0000	0.0000	0.0019
houtvezelplaat (1,5 cm)	0.0003	0.0000	-0.0002	0.0001	0.0002	0.0000	-0.0002	0.0000	0.0031	0.0000	-0.0029	0.0002
plint (gerecycleerde autobanden)	0.0001	0.0003	0.0000	0.0004	0.0001	0.0004	0.0000	0.0005	0.0015	0.0066	-0.0002	0.0079
randisolatie	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
pleister	0.0000	0.0086	0.0000	0.0086	0.0000	0.0096	0.0000	0.0096	0.0009	0.0386	-0.0001	0.0395
verf	0.0001	0.0004	0.0000	0.0004	0.0002	0.0020	0.0000	0.0022	0.0017	0.0140	-0.0002	0.0156

Tab. 59: Detailanalyse van het verbruik van oppervlakedelfstoffen van 1m² verdiepingsvloer van het appartement met maximale recyclage, per levenscyclusfase (kg per jaar)

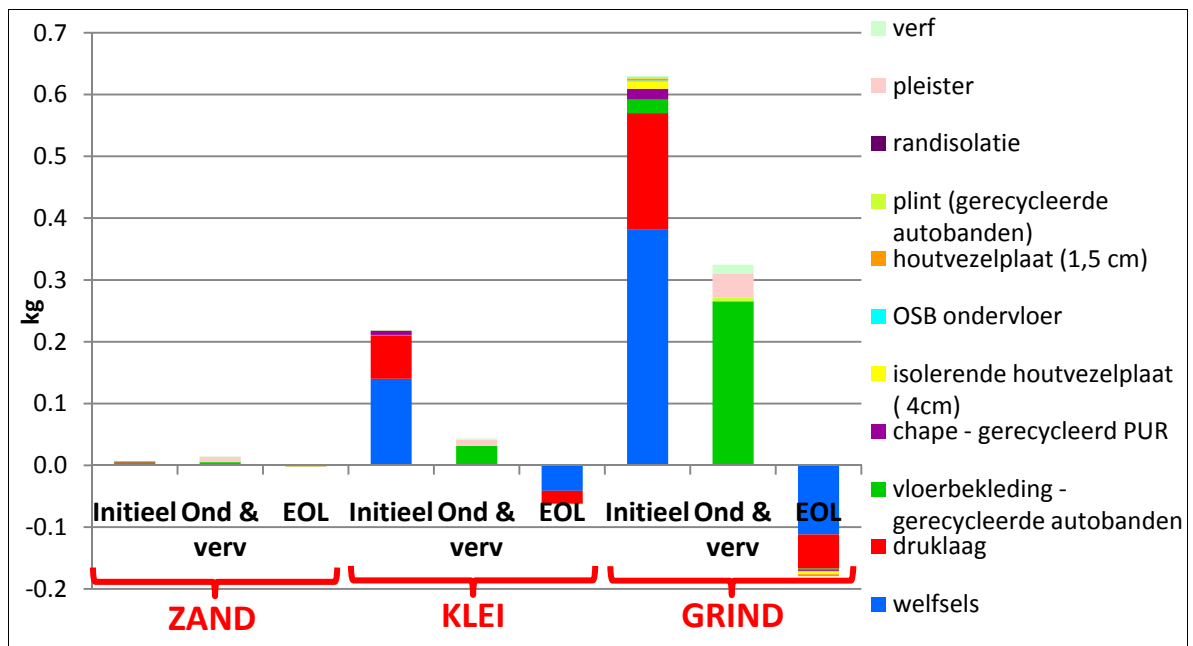


Fig. 65: Detailanalyse van het verbruik van oppervlaktedelfstoffen van 1m² verdiepingsvloer van het appartement met maximale recyclage, per levenscyclusfase (kg per jaar)