

2013•2014
FACULTEIT INDUSTRIËLE INGENIEURSWETENSCHAPPEN
master in de industriële wetenschappen: bouwkunde

Masterproef

Duurzaamheid bij infrastructuurwerken

Promotor :
Prof. dr. An JANSSEN

Promotor :
ir. OLIVIER DE MYTTENAERE

Toon-Bert Panis
Proefschrift ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële wetenschappen: bouwkunde

Gezamenlijke opleiding Universiteit Hasselt en KU Leuven

2013•2014

Faculteit Industriële

ingenieurswetenschappen

master in de industriële wetenschappen: bouwkunde

Masterproef

Duurzaamheid bij infrastructuurwerken

Promotor :
Prof. dr. An JANSSEN

Promotor :
ir. OLIVIER DE MYTTENAERE

Toon-Bert Panis

Proefschrift ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële wetenschappen: bouwkunde

Inhoudsopgave

Dankwoord	I
Abstract	III
Lijst van figuren	V
1 Onderzoeksvraag en opbouw van de masterproef	1
2 Duurzaamheid	3
2.1 Pijler 1: Ecologische duurzaamheid (Planet of Wereld)	5
2.2 Pijler 2: Sociale duurzaamheid (People of Mensen/Maatschappij) .	6
2.3 Pijler 3: Economische duurzaamheid (Prosperity of Welvaart)	6
3 Bestaande systemen voor het bepalen van duurzaamheid	9
3.1 Bestaande systemen voor het bepalen van duurzaamheid van gebouwen	9
3.1.1 Valideo	9
3.1.2 BREEAM	11
3.1.3 Afwegingsinstrument duurzaam wonen en bouwen in Vlaanderen	12
3.1.4 BatEx: Bâtiment Exemplaire / Voorbeeldgebouw	14
3.1.5 GPR Gebouw	15
3.2 Bestaande systemen voor het bepalen van de duurzaamheid van materialen	17
3.3 Bestaande systemen voor het bepalen van duurzaamheid van infrastructuurwerken	21
3.3.1 WEEG-Methode	21
3.3.2 CO ₂ -prestatieladder	24
3.3.3 DuboCalc	26
3.3.4 MKI berekening	29

4	Informatieverzameling i.v.m. duurzaamheid bij steden en gemeenten	31
4.1	Kwantitatief onderzoek: enquête bij steden en gemeenten	31
4.1.1	Methodiek	31
4.1.2	Analyse en resultaten	31
4.1.3	Conclusies	36
4.2	Kwalitatief onderzoek: interviews	37
5	Duurzaamheid bij infrastructuurwerken	45
5.1	Pijler 1: Ecologische duurzaamheid (Planet/Wereld)	45
5.1.1	Energie	45
5.1.2	Vervuiling	46
5.1.3	Afval	47
5.1.4	Bodem	48
5.1.5	Transport	48
5.1.6	Water	49
5.1.7	Materialen	49
5.1.8	Landgebruik en ecologie	50
5.1.9	Omgevingskwaliteit	52
5.2	Pijler 2: Sociale duurzaamheid (People/Mensen & Maatschappij)	53
5.2.1	Gebruikskwaliteit	53
5.2.2	Mobiliteit	54
5.2.3	Toegankelijkheid	55
5.2.4	Veiligheid	55
5.2.5	Ergonomie	55
5.3	Pijler 3: Economische duurzaamheid (Prosperity of Welvaart)	56
5.3.1	Bouwwerken	56
5.3.2	Mensen, omwonenden en stakeholders	58
6	Duurzaamheidverhogende maatregelen	59

7	Case study	61
7.1	Beschrijving van het originele project	61
7.2	Mogelijk toe te passen maatregelen.....	62
7.3	Berekenen met DuboCalc	64
7.4	Toepassen van DuboCalc op het project Genk-Noord Nieuwe Kempen	66
7.4.1	Origineel	66
7.4.2	Variant 1: gebruik van lage temperatuur asfalt	73
7.4.3	Variant 2: aanpassen van de straatverlichting.....	76
7.4.4	Variant 3: gebruik van waterdoorlatende bestrating	82
7.4.5	Variant 4: combinatie van de verschillende varianten	84
7.5	Beperkingen van DuboCalc	86
7.6	Beperking van de berekeningen	87
7.7	Besluit	87
8	Conclusie	89
9	Bijlagen	91
	Bijlage 1: Duurzaamheidverhogende maatregelen	91
	Maatregel 1: Waterdoorlatende bestrating	91
1	Het probleem.....	91
2	Oplossingen.....	91
3	Het effect op duurzaamheid	95
4	Het effect op de kostprijs	99
5	Toepassing	99
6	Bronnen	100
	Maatregel 2: Belang van steenverband bij wegenissen	101
1	Probleem.....	101
2	Oplossingen.....	102
3	Het effect op duurzaamheid	105

4	Toepassing	106
5	Bronnen	106
Maatregel 3: Luchtzuiverende bestrating NO _x		108
1	Probleem	108
2	Oplossingen	108
3	Het effect op duurzaamheid	109
4	Toepassing	110
5	Bronnen	111
Maatregel 4: Zonreflecterende bestrating		113
1	Probleem	113
2	Oplossingen	113
3	Het effect op duurzaamheid	114
4	Toepassing	115
5	Bronnen	115
Maatregel 5: Grondbehandeling en toepassing van secundaire materialen		117
1	Probleem	117
2	Oplossingen	117
3	Het effect op duurzaamheid	120
4	Toepassing	121
5	Bronnen	121
Maatregel 6: Lichtere materialen		123
1	Probleem	123
2	Oplossingen	123
3	Het effect op duurzaamheid	124
4	Bronnen	124
Maatregel 7: Intelligente straatverlichting		125
1	Probleem	125

2	Oplossingen	125
3	Eventuele toekomstige toepassingen	129
4	Het effect op duurzaamheid	129
5	Toepassing	130
6	Bronnen	131
Maatregel 8: Fosforescerende wegmarkering		133
1	Probleem.....	133
2	Oplossing	133
3	Effect op de Duurzaamheid	134
4	Toepassing	134
5	Bronnen	134
Maatregel 9: onkruidbeheer		135
1	Probleem.....	135
2	Oplossing	135
3	Effect op duurzaamheid.....	140
4	Toepassing	140
5	Bronnen	141
Maatregel 10: Asfalt bij verlaagde temperatuur		142
1	Probleem.....	142
2	Oplossing	142
3	Effect op duurzaamheid.....	143
4	Toepassing	144
5	Bronnen	144
Maatregel 11: Verminderen van verkeerslawaaï		146
1	Probleem.....	146
2	Oplossing	147
3	Invloed op de duurzaamheid.....	152
4	Toepassing	152

5	Bronnen	154
10	Referenties	156

Dankwoord

Deze masterproef kon enkel succesvol tot stand komen dankzij de hulp van volgende personen.

Eerst en vooral wil ik mijn interne en externe promotoren, respectievelijk Dr. An Janssen en Olivier De Myttenaere, van harte bedanken. Hun hulp en boeiende inzichten hebben mij geholpen bij het verwezenlijken van deze masterproef. De talloze nuttige opmerkingen hebben mij steeds weer in de goede richting gestuurd zodat ik deze masterproef tot een goed einde kon brengen.

Ook een dankwoord voor de bedrijven Ebema, Philips Lighting, Light Plus, Antea group, OCW, MOW, CBR Heidelberg Cement Group, NCOB, Colas en de stadsdiensten van Genk, Peer en Aarschot, voor het aanreiken van gespecialiseerde personen die mij nuttige informatie hebben kunnen verschaffen. Deze personen dank ik voor hun tijd en hulpvaardigheid bij het volbrengen van mijn masterproef.

Daarnaast ook bijzondere dank aan mijn ouders. Gedurende het hele verloop hebben ze mij steeds gesteund en met raad en daad bijgestaan.

Tenslotte een bijzondere vermelding voor mijn zus en mijn vriendin voor het kritisch nalezen van mijn masterproef en de aangeboden hulp gedurende het hele jaar.

Abstract

Er bestaan verschillende instrumenten die de duurzaamheid van bouwwerken evalueren aan de hand van een reeks specifieke duurzaamheidverhogende maatregelen. Voor infrastructuurwerken en wegenissen echter zijn deze instrumenten en maatregelen minder ver gevorderd dan voor gebouwen.

Daarnaast blijkt uit een enquête, afgenomen bij verschillende steden en gemeenten in Vlaanderen, dat de kennisverspreiding over duurzame maatregelen en hun voordelen bij infrastructuurwerken nog niet zo groot is.

In deze masterproef wordt er eerst een overzicht gegeven van de bestaande instrumenten voor het bepalen van de duurzaamheid bij bouwwerken, meer bepaald bij gebouwen, materialen en infrastructuurwerken.

Meer in detail worden een aantal duurzaamheidverhogende maatregelen besproken die toegepast kunnen worden bij het ontwerp en de uitvoering van infrastructuurwerken. Deze maatregelen zijn samengevat in fiches die steeds op dezelfde manier opgebouwd zijn: de probleemstelling, de oplossing en de invloed op de duurzaamheid. Elke fiche is apart uitneembaar. Deze fiches moeten dienen om een opdrachtgever snel en efficiënt te overtuigen om een duurzame maatregel toe te passen.

In het kader van deze masterproef wordt er een case study uitgewerkt met als doelstelling het verhogen van de duurzaamheid van het bestaand project. De reeds uitgewerkte maatregelen dienen als basis om de duurzaamheid van het project te verbeteren. Veranderingen in de milieukost t.o.v. het huidige project worden behandeld van de ontwerp- tot aan de onderhoudsfase. Uit de gevonden beschikbare tools wordt DuboCalc gekozen als meest geschikte tool om in deze masterproef mee verder te werken.

In de toekomst kan er gewerkt worden aan het uitbreiden van deze informatiebron door toevoeging van fiches, waardoor de opdrachtgever nog beter geïnformeerd kan worden. Verder kunnen deze maatregelen opgenomen worden in duurzaamheidsevaluatiesystemen voor infrastructuurwerken.

Trefwoorden

Duurzaamheidverhogende maatregelen, duurzame maatregelen,
infrastructuurwerken, wegenissen, duurzaam, DuboCalc, milieukost

Lijst van figuren

Figuur 1 : Overzicht van de drie pijlers van duurzame ontwikkeling: People of Mensen/Maatschappij, Planet of Wereld en Profit of Winst [2]	4
Figuur 2 : Evenwicht tussen de drie pijlers van duurzame ontwikkeling: People of sociale pijler - Planet of milieupijler – Prosperity of economische pijler [3].....	4
Figuur 3: De verschillende thema's en rubrieken binnen Valideo [5]	10
Figuur 4: Weergave van de resultaten van een evaluatie m.b.v. Valideo. Per thema zijn er vier rubrieken. Elke rubriek krijgt een score, opgeteld geeft dit een totaalscore [5]	11
Figuur 5 : De 10 categorieën van BREEAM met hun weegfactor [7]	12
Figuur 6: Mogelijke beoordelingen bij BREEAM [9].....	12
Figuur 7: De vijf thema's van GPR gebouw [10].	16
Figuur 8: Overzicht van de belangrijkste Type 1 milieulabels voor bouwproducten in Europa [11]	19
Figuur 9: Type 2 milieuverklaring voor recycleerbare producten [11]	19
Figuur 10: Type 2 milieuverklaring voor biodegradeerbare producten [11]	19
Figuur 11: Belangrijkste type 3 milieuverklaringen of EPD systemen voor bouwproducten in Europa [11].....	20
Figuur 12: WEEG methode: voorstelling van een mogelijke format van een duurzame maatregel [12].....	23
Figuur 13: De 5 niveaus van de CO ₂ prestatieladder [13]	25
Figuur 14: Weegfactoren van de invalshoeken bij CO ₂ -uitstoot [13].....	25
Figuur 15: Verduidelijking van hoe DuboCalc gebruikt wordt: De gebruiker kan in het programma de hoeveelheid gebruikte materialen en de bijhorende transportafstanden ingeven. DuboCalc berekent a.d.h.v. LCA het milieueffect van de ingegeven materialen. Met deze gegevens wordt dan de milieukost berekend [14].....	27
Figuur 16: Verdeling van de milieueffecten per categorie binnen DuboCalc [15]	28
Figuur 17: De figuur geeft aan hoeveel van het EMVI-bedrag minimaal moet gaan naar milieukwaliteit [16]	28
Figuur 18: Links: mogelijkheid tot ingeven van hoeveelheden. Rechts: de berekende MKI met de invloed van de categorieën [17]	30
Figuur 19: Situering van de werken.	62

Figuur 20: Hiërarchische structuur van een DuboCalc Project [28].....	65
Figuur 21: Opbouw originele toestand.....	67
Figuur 22: doorsnede opbouw riolering	69
Figuur 23: bepalen van de lengte van de weg m.b.v. Google maps.....	71
Figuur 24: Weergave van de berekende MKI voor de originele toestand.	72
Figuur 25: Invloed van de fasen van de levenscyclus van de originele toestand.	73
Figuur 26: Invloed van de 15 items die het meest doorwegen doorheen alle fasen voor de originele toestand.	73
Figuur 27: Links: opbouw originele project, Rechts: opbouw variant 1.	74
Figuur 28: Weergave van de berekende MKI voor de originele toestand en variant 1.	74
Figuur 29: Invloed van de fasen van de levenscyclus van variant 1.	75
Figuur 30: Invloed van de 15 items die het meest doorwegen doorheen alle fasen voor variant 1.	76
Figuur 31: Weergave van de berekende MKI voor de originele toestand en variant 2.	77
Figuur 32: Invloed van de fasen van de levenscyclus van variant 2a (onder) en de originele toestand (boven).	79
Figuur 33: Invloed van de 15 items die het meest doorwegen doorheen alle fasen voor variant 2a.	80
Figuur 34: Weergave van de berekende MKI voor de originele toestand en variant 2a en 2b.....	80
Figuur 35: Lichtintensiteit in functie van de tijd.....	81
Figuur 36: Weergave van de berekende MKI voor de originele toestand en variant 2a, 2b en 2c.	82
Figuur 37: Weergave van de berekende MKI voor de originele toestand en variant 3.	83
Figuur 38: Weergave van de berekende MKI voor de originele toestand en variant 3 en variant 3 met verkleinde riolering en de originele toestand.	84
Figuur 39: Weergave van de berekende MKI voor de originele toestand en variant 4.	85
Figuur 40: Invloed van de fasen van de levenscyclus van variant 4 (onder) en de originele toestand (boven).....	86

1 Onderzoeksvraag en opbouw van de masterproef

De centrale onderzoeksvraag in deze masterproef luidt als volgt: het aanreiken van duurzaamheidverhogende maatregelen en de invloed bestuderen van het toepassen hiervan op een bestaand project en in kaart brengen welke (grote) veranderingen hierdoor volgen in de ontwerp-, uitvoerings- en onderhoudsfase.

De masterproef bestaat uit drie grote delen.

Ter inleiding wordt in het eerste deel aan de hand van een literatuurstudie beschreven wat duurzaamheid in het algemeen inhoudt en welke aspecten hiermee gepaard gaan. Vervolgens worden deze duurzaamheidsaspecten toegepast op infrastructuurwerken. Tot slot worden enkele bestaande systemen om de duurzaamheid van gebouwen, materialen en infrastructuurwerken te bepalen, kort beschreven.

In het tweede deel, worden een aantal duurzaamheidverhogende maatregelen voor infrastructuurwerken voorgesteld, welke zijn uitgewerkt onder de vorm van aparte informatiefiches in de bijlage. Ter ondersteuning van deze fiches werd een enquête afgenomen bij steden en gemeenten in België. Op die manier werd er een beter beeld gevormd van de reeds in het verleden toegepaste maatregelen en van de toekomstvisie van de verschillende lokale besturen, alsook van het belang van de opdrachtgevers in verband met duurzaamheid van infrastructuurwerken.

In het derde en laatste deel worden enkele van deze maatregelen toegepast op een bestaand project om te trachten dit duurzamer te maken. Verschillende varianten kunnen met elkaar vergeleken worden. Het verschil tussen de varianten wordt kwantitatief aangetoond aan de hand de milieu kosten indicator-waarde (MKI-waarde), berekend met het programma DuboCalc.

2 Duurzaamheid

Duurzaamheid is een breed begrip, dat vanuit verschillende standpunten kan bekeken worden. Om over dit begrip een beter beeld te krijgen, worden de verschillende invalshoeken van duurzaamheid besproken. In latere hoofdstukken wordt er meer specifiek gekeken naar duurzaamheid bij infrastructuurwerken.

Duurzaamheid kan enerzijds bekeken worden als degelijkheid, het bezitten van goede functionele en technische eigenschappen en het vervullen van zijn functie gedurende zijn voorziene levensduur.

Een andere invalshoek is duurzaamheid bekijken in het kader van duurzame ontwikkeling. Een algemene en duidelijke definitie hiervan is deze uit het Brundtlandrapport van de VN-commissie uit 1987 [1]:

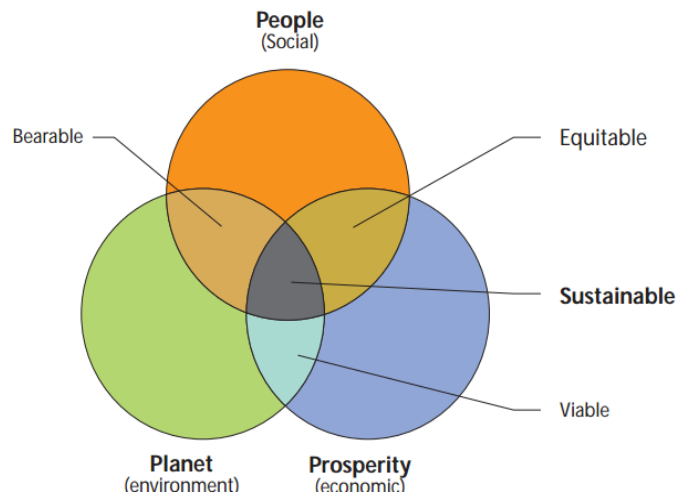
"Duurzame ontwikkeling is een ontwikkeling, waarbij de huidige generatie in haar behoefte wordt voorzien zonder de komende generaties deze mogelijkheid te onthouden."

Drie pijlers omvatten de verschillende aspecten, waarmee binnen duurzame ontwikkeling rekening gehouden moet worden, namelijk ecologische, sociale en economische duurzaamheid.

Deze drie pijlers worden ook weergegeven met de term 'triple P', die staat voor Planet of Wereld, People of Mensen/Maatschappij en Profit of Winst (Figuur 1). Door de negatieve bijklank van winst werd deze laatste pijler veranderd in Prosperity of Welvaart. Een duurzame oplossing tracht steeds een evenwicht te vinden tussen deze drie P's (Figuur 2).



Figuur 1 : Overzicht van de drie pijlers van duurzame ontwikkeling: People of Mensen/Maatschappij, Planet of Wereld en Profit of Winst [2]



Figuur 2 : Evenwicht tussen de drie pijlers van duurzame ontwikkeling: People of sociale pijler - Planet of milieupijler – Prosperity of economische pijler [3]

De drie pijlers worden als volgt uitgelegd:

Pijler 1: Ecologische duurzaamheid (Planet of Wereld): Wanneer de mens iets onderneemt, moet zoveel mogelijk rekening gehouden worden met het leefmilieu. Er moet gestreefd worden naar een zo milieuvriendelijk mogelijke omgeving.

Pijler 2: Sociale duurzaamheid (People of Mensen/Maatschappij): Het welzijn van de medewerkers/gebruikers, alsook van de mensen in de directe en indirecte omgeving moet steeds voor ogen gehouden worden.

Pijler 3: Economische duurzaamheid (Prosperity of Welvaart): Omzet en winst zijn erg belangrijk voor verschillende organisaties, maar daarbuiten moet ook gekeken worden naar de welvaart van iedereen en de economische effecten t.g.v. de activiteiten van deze organisaties.

De uitleg van bovenstaande pijlers kan nog steeds zeer breed geïnterpreteerd worden. Omwille van deze reden trachten verschillende organisaties deze pijlers verder in categorieën onder te verdelen. Op deze manier kunnen elementen van duurzaamheid tastbaarder worden voor personen of organisaties om zo een beter beeld te vormen over het brede begrip. Een mogelijke opdeling van

duurzaamheidsaspecten in categorieën en subcategorieën wordt hieronder weergegeven [4][5][6][7].

2.1 Pijler 1: Ecologische duurzaamheid (Planet of Wereld)

1) Energie

- Energie-efficiëntie
- Toepassing van duurzame energie

2) Water

- Waterverbruik
- Recyclage van water
- Minimalisering van vervuiling van afstromend regenwater
- Beheer van regenwater

3) Afval

- Afvalbeheer op de bouwplaats
- Opslagruimte voor herbruikbaar afval
- Composteren

4) Bodem

- Verontreinigde bodem
- Hergebruik van grondstoffen

5) Transport

- Beperking van transport

6) Materialen

- Duurzame materialen
- Onderbouwde herkomst van materialen
- Gebruik van secundair materiaal

7) Landgebruik en ecologie

- Hergebruik van land
- Biodiversiteit
- Aanwezige planten en dieren op de locatie van het bouwproject
- Duurzaam gebruik van planten, dieren op de lange termijn
- Efficiënt grondgebruik

8) Vervuiling

- Kwaliteit van grond
- Luchtkwaliteit

- Kwaliteit van water
- 9) Omgevingskwaliteit
- Bouwplaats en omgeving
 - Milieu-impact van de bouwplaats

2.2 Pijler 2: Sociale duurzaamheid (People of Mensen/Maatschappij)

- 1) Gebruikskwaliteit
- Gezondheid en comfort
 - Afstand tot basisvoorzieningen
 - Flexibiliteit
 - Minimalisering van de lichtvervuiling
 - Geluidsoverlast
 - Kwaliteit van lucht en ventilatie
 - Verlichting
 - Diensten
- 2) Mobiliteit
- Voetgangers- en fietsersveiligheid
 - Toegankelijkheid
 - Aanbod van openbaar vervoer
 - Vervoerplan en parkeerbeleid
- 3) Veiligheid
- Criminaliteitspreventie
 - Evacuatie
 - Preventiemaatregelen

2.3 Pijler 3: Economische duurzaamheid (Prosperity of Welvaart)

- 1) bouwwerken
- Maximale winstgevendheid
 - Energieverbruik
 - Herontwikkeling, herinvestering
 - Flexibiliteit & aanpasbaarheid
 - Levenscycluskosten
 - Innovatie

2) Mensen, omwonenden en stakeholders

- Jobs
- Persoonlijk inkomen
- Werkgelegenheid

3 Bestaande systemen voor het bepalen van duurzaamheid

In België is de kennis over evaluatiesystemen voor duurzaamheid bij infrastructuurwerken nog maar pril. Deze systemen kunnen ontworpen worden vanuit bestaande systemen, die van toepassing zijn op gebouwen, aangezien er verschillende raakvlakken zijn. Systemen voor gebouwen zijn in België en in het buitenland wel al gekend. Hieronder stellen we enkele relevante bestaande systemen voor, respectievelijk in verband met gebouwen, materialen en infrastructuurwerken.

3.1 Bestaande systemen voor het bepalen van duurzaamheid van gebouwen

Er zijn al verschillende systemen uitgewerkt om de duurzaamheid van gebouwen te evalueren en te certificeren. Deze systemen trachten bij te staan bij de ontwikkeling van een zo duurzaam mogelijk project. Dit gebeurt door na te gaan of de projecten voldoen aan de in de systemen opgestelde voorwaarden. Het kiezen voor de toepassing van zulk een systeem is echter nog louter vrijblijvend. Deze systemen zijn dus op basis van vrijwillige certificatie.

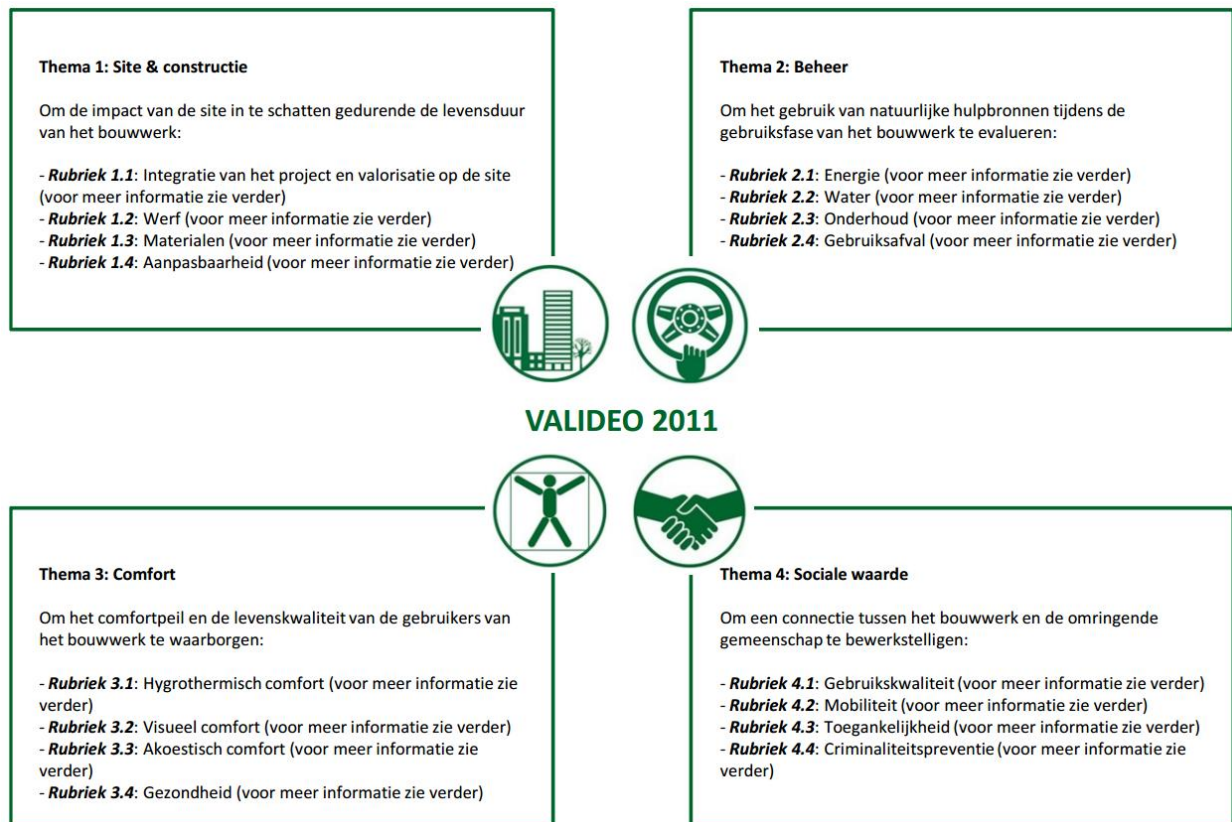
Hieronder worden vijf veelgebruikte evaluatiesystemen voor duurzame gebouwen in België en Nederland beschreven.

3.1.1 Valideo

Valideo is een Belgische evaluatie- en certificatiemethode die zich richt op gebouwen en bedrijven. Het instrument werd ontwikkeld door een samenwerking tussen SECO en het WTCB (Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf) en wordt omkaderd door BCCA (Belgian Construction Certification Association) [8]. SECO staat hierbij in voor de audits en de ondersteuning van de klanten in het maken van beslissingen tijdens het ontwerpen van een duurzaam bouwwerk. BCCA houdt zich bezig met het nagaan of de inhoud van het attest overeenstemt met de werkelijkheid.

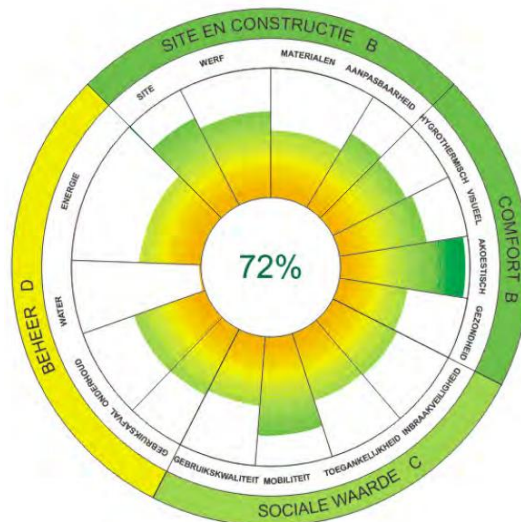
Valideo richt zich op de volledige levenscyclus van een gebouw: er wordt geanalyseerd vanaf het ontwerp, over de uitvoering en het beheer tot en met de herbestemming van het gebouw.

Het evaluatiesysteem houdt rekening met vier thema's, die steeds opgedeeld zijn in vier rubrieken. Onder deze rubrieken zijn de verschillende onderwerpen terug te vinden. Het aantal onderwerpen varieert van rubriek tot rubriek (zie figuur 3).



Figuur 3: De verschillende thema's en rubrieken binnen Valideo [5]

Aan de verschillende rubrieken worden punten toegekend volgens de mate, waarin een gebouw aan een onderwerp of rubriek voldoet. Uiteindelijk krijgt het bouwwerk een quotering op 100. Figuur 4 geeft een weergave van een mogelijk resultaat. Meer informatie kan teruggevonden worden op de website van Valideo (www.valideo.be).

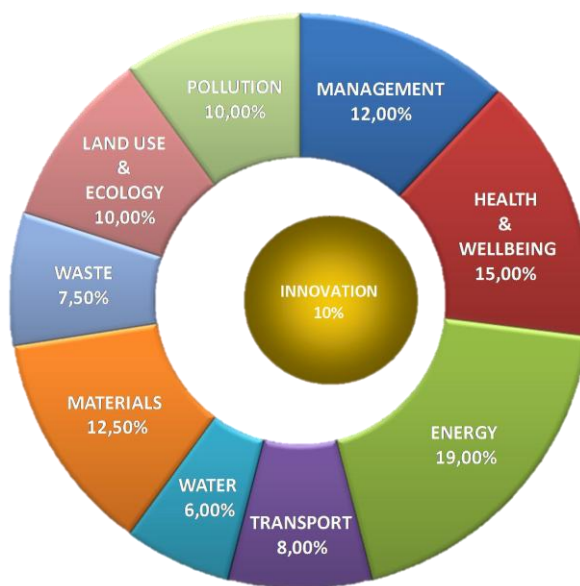


Figuur 4: Weergave van de resultaten van een evaluatie m.b.v. Valideo. Per thema zijn er vier rubrieken. Elke rubriek krijgt een score, opgeteld geeft dit een totaalscore [5]

3.1.2 BREEAM

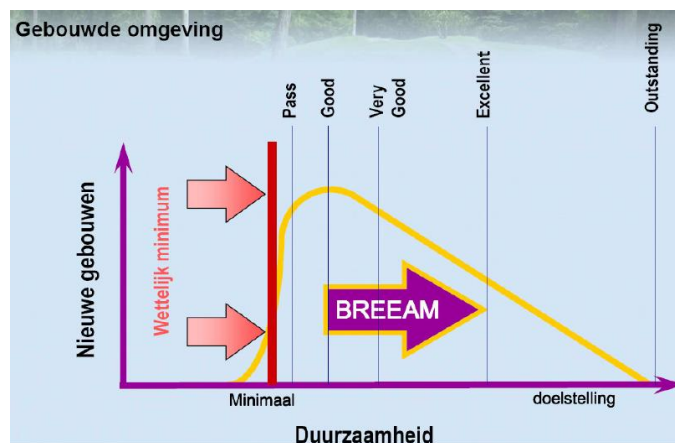
BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) is één van de meest toegepaste certificatiesystemen in Europa en zelfs wereldwijd. Dit certificatiesysteem is afkomstig uit het Verenigd Koninkrijk en werd ontwikkeld door de Building Research Establishment (BRE). Sinds de start in 1990 heeft BREEAM 15.000 projecten gecertificeerd, goed voor 250.000 gebouwen in 50 verschillende landen [6].

BREEAM beoordeelt een gebouw of wijk aan de hand van tien categorieën (Figuur 5) met elk een eigen weegfactor. In figuur 5 zijn negen categorieën terug te vinden, samen goed voor 100% van de totaalscore; de tiende categorie is 'innovatie', die kan leiden tot een extra score van 10%. Elke categorie is onderverdeeld in criteria, op basis waarvan punten of credits verdiend kunnen worden. Deze credits worden verkregen wanneer het project voldoet aan de gestelde eisen van het systeem.



Figuur 5 : De 10 categorieën van BREEAM met hun weegfactor [7]

Afhankelijk van het aantal behaalde credits kan een project vijf mogelijke beoordelingen krijgen (zie figuur 6). Meer informatie kan gevonden worden op de website van BREEAM (<http://www.breeam.org>).



Figuur 6: Mogelijke beoordelingen bij BREEAM [9]

3.1.3 Afwegingsinstrument duurzaam wonen en bouwen in Vlaanderen

In Vlaanderen was er nood aan een afwegingsinstrument voor het bepalen van de duurzaamheid van gebouwen, dat voldeed aan de Belgische en Vlaamse

normen. Voor dit instrument heeft men gebruik gemaakt van een reeds bestaand systeem, namelijk BREEAM. Dit is deels aangepast naar wat belangrijk is in Vlaanderen. Dit instrument omvat 9 hoofdstukken (bij BREEAM zijn er 10, hier zijn materiaal en afval samengevoegd), maar de wegingsfactoren van de verschillende hoofdstukken zijn deels veranderd. Zo is de invloed van het hoofdstuk "materialen en afval" verlaagd omdat er geen materiaaldatabank is in Vlaanderen die op de levenscyclusanalyse is gebaseerd. Dit bemoeilijkt de evaluatie van de gebruikte materialen.

De 10 hoofdstukken zijn:

- 1 Management
- 2 Transport
- 3 Water
- 4 Landgebruik en ecologie
- 5 Vervuiling
- 6 Materiaal en afval
- 7 Energie
- 8 Gezondheid, comfort en sociale waarde
- 9 Innovatie

Ook elk van de 10 hoofdstukken heeft zoals bij BREEAM een onderverdeling van categorieën waarin verschillende maatregelen worden voorgesteld. Indien deze worden toegepast kunnen er punten verdiend worden. Al deze punten geven op het einde een totaalscore voor het gebouw. Op basis van deze score wordt een certificaat uitgereikt.

- 30% = Pass
- 45% = Good
- 55% = Very Good
- 70% = Excellent
- 85% = Outstanding

Het doel van het afwegingsinstrument is het bekomen van gebouwen waaraan een voorbeeld kan genomen worden. Deze voorbeeldprojecten kunnen dan in de toekomst motiveren tot duurzaam bouwen. Nieuwe projecten kunnen nieuwe

technieken toepassen of de oude technieken vernieuwen, wat de duurzaamheid ten goede komt.

Meer informatie over afwegingsinstrument duurzaam wonen en bouwen in Vlaanderen kan gevonden worden op: <http://www.lne.be/themas/duurzaam-bouwen-en-wonen/bestanden/AFWEGINGSINSTRUMENT-20BLAUWDRUK.pdf/>

3.1.4 **BatEx: Bâtiment Exemplaire / Voorbeeldgebouw**

In het Brussels Hoofdstedelijk Gewest worden sinds 2007 projectoproepen georganiseerd. Het doel van deze projectoproepen is het realiseren van voorbeeldgebouwen. Deze projecten tonen aan dat het mogelijk is om een gebouw met goede energie- en milieuprestaties te realiseren met beperkte middelen. De gebouwen die voldoen aan de eisen van de projectoproep krijgen financiële steun om het project uit te voeren. Op deze manier worden de bouwheren aangezet om de milieu-impact van hun gebouw te verkleinen.

De projectoproep richt zich tot een breed publiek. Iedereen die wil bouwen of renoveren in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest kan in aanmerking komen voor één van de volgende gebouwen:

- eengezinswoning
- collectieve woning
- collectieve voorzieningen (school, ziekenhuis, kinderdagverblijf,...)
- kantoor, commerciële of industriële inrichting

Waar wordt op gelet?

Bij het bepalen of een gebouw al dan niet voldoet aan de eisen van de projectoproep wordt gekeken naar vier categorieën, namelijk energie, ecoconstructie, rendabiliteit & reproduceerbaarheid en architecturale kwaliteit & zichtbaarheid.

Energie

Er wordt getracht gebouwen met een zero-emissie te bekomen. Dit wil zeggen geen CO₂ uitstoot oftewel CO₂ neutraal. Om dit te bekomen wordt er best zo weinig mogelijk gebruik gemaakt van conventionele energiebronnen, zoals fossiele brandstoffen. Er moet ook gestreefd worden naar een zo laag mogelijk energieverbruik.

Ecoconstructie

Bij het ontwerp en de bouw van de projecten moeten verschillende maatregelen genomen worden om de milieu-impact en de impact op de mens te verkleinen. Enkele voorbeelden van werkgebieden zijn: waterbeheer, afvalbeheer, materialen,...

Rendabiliteit & reproduceerbaarheid

Het is belangrijk dat de geïmplementeerde maatregelen rendabel en reproduceerbaar zijn. De bedoeling van de voorbeeldgebouwen is de kennis van het gebruik van maatregelen met een lagere milieu-impact te vergroten. Deze maatregelen moeten vrij eenvoudig, financieel haalbaar en bij verschillende soorten projecten toepasbaar zijn.

Architecturale kwaliteit & zichtbaarheid

Er wordt aandacht besteed aan de zichtbaarheid van het project, of het doordacht is ingeplant en hoe het zit met het wooncomfort, esthetiek en gebruik van materialen.

Wanneer een bouwheer denkt te voldoen aan bovenstaande eisen kan deze een aanvraag indienen voor het verkrijgen van subsidies voor zijn project. Deze aanvraag wordt verwerkt door een jury. Indien de aanvraag positief geëvalueerd wordt kan de bouwheer een subsidie krijgen tot 100 €/m².

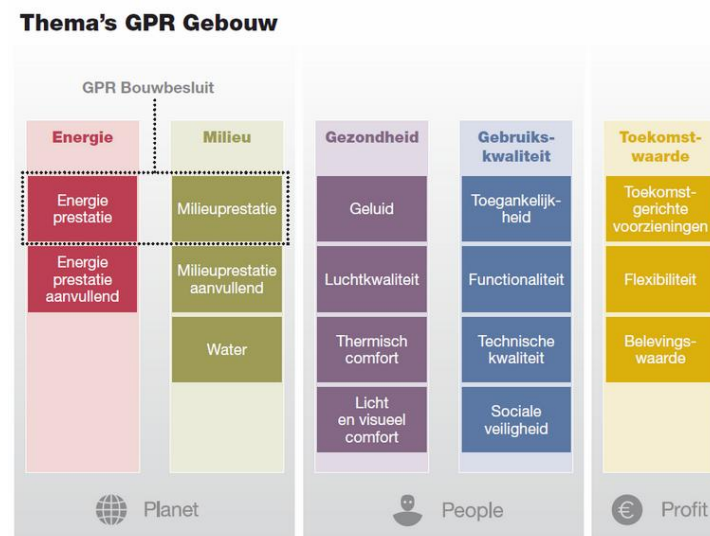
Door deze projectoproepen zijn reeds 243 projecten in aanmerking gekomen om een voorbeeldgebouw te worden. Dit is goed voor een oppervlakte van 621.000 m².

Meer informatie over en een lijst van voorbeeldgebouwen kan gevonden worden op de website van Leefmilieu Brussel (<http://www.leefmilieubrussel.be/>).

3.1.5 GPR Gebouw

GPR Gebouw is een instrument uit Nederland om de duurzaamheid van een gebouw te bepalen. Dit gebeurt tijdens iedere fase van de bouw: beleid, ontwerp, realisatie en renovatie. De afkorting staat voor "Gemeentelijke Praktijk Richtlijn" en is oorspronkelijk ontwikkeld door de gemeente Tilburg. Ondertussen is het een veel gebruikt instrument geworden en wordt het reeds door 300

licentiehouders gehanteerd. Aan de hand van 5 thema's wordt de duurzaamheid bepaald (zie figuur 7).



Figuur 7: De vijf thema's van GPR gebouw [10].

Afhankelijk van het voldoen aan de voorwaarden wordt voor elk van deze thema's één punt op tien gegeven.

Bij de verschillende thema's wordt op het volgende gelet:

Energie

Het verlagen van het energieverbruik door het verbeteren van de energieprestaties. Op deze manier wordt de klimaatsverandering tegengaan en blijft energie betaalbaar.

Milieu

Het instrument maakt gebruik van de MPG (milieuprestatie gebouwen). Deze geeft een index van hoe groot de milieubelasting is van de in het gebouw toegepaste bouwmaterialen. Op deze manier kan de impact worden nagegaan van verschillende materiaalkeuzes. Er wordt getracht het uitputten van grondstoffen te beperken.

Gezondheid

Het binnenmilieu dient de nodige aandacht te krijgen, aangezien mensen er een groot deel van de dag doorbrengen. Er moet dus een gezond binnenklimaat

beoogd worden. Enkele aandachtspunten zijn onder andere geluidsoverlast, frisse lucht, voldoende daglicht,...

Gebruikskwaliteit

Verschillende doelgroepen (jonge mensen/gezinnen, ouderen, gehandicapten,...) hebben verschillende verwachtingen voor een gebouw. GPR gebouw geeft aan hoe goed een gebouw voldoet aan de wensen van een bepaalde doelgroep.

Toekomstwaarde

Bij de bouw of renovatie van gebouwen moet er ontworpen worden met een eventuele toekomstige functieverandering in het achterhoofd. Het doel is dat een gebouw zonder veel kosten of materiaalverbruik kan aangepast worden aan een nieuwe functie.

Meer informatie over GPR gebouw en GPR projecten kan gevonden worden op:

<http://www.gprgebouw.nl/> en <http://www.gprprojecten.nl/>

3.2 Bestaande systemen voor het bepalen van de duurzaamheid van materialen

Materialen worden bij ieder bouwwerk gebruikt en verschillen van project tot project. De toepassing van duurzame materialen kan de duurzaamheid van het hele project ten goede komen. Om te kunnen bepalen of de gebruikte materialen duurzaam zijn, werden verschillende types van milieuverklaringen uitgewerkt, die informatie vrijgeven over bijvoorbeeld de impact op het leefmilieu, de herkomst, de verwerking, de mogelijkheid tot recycleren, ... van het product. Echter dient aandacht besteed te worden aan de geloofwaardigheid van sommige verklaringen. Een milieuverklaring, die door de eigen fabrikant uitgeroepen wordt, is mogelijk minder betrouwbaar dan een verklaring, die gecontroleerd wordt door een derde instantie. In het algemeen kunnen drie types van milieuverklaringen worden onderscheiden [11]:

- Type 1 milieuverklaringen of milieulabels
- Type 2 milieuverklaringen of eigenverklaringen
- Type 3 milieuverklaringen of Environmental Product Declarations (EPD)

Type 1 milieuverklaringen of milieulabels

Deze labels worden op vrijwillige basis met behulp van vaste criteria toegekend door een overheidsinstantie of een private, niet-commerciële organisatie. Het label toont aan dat er producten binnen eenzelfde productcategorie zijn, die beter zijn voor het leefmilieu. Het voordeel van dit soort labels is dat ze door externe instanties worden gecontroleerd en bijgevolg als betrouwbaar bestempeld kunnen worden. Een huidig nadeel is dat het aantal productcategorieën, waarvoor evaluatiecriteria bestaan, nog vrij beperkt is.

Hieronder kunnen de belangrijkste Type 1 milieulabels voor bouwproducten in Europa teruggevonden worden (Figuur 8).

 Europees Ecolabel EU flower	 Nature plus	 Cradle to Cradle
- In heel Europa - 26 productcategorieën waarvan 7 voor bouwproducten en installaties www.ecolabel.be	- In Duitsland, Oostenrijk, Benelux, Italië en Zwitserland - 18 productcategorieën voor bouwproducten www.natureplus.org	- In heel de wereld - 4 types van label die het prestatieniveau weergeven www.mbd.com
 Der Blaue Engel	 FSC Forest Stewardship Council	 PEFC Programme for the Endorsement of Forest

		Certification Schemes
- In Europa - 120-tal product- en dienstencategorieën, waarvan 20-tal voor bouwproducten en installaties www.blauer-engel.de	- In heel de wereld - Certificatie voor hout en houten producten, alsook andere bosproducten www.fsc.org	- In heel de wereld - Certificatie voor hout en houten producten, alsook andere bosproducten www.pefc.be

Figuur 8: Overzicht van de belangrijkste Type 1 milieulabels voor bouwproducten in Europa [11]

Type 2 milieuverklaringen of eigenverklaringen

De producent of verdeler kent bij de eigenverklaringen zelf een label toe aan zijn product. De geloofwaardigheid en betrouwbaarheid van deze labels is door de methode van toekenning eerder laag. Doel van deze labels is het product aantrekkelijker te maken t.o.v. andere producten in dezelfde productcategorie. Het voordeel van dit label is de aantrekkelijkheidverhogende factor van het product, terwijl de geringe geloofwaardigheid en betrouwbaarheid een minpunt zijn.

Hieronder zijn enkele voorbeelden van Type 2 milieuverklaringen weergegeven (figuur 9 & 10).



Figuur 9: Type 2 milieuverklaring voor recycleerbare producten [11]

**biodégradable
à 100 % !**

Figuur 10: Type 2 milieuverklaring voor biodegradeerbare producten [11]

Type 3 milieuverklaringen of Environmental Product Declarations (EPD)

Type 3 milieuverklaringen kunnen op vrijwillige basis opgesteld en gecertificeerd worden. Dit soort verklaring bevat gedetailleerde en kwantitatieve informatie over de milieu- (en gezondheids)aspecten van producten. De door de producent of verdeler geleverde informatie over het product is volledig gebaseerd op

levenscyclusanalyse. Verificatie van de informatie gebeurt door een onafhankelijke derde partij. Het voordeel van een EPD is dat het objectieve informatie verschaft en transparant, geloofwaardig en flexibel is. Hierdoor is het mogelijk om verschillende producten met elkaar te vergelijken binnen eenzelfde milieuverklaringssysteem. Het nadeel van een EPD is de nood aan uitgebreide milieu- en gezondheidsinformatie voor het opstellen ervan, die gebaseerd dient te zijn op levenscyclusanalyse, waardoor het relatief arbeidsintensief is.

Hieronder kunnen de belangrijkste systemen voor Type 3 milieuverklaringen voor bouwproducten in Europa teruggevonden worden (figuur 11).

 INIES Fiches de déclaration environnementale et sanitaire (FDES) des produits de construction	 bre Environmental Profiles
- In Frankrijk www.inies.fr	- In Groot-Brittannië www.bre.co.uk
 Environmental Product Declarations EPD	 IBU Umwelt-Produktdeklarationen (EPD)
- In Europa www.environdec.com	- In Duitsland http://bau-umwelt.de https://epd-online.com/

Figuur 11: Belangrijkste type 3 milieuverklaringen of EPD systemen voor bouwproducten in Europa [11]

3.3 Bestaande systemen voor het bepalen van duurzaamheid van infrastructuurwerken

In België bestaan er nog geen specifieke systemen voor het meten van de duurzaamheid van infrastructuurwerken. In Nederland staat de kennis hierover echter al een stuk verder. Onze noorderburen hebben reeds uitgewerkte evaluatiesystemen om de duurzaamheid te meten of maatregelen, die aanzetten tot duurzame ontwikkeling. Hieronder is een overzicht terug te vinden van de belangrijkste instrumenten, die in Nederland worden gebruikt.

3.3.1 WEEG-Methode

Om duurzamer te kunnen werken, zijn er duurzame inkoopcriteria in het leven geroepen. Deze criteria moeten de inkoper richting geven bij de aankoop van producten. Het probleem is dat het bij infrastructuurwerken moeilijk is om zaken te veralgemenen en men criteria wil die voor elk werk toepasbaar zijn. De geografische ligging van de weg, de ondergrond, de vele toepasbare producten, ... dragen bij tot het gebruik van vele verschillende technieken. Het gevolg is dat de criteria momenteel niet erg streng zijn, waardoor de duurzaamheidswinst over het algemeen gering is. Om een project duurzamer te maken, bestaat er de mogelijkheid om specifieke duurzame maatregelen voor te schrijven of ervoor te zorgen dat deze maatregelen in de aanbesteding staan. Om te bepalen welke duurzame maatregelen er in aanmerking komen voor een project is de WEEG-methode ontworpen door Grontmij.

Het is belangrijk om de juiste duurzame maatregel te kiezen met de informatie, die voorhanden is. Als we even kijken naar enkele aspecten van duurzaamheid wordt duidelijk waarom:

- Toegepaste duurzaamheidverhogende maatregelen zijn afhankelijk van zowel de tijd als van de hedendaagse kennis.
- Het toepassen van deze maatregelen kan soms risico's met zich meebrengen door het toepassen van nieuwe technieken.
- De juiste maatregel kiezen gebeurt door een afweging te maken tussen de verschillende maatregelen.

De WEEG-methode bestaat uit vier stappen:

1. Inventarisatie

2. Inventarisatie van duurzame maatregelen
3. Weging
4. Keuze

Inventarisatie

In deze stap wordt duidelijk in kaart gebracht wat de opdrachtgever juist wil voor zijn project. Wat zijn de speerpunten, de ambitie en hoe zit het met de omvang en het tijdsgebruik van het project?

Inventarisatie van duurzame maatregelen

Indien er een idee geformuleerd is over wat de opdrachtgever juist wil, kan men duurzame maatregelen voorstellen om hieraan te voldoen. Men tracht 15 tot 20 verschillende maatregelen te zoeken voor het project. Deze moeten zo gekozen worden dat ze gericht zijn op het project en dat ze het brede gebied van duurzaamheid overkoepelen, met andere woorden, dat aan de verschillende pijlers van het Triple P- model voldaan wordt.

Weging

Eens de verschillende maatregelen gekend zijn, kunnen deze ten opzichte van elkaar afgewogen worden. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de wegingstabel in figuur 12. Afhankelijk van het project kunnen meer of minder wegingsonderdelen gebruikt worden.

Format mogelijke duurzame maatregel

Fase (project)	Ontwerp / Voorbereiding / Realisatie / Beheer	
Onderdeel	Wegomgeving / verkeer / berm / verhardingsconstructie	
Beschrijving	Omschrijving van de mogelijke duurzame maatregel. Hierbij is het van belang dat naast de omschrijving van de maatregel ook de positieve en negatieve ervaringen worden beschreven. Ook de risico's en de kosten worden aangegeven. Vanuit de visie of ambitie kunnen aanvullende weegonderdelen worden toegevoegd. Omdat een duurzame maatregel vaak een weging is tussen voor- en nadelen worden ook de nadelen beschreven en aangegeven met een min – of --	
Onderdelen	Score	Beschrijving van het effect
Energie	+ / -	Energiebesparing / opwekking duurzame energie
Leefomgeving	+ / -	Luchtkwaliteit / geluid / geur / sociale veiligheid
Water	+ / -	Besparing gebruik / minder verontreiniging / tegengaan verdroging
Bodem	+ / -	Verbetering bodemkwaliteit / goede relatie kwaliteit (milieu en civiel) en functie
Ruimte	+ / -	Goede / betere benutting van de ruimte (o.a. meervoudig) of ruimtelijke kwaliteit (mooi om te zien)
Natuur en Landschap	+ / -	Verbetering van natuur of ecologische (hoofd)structuur
Grondstoffen / materiaal	+ / -	Beperking gebruik (primair) materiaal, (hoogwaardig) hergebruik van materiaal, vermindering gebruik van schadelijke stoffen (gebruik van duurzame materialen)
Klimaat	+ / -	Vermindering CO ₂ -uitstoot of broeikasgas Verbetering vasthouden van regenwater, en verbetering situatie voor extensieve regenbuien
Risico's	+/-	Welke risico's zijn aan te geven?
Profit (kosten)	+ / -	Is er sprake van meerkosten of besparing?

+ = Positief
 ++ = Sterk positief
 0 = Geen effect
 - = Negatief
 -- = Sterk negatief

Figuur 12: WEEG methode: voorstelling van een mogelijke format van een duurzame maatregel [12]

Keuze

Na de weging van de verschillende duurzame maatregelen blijven de meest voordelige over, die voor het project gebruikt kunnen worden. Hieruit moeten de betrokken partijen dan een keuze maken voor het project.

Meer informatie over deze methode is te vinden op de website:
<http://grontmij.nl/duurzaaminkopen>

3.3.2 CO₂-prestatieladder

ProRail, het bedrijf, dat verantwoordelijk is voor de aanleg, het onderhoud en het beheer van het spoorwegennet in Nederland, heeft de CO₂-prestatieladder ontwikkeld en gebruikt dit bij zijn aanbestedingen. Het ontwikkelde instrument bleek zo interessant te zijn dat snel andere opdrachtgevers van grond-, weg- en waterbouwwerken hier potentieel in zagen. Vandaar dat er nu een versie 2.0 voorhanden is, die breder toegepast kan worden.

De CO₂-prestatieladder heeft twee belangrijke uitgangspunten:

1. Maximale gerichtheid op eigen initiatief, praktische resultaten en innovatie
2. Minimale belasting en belemmering van de onderneming door regels en voorschriften.

Met de CO₂-prestatieladder wil men dus geen regels opleggen voor het product of het productieproces, maar wil men bedrijven motiveren om zelf op zoek te gaan naar hoe ze hun productieproces en onderneming energievriendelijker kunnen maken. Dit op zich zet aan tot innovatief ondernemen.

Op deze manier wil men bedrijven stimuleren om zowel hun eigen CO₂-uitstoot als deze van hun leveranciers te kennen en te verminderen. De opgedane kennis voor deze vermindering van de uitstoot wil men ook zo transparant mogelijk delen.

Hoe werkt het?

Er zijn vijf niveaus in de CO₂-prestatieladder, opklimmend van 1 tot 5. Elk bedrijf krijgt afhankelijk van vaste eisen een plaats op deze ladder. Van elk niveau is de korte uitleg in figuur 13 terug te vinden.

De CO ₂ -Prestatieladder		Niveau – Certificeringschema (globaal)
5	Het bedrijf beschikt over een CO ₂ -emissie-inventaris van haar belangrijkste leveranciers. Het bedrijf toont aan dat de geformuleerde doelstellingen zoals geformuleerd op niveau 3 en 4 worden gerealiseerd. Het bedrijf committeert zich publiekelijk aan een CO ₂ -reductieprogramma van - of met - overheid of maatschappelijke organisatie en kan aantonen dat het een relevante bijdrage levert aan een innovatief CO ₂ -reductieproject.	
4	Het bedrijf heeft haar ketenemissies op hoofdlijnen in kaart gebracht en voor twee relevante ketens zijn ketenanalyses uitgevoerd. Het bedrijf beschikt over kwantitatieve doelstellingen voor haar ketenemissies. Het bedrijf onderhoudt een dialoog met belanghebbenden (overheden en maatschappelijke organisaties) en kan aantonen dat zij initiatiefnemer is van een sector- en keteninitiatief op het gebied van CO ₂ -reductie.	
3	Het bedrijf beschikt over een officiële CO ₂ -emissie-inventaris die volgens de ISO (of GHG) standaard is opgesteld en door een onafhankelijke instelling is geverifieerd. Het bedrijf beschikt over kwantitatieve doelstellingen voor haar eigen (scope 1 en 2) CO ₂ -uitstoot. Het communiceert structureel intern en extern over haar CO ₂ -footprint en neemt actief deel aan tenminste één sector- en keteninitiatief op het gebied van CO ₂ -reductie.	
2	Het bedrijf heeft haar energiestromen kwantitatief in kaart gebracht en heeft een kwalitatieve doelstelling geformuleerd voor energiebesparing en duurzame energie. Het bedrijf communiceert intern structureel over haar energiebeleid en neemt passief deel aan tenminste één sector- en keteninitiatief op het gebied van CO ₂ -reductie.	
1	Het bedrijf heeft haar energiestromen kwalitatief in kaart gebracht en beschikt over een lijst potentiële opties voor energiebesparing en duurzame energie. Het bedrijf communiceert intern op ad hoc basis over haar beleid m.b.t. energiebesparing en duurzame energie en is op de hoogte van sector- en keteninitiatieven op het gebied van CO ₂ -reductie.	

Figuur 13: De 5 niveaus van de CO₂ prestatieladder [13]

De eisen, waaraan de bedrijven moeten voldoen, hebben vier verschillende invalshoeken die verschillen in belangrijkheid, voorgesteld door een weegfactor (Figuur 14).

Code	Invalshoek	Weegfactor
A	Inzicht (in de eigen CO ₂ -uitstoot)	40%
B	CO ₂ -reductie (de ambitie waaraan men zich committeert)	30%
C	Transparantie (hoe communiceert men daarover intern en extern)	20%
D	Samenwerking met collega-bedrijven op het gebied van CO ₂ -reductie	10%

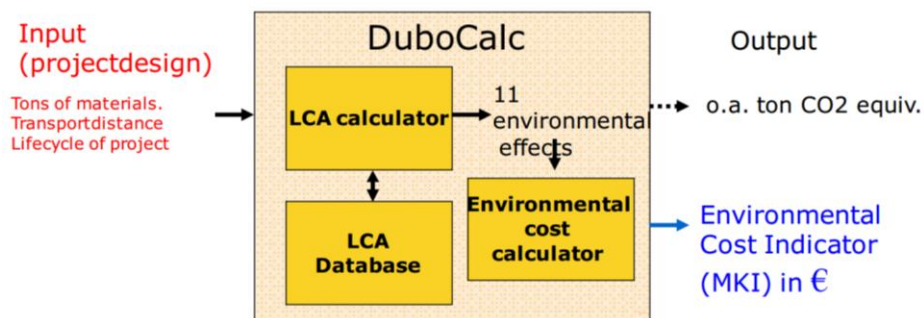
Figuur 14: Weegfactoren van de invalshoeken bij CO₂-uitstoot [13]

Bedrijven moeten hun eigen CO₂-prestatie beoordelen aan de hand van het certificatieschema en de auditchecklijsten. Eens dit gebeurd is, verifieert een certificerende instelling de overhandigde informatie. Op basis hiervan krijgt het bedrijf een plaats op de ladder en krijgt het een "CO₂-bewust certificaat". Het bedrijf moet dan steeds dit certificaat meesturen wanneer het een offerte uitbrengt om in aanmerking te kunnen komen voor het gunningsvoordeel. Dit houdt in dat het bedrijf, in geval van gunning op basis van de laagste prijs, een fictieve korting verkrijgt op de inschrijfprijs of, in geval van een gunning op basis van de economisch meest voordelige inschrijving, een aanpassing van de reeds bekomen prijs met een percentage van het gunningsvoordeel. Deze korting en percentage zijn afhankelijk van het niveau op de CO₂-prestatieladder. Hoe hoger het niveau, des te meer voordeel het desbetreffende bedrijf heeft.

Meer informatie over deze methode is te vinden op de website:
<http://www.skao.nl/>

3.3.3 DuboCalc

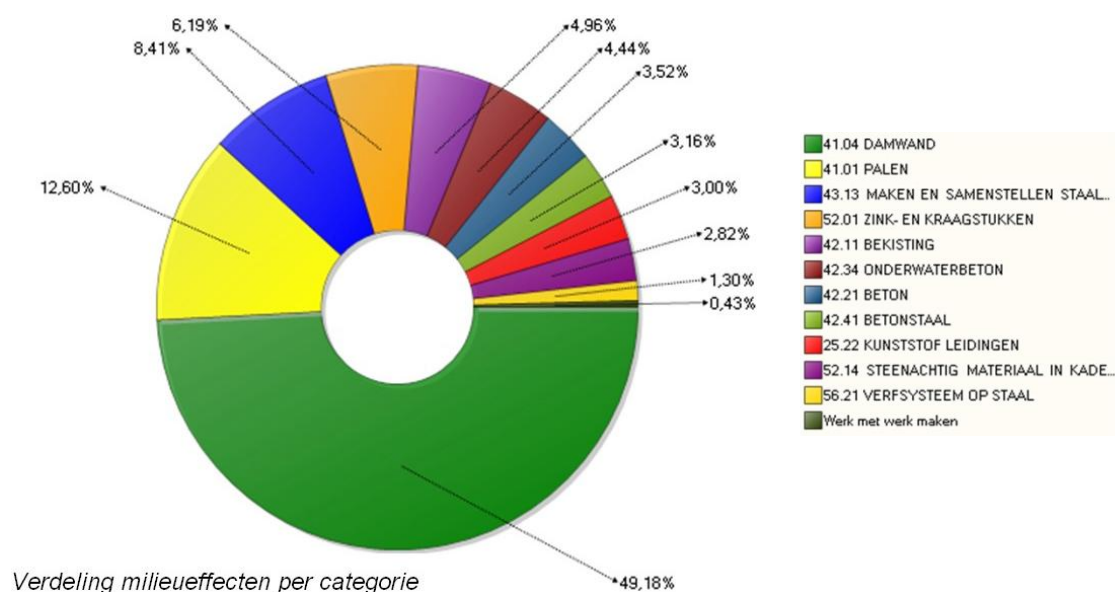
DuboCalc is een digitaal milieuprestatie-instrument, dat toegepast wordt bij aanbestedingen. Het biedt veel mogelijkheden om de duurzaamheid van grond-, weg- en waterbouwwerken meetbaar te maken. Dit instrument is ontwikkeld in Nederland door Rijkswaterstaat (RWS). Het is gebaseerd op de levenscyclusanalyse (LCA), alsook op het energiegebruik van het complete werk, van productie tot afbraak of recyclage. Al deze invloeden worden samengebundeld tot één indicator, namelijk de Milieu Kosten Indicator (MKI) (figuur 15). De MKI-waarde geeft de milieubelasting aan van een werk, uitgedrukt in euro per functionele eenheid. Hoe lager deze waarde, hoe minder het milieu belast wordt. Zo worden de bovenlokale milieueffecten in beeld gebracht.



Figuur 15: Verduidelijking van hoe DuboCalc gebruikt wordt: De gebruiker kan in het programma de hoeveelheid gebruikte materialen en de bijhorende transportafstanden ingeven. DuboCalc berekent a.d.h.v. LCA het milieueffect van de ingegeven materialen. Met deze gegevens wordt dan de milieukost berekend [14].

DuboCalc kan op drie manieren gebruikt worden:

1. Ten eerste kan men nagaan of er aan de vooropgestelde milieuprestatie-eis is voldaan. Zo kan een opdrachtgever eisen stellen voor een bepaalde prestatie, die dan via dit instrument kan aangetoond worden.
2. Verder kan men aan de hand van de milieukostenindicator (MKI) aantonen dat men een project duurzaam heeft ontworpen. Zo zal men trachten bij het einde van het project een betere MKI waarde te bekomen dan bij de start door meer duurzaamheidverhogende maatregelen toe te passen. Op deze manier kan er een variantenstudie gemaakt worden naar de milieueffecten van zowel de gebruikte materialen als van verschillende uitvoeringsmogelijkheden voor het infrastructuurwerk.
3. Tenslotte kan men de MKI opnemen als een gunningsvoorwaarde. Op deze manier is men verplicht rekening te houden met duurzaamheid, indien men wil inschrijven voor een aanbesteding.



Figuur 16: Verdeling van de milieueffecten per categorie binnen DuboCalc [15]

Het voordeel van dit systeem is de mogelijkheid tot vergelijken van verschillende inschrijvingen met betrekking tot duurzaamheid. Zo kunnen twee inschrijvingen verschillende materialen gebruiken en kan met de MKI duidelijk aangetoond worden dat de ene inschrijving (veel) duurzamer is dan de andere (Figuur 16).

Bij een EMVI (Economisch Meest Voordelige Inschrijving) wil men tegenwoordig steeds een aantal procent van het bedrag van de inschrijving naar duurzaamheid zien gaan (Figuur 17). Deze maatstaf kan worden bekeken met behulp van de MKI.

	Gaat in vanaf	Minimaal deel van het EMVI-bedrag dat bestemd wordt voor milieukwaliteit
Prestatiecontracten, Variabel Onderhoud en Renovatie projecten*	1 januari 2013	25%
Aanleg* > M€ 35	1 augustus 2012	35%
Aanleg^ < M€ 35	1 januari 2013	35%

Figuur 17: De figuur geeft aan hoeveel van het EMVI-bedrag minimaal moet gaan naar milieukwaliteit [16]

Wanneer de prijs als enige criterium wordt genomen bij een openbare aanbesteding zal een aannemer meestal slechts voldoen aan de minimum vereisten voor zijn project. Indien de ontwerper iets duurzaam in zijn ontwerp zou willen steken of een milieuvriendelijkere oplossing in gedachte heeft, zal hij dit vaak zelf niet voorstellen aangezien de prijs dan ook stijgt. Hierdoor loopt hij het risico het werk niet te krijgen. Via de EMVI krijgen de aannemers dus meer vrijheid in hun ontwerp en de kans om een beter ontwerp te maken. Dit is dan ook het doel van DuboCalc.

In de case study van deze masterproef wordt gebruik gemaakt van DuboCalc. Er wordt getracht om een bestaand project duurzamer te maken door het toepassen van duurzaamheidverhogende maatregelen. Met DuboCalc kan worden nagegaan of het project al dan niet duurzamer is geworden.

Meer informatie over deze methode is te vinden op de website: http://www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/duurzaam/duurzaam_inkopen/duurzaamheid_bij_contracten_en_aanbestedingen/dubocalc/

3.3.4 **MKI berekening**

De Milieukostenindicator of MKI kan op verschillende manieren berekend worden. Wanneer men bijvoorbeeld gebruik maakt van een Excel bestand, kan men, indien men alle gegevens heeft, eenzelfde MKI bekomen als bijvoorbeeld met het programma DuboCalc. Het nadeel hierbij is echter dat alle gegevens zelf opgezocht moeten worden in een databank en dat er dus veel onderzoek moet gedaan worden naar het invullen van de juiste gegevens. Bij DuboCalc kan er gebruik gemaakt worden van een databank van materialen waar deze gegevens reeds achter zitten.

Voor sommige producten is het moeilijk te bepalen welke wegingsfactor eraan moet toegekend worden. Door deze moeilijkheden wordt deze berekening meestal uitbesteed aan bedrijven die hierin gespecialiseerd zijn. Zij stellen dan bijvoorbeeld een Excel bestand op waarin alle gegevens zijn opgenomen die nodig zijn voor het berekenen van de MKI. Het enige wat de gebruiker zelf nog moet ingeven, zijn de gebruikte hoeveelheden en de gereden kilometers om tot de MKI te komen (zie figuur 18).

Type grondstof	Kaliber	kg per ton	kg per M3
Mengsel uit 2012			
betonzand	0/4	173,9187	441
Zeezand	0/1	89,12842	226
Kalksteen	2/6	205,4686	521
Kalksteen	6/14	82,0297	208
totaal kalksteen		287,4983	
Betonpuin	0/6	65,86038	167
Betonpuin	6/14	41,01485	104
toaal betonpuin		106,8752	
Metamix slak	0/6	153,4113	389
100TGL Stabilisator		0,394374	1
CEM I 52,5 R		57,52096	146
CEM I 52,5 R		40,97383	104
HOS		32,70027	83
vliegask		0	0
Calcitec 2001S		29,97239	76
water		27,60615	70
totalen.		1000	2536

M.K.I. van het mengsel uit 2012

productie te Rijkvorschel groene stroom	
bouwstoffen	€ 6,34
transport bouwstoffen	€ 1,22
verpakken incl transport	€ 0,03
transport naar werk incl. beladen schip	€ 1,26
productieproces	€ 0,13
subtotaal	€ 8,99
default einde levensduur	€ 0,81
M.K.I.	€ 9,80

Figuur 18: Links: mogelijkheid tot ingeven van hoeveelheden. Rechts: de berekende MKI met de invloed van de categorieën [17]

Wanneer er gebruik gemaakt wordt van de MKI berekening bij de gunning van werken, heeft dit tot gevolg dat producenten, die geografisch ver van het project liggen, veel minder kans hebben op de gunning. Dit komt doordat het transport een grote rol speelt in de berekening.

Wanneer er gewerkt wordt met gunning op basis van de MKI worden bedrijven op verschillende vlakken gestimuleerd om zo milieubewust mogelijk te produceren. Indien ze kans willen maken op gunning, zullen ze bijgevolg milieuvriendelijke producten moeten gebruiken. De producten leggen best een zo kort mogelijke afstand af, aangezien transport een groot aandeel van de kosten draagt. Het type vervoer dat ze voor dit transport gebruiken, heeft ook een grote impact, zo zal een boot een veel lagere milieukost hebben dan transport over de weg.

4 Informatieverzameling i.v.m. duurzaamheid bij steden en gemeenten

4.1 Kwantitatief onderzoek: enquête bij steden en gemeenten

Om een beter beeld te krijgen over hoe steden en gemeenten staan t.o.v. duurzame maatregelen bij infrastructuurwerken, werd er gebruik gemaakt van een enquête. In deze enquête zijn verschillende vragen gesteld over welke duurzaamheidverhogende maatregelen momenteel worden toegepast, hoe de toekomstvisie eruit ziet en wat steden en gemeenten zou kunnen aanzetten tot duurzamer werken.

4.1.1 Methodiek

Deze enquête werd verstuurd naar 157 technische diensten verspreid over heel Vlaanderen, meer bepaald naar de steden en gemeenten met een inwonersaantal rond de 20.000.

4.1.2 Analyse en resultaten

Van de ontvangen antwoorden bleken er 27 nuttig te zijn, 17% van de bevroagden heeft geantwoord. Deze werden in detail bekeken en worden hieronder verder toegelicht.

Vraag 1

Zijn er in uw gemeente in het verleden bij het opstellen van aanbestedingen voor infrastructuurwerken maatregelen genomen om de duurzaamheid van het project te verhogen?

1.1	Waterdoorlatende bestrating	78.26%
1.2	Duurzaam straatmeubilair	60.87%
1.3	Gebruik van recyclagemateriaal bij straatinrichting	60.87%
1.4	Kindvriendelijke straatinrichting	26.09%
1.5	Maatregelen om geluidsoverlast te beperken	21.74%
1.6	Intelligente straatverlichting of licht op aanvraag	8.70%
1.7	Neen	8.70%
1.8	Maatregelen om de CO2 uitstoot te verminderen	4.35%

1.9	Luchtzuiverende bestrating	0.00%
-----	----------------------------	-------

Overige antwoorden (open vraag):

- De recuperatie van regenwater voor de besproeiing in de groenzones op openbaar domein en tennisvelden.
- Natuurverf

Hieruit blijkt dat waterdoorlatende bestrating de meest toegepaste duurzame maatregel is (78,26%). Waterdoorlatende bestrating is een techniek waar al lang onderzoek naar wordt gedaan. Er zijn proeven, waaruit blijkt dat deze maatregel wel degelijk zijn nut heeft. Wat het voordeel is van waterdoorlatende bestrating kan teruggevonden worden in fiche "waterdoorlatende bestrating" (bijlage 1.1).

Van de ondervraagde steden en gemeenten wordt zowel duurzaam straatmeubilair als recyclagemateriaal bij de straatinrichting door 61% van de ondervraagden toegepast. Een verband tussen beiden is mogelijk, maar kan niet bewezen worden door dit kwantitatief onderzoek.

Luchtzuiverende bestrating werd bij de ondervraagde steden en gemeenten nog niet gebruikt (0%). Dit is te verklaren, doordat deze techniek nog vrij nieuw is. Naar deze methode zijn reeds laboratoriumonderzoeken gedaan met positieve resultaten (zie maatregel "luchtzuiverende bestrating" (bijlage 1.3)), maar desondanks kiest men toch nog vaak voor de gekende conventionele producten.

Vraag 2

Indien er in het verleden geen rekening werd gehouden met duurzaamheid, wat denkt u dat de reden hiervoor was?

2.1	Onzekerheid van de nieuwe technieken	34.78%
2.2	Onbekend	30.43%
2.3	Te duur	26.09%
2.4	Niet van toepassing	26.09%

Overige antwoorden (open vraag):

- Duurzame producten hanteren zal de procedures nog vertragen.
- Minder politieke draagkracht
- Te weinig bewust van het nut van duurzaamheidsmaatregelen
- Nog niet ingeburgerd

Zowel aan de verschillende procenten als aan de overige antwoorden valt duidelijk te zien dat er verschillende redenen zijn voor het niet toepassen van duurzame maatregelen. Vooral het onbekende en de onzekerheid van de nieuwe technieken spelen hierbij een grote rol. Wanneer men nieuwe technieken of producten wil gebruiken, is er vaak geen interne voorkennis en dit schrikt af. De nood aan informatie is duidelijk aanwezig.

Vraag 3

Verwacht u dat er in de toekomst in uw gemeente bij het opstellen van aanbestedingen voor infrastructuurwerken maatregelen zullen worden genomen om de duurzaamheid van een project te verhogen?

3.1	Duurzaam straatmeubilair	86.96%
3.2	Waterdoorlatende bestrating	82.61%
3.3	Gebruik van recyclagemateriaal bij straatinrichting	56.52%
3.4	Kindvriendelijke straatinrichting	47.83%
3.5	Maatregelen om geluidsoverlast te beperken	47.83%
3.6	Intelligente straatverlichting of licht op aanvraag	43.48%
3.7	Maatregelen om de CO2 uitstoot te verminderen	13.04%
3.8	Luchtzuiverende bestrating	4.35%
3.9	Neen	0.00%

Overige antwoorden (open vraag):

- De recuperatie van regenwater voor besproeiing in de groenzones op openbaar domein
- Toegankelijkheidsverhogende maatregelen voor weggebruikers

Iedere stad of gemeente wil in de toekomst in duurzaamheid investeren. Dit is uiteraard positief. De meest vertrouwde techniek, waterdoorlatende bestrating, is populair (82,61%).

Een andere maatregel, die velen willen invoeren, is het plaatsen van duurzaam straatmeubilair (86,96%). De redenen waarom deze maatregel zo populair is, zijn een kleinere faalkans en een prijs die t.o.v. andere maatregelen relatief laag is. Een ander voordeel is dat de impact van een mogelijke faling niet zo groot is als bij bijvoorbeeld het verzakken van een nieuwe weg.

Verder zijn het gebruik van recyclagemateriaal bij straatinrichting (56,52%), geluidsbeperking (47,83%), kindvriendelijke straatinrichting (47,83%) en intelligente straatverlichting (43,48%) maatregelen, waar steden en gemeenten naartoe willen werken.

Vraag 4

Indien er in de toekomst geen rekening wordt gehouden met duurzaamheid, wat denkt u dat de reden hiervoor zal zijn?

4.1	Niet van toepassing	34.78%
4.2	Te duur	34.78%
4.3	Onzekerheid van de nieuwe technieken	30.43%
4.4	Onbekend	13.04%

Overige antwoorden (open vraag):

- Uniformiteit: het gebruik van dezelfde producten en procedures
- Het vertragen van de procedures
- Wij leggen geen klinkers op openbare wegen, dus kunnen we ook geen waterdoorlatende klinkers leggen.

Veel steden en gemeenten vinden enerzijds dat duurzaamheid een te hoge kostprijs heeft (34,78%) en anderzijds dat de nieuwe technieken nog te onzeker zijn (30,43%).

Vraag 5

Wat zou u aanzetten tot of kunnen helpen om meer maatregelen te nemen i.v.m. duurzaamheid van infrastructuurwerken? (open vraag)

Hieronder de meest relevante antwoorden:

- *"Betere informatie over de verschillende materialen + mogelijkheden + kostprijs."*
- *"Intelligente, duurzame materialen die weinig of zo goed als geen onderhoud vragen."*
- *"Gratis onafhankelijke begeleiding en informatieverstrekking (hogere overheid?)."*
- *"Meestal laat het budget niet toe om extra maatregelen te nemen i.v.m. duurzaamheid. De keuze moet m.i. eerst gemaakt worden door het bestuur, bijvoorbeeld door extra budgetten hiervoor vrij te maken."*
- *"Sensibilisering bij de besturen. Meer informatie en optimale gebruikstechnieken."*
- *"Ik ben gisteren op VLARIODAG geweest. Vroeger regende het om de 20 jaar zeer extreem met wateroverlast tot gevolg. Het KMI heeft nu een cyclus over 50 jaar opgesteld en hierin wordt vastgesteld dat de extreme regenbuien zich niet meer voordoen om de 20 jaar, maar om de 5 jaar, hieruit moet men conclusies trekken. De laatste 20 jaar is het klimaat veranderd, meer verharde oppervlakte, meer bebouwing, en hevigere buien in de zomer, men zal infrastructuur zo moeten bouwen dat dit water opgevangen kan worden in tijdelijke systemen, wadi's, bufferbekkens, grachten, groenperken, parken, lager gelegen voetbalvelden, waterdoorlatende klinkers, andere."*

Bij deze vraag viel het op dat er vooral nood is aan informatie. De steden en gemeenten zijn vaak niet volledig op de hoogte van de mogelijkheden. Zo willen ze bijvoorbeeld meer informatie krijgen, praktijkvoorbeelden die het succes staven, begeleiding bij de toepassing van duurzame maatregelen en professionele voorstellen krijgen.

Een tweede belangrijk punt is de kostprijs. Een duurzame oplossing toepassen kan meerkosten met zich meebrengen. Dit is sterk afhankelijk van de toegepaste maatregel.

Minder frequent kwam naar voor dat steden en gemeenten het implementeren van duurzaamheidverhogende maatregelen enkel mogelijk zien door een aanzet van bovenaf (hogere overheid).

Verder verwachten ze dat de maatregelen minder onderhoud vergen dan de huidige.

Vraag 6

Meestal wordt een aanbesteding toegewezen aan de goedkoopste inschrijver. Heeft uw gemeente of stad een systeem dat ook rekening houdt met duurzaamheid bij de toewijzing?

Ja	17.39%
Neen	82.61%

Slechts 17% houdt op de een of andere manier rekening met duurzaamheid bij de aanbesteding. Dit is een factor, die aangemoedigd moet worden van bovenaf en eventueel dus ook opgelegd moet worden.

Vraag 7

Wanneer een stad of gemeente antwoordde dat er rekening gehouden wordt met duurzaamheid bij de aanbesteding, werd hen de volgende vraag gesteld:

“Op welke manier implementeert u duurzaamheid bij een aanbesteding?”

De open antwoorden worden als volgt samengevat:

- Een duurzaamheidverhogende maatregel in een offerteaanvraag implementeren.
- In de bestekken duurzaamheidverhogende maatregelen expliciet inschrijven.

4.1.3 Conclusies

De belangrijkste conclusie, die er kan worden getrokken uit deze enquête, is dat duurzaam ondernemen nog niet voor de hand ligt. Hierdoor grijpt men snel terug naar de gekende conventionele methodes, waarvan de werking reeds bewezen is. Als een nieuwe techniek wordt voorgesteld, zijn veel gestelde vragen “Waar is dit al toegepast?”, “Is het nut hiervan reeds bewezen?”, “Zijn hier studies van?” en “Wat is de kostprijs?”. Wanneer men wel opteert om gebruik te maken van

specifieke duurzaamheidverhogende maatregelen, zal dit eerder zijn voor kleinere projecten, zoals het plaatsen van straatmeubilair.

Verder blijkt het verkrijgen van juiste informatie over de verschillende mogelijkheden niet vanzelfsprekend. Vaak zal de ontwerper of het studiebureau hierover slechts informatie geven indien dit specifiek gevraagd wordt door de klant. Zeker wanneer het enige gunningscriterium de prijs is, zullen eventuele duurdere duurzame maatregelen niet snel voorgesteld worden.

4.2 Kwalitatief onderzoek: interviews

Een aantal diepte-interviews zijn afgenomen bij verschillende personen en instanties. Er zijn enkele interviews afgenomen bij steden en gemeenten om meer inzicht te krijgen of deze duurzaamheidverhogende maatregelen al dan niet toegepast worden.

Echter zijn de meeste interviews bij personen afgenomen om meer informatie te verzamelen voor het opstellen van de fiches i.v.m. duurzaamheidverhogende maatregelen die terug te vinden zijn in Bijlage 1.

De verschillende interviews worden hieronder kort besproken.

Frank Gendera (Ebema): waterdoorlatende bestrating

Het gesprek met dhr. Gendera behandelde waterdoorlatende bestrating. Eerst werd een algemeen beeld gevormd over de mogelijke vormen van waterdoorlatende bestrating met bijbehorende voorbeelden (zie maatregel 1: Waterdoorlatende bestrating (bijlage 1)). De mogelijkheid om vragen te stellen zorgde voor een gedetailleerde uitleg die meer aansluit op deze masterproef. Als afsluiting van dit gesprek werd er extra documentatie aangeboden die mij in staat stelde om achteraf het onderwerp terug nader te bekijken.

Peter Broux (Ebema): luchtzuiverende bestrating

Dhr. Broeckx kon het onderwerp "luchtzuiverende bestrating" nader toelichten. Het betonbedrijf Ebema heeft zich vrij recent geïnformeerd naar dit product om hun productassortiment in de toekomst eventueel mee te verrijken. De informatie die het recent verkregen heeft, heeft geholpen bij het ontwikkelen van de fiche over luchtzuiverende bestrating (zie maatregel 3: Luchtzuiverende bestrating (bijlage 1)).

Roger Delnoij & Alexandru Darie (Philips Lighting): intelligente straatverlichting

Philips Lighting verschafte meer informatie omtrent intelligente straatverlichting. Dhr. Delnoij is specialist in het ontwikkelen van het intelligente verlichtingssysteem van Philips, genaamd LumiMotion. Hij bleek de ideale persoon te zijn om dit onderwerp nader toe te lichten. Het gesprek verrijkte mijn kennis omtrent de toegepaste software, gevolgd door een demonstratie van dit verlichtingssysteem in een testkamer. Bij Philips werd een tweede gesprek aangeboden met dhr. Darie. Met dhr. Darie werd dit onderwerp nogmaals behandeld, waar ik de kans had nog een aantal bijkomende vragen te stellen. Dit interview heeft geholpen bij het ontwikkelen van de fiche over intelligente straatverlichting (zie maatregel 7: Intelligente straatverlichting (bijlage 1)).

Jo Beuls (Light Plus): LED verlichting

Dhr. Beuls kon als specialist in verlichting mijn kennis verder uitbreiden door de verschillen te verduidelijken omtrent LED verlichting en andere soorten verlichting. De voordelen en nadelen van LED verlichting werden nader toegelicht. Dit interview heeft geholpen bij het ontwikkelen van de fiche over intelligente straatverlichting (zie maatregel 7: Intelligente straatverlichting (bijlage 1)).

Pol Kinnart & Carolien Haijen (Antea Group): ingenieurs- en milieuadviesbureau

Met dhr. Kinnart en mevr. Haijen werd de kant van de ontwerpers verduidelijkt. Als conclusie uit dit gesprek kon geformuleerd worden dat duurzame maatregelen enkel nader worden bekeken indien hier specifiek naar gevraagd wordt, dit is dus nog geen standaard werkwijze. Meer nog, de vraag naar een duurzame uitkomst wordt zelden gesteld en blijkt dat men vaak kiest voor de gekende conventionele methodes. Van duurzame maatregelen werd waterdoorlatende bestrating het meest gevraagd, andere maatregelen bleken nog onbekend.

Kathleen Loos (Stad Genk): duurzame infrastructuur bij stadsdiensten

Met mevr. Loos werd het toepassen van duurzame infrastructuren binnen de stad Genk bekeken. Een toepassing van duurzaamheid bleek zich echter tot een minimum te beperken. In Genk zijn momenteel nog geen projecten uitgevoerd waar duurzaamheid de centrale factor was. Duurzaam straatmeubilair, zoals straatmeubilair uit gerecycleerd materiaal, wint wel aan interesse binnen de stadsdiensten en wordt momenteel al toegepast. Een struikelblok voor de implementatie van duurzame maatregelen bleek nogmaals het financiële aspect te zijn.

Steve Noels (Stad Peer): duurzame infrastructuur bij stadsdiensten

In Peer beperken de duurzame projecten zich, net zoals in Genk, tot het plaatsen van straatmeubilair met gerecycleerde materialen. In Peer is wel al een project toegepast omtrent waterdoorlatende bestrating. Een extra aandachtspunt van waterdoorlatende bestrating wordt onderstreept, meer bepaald het onderhoud van dit soort bestrating. Dit onderhoud is erg belangrijk aangezien brede voegen zorgen voor meer onkruid. De voorkeur wordt hier weggedragen naar het gebruik van traditionele verhardingen die ze trachten te laten aflopen naar bijvoorbeeld de beplanting. Echter, financieel blijkt ook hier dat duurzame maatregelen niet altijd voor de hand liggen.

Hubert De Keyser (Stad Aarschot): duurzame infrastructuur bij stadsdiensten

Dhr. De Keyser is sinds kort gepensioneerd hoofd van de technische dienst van de stad Aarschot. Net zoals in Genk en Peer worden duurzame maatregelen naar achter geschoven wegens een tekort aan kennis en de vrees voor meer onderhoud en een eventueel hogere kostprijs. Het toepassen van duurzaamheid beperkte zich in Aarschot net zoals in Genk en Peer tot het toepassen van duurzaam straatmeubilair.

Grégoire Colette (OCW): behandeling en stabilisatie van grond en het hergebruik van materialen

Mevr. Grégoire werkt bij het OCW (Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw) en zij is verantwoordelijk voor het onderzoek naar de behandeling van stabilisatie

van grond en het hergebruiken van materialen hieromtrent. Uit het gesprek kon afgeleid worden dat er de laatste jaren geen noemenswaardige onderzoeken meer gebeurd zijn. In verband met innovatieve grondverbetering worden enkel kalk en cement gebruikt, maar deze materialen zijn reeds gekend en bevatten dus geen nieuwe informatie (zie maatregel 5: Grondbehandeling en toepassing van secundaire materialen (bijlage 1)).

Bergiers Anneleen (OCW): rolweerstand, geluid en trillingshinder

Mevr. Bergiers werkt ook voor het OCW. Zij is onderzoekster naar de rolweerstand, geluid en trillingshinder bij wegen en zoekt naar innoverende methoden hieromtrent. Dit gesprek leverde informatie over reeds gebruikte technieken voor het meten van rolweerstand, geluid en trillingshinder, maar ook informatie over nieuwe materialen, bijvoorbeeld een poro-elastisch wegdek. Dit is een soort van rubberen wegdek, dat geproduceerd wordt met gerecycleerde banden en dat daarbovenop een geluidsreducering heeft van 10-12 db (voor meer informatie over deze toepassing zie [18])

Mevr. Bergiers werkt mee aan een studie naar het geluidsniveau langs de wegen. Haar team heeft zelf een proefmethode ontwikkeld om de geluidshinder te kunnen bepalen. Bij deze proefmethode wordt er dus gekeken welke materialen voor een wegdek geluidshinder kunnen beperken.

Vansteekiste Stefaan (OCW): asfalt bij verlaagde temperatuur

Mr. Vansteekiste is onderzoeker bij het OCW. Hij kon meer uitleg verschaffen over asfalt bij verlaagde temperatuur. Normaal wordt asfalt op 180°C geproduceerd, een nieuwe methode laat toe dit te produceren op 110°C, met als resultaat energiebesparing. In België wordt deze methode nog niet frequent toegepast. In het standaardbestek 250 staan enkel de klassieke manieren en het OCW probeert deze nieuwe methode ook in het SB 250 te krijgen. Op deze manier is hier meer kennis rond en kan dit vaker en gemakkelijker toegepast worden.

Dit interview heeft geholpen bij het ontwikkelen van de fiche over asfalt bij verlaagde temperatuur (zie maatregel 10: Asfalt bij verlaagde temperatuur (bijlage 1)).

Boonen Elia (OCW): onkruidbeheer en fotokatalytisch beton

Mr. Boonen werkt voor de afdeling betonwegen binnen het OCW. Hij kon meer informatie geven over de huidige technieken van onkruidbeheer zonder chemische producten. Daarbij werd er een beeld gevormd over de nadelen van de vroeger gebruikte chemische producten en de perspectieven voor de toekomst. De informatie die volgde uit dit gesprek, vormde de basis voor de fiche onkruidbeheer (zie maatregel 9: onkruidbeheer (bijlage 1)).

Mr. Boonen werkt ook mee aan een project rond fotokatalytisch beton. Er zijn verschillende pilootprojecten in Antwerpen en Brussel. Het probleem in dit onderzoek is het feit dat het erg moeilijk blijkt te zijn om de resultaten, die vanuit het labo gegenereerd zijn, te representeren in de huidige omgeving. Alle externe factoren, zoals zon, wind, regen, enz., zorgen ervoor dat het positieve effect heel moeilijk te meten valt in de praktijk. In Brussel is er een tunnel met fotokatalytisch materiaal bewerkt, maar de vervuiling in dergelijke tunnels is reeds zo hoog dat verminderingen hierin niet gemeten en bewezen konden worden. Andere projecten geven wel aan dat er zeker potentieel is tot het terugdringen van luchtverontreiniging.

Dit interview heeft geholpen bij het ontwikkelen van de fiche over luchtzuiverende bestrating (zie maatregel 8: Fosforescerende wegmarkering (bijlage 1)).

Van Geelen Hinko (OCW): minder hinder en duurzame mobiliteit

Mr. Van Geelen is onderzoeker bij het OCW bij de afdeling "Minder hinder en duurzame mobiliteit". Deze afdeling zorgt voor minder hinder tijdens werken aan de wegen. Dit willen ze doen door al heel vroeg in de projectfase rekening te houden met mogelijke hinder en die proberen te voorkomen. OCW onderzoekt dit onderwerp en AWV (Afdeling Wegen en Verkeer) voert dit uit. Onderzoek naar minder hinder gebeurt al frequent bij N-wegen, maar sinds kort probeert het OCW dit ook in te voeren bij de steden en gemeenten.

Van Troyen Dirk (Agentschap Wegen en Verkeer): carbon free-ways

Mr. Van Troyen werkt voor AWV en is bezig met het project "carbon free-ways".

Mr. Van Troyen kon meer informatie verschaffen over wat er al duurzaam gedaan is in België m.b.t. infrastructuurwerken. Het project "carbon free-ways" is het eerste project in België waar duurzaamheid een belangrijk punt vormde. Bij een openbare aanbesteding konden aannemers inschrijven en werd er, buiten de prijs, ook 50% rekening gehouden met de CO₂-uitstoot ten gevolge van de werken. De uitstoot werd berekend met een tool, ontwikkeld door AWV, genaamd "de koolstofteller". De inschrijver van deze openbare aanbesteding kreeg de mogelijkheid om op 3 verschillende manieren de omleiding te voorzien. Er moest hierbij rekening gehouden worden met het verschil in uitstoot bij de 3 opties. Daarbovenop werd er een tool ontwikkeld, gebaseerd op de werktijden, om zo weinig mogelijk hinder te veroorzaken tijdens de werken.

Gelders Philippe (Stad Genk)

Mr. Gelders werkt voor de stad Genk en leverde de plannen van de case study van deze masterproef. Alle informatie over de plannen en de werken werden door hem gegeven.

Vekemans Peter (Ebema): Milieukostenindicator

Mr. Vekemans werkt voor Ebema en houdt zich bezig met de MKI berekening voor dit bedrijf. MKI is een "Milieu Kosten Indicator"-berekening. Het resultaat van een MKI geeft aan hoe belastend een bepaald product (gaande van productie tot en met transport) is voor het milieu, met hoe lager het resultaat hoe beter voor het milieu. Ebema was verplicht dit resultaat uit te rekenen om in te kunnen schrijven voor een Nederlands project, aangezien Nederland deze berekening reeds verplicht gebruikt bij een aanbesteding. In België is dit echter nog niet het geval.

MKI kan gelinkt worden aan Dubocalc, aangezien Dubocalc de milieukostenindicator bepaalt per gebruikt product en dit sommeert om één totale milieukost van een project te krijgen.

De Smidt Inge (COLAS): Informatie omtrent prijzen

Mevr. De Smidt werkt bij het bedrijf Colas voor de aanleg van infrastructuurwerken.

Zij kon meer informatie geven over de verschillende prijzen die gehanteerd worden in een project van aanleg van infrastructuurwerken. De case study van deze masterproef werd voorgelegd en besproken. De prijsverschillen tussen de mogelijke voorgestelde duurzame maatregelen en de niet-duurzame tegenhangers werden meer in detail bekeken.

5 Duurzaamheid bij infrastructuurwerken

Een aantal van de duurzaamheidsaspecten uit hoofdstuk twee is ook van toepassing op infrastructuurwerken. Vertrekkende van dezelfde indeling, wordt in deze sectie dieper ingegaan op de aspecten die van toepassing zijn bij wegenissen en worden er ter illustratie enkele voorbeelden gegeven.

5.1 Pijler 1: Ecologische duurzaamheid (Planet/Wereld)

Deze pijler behandelt de mogelijke effecten van een infrastructuurwerk op het leefmilieu. De verschillende aspecten, die hoger reeds aan bod kwamen, kunnen aan deze materie gekoppeld worden:

5.1.1 Energie

Er kan zorgvuldiger worden omgegaan met energie. Dit kan bereikt worden op verschillende manieren, waaronder:

- Intelligente straatverlichting

Voor de verlichting van ons kilometerslange wegennet is heel wat elektriciteit nodig. In veel steden en gemeenten is de straatverlichting verantwoordelijk voor 50% van het elektriciteitsverbruik [19]. Voor het opwekken van deze elektriciteit hebben we energie nodig. Net met deze energie willen we zo spaarzaam mogelijk omgaan.

Indien er gebruik gemaakt wordt van intelligente straatverlichting (dimbare verlichting, verlichting op beweging-, lichtsensor, LED verlichting, ...) zal het energieverbruik dalen. Dit heeft zowel een positieve invloed op de kostprijs van de verlichting als op het milieu (Zie maatregel 7 in bijlage voor meer informatie.)

- Fosforescerende wegmarkering

Om de veiligheid van de weggebruikers te verhogen, wordt er straatverlichting geplaatst. Deze is echter duur in aanschaf en in onderhoud. In vele gevallen is het voldoende om te zorgen voor goed zichtbare wegmarkeringen om veilig te kunnen rijden. Dit kan o.a. door fosforescerende wegmarkering, reflecterende elementen, LED verlichting in te werken. (Zie maatregel 8 in bijlage voor meer informatie i.v.m. fosforescerende wegmarkering.)

- Energiezuinige installaties en materieel

Bij de uitvoering van infrastructuurwerken moet getracht worden het energieverbruik van de gebruikte installaties en materieel te minimaliseren.

- Groene stroom

Tijdens de uitvoering van een project kan er gebruik gemaakt worden van groene stroom. Deze kan op verschillende manieren opgewekt worden. Enkele voorbeelden zijn windenergie en zonne-energie.

- Asfalt bij verlaagde temperatuur

Doordat de aggregaten tot op een minder hoge temperatuur moeten verwarmd worden, wordt er minder energie verbruikt bij het maken van lage temperatuur asfalt. (Zie maatregel 10 "Asfalt bij verlaagde temperatuur" (bijlage 1.10)).

5.1.2 **Vervuiling**

Er zijn veel soorten vervuiling (vb. emissies tijdens de aanleg, afval van gebruikte materialen, emissie van het verkeer, ...), waarvan de impact kan beperkt worden door er aandacht aan te besteden bij infrastructuurwerken. Voorbeelden, waarmee rekening gehouden moet worden, zijn: luchtkwaliteit, waterkwaliteit, grondkwaliteit, enz. Door gebruik van volgende maatregelen kan de vervuiling beperkt worden:

- Luchtzuiverende bestrating

Transport is verantwoordelijk voor een groot deel van de emissies naar de lucht. Het wegverkeer is hiervan met 87% de grootste boosdoener [20]. Deze uitstoot is de oorzaak van milieueffecten, die een negatieve invloed hebben op de menselijke gezondheid [21] (zie maatregel 4 "Luchtzuiverende bestrating" (bijlage 1.4)). Luchtzuiverende bestrating zal de schadelijke stikstofoxiden (NO_x) uit de lucht omzetten naar minder schadelijke nitraten (NO_3^-).

- Waterdoorlatende bestrating

De oppervlakte aan waterondoorlatende verharding is groot. Dit heeft als gevolg dat water niet meer overal kan infiltreren in de bodem - wat kan leiden tot een daling van de grondwatertafel - maar afgevoerd moet worden via afwateringssystemen. Bij overbelasting van deze systemen bestaat er kans op wateroverlast. Door het gebruik van waterdoorlatende bestrating kan regenwater infiltreren naar de ondergrond. Afhankelijk van de opbouw kan het ook een

bufferende werking hebben (zie maatregel 1 “Waterdoorlatende bestrating” (bijlage 1.1)).

- Kwaliteit van de grond

Bij het toepassen van grondverbeteringstechnieken moet erop toegezien worden dat de kwaliteit van de ondergrond niet aangetast wordt door de gebruikte producten en technieken (zie maatregel 5 “Grondbehandeling en toepassing van secundaire materialen” (bijlage 1.5)).

5.1.3 Afval

Bij het uitvoeren van infrastructuurwerken wordt er afval geproduceerd. Er moet getracht worden dit steeds tot een minimum te beperken. Het overgebleven onvermijdelijke afval moet op een zo duurzaam mogelijke manier verwerkt worden.

- Afvalbeheer op de bouwplaats

Gedurende de uitvoering van een project ontstaat er afval. Dit afval moet op een zo verantwoord mogelijke manier verwerkt worden. Hier kan afvalbeheer bij helpen.

- Hergebruik en/of recyclage van afval

Afval moet tot een minimum beperkt worden, maar onvermijdelijk zal er altijd een hoeveelheid afval ontstaan tijdens een project. Dit moet dan op een zo verantwoord mogelijke manier verwerkt worden, optimaal hergebruikt of gerecycleerd worden.

- Gebruik van biologisch afbreekbare materialen

Bij infrastructuurwerken worden er tijdelijke voorzieningen aangelegd die dienst doen tot de werken afgerond zijn en tot de nieuwe voorzieningen klaar zijn. Deze tijdelijke voorzieningen blijven soms achter in de grond of omgeving omdat het verwijderen ervan geld en tijd in beslag neemt. Voor zulke toepassingen zouden biologisch afbreekbare materialen gebruikt kunnen worden. Deze kunnen door de natuur afgebroken worden en verstoren zo de omgeving niet. Een voorbeeld hiervan zijn buizen op basis van aardappelzetmeel [22]. Deze buizen kunnen de PVC of HDPE buizen, die nu gebruikt worden, vervangen.

5.1.4 Bodem

Het uitvoeren van infrastructuurwerken mag geen vervuilde bodem tot gevolg hebben. Indien de reeds aanwezige grond vervuild is, moet hier op gepaste wijze mee omgegaan worden.

- Verontreinigde bodem

Indien de reeds aanwezige bodem vervuild is, zal moeten worden nagegaan in welke mate de vervuiling zich voordoet. Na een evaluatie zal een beslissing worden gemaakt of een bodemsanering al dan niet nodig is.

- Hergebruik van grondstoffen door grondbehandeling of gebruik van secundaire materialen

De ondergrond verschilt sterk van werf tot werf. Een goede stabiele ondergrond bekomen is dan ook niet vanzelfsprekend. Door het verbeteren of stabiliseren van de ondergrond verkleint de kans op degradatie van de weg door verzakking van de ondergrond. Toch komt dit probleem regelmatig voor. Het is bijgevolg nodig om dit op te nemen bij het ontwerp van een project (zie maatregel 5 “Grondbehandeling en toepassing van secundaire materialen” (bijlage 1.5)).

5.1.5 Transport

Zoals vermeld, is transport één van de hoofdoorzaken van luchtvervuiling in België. Het transport dient dan ook tot een minimum herleid te worden bij infrastructuurwerken. Een beperking van transport is bijvoorbeeld mogelijk door:

- Gebruik van lichtere materialen (door gebruik van lichtere toeslagstoffen)

Transport heeft een grote impact op het milieu (vb. NO_x, ...). Vrachtwagens nemen het grootste deel van de vervuiling voor hun rekening: zij zijn verantwoordelijk voor ongeveer de helft van deze uitstoot, terwijl ze minder dan 15% van alle kilometers afleggen. Hoe minder transport, hoe beter dus. Betonproducten zijn erg zwaar, zodat er maar een beperkt aantal producten per keer kan getransporteerd worden. Dit kan resulteren in een groot aantal gereden kilometers. Oplossing hiervoor is gebruik van lichtere materialen (zie maatregel 6 “Lichtere materialen” (bijlage 1.6)).

- Logistiek

Een goede logistiek is essentieel om het transport zo beperkt mogelijk te houden. Wanneer er bij de uitvoering van een infrastructuurwerk aandacht wordt besteed aan een goede planning kan dit resulteren in een daling van het aantal gereden kilometers voor een project.

5.1.6 **Water**

Het is de bedoeling dat zowel het oppervlaktewater als het grondwater in optimale conditie blijft. Er wordt getracht het hemelwater zoveel mogelijk ter plaatse te laten infiltreren in de grond. Maatregelen die dit kunnen ondersteunen zijn de volgende:

- Waterdoorlatende bestrating

De oppervlakte aan waterondoorlatende verharding is groot. Dit heeft als gevolg dat water niet meer overal kan infiltreren in de bodem (wat kan leiden tot een daling van de grondwatertafel), maar afgevoerd moet worden via afwateringssystemen. Bij overbelasting van deze systemen bestaat er kans op wateroverlast. Door het gebruik van waterdoorlatende bestrating kan regenwater infiltreren naar de ondergrond. Afhankelijk van de opbouw kan het ook een bufferende werking hebben (zie maatregel 1 “Waterdoorlatende bestrating” (bijlage 1.1))

- Beheer van regenwater door gebruik van gescheiden rioleringsstelsel

Het afkoppelen van het regenwater en afvalwater heeft verschillende voordelen. Om een zo hoog mogelijk zuiveringsrendement van het afvalwater te verkrijgen is het afvalwater best zo geconcentreerd mogelijk. Door het afkoppelen wordt het afvalwater niet meer verdund. Er zijn buizen met minder grote diameters nodig voor het afvoeren van regenwater en afvalwater. Wanneer er zich een overbelasting van een gemengde riolering voordoet, kan er bij overstorten mogelijke vervuiling in de waterlopen terechtkomen. Dit zou bij een gescheiden systeem geen problemen geven. Ook kan het afgekoppelde regenwater gebruikt worden voor bijvoorbeeld bewatering van planten, het wassen van de auto, het spoelen van het toilet, enz. Het verbetert de kwaliteit van onze waterlopen.

5.1.7 **Materialen**

Door gebruik te maken van materialen met een lagere milieu-impact, kunnen infrastructuurwerken duurzamer gemaakt worden.

- Duurzame materialen

Om de duurzaamheid van materialen te bepalen zijn er verschillende types van milieuverklaringen uitgewerkt. Deze kunnen informatie geven over de impact op het leefmilieu, de herkomst, de verwerking en de mogelijkheid tot recycleren. Er zijn drie verschillende types milieuverklaringen die verder uitgewerkt zijn onder hoofdstuk "4.2 Bestaande systemen voor het meten van duurzaamheid van materialen". Het bekomen van duurzame materialen begint door het verantwoord ontginnen van de primaire grondstoffen. Verder is het ook van belang dat de materialen een goede technische kwaliteit bezitten zodat ze de beoogde levensduur behalen. Het gebruik van recyclage van materialen, in een nieuw eindproduct, heeft ook een impact op de duurzaamheid van de materialen, alsook de gebruikte materialen hergebruiken, al dan niet na een kleine behandeling. Best kan er ook gekeken worden naar de afkomst van de materialen, aangezien transport een grote rol speelt [11].

- Verantwoorde herkomst van materialen (bijvoorbeeld gebruik van gecertificeerd hout)

Binnen eenzelfde productcategorie, bijvoorbeeld hout, zijn er producten met milieulabels. Deze zijn beter voor het leefmilieu en voldoen aan bepaalde eisen en normen, opgelegd door het specifieke label. Een bekende voorbeelden voor hout zijn het FSC label (Forest Stewardship Council) en het PEFC label (Programme for the Endorsement of Forest Certification Schemes) (zie hoofdstuk 4.2).

- Gebruik van secundair materiaal door recyclage van beton voor steenslag

Recyclage en hergebruik zorgen voor minder afval dat verwerkt moet worden en voor minder gebruik van primaire grondstoffen. Dit principe wordt al vaak toegepast door het breken van beton. Deze secundaire granulaten kunnen dan bijvoorbeeld opnieuw gebruikt worden voor de funderingen. (Zie maatregel 5 "Grondbehandeling en toepassing van secundaire materialen" (bijlage 1.5).

5.1.8 Landgebruik en ecologie

De oppervlakte aan land dat zich leent voor infrastructuurwerken is beperkt. Er moet dus zorgvuldig worden omgegaan met de huidige en toekomstige

oppervlakte. Een gezonde biodiversiteit moet behouden blijven of getracht worden te bereiken. Specifiek voor infrastructuurwerken kan dit op verschillende manieren gebeuren.

- Hergebruik van land

Het gebruik van gebieden waarvan de ecologische en landschappelijke waarde niet hoog is, moet aangemoedigd worden, alsook het hergebruik van al reeds ontwikkelde gronden. Dit kan ervoor zorgen dat de bebouwde oppervlakken dichter bij elkaar liggen, zodat er meer ruimte overblijft voor fauna en flora.

- Aansluiting op omliggende gebieden en biodiversiteit

Door het tegengaan van versnippering van het landschap blijven er grotere aaneengesloten gebieden bestaan, waar de natuur zijn eigen gang kan gaan. Tevens wordt er ook gezorgd voor biodiversiteitsbehoud rond wegen.

Door de aanleg van een ecoduct kunnen dieren veilig de oversteek maken tussen gebieden die gescheiden zijn geraakt door de aanleg van infrastructuur. Op deze manier heeft de verkaveling van grotere natuurgebieden een minder grote impact.

- Aanwezige planten en dieren op de locatie van het bouwproject

Wanneer er in de voor het project voorziene zone beschermde of belangrijke planten of diersoorten zijn, moet men ervoor proberen te zorgen dat deze behouden kunnen blijven. Op deze manier blijft de oorspronkelijke biodiversiteit behouden.

- Duurzaam medegebruik van planten, dieren op de lange termijn

Er moet getracht worden dat, na de ingebruikname van het infrastructuurwerk, de voordien aanwezige fauna en flora verder kunnen blijven bestaan. Dit kan mogelijk gemaakt worden door het infrastructuurwerk en het gebied rond het infrastructuurwerk voldoende te beheren, zodat het duurzame medegebruik behouden kan blijven.

- Efficiënt grondgebruik

Bij een infrastructuurwerk moet er getracht worden de bebouwde oppervlakte te beperken binnen een project. De oppervlakte die wel bebouwd wordt, moet zo efficiënt mogelijk gebruikt worden.

5.1.9 **Omgevingskwaliteit**

In de omgeving van een infrastructuurwerk is het belangrijk de oorspronkelijke levenskwaliteit te behouden. Dit is zowel voor de omwonenden als voor de aanwezige fauna en flora belangrijk.

- Bouwplaats en omgeving

Het inwerken van een groene buffer zorgt ervoor dat verschillende stedelijke gebieden niet naar elkaar toe groeien, zodat er ruimte blijft voor natuur-, landbouw- of recreatiegebied.

Geluidsschermen kunnen ervoor zorgen dat mensen, die dichtbij grote wegen wonen, toch gespaard worden van het geluid afkomstig van de weg en zijn gebruikers.

- Minder hinder

Het opstellen van een minder hinder plan in de startfase van een project kan nuttig zijn. De pijnpunten van een project kunnen op die manier reeds in een vroeg stadium verduidelijkt worden. Deze punten kunnen dan vervolgens aangepakt worden tijdens de uitvoering van de werken om op die manier minder hinder te veroorzaken.

- Rubberen wegbekleding reduceert verkeerslawaaï

Door het gebruik van een poro-elastisch wegdek kan een geluidsreductie van 10dB(A) bereikt worden [18]. Deze methode is zeer interessant voor dichtbevolkte gebieden met veel verkeer (zie maatregel 11 "Verminderen van verkeerslawaaï" (bijlage 1.11)).

5.2 Pijler 2: Sociale duurzaamheid (People/Mensen & Maatschappij)

Deze pijler behandelt duurzaamheid op vlak van mens en maatschappij. Enkele voorbeelden binnen infrastructuurwerken, waar duurzaamheid belangrijk is bij deze pijler, zijn:

5.2.1 Gebruikskwaliteit

De voorziene infrastructuur moet zo gebruiksvriendelijk en aangenaam mogelijk zijn. Op deze manier kan de gebruiker de voorzieningen optimaal benutten.

- Gezondheid en comfort

Bij een weg is het belangrijk dat deze aangepast is aan de voorziene snelheid om op een comfortabele manier te reizen. Voor dit comfort is ook de staat van de rijbaan erg belangrijk. Deze dient zo vlak mogelijk te zijn, naargelang de technische haalbaarheid. Andere eisen, waaraan de rijbaan moet voldoen, zijn rolgeluid, weerstand tegen slijtage, ... Ook het aantal voertuigen en het verbruik hiervan spelen een rol. Hoe minder voertuigen, hoe minder negatieve effecten. Door een vermindering in verbruik van de voertuigen of een vermindering van voertuigen kan ook de uitstoot beperkt worden.

- Kwaliteit van de lucht verhogen door minimalisering van luchtvervuiling

Transport is verantwoordelijk voor een groot deel van de emissies naar de lucht. Het wegverkeer is hier met 87% de grootste boosdoener [20]. Deze uitstoot is de oorzaak van milieueffecten, die een negatieve invloed hebben op de menselijke gezondheid [21]. Onder andere door gebruik van luchtzuiverende bestrating zou dit deel kunnen opgevangen worden (zie maatregel "Luchtzuiverende bestrating" (bijlage 1.3)).

Aangezien het wegverkeer zulk een grote invloed heeft, is het belangrijk dat men de mensen tracht te sensibiliseren om minder gebruik te maken van de auto. De oorzaak-gevolgrelatie is hier erg logisch: hoe minder auto's, hoe minder uitstoot.

- Geluidsoverlast beperken door gebruik van aangepaste bestrating

Blootgesteld worden aan een hoog geluidsniveau is hinderlijk en schadelijk voor de gezondheid. In Duitsland is berekend dat 3% van de hartinfarcten gelinkt is aan de blootstelling aan verkeerslawaaai [24]. Het gebruik van aangepaste

bestrating heeft hierop een grote invloed. (zie maatregel 11 “Verminderen van verkeerslawaaï” (bijlage 1.11)).

- Gebruik van intelligente verlichting en fosforescerende wegmarkering.

Het gebruik van intelligente verlichting kan in het straatbeeld zorgen voor een optimale zichtbaarheid door een maximale lichtintensiteit tijdens het voorbijgaan. Tevens dalen het verbruik van energie en de onderhoudskosten. Dit zorgt ook voor een groter gevoel van veiligheid (zie maatregel 7 “Intelligente straatverlichting” (bijlage 1.7)).

Om de veiligheid van de weggebruikers te verhogen, kan er ook gewerkt worden met fosforescerende wegmarkeringen. Deze wegmarkering zorgt ervoor dat de weg beter waarneembaar is (zie maatregel 8 “Fosforescerende wegmarkering” (bijlage 1.8)).

5.2.2 **Mobiliteit**

Iedereen moet zich veilig en comfortabel kunnen verplaatsen over de voorziene infrastructuurwerken.

- Voetgangers- en fietsersveiligheid

Dit kan onder andere bekomen worden door gebruik te maken van intelligente verlichting en fosforescerende wegmarkeringen. Intelligente straatverlichting zorgt voor een verhoogde zichtbaarheid en veiligheidsgevoel. Fosforescerende wegmarkering zorgt voor een verhoogde zichtbaarheid van wandel- en fietspaden (zie maatregel 7 “Intelligente straatverlichting” (bijlage 1.7) & maatregel 8 “Fosforescerende wegmarkering” (bijlage 1.8)).

- Aanvaardbare afstand tot openbaar vervoer

Er wordt getracht om de afstand tot het openbaar vervoer zo klein mogelijk te houden. In Vlaanderen is dit voor De Lijn bijvoorbeeld een halte binnen de 500 m voor grootstedelijke gebieden en voor buitengebieden is dit binnen de 750 m [25].

- Vervoerplan en parkeerbeleid

Het is belangrijk dat het openbaar vervoer goed op elkaar is afgesteld. Lange wachttijden kunnen worden vermeden door bij het opstellen van een goed

vervoersplan de aansluitingen tussen de verschillende onderdelen goed op elkaar af te stemmen.

Best worden er voldoende parkeermogelijkheden voorzien. Dit moet gebeuren met het oog op de toekomst, de noden van vandaag zullen wellicht niet dezelfde zijn als in de toekomst.

5.2.3 **Toegankelijkheid**

Belangrijk is dat de infrastructuurwerken voor iedereen toegankelijk zijn. Het straatbeeld moet duidelijk zijn voor elke gebruiker.

5.2.4 **Veiligheid**

De gebruiker moet zich veilig voelen in het verkeer.

- Preventiemaatregelen

Door gebruik te maken van gepaste preventiemaatregelen, die ontworpen zijn om ongevallen te vermijden in het verkeer, kan al heel wat onheil voorkomen worden en kan er op deze manier bijgedragen worden tot een veiligere wegomgeving.

5.2.5 **Ergonomie**

Ergonomie houdt in dat men, door het gebruik van aangepaste technieken, zorgt voor het verhogen van de werkkwaliteit van de arbeiders en het verlagen van de werklust.

- Machinaal bestraten

Bij het machinaal bestraten gaan de arbeidsomstandigheden er sterk op vooruit, omdat materieel het zware werk van de arbeiders deels overneemt [26].

5.3 Pijler 3: Economische duurzaamheid (Prosperity of Welvaart)

De derde pijler dient het welvaartsaspect in acht te nemen. Het is mogelijk dat een winstgevend aspect van een project een trigger kan zijn voor ondernemingen of personen om duurzaamheid te implementeren in het ontwerp. Een prijsvergelijking, waar duurzame producten qua kwaliteit gelijklopen met standaardproducten, kan de beslissing voor de toepassing van de duurzame alternatieven vergemakkelijken. Enkele voorbeelden van categorieën van economische duurzaamheid, zijn:

5.3.1 Bouwwerken

- Maximale winstgevendheid door minimaliseren van gebruikte middelen

Bij aandacht voor het verlagen van gebruik van materialen of het efficiënter gebruiken van producten, kan de kostprijs gedrukt worden. Zoveel mogelijk vermijden van afval kan een zeer gunstig effect hebben op de winstgevendheid van een bedrijf.

- Levenscycluskosten

Levenscycluskostenanalyses dienen om de totaalkost van een levenscyclus van een product te kunnen uitrekenen. Deze kost moet betrouwbaar zijn, zodat het te verwachten totaal op het einde van de levenscyclus correct is. De aandacht voor de levenscyclus van een product kan ervoor zorgen dat er aandacht wordt besteed aan de kost die een product kan hebben na de productie, bijvoorbeeld bij onderhoud of afvalverwerking, waardoor duurzaamheid een belangrijker aspect wordt.

- Energieverbruik

Het is economisch voordelig om gebruik te maken van installaties die zo min mogelijk energie verbruiken. Hoe lager het verbruik, hoe lager de kost van het gebruik. Dit kan bekomen worden door te werken met installaties met een hoger rendement, met energiezuinige verlichting, enz...

- Herontwikkeling, herinvestering

Het kan economisch interessant zijn om reeds ontwikkelde gebieden te gaan herontwikkelen. Door hier opnieuw in te investeren kan bijvoorbeeld de levensduur van een project verlengd worden.

- Flexibiliteit en aanpasbaarheid

Wanneer er vandaag infrastructuurwerken worden ontworpen, wordt dit best gedaan met het oog op de toekomst. Transport is erg belangrijk in onze economie en het aantal auto's in België stijgt nog ieder jaar [23]. Men kan niet precies de noden in de toekomst voorspellen. Wat wel gedaan kan worden, is de huidige ontwerpen zodanig aanpasbaar maken dat, wanneer er nood aan verandering is, dit eenvoudiger kan gebeuren.

- Innovatie

Het inwerken van innovatieve toepassingen kan ook een positieve invloed hebben op de economische duurzaamheid. Er wordt hierbij gedacht aan technieken die processen efficiënter, sneller, duurzamer, ... maken. Ook het ontwikkelen van nieuwe producten en processen helpt hierbij.

Bijvoorbeeld:

- Zelfherstellend beton

Wanneer beton onder druk staat kunnen er kleine scheurtjes optreden. Door deze scheurtjes kan de wapening blootgesteld worden en kan deze roesten. Bij zelfherstellend beton gaan deze scheurtjes door het beton zelf gedicht worden. Dit kan op twee manieren, namelijk: een eerste manier is het inwerken van cement dat ongebonden blijft tot het bloot wordt gesteld door de scheur en dan kan reageren. Een tweede manier is het gebruik van bacteriën die calciëet, het hoofdbestanddeel van kalksteen produceren. Deze bacteriën worden in een kleikorrel ingewerkt in het beton zodat ze inactief blijven totdat er scheurtjes ontstaan [27].

- Verwarmen of koelen van asfaltoppervlakken

Het verwarmen of koelen van asfaltoppervlakken gebeurt door de inwerking van buisjes in het asfalt waar water door kan stromen.

Door het verwarmen van asfaltoppervlakken kan er vermeden worden dat er in de winter ijzelvorming optreedt. Dit is in het bijzonder interessant

voor gevaarlijke punten zoals op- en afritten, kruispunten, ... In de zomer kan het asfalt dan op een lagere temperatuur worden gehouden zodat er geen schade aan het wegdek optreedt.

5.3.2 **Mensen, omwonenden en stakeholders**

- Werkgelegenheid

Een bouwproject zorgt zowel tijdens de bouw als tijdens de levensduur van het project voor werkgelegenheid.

- Persoonlijk inkomen

Deze gecreëerde jobs zorgen voor een inkomen voor de betrokken partijen.

- Informatie en overlegmomenten

Wanneer er werken uitgevoerd worden is het in ieders interesse om te zorgen voor een goede transparante samenwerking en communicatie tussen de verschillende betrokken partijen.

6 Duurzaamheidverhogende maatregelen

In de bijlage zijn een aantal duurzaamheidverhogende maatregelen in de vorm van informatiefiches terug te vinden. De opdrachtgevers kunnen aan de hand van deze fiches op zoek gaan naar verschillende maatregelen, die binnen hun project passen. In deze fiches kunnen zij in het kort informatie over de inhoud en de voordelen van de maatregel terugvinden, die hen eventueel kan overtuigen om de betrokken maatregel toe te passen.

De fiches zijn als volgt opgebouwd:

- De titel: Waarover handelt de fiche?
- Probleem: een beschrijving van de huidige situatie en de hiermee gepaard gaande problematiek/nadelen.
- Oplossing: Hoe kan deze maatregel het bovenstaande probleem aanpakken?
- Het effect op de duurzaamheid: Wat brengt deze maatregel bij aan de duurzaamheid van een project? Welke zijn de belangrijkste voor - en nadelen?
- Toepassing: case studies waar de maatregel is toegepast.

De verschillende fiches, die hieronder beschreven worden, zijn:

1. Waterdoorlatende bestrating
2. Belang van steenverband bij wegenissen
3. Luchtzuiverende bestrating
4. Zonreflecterende bestrating
5. Grondbehandeling en toepassing van secundaire materialen
6. Lichtere materialen
7. Intelligente straatverlichting
8. Fosforescerende wegmarkering
9. Onkruidbeheer
10. Asfalt bij verlaagde temperatuur
11. Verminderen van verkeerslawaai

De bronnen, die in deze fiches gebruikt worden, zijn achteraan elke fiche vermeld. Dit wordt gedaan om de fiches uitneembaar te maken.

7 Case study

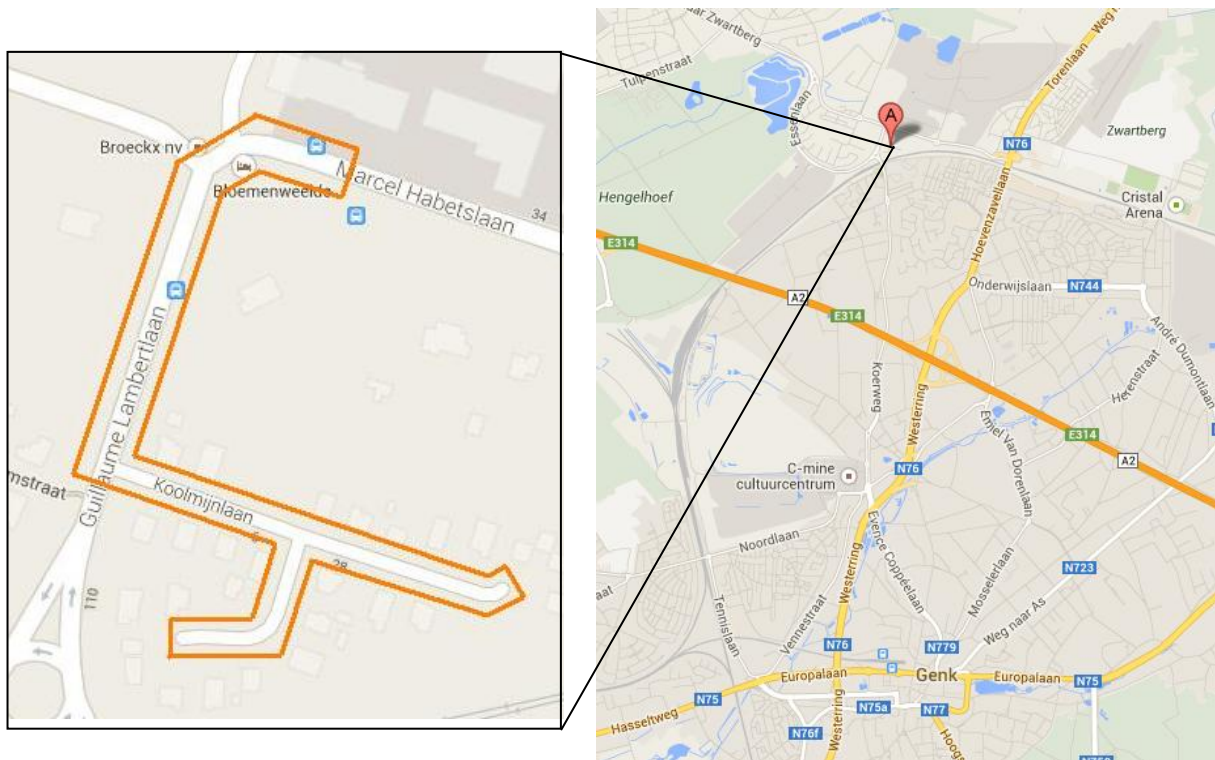
In dit hoofdstuk wordt vertrokken van een bestaand infrastructuurwerk. Het doel van deze case study is om dit project met behulp van verschillende besproken maatregelen duurzamer te maken. Deze maatregelen zijn van allerlei aard: van voor de hand liggende ingrepen tot maatregelen met meer diepgang.

De invloed van het toepassen van deze maatregelen op het verloop van het project vanaf de aanbesteding tot de ontwerp-, uitvoerings- en onderhoudsfase staat centraal. Een belangrijke tool om deze invloed te kunnen berekenen, is het programma DuboCalc. Dubocalc is een Nederlands programma, ontworpen door Rijkswaterstaat. Dit programma is ontworpen om te gebruiken binnen aanbestedingsprocessen (voor een uitgebreidere uitleg van DuboCalc, zie hoofdstuk 3). In DuboCalc kan een volledig project worden ingevoerd. Aan de hand van de ingevoerde gegevens, berekent het programma dan één milieukostenindicator (MKI) voor het gehele project. Hoe lager de uiteindelijke MKI, hoe minder milieubelastend het project is.

7.1 Beschrijving van het originele project

Het originele project betreft "Het afkoppelen van drainagewater en oppervlaktewater Genk-Noord Nieuwe Kempen". Zoals de benaming weerspiegelt, zal er aan de riolering gewerkt worden. Voordat deze werken van start kunnen gaan, moet de bestaande wegenis worden opgebroken. Hierna volgt de aanleg van de gescheiden riolering. Nadat deze werken voltooid zijn, kan de aanleg van de nieuwe weg beginnen.

De werken worden in vijf fases uitgevoerd. In deze case study concentreren we ons op fase 4, de voorlaatste fase. Deze fase omvat de Koolmijnlaan, de G. Lambertlaan en de M. Habetslaan (zie figuur 19 voor de ligging van de werken). De beoogde uitvoertermijn is 80 werkdagen.



Figuur 19: Situering van de werken.

Eens de werken zijn uitgevoerd wordt voor het project een levensduur van 40 jaar beoogd. In deze 40 jaar zullen enkele elementen van dit project gerenoveerd of vervangen moeten worden. In het gebruikte berekeningsprogramma wordt hiermee rekening gehouden.

De werken worden in samenwerking met Stad Genk en Infrax uitgevoerd.

7.2 Mogelijk toe te passen maatregelen

In dit hoofdstuk wordt beschreven welke maatregelen mogelijk kunnen toegepast worden om het project duurzamer te maken. Deze kunnen niet allemaal toegepast worden in de berekeningen wegens beperkingen van het programma DuboCalc.

Aan de hand van de opbouw van de weg worden de mogelijk te nemen maatregelen voorgesteld. Uit de voorgestelde maatregelen worden er dan enkele gekozen die verder worden uitgewerkt met het programma DuboCalc.

Er wordt een onderverdeling gemaakt naargelang de verschillende delen van de weg.

Mogelijke maatregelen volgens de opbouw van een weg	
Mogelijkheden voor de rijweg	- asfalt: bij infrastructuurwerken wordt veel gebruik gemaakt van asfalt. Vele verschillende samenstellingen en soorten van asfalt zijn reeds te verkrijgen, enkele voorbeelden hiervan zijn: - o splitmastiekasfalt, SMA - o (zeer) open asfaltbeton, (Z)OAB - o asfalt bij verlaagde temperatuur, AVT (zie maatregel "Asfalt bij verlaagde temperatuur" (bijlage 1.10)) - o dunne geluidsreducerende deklagen, DGD (zie maatregel "Verminderen van verkeerslawaaï" (bijlage 1.11)) - kleinschalige bestrating: dit komt voor in veel verschillende vormen en voor verschillende toepassingen, namelijk: - o waterdoorlatende bestrating (zie maatregel "Waterdoorlatende bestrating" (bijlage 1.1)) - o luchtzuiverende bestrating (zie maatregel "Luchtzuiverende bestrating" (bijlage 1.3)) - o zonreflecterende bestrating (zie maatregel "Zonreflecterende bestrating" (bijlage 1.4)) - o fosforescerende bestrating (zie maatregel "Fosforescerende wegmarkering" (bijlage 1.8)) - beton: beton wordt veel toegepast bij de aanleg van een infrastructuurwerk. Vooral bij wegen met zware belasting wordt beton gebruikt.
Mogelijkheden voor de funderingen	- recyclage van materialen: voor de fundering kan er eventueel gebruik gemaakt worden van reeds op het project aanwezige materialen (zie maatregel "Grondbehandeling en toepassen van secundaire materialen" (bijlage 1.5))
Mogelijkheden voor de	- gescheiden riolering: Regenweerafvoer (RWA) en droogweerafvoer (DWA) moeten gescheiden afgevoerd

rioleringen	worden. - aanpassen van capaciteit RWA door gebruik van waterdoorlatende bestrating (zie maatregel "Waterdoorlatende bestrating" (bijlage 1.1))
Mogelijkheden voor langs de weg	- straatverlichting: voorzien van verlichting kan ook reeds op verschillende manieren en met verschillende producten (zie maatregel "Intelligente straatverlichting" (bijlage 1.7)) - minder hinder: voor de werken kan een minder hinder plan worden opgesteld, zo kan de hinder beperkt worden voor de betrokken partijen tijdens de uitvoering van de werken. - onkruidbeheer: voor het uitzicht en verzekeren van een blijvende kwaliteit wordt onkruid verwijderd.

Keuze van de toegepaste maatregelen in de case study.

Asfalt bij verlaagde temperatuur is terug te vinden in de DuboCalc bibliotheek. Deze specifieke asfaltsoort is de duurzaamste in de bibliotheek, waardoor het voor de hand lag dat deze in de case study werd toegepast.

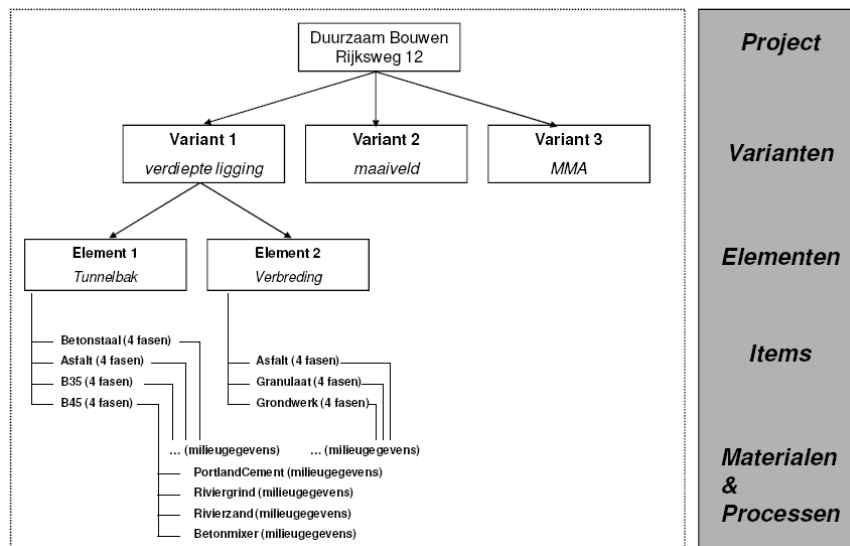
Er is gekozen voor waterdoorlatende bestrating omdat het een maatregel is die de laatste jaren meer en meer in de praktijk wordt toegepast. Hierdoor leek het interessant om deze maatregel toe te passen in de case study.

Intelligente straatverlichting is niet terug te vinden in de DuboCalc bibliotheek. Maar met behulp van een vergelijking van verbruikte energie tussen intelligente en traditionele straatverlichting is het toch mogelijk om deze maatregel nader te onderzoeken. Intelligente (LED) straatverlichting is een veel besproken onderwerp met een positieve invloed op de duurzaamheid en met die reden is het toegepast in deze case study.

7.3 Berekenen met DuboCalc

Met het programma DuboCalc bestaat de mogelijkheid om het gehele project in te voeren. Om dit te kunnen doen, moet een project opgebouwd zijn uit verschillende elementen, die dan weer verder opgebouwd zijn uit items. Deze

items bestaan uit verschillende materialen en processen (zie Figuur 20 voor een visuele voorstelling hiervan). De weegfactoren van de milieueffecten zijn waarden die vastgelegd zijn in de Nationale Milieudatabase van Stichting Bouwkwiteit in Nederland, die de gebruiker bijgevolg niet kan aanpassen. De gebruiker kan enkel de gepaste hoeveelheden en de levensduur van de items invoeren. Deze items worden uit de DuboCalc bibliotheek gehaald.



Figuur 20: Hiërarchische structuur van een DuboCalc Project [28].

Woordverklaring:

Fasen: hiermee wordt geduid op de verschillende fasen van de levenscyclus, meer bepaald:

- Bouw
Winning, productie en transport van de nodige materialen voor de uitvoering van het werk.
- Gebruik
De aspecten die verantwoordelijk zijn voor het verbruik gedurende de levensduur van het project. Hieronder valt bijvoorbeeld de elektriciteit die nodig is voor verlichting, pompen, informatiepanelen en de nodige brandstof voor een generator. Milieubelasting door het verkeer wordt niet mee opgenomen.
- Onderhoud

De uit te voeren onderhoudswerken gedurende de voorziene levensduur en het bijbehorende afval. Wanneer er een deel vervangen moet worden na bijvoorbeeld de helft van de voorziene levensduur valt dit onder onderhoud.

- Einde levensduur

Het laten liggen van het werk, sloop, afvalverwerking en hergebruik.

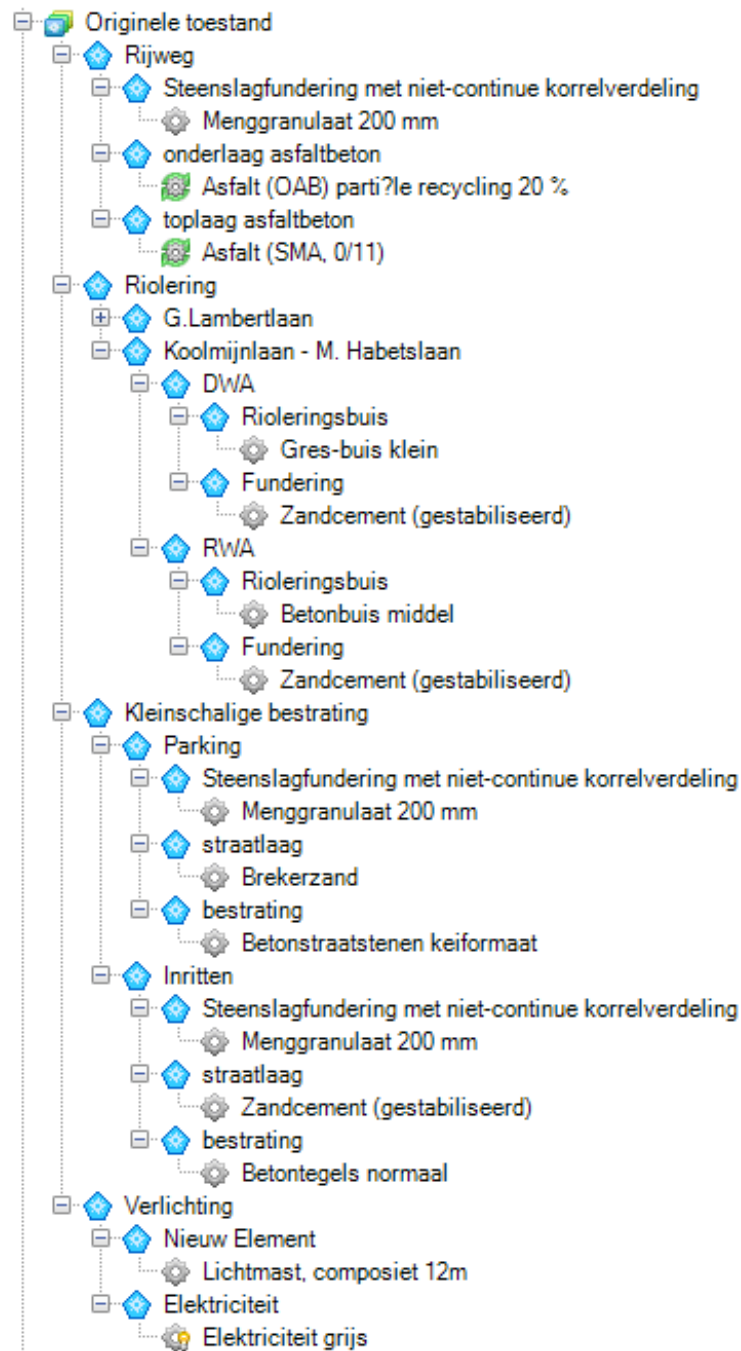
Item: items kunnen geselecteerd worden uit de DuboCalc bibliotheek. Deze items zijn opgebouwd uit materialen en processen.

7.4 Toepassen van DuboCalc op het project Genk-Noord Nieuwe Kempen

Er werden verschillende varianten opgesteld op basis van hoe het project kan uitgevoerd worden. Bij deze varianten wordt er gebruik gemaakt van verschillende duurzaamheidverhogende maatregelen. Deze maatregelen worden naar mate van het mogelijke ingevoerd in het programma. Een beperking hier is dat de nieuwste items soms nog niet beschikbaar zijn in de bibliotheek van DuboCalc. De verschillende varianten worden vervolgens met elkaar vergeleken om een zo goed mogelijk beeld te schetsen van het nut en de waarde van de toegepaste maatregelen.

7.4.1 Origineel

De structuur en de opbouw van het originele project in DuboCalc worden voorgesteld in figuur 21. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen de verschillende constructiedelen. Aan deze delen zijn de juiste hoeveelheden van de gebruikte materialen toegevoegd.



Figuur 21: Opbouw originele toestand.

Hoe de toegepaste hoeveelheden zijn bepaald wordt toegelicht voor de hoofdconstructiedelen.

Rijweg

In de meetstaat zijn de hoeveelheden terug te vinden die nodig zijn voor het uitvoeren van de werken. Voor de rijweg zijn dit de volgende:

	Afmetingen	Hoeveelheid
Steenslagfundering met niet-continue korrelverdeling	26 cm	3510 m ²
Onderlaag van asfaltbeton	6 cm	3510 m ²
Toplaag van asfaltbeton	4 cm	3510 m ²

Voor de steenslagfundering zijn er volgende keuzes in DuboCalc: 20 cm, 25 cm en 30 cm. Het programma laat de keuze om de gegevens op twee verschillende manieren in te geven: via het aantal vierkante meter of via het aantal ton. Voor deze case study zal de invoer via het aantal ton gebeuren. Zo kan de juiste hoeveelheid gebruikt materiaal worden ingegeven, ondanks de default dikte van 20 cm. Voor de steenslagfundering wordt dat:

$$aantal\ ton\ steenslagfundering = \frac{3510\ m^2 * 0.26\ m * 1850\ \frac{kg}{m^3}}{1000} = 1688\ ton$$

Voor de onderlaag van asfaltbeton wordt het aantal ton als volgt berekend:

$$aantal\ ton\ asfaltbeton\ voor\ de\ onderlaag = \frac{3510\ m^2 * 0,06\ m * 2400\ \frac{kg}{m^3}}{1000} = 505\ ton$$

Voor de toplaag van asfaltbeton wordt het aantal ton als volgt berekend:

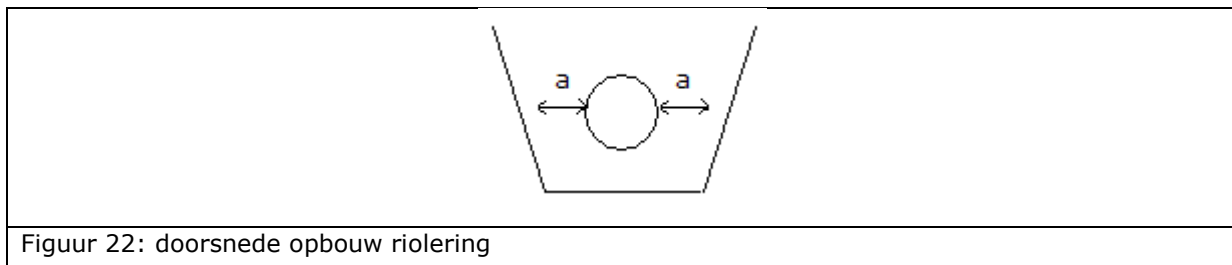
$$aantal\ ton\ asfaltbeton\ voor\ de\ toplaag = \frac{3510\ m^2 * 0,04\ m * 2400\ \frac{kg}{m^3}}{1000} = 337\ ton$$

Riolering: Koolmijnlaan en M. Habetslaan

Er wordt een gescheiden riolering aangelegd. Dit betekent dat er zowel een RWA (regenweerafvoer) als een DWA (droogweerafvoer) wordt voorzien. De opbouw en dimensies van de twee verschillende afvoeren zijn niet dezelfde. Deze moeten dus apart berekend worden. Voor de riolering is het volgende terug te vinden in de meetstaat:

	Afmetingen	hoeveelheid
DWA: rioleringsbuis: gresbuis	Ø 25 cm	925 m
DWA: fundering van zandcement	30 cm	925 m
RWA: rioleringsbuis: betonbuis	Ø 40 cm	325 m
RWA: fundering van zandcement	35 cm	325 m

De breedte van de fundering moet bepaald worden om het nodige aantal kubieke meter zandcement te kunnen berekenen. Dit wordt gedaan a.d.h.v de voorschriften uit het SB250 hoofdstuk 7.1.1.2. Afhankelijk van de diepte van de sleuf zal de afstand voor a anders zijn (zie figuur 22).



In de meetstaat zijn drie verschillende sleufdieptes terug te vinden. Dit heeft tot gevolg dat er ook verschillende afstanden voor a zijn. Voor een zo goed mogelijke benadering van de nodige kubieke meter zandcement wordt volgende berekening gemaakt:

Voorbeeld voor de DWA met buisdiameter van 0,25 m

Sleufdiepte	Gemiddelde sleufdiepte	Waarde voor a
1 m < H ≤ 2 m	1,5 m	0,4 m
2 m < H ≤ 3 m	2,5 m	0,5 m
3 m < H ≤ 4 m	3,5 m	0,5 m

$$\text{aantal } m^3 \text{ zandcement (voor } a = 0,4) = (0,4 \text{ m} + 0,25 \text{ m} + 0,4 \text{ m}) * 0,3 \text{ m} * 925 \text{ m} = 291 \text{ m}^3$$

$$\text{aantal } m^3 \text{ zandcement (voor } a = 0,5) = (0,5 \text{ m} + 0,25 \text{ m} + 0,5 \text{ m}) * 0,3 \text{ m} * 925 \text{ m} = 347 \text{ m}^3$$

Hier is vervolgens het gemiddelde van genomen wat ertoe leidt dat het nodige aantal kubieke meter zandcement 315 m³ is. Op dezelfde manier werd het aantal kubieke meter bepaald voor de RWA.

Kleinschalige bestrating

Voor de kleinschalige bestrating worden de hoeveelheden in het programma ook in ton ingevoerd. Dit wordt gedaan omdat er geen betonstraatstenen met de juiste afmetingen aanwezig zijn in de bibliotheek van DuboCalc. Er worden verschillende diktes van betonstraatstenen gebruikt. In de meetstaat is terug te vinden:

	Afmetingen	Hoeveelheid
Betonstraatstenen voor parking	220/110/100	822 m ²
Fundering	23 cm	705 m ²
Betonstraatstenen voor inritten	300/150/80	453 m ²
Fundering	20 cm	367 m ²

Het aantal wordt dan:

$$\text{aantal ton straatstenen voor parking} = \frac{0,1 \text{ m} * 822 \text{ m}^2 * 2400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{1000} = 197 \text{ ton}$$

$$\text{aantal ton fundering voor parking} = \frac{0,23 \text{ m} * 705 \text{ m}^2 * 1850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{1000} = 300 \text{ ton}$$

$$\text{aantal ton straatstenen voor inritten} = \frac{0,08 \text{ m} * 453 \text{ m}^2 * 2400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{1000} = 87 \text{ ton}$$

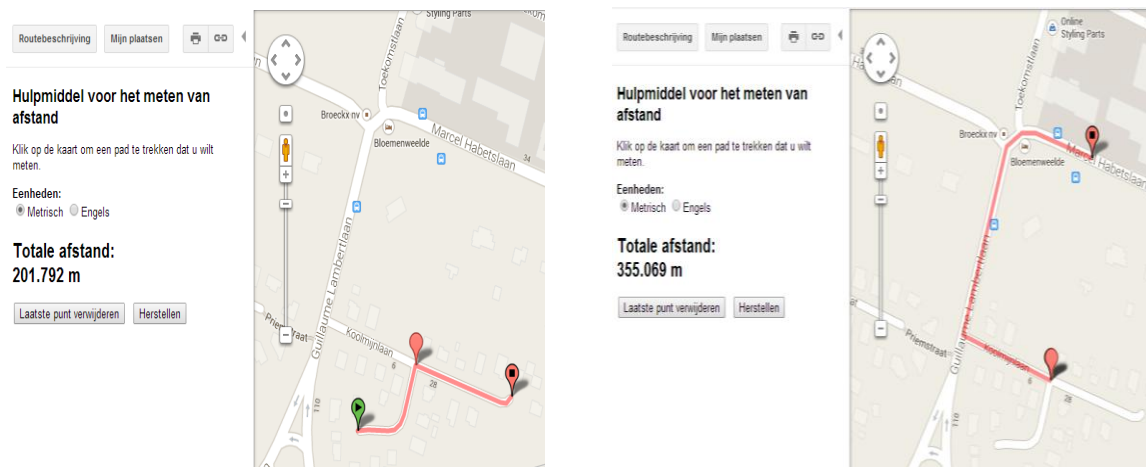
$$\text{aantal ton fundering voor parking} = \frac{0,2 \text{ m} * 367 \text{ m}^2 * 1850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{1000} = 136 \text{ ton}$$

Verlichting

Het aantal nodige straatlampen kan bepaald worden aan de hand van de afstand tussen iedere straatlamp. Voor de afstand tussen de lichtmasten wordt ongeveer 4 maal de lichtpunthoogte genomen [29]. Als de lichtpunten op ± 6 meter komen te staan, dan is de tussenafstand:

$$\text{tussenafstand} = 4 * 6 \text{ m} = 24 \text{ m}$$

Met behulp van Google Maps kan de lengte van de weg berekend worden waarlangs de straatverlichting moet komen (zie figuur 23).



Figuur 23: bepalen van de lengte van de weg m.b.v. Google maps.

De totale lengte waarlangs straatverlichting moet voorzien worden is 557 meter. Uit deze cijfers kan het aantal nodige lichtmasten als volgt berekend worden:

$$\frac{557 \text{ m}}{24 \text{ m}} = 23 \text{ lichtmasten}$$

In DuboCalc wordt het elektriciteitsverbruik van deze straatlampen in kWh per jaar ingegeven. De meest gebruikte lamp is een NaHP (hogedruk natrium lamp) met een vermogen van 70 Watt [30]. Hieruit kan het elektriciteitsverbruik bepaald worden op volgende wijze:

$$\frac{70 \text{ W} * 12 \text{ uur} * 365 \text{ dagen} * 23 \text{ lampen}}{1000} = 7052 \text{ kWh/jaar}$$

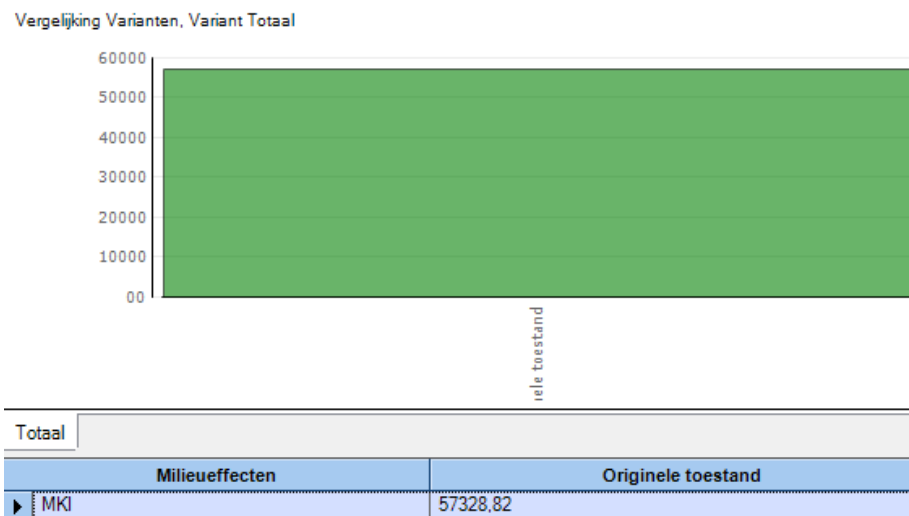
Randvoorwaarden:

- De verlichting brandt 12 uur per dag, van 19.00u tot 07.00u
- De verlichting brandt iedere dag van het jaar

Gedurende de totale levensduur van het project, 40 jaar, zal er verlichting worden voorzien.

Eens al de gewenste gegevens ingevoerd zijn kan gestart worden met het onderzoeken van de gegevens. Resultaten kunnen via het programma op verschillende manieren worden weergegeven. Voor alle varianten zal er steeds eerst gekeken worden naar de totale MKI van de variant.

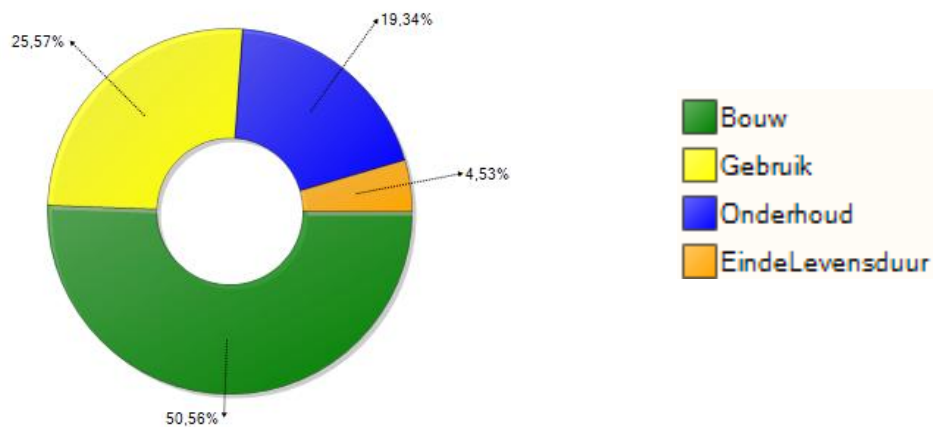
Het programma DuboCalc berekent deze globale MKI voor de opbouw, weergegeven in figuur 21. De berekende MKI wordt voorgesteld in figuur 24. Voor de originele toestand van het huidige project bedraagt de MKI € 57328,82.



Figuur 24: Weergave van de berekende MKI voor de originele toestand.

Er kan nu verder onderzocht worden hoe DuboCalc tot deze MKI is gekomen en welke elementen het meeste invloed hebben. Een eerste manier van weergave is naargelang de fases van de levenscyclus (zie figuur 25). Het is duidelijk dat de bouw van het project de grootste invloed heeft op de milieukost en wel voor 50,56%. Er is ook een grote milieukost voor het gebruik (25,57%), wat logisch is, aangezien de straatverlichting 40 jaar 12 uur per dag elektriciteit nodig heeft. De milieukost van het gebruik is volledig toe te schrijven aan het opwekken van de nodige hoeveelheid elektriciteit. Voor de rest is er niets wat een gebruikskost heeft in dit project. Onderhoud omvat ook een groot aandeel van de totale milieukost (19,34%) aangezien aan het asfalt een levensduur van 18 jaar is toegekend en de levensverwachting van de weg 40 jaar is. Het betekent dat het wegdek halverwege de levensduur van het project vervangen zal moeten worden. Tenslotte is er nog een milieukost voor het verwerken van de geplaatste materialen op het einde van hun levensduur (4,53%).

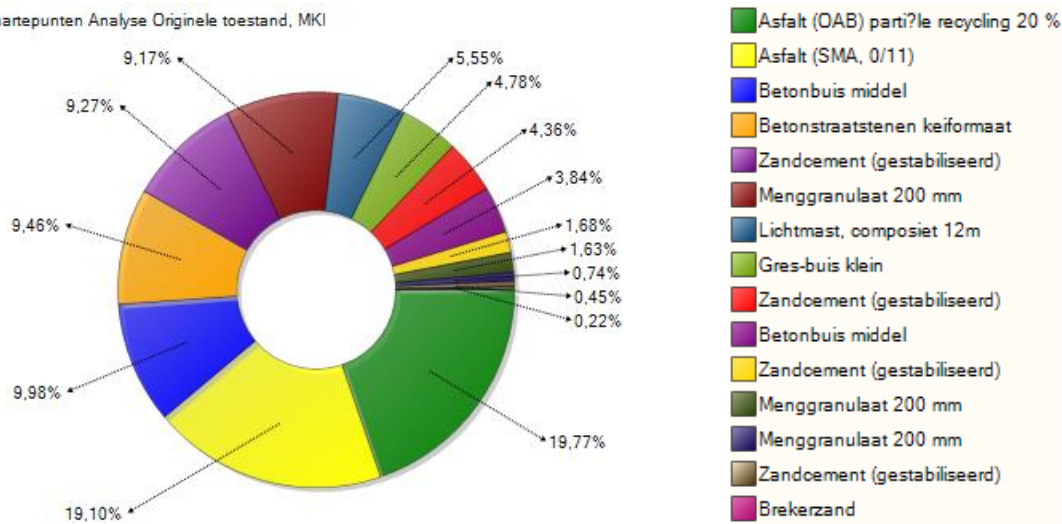
Zwaartepunten Analyse Originele toestand, MKI



Figuur 25: Invloed van de fasen van de levenscyclus van de originele toestand.

Een andere manier voor het weergeven van de resultaten houdt in dat men de invloed van alle fasen van de levenscyclus optelt en vervolgens de 15 items met de grootste invloed op de gehele milieukost weergeeft (zie figuur 26). Het asfalt heeft hierbij duidelijk de grootste invloed (samen 38,87%), zowel de onderlaag (19,77%) als de toplaag (19,10%) wegen het zwaarst door, gevolgd door de Betonbuis (9,98%).

Zwaartepunten Analyse Originele toestand, MKI



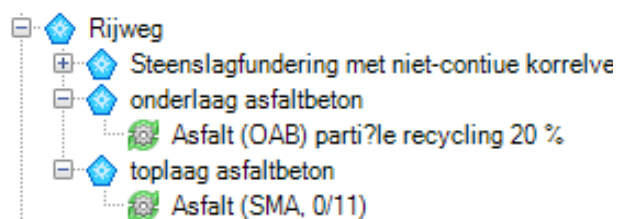
Figuur 26: Invloed van de 15 items die het meest doorwegen doorheen alle fasen voor de originele toestand.

7.4.2 Variant 1: gebruik van lage temperatuur asfalt

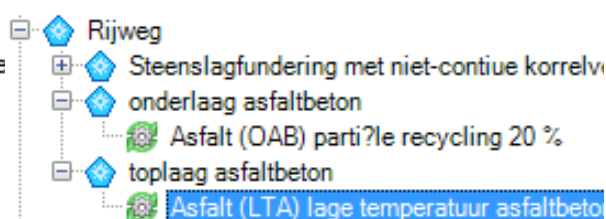
Bij variant 1 wordt de rijweg, in vergelijking met de originele toestand, op een andere manier aangepakt. Er wordt gewerkt met een ander soort asfalt, namelijk

lage temperatuur asfalt. In figuur 27 wordt het verschil tussen de twee varianten getoond.

Opbouw 1



Opbouw 2

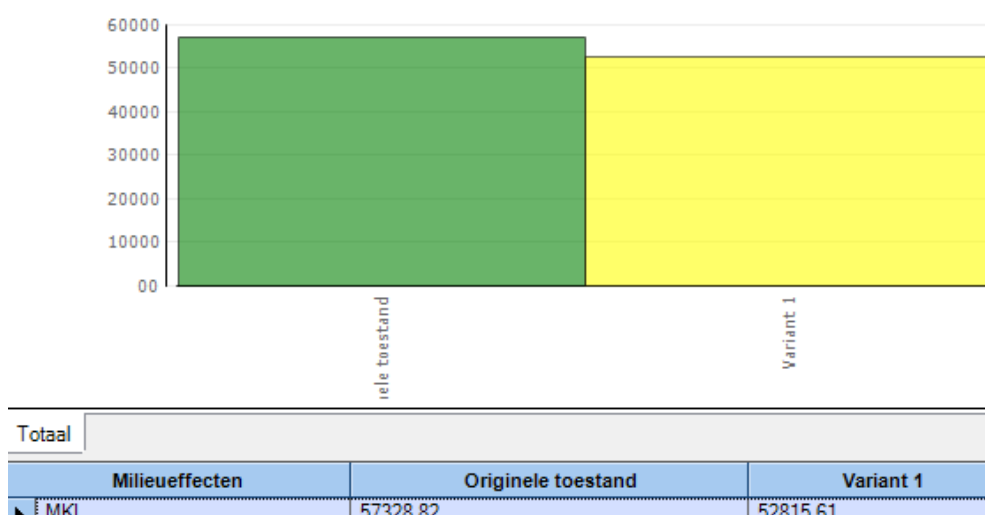


Figuur 27: Links: opbouw originele project, Rechts: opbouw variant 1.

Er is dus gekozen voor het toepassen van asfalt bij verlaagde temperatuur. Deze asfaltsoort heeft een lagere impact op het milieu doordat het bij de productie en de verwerking tot veel minder hoge temperaturen moet opgewarmd worden. Op deze manier wordt er een besparing van brandstof bekomen. Verdere informatie hieromtrent is terug te vinden in bijlage onder "Maatregel 10: Asfalt bij verlaagde temperatuur".

De MKI voor variant 1 is, met een bedrag van €52815,61 beduidend lager dan bij het originele project (zie figuur 28). De milieukost bij variant 1 is gedaald met 7,87% ten opzichte van de originele variant. Deze daling in de MKI is toe te schrijven aan een aanzienlijke daling in het energieverbruik.

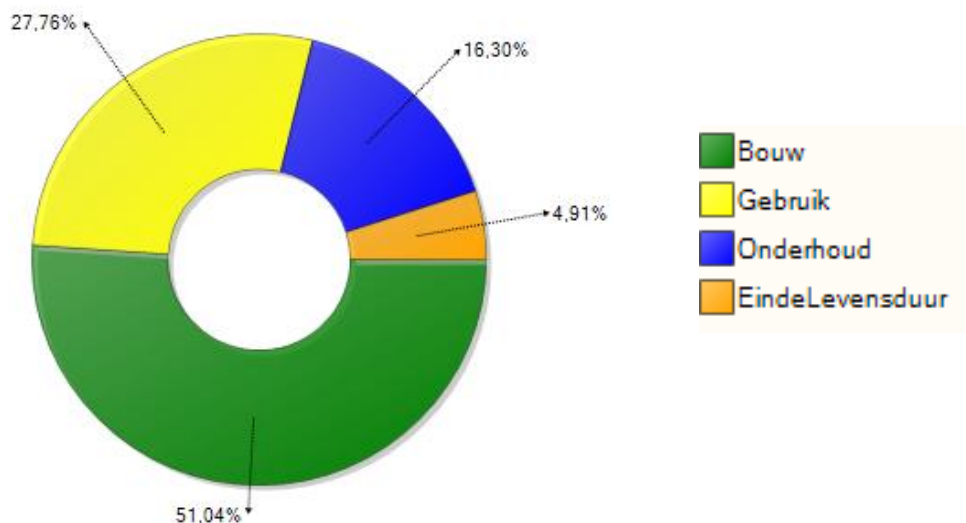
Vergelijking Varianten, Variant Totaal



Figuur 28: Weergave van de berekende MKI voor de originele toestand en variant 1.

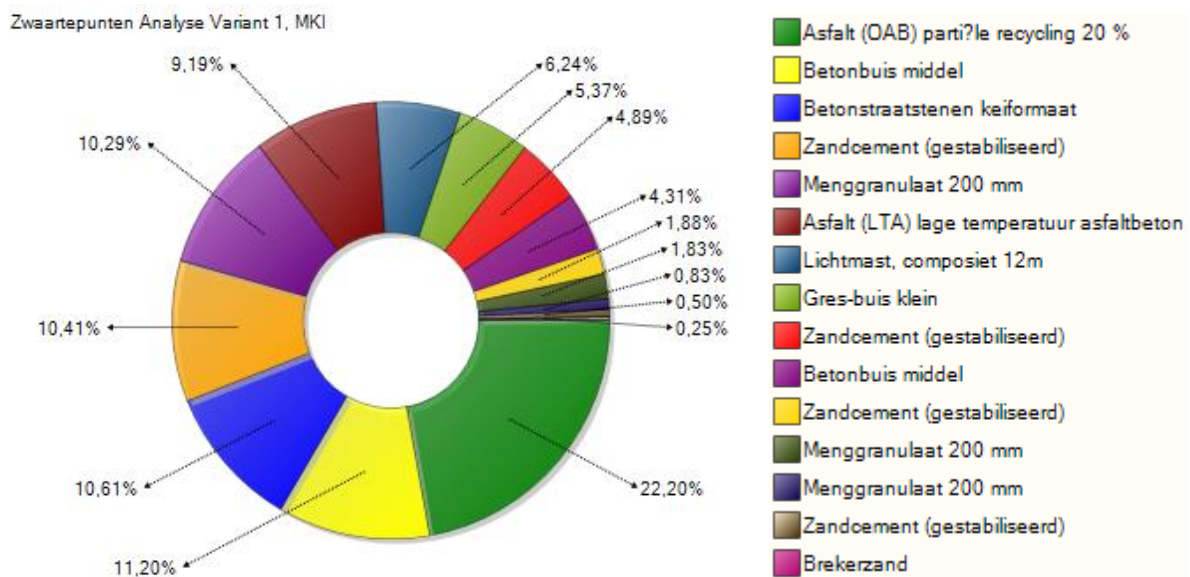
Bij variant 1 is te zien (zie figuur 29) dat de bouw het grootste aandeel heeft in de milieukost (51,04%). Het gebruik omvat ook een groot aandeel en bedraagt 27,76% van de milieukosten, door dezelfde reden als bij de originele variant, namelijk er is 40 jaar 12 uur per dag verlichting nodig. Ook het onderhoud heeft met 16,30% een invloed. Het project wordt aangelegd voor 40 jaar, maar het asfalt heeft een levensduur van 18 jaar, het zal dus bijgevolg halverwege de levensduur van het project vervangen moeten worden.

Zwaartepunten Analyse Variant 1, MKI



Figuur 29: Invloed van de fasen van de levenscyclus van variant 1.

Bij variant 1 (zie figuur 30) is het item met de grootste invloed op de milieukost nog steeds het asfaltgebruik voor het verwezenlijken van de onderlaag (22,20%). De invloed van de toplaag is gedaald naar 9,19%. Hierdoor is de toplaag van de tweede naar de vijfde plaats gegaan. In plaats van de toplaag is de betonbuis voor de riolering naar de tweede plaats gestegen (11,20%).



Figuur 30: Invloed van de 15 items die het meest doorwegen doorheen alle fases voor variant 1.

Financieel is het zeker niet nadelig om deze maatregel toe te passen. De prijs van asfalt bij verlaagde temperatuur blijft nagenoeg gelijk aan deze van het traditionele asfaltbeton [31]. Andere factoren zijn wel verantwoordelijk dat AVT nog niet wijd verspreid wordt toegepast, namelijk er is een aanpassing van de asfaltcentrale nodig, er kan minder asfaltpuingranulaat gebruikt worden, het is nog niet beschreven in het SB 250 (meer informatie hierover wordt gegeven in maatregel 10 “asfalt bij verlaagde temperatuur” (bijlage 1.10)).

7.4.3 Variant 2: aanpassen van de straatverlichting

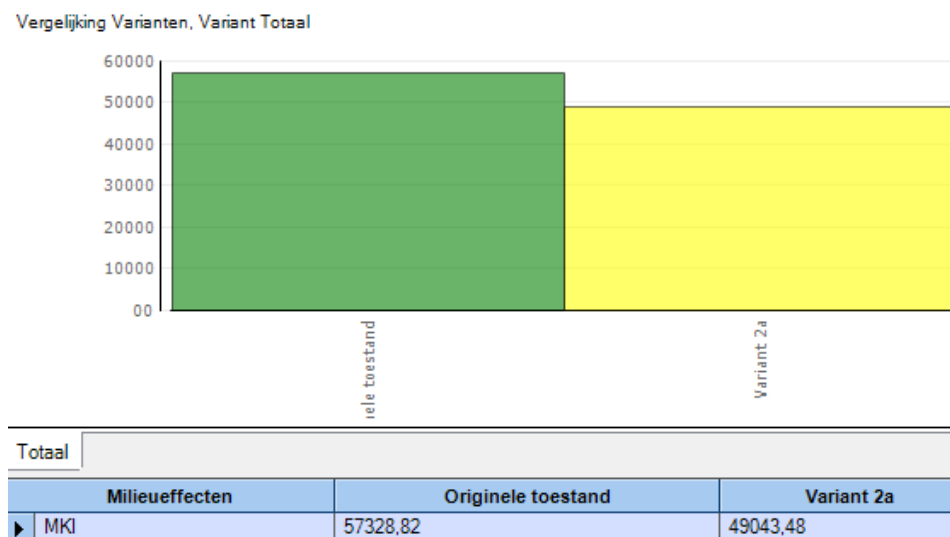
Bij variant 2 wordt de straatverlichting aangepast. Er wordt gekeken naar de invloed van de gebruikte lampen in variant 2a. De invloed van de manier van opwekken van de elektriciteit wordt bepaald en besproken in variant 2B. Het intelligent schakelen van de lampen wordt bekeken in variant 2c.

De elektriciteit die nodig is voor de werking van de straatverlichting kan op verschillende manieren opgewekt worden. Er kan gebruik gemaakt worden van “grijze elektriciteit” of “groene elektriciteit”. Grijze elektriciteit is niet duurzaam, het opwekken ervan gebeurt met fossiele brandstoffen. Elektriciteit opgewekt door kerncentrales is ook grijs. Groene elektriciteit is de duurzame tegenhanger. Het opwekken hiervan gebeurt door gebruik te maken van hernieuwbare bronnen zoals wind, waterkracht, zon, ...

Straatverlichting zorgt voor een hogere zichtbaarheid op de weg. Het gebruik hiervan is gelinkt aan een hoger veiligheidsgevoel. Een nadeel van straatverlichting is de grote gebruikskost van de benodigde elektriciteit gedurende de gehele levensduur van het project. In België bedroeg het verbruik in 2011 voor openbare verlichting 875GWh [32].

Variant 2a: NaHP lampen vervangen door LED lampen

Bij variant 2a worden de NaHP lampen (hogedruknaatriumlampen) vervangen door LED lampen. De berekende MKI voor variant 2a is € 49043,48. Deze is 14,45% lager dan die van de oorspronkelijke toestand (zie figuur 31). Bij variant 2a is, net zoals bij variant 1, gebruik gemaakt van grijze elektriciteit.



Figuur 31: Weergave van de berekende MKI voor de originele toestand en variant 2.

Oorspronkelijk werd gebruik gemaakt van lampen met een vermogen van 125 Watt. De meest gebruikte lampen in België zijn de NaHP lampen. In variant 2 zijn deze NaHP lampen vervangen door zuinigere LED verlichting. Er is gekozen voor het gebruik van "Iridium gen3 LED Mini" van Philips. De grote voordelen van deze lampen zijn het lagere verbruik en de langere levensduur.

De NaHP lampen verbruikten oorspronkelijk 7052 kWh/jaar. Het verbruik bij gebruik van LED verlichting is:

$$\frac{36 \text{ W} * 12 \text{ uur} * 365 \text{ dagen} * 23 \text{ lampen}}{1000} = 3627 \text{ kWh/jaar}$$

LED lampen verbruiken veel minder energie, wat zorgt voor een aanzienlijke daling van de MKI

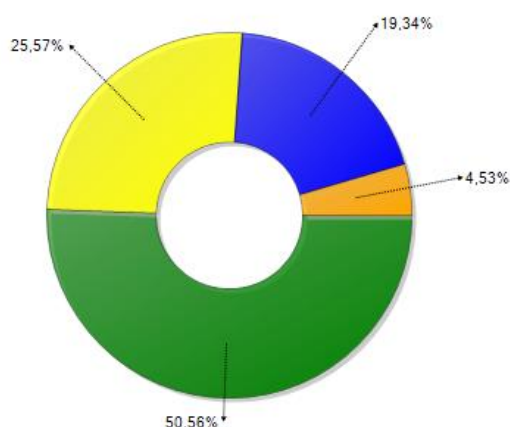
In onderstaande tabel zijn de verschillen duidelijk voorgesteld:

	Lampvermogen	rendement	Verbruik/jaar	Kost/jaar	Levensduur
NaHP	70 Watt	97 lm/Watt	7052 kWh	1058 €	± 16.000Uur
LED	36 Watt	124 lm/Watt	3627 kWh	544 €	± 50.000uur

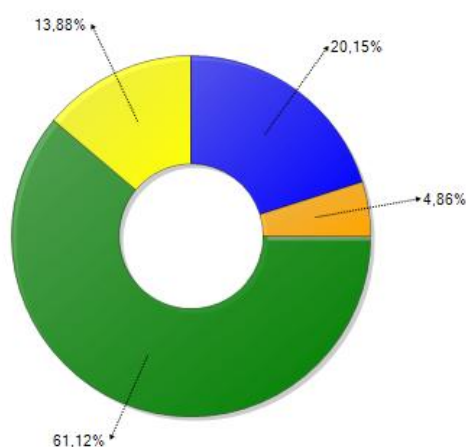
In DuboCalc is de verlichting niet terug te vinden in de bibliotheek. De invloed van de milieukost van de verschillende lampen kunnen we dus niet bepalen. Wat wel kan worden gedaan is het verschil in gebruikte energie berekenen. Bij variant 2a is dit nagenoeg de helft t.o.v. de originele toestand.

Zoals te zien is in figuur 32, heeft de gebruiksfase (enkel afhankelijk van verlichting) met 39,62% een grote invloed op de totale milieukost in de originele toestand. Bij variant 2a is de invloed van de gebruiksfase teruggebracht tot 13,88%.

Zwaartepunten Analyse Originele toestand, MKI



Zwaartepunten Analyse Variant 2a, MKI

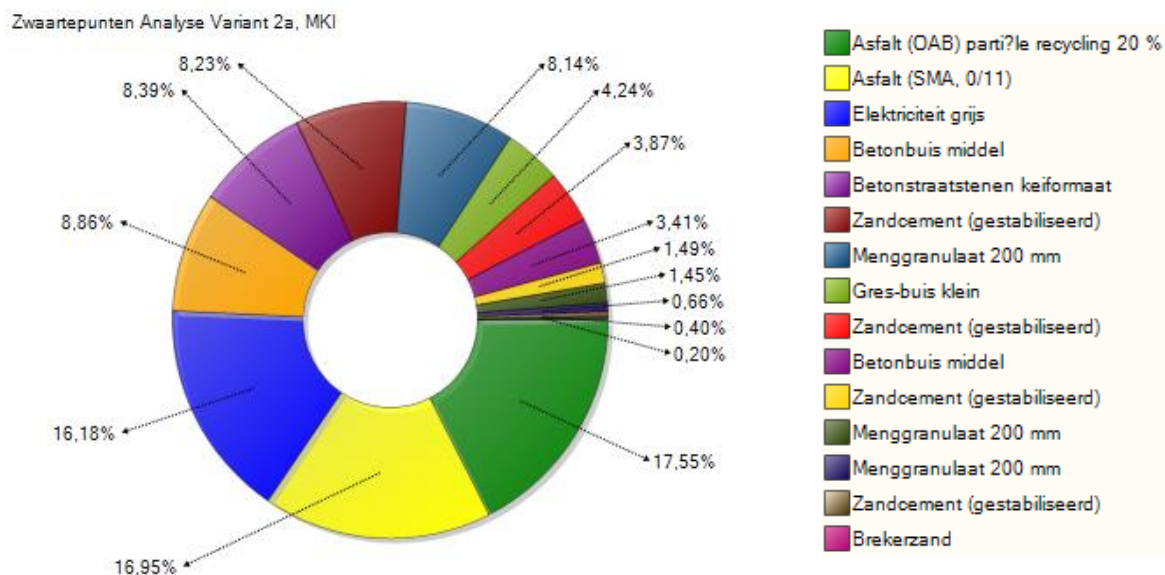


Figuur 32: Invloed van de fasen van de levenscyclus van variant 2a (onder) en de originele toestand (boven).

De invloed van de gebruiksfase bij de originele toestand is zelfs zo groot dat de milieukost van het gebruik nagenoeg even groot is als die van de bouw van het project. Deze grote invloed heeft verschillende oorzaken:

- er wordt gebruik gemaakt van grijze elektriciteit
- de verlichting brandt 12 uur per dag op volle sterkte
- de gebruikte lampen verbruiken veel energie

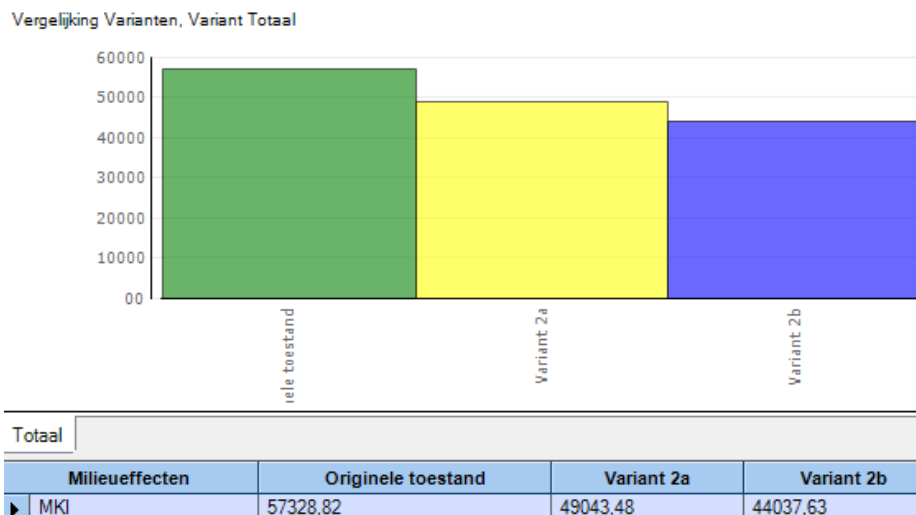
Hier wordt ook weer gekeken naar welk item de grootste invloed heeft op de totale milieukost gedurende de gehele levensduur van het project (zie figuur 33). De grijze elektriciteit heeft duidelijk een grote impact, ze vormt zelfs na de top- en onderlaag van het asfalt de grootste milieukost.



Figuur 33: Invloed van de 15 items die het meest doorwegen doorheen alle fases voor variant 2a.

Variant 2b: gebruik van groene elektriciteit i.p.v. grijze elektriciteit

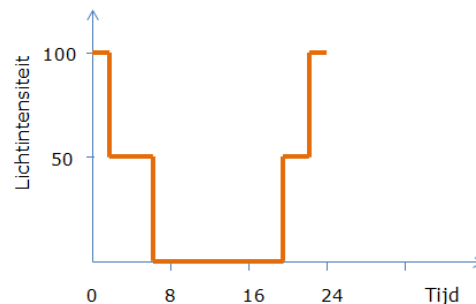
Wanneer er gebruik gemaakt wordt van groene elektriciteit in de plaats van grijze zal dit ook leiden tot een daling van de milieukost. Zoals in figuur 34 te zien is, kan nog € 5005,85 milieukost uitgespaard worden door over te gaan op het gebruik van groene elektriciteit.



Figuur 34: Weergave van de berekende MKI voor de originele toestand en variant 2a en 2b.

Variant 2c: Lichtintensiteit laten variëren in functie van de tijd

Aangezien er ledverlichting gebruikt wordt die dimbaar is, wordt dit toegepast in deze variant. Het is namelijk niet nodig dat de lamp gedurende 12 uur op volle sterkte brandt. Zo kan de ledverlichting in de vooravond en ochtend gedimd worden. Dit is mogelijk doordat er nog voldoende omgevingslicht is. Op deze manier zal er minder verbruikt worden. Wanneer de lampen gedimd kunnen worden en naar welke intensiteit is terug te vinden in figuur 35.



Figuur 35: Lichtintensiteit in functie van de tijd.

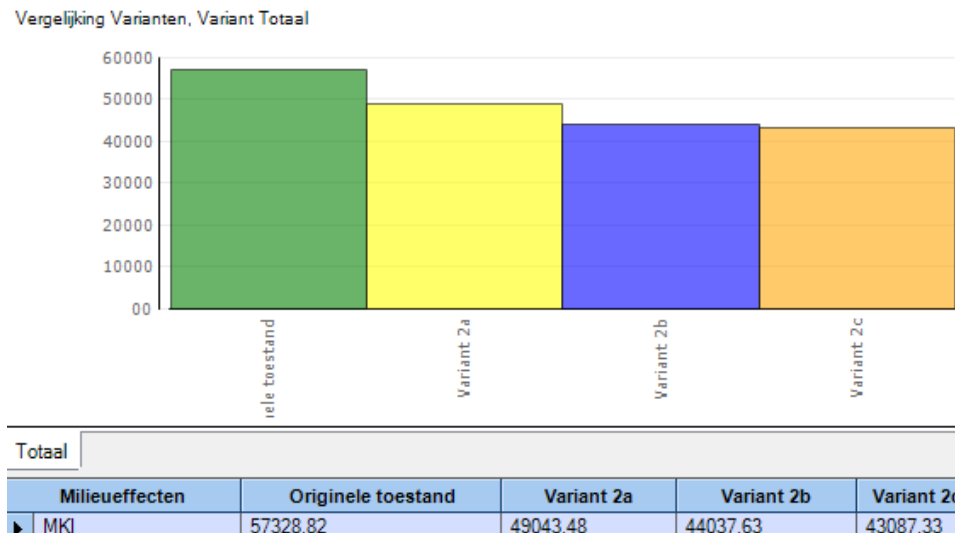
Voor deze variant wordt ook eerst het verbruik per jaar berekend, de uitkomst wordt terug in DuboCalc ingevoerd zodat de impact op de milieukost kan worden berekend. Verbruik per jaar:

Randvoorwaarden:

- gebruik van groene elektriciteit
- lamp brandt 12 uur
 - o 3 uur op 100 %: van 22.00u tot 01.00u.
 - o 9 uur op 50 %: van 19.00u tot 22.00u en van 01.00u tot 7.00 u.
- lamp brandt iedere dag.

$$\frac{(9 \text{ uur} * 18 \text{ W} + 3 \text{ uur} * 36 \text{ W}) * 365 \text{ dagen} * 23 \text{ lampen}}{1000} = 2267 \text{ kWh/jaar}$$

Het verschil met variant 2b is niet heel groot, maar er wordt door deze simpele ingreep toch € 950,3 milieukost bespaard (zie figuur 36).



Figuur 36: Weergave van de berekende MKI voor de originele toestand en variant 2a, 2b en 2c.

Financieel is het interessant om intelligente straatverlichting toe te passen bij projecten. Zowel de langere levensduur van de LED lampen t.o.v. de klassieke lampen als het lagere energieverbruik (in deze case study tot 50%) en de mogelijkheid tot intelligent schakelen zijn hiervoor verantwoordelijk.

7.4.4 Variant 3: gebruik van waterdoorlatende bestrating

Bij variant 3 gaan de klassieke betonstraatstenen en tegels vervangen worden door waterdoorlatende bestrating. In DuboCalc bibliotheek zijn geen waterdoorlatende betonstraatstenen terug te vinden. Het volgende wordt gedaan om dit probleem op te vangen. Waterdoorlatende bestrating wordt gemaakt van dezelfde materialen als de traditionele bestrating, er wordt slechts minder materiaal gebruikt om dezelfde oppervlakte te bestraten. Minder materiaal kan bekomen worden op twee manieren, namelijk door het gebruik van poreuze stenen of van stenen met verbrede voeg of drainage-openingen. In variant 3 wordt gekozen voor de drainerende steen.

Voor de originele toestand was berekend dat 197 ton betonstraatstenen voor de parking nodig was. Voor de poreuze betonstraatsteen met een massadichtheid van 2070 kg/m^3 wordt dit het volgende:

$$\text{aantal ton straatstenen voor parking} = \frac{0,1 \text{ m} * 822 \text{ m}^2 * 2074,5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{1000} = 170,5 \text{ ton}$$

En voor de betonstraatstenen voor de inritten wordt dit:

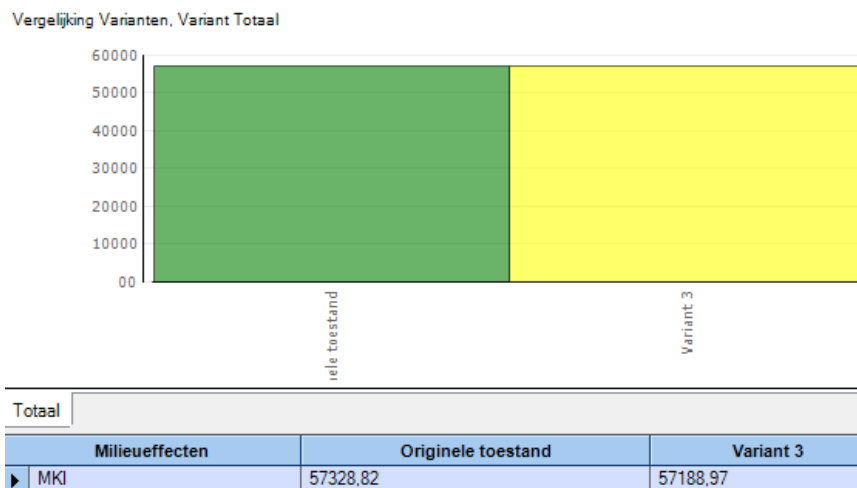
$$\text{aantal ton straatstenen voor inritten} = \frac{0,08 \text{ m} * 453 \text{ m}^2 * 2074,5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{1000} = 75 \text{ ton}$$

Wanneer er gewerkt wordt met waterdoorlatende bestrating is de kofferopbouw ook anders dan bij de traditionele bestrating. Deze opbouw wordt ook ingegeven in DuboCalc. Wanneer er wordt uitgegaan van een goede doorlatendheid en een verkeersklasse categorie 4 (occasioneel licht verkeer) geeft dit voor de fundering:

$$\text{aantal ton fundering voor parking} = \frac{0,35 \text{ m} * 705 \text{ m}^2 * 1850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{1000} = 455 \text{ ton}$$

$$\text{aantal ton fundering voor inritten} = \frac{0,35 \text{ m} * 367 \text{ m}^2 * 1850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{1000} = 238 \text{ ton}$$

Het verschil in milieukost tussen de originele toestand en variant 3 is terug te vinden in figuur 37. De milieukost daalt bij variant 3 slechts licht met € 139,85. Deze kleine daling is toe te schrijven aan de dikte van de kofferopbouw die nodig is voor de waterdoorlatende bestrating.

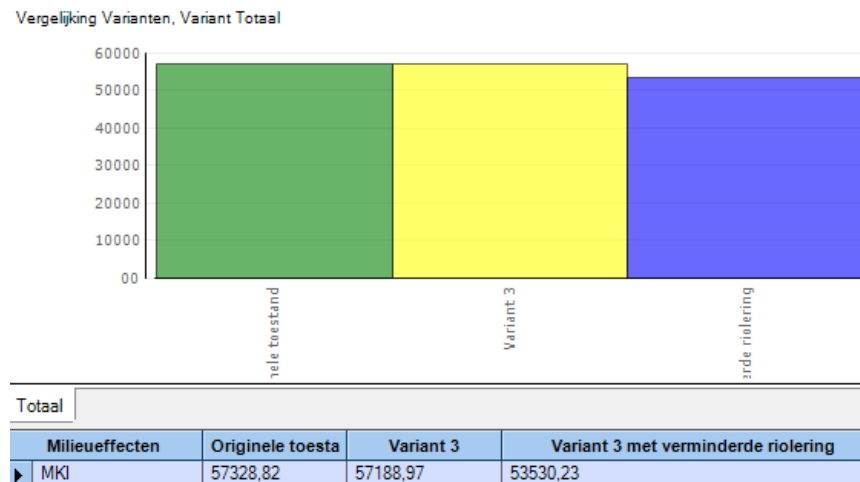


Figuur 37: Weergave van de berekende MKI voor de originele toestand en variant 3.

Aangezien er geen waterdoorlatende bestrating in de DuboCalc bibliotheek zit worden de positieve effecten van de toepassing ook niet opgenomen in de berekening. Dit is mede verantwoordelijk voor de lichte daling van de milieukost.

Een eventueel bijkomend voordeel is dat het gebruik van waterdoorlatende bestrating een invloed kan hebben op de RWA. Aangezien deze bestrating

regenwater laat indringen naar de ondergrond en afhankelijk van de opbouw ook regenwater tijdelijk kan bufferen, zal er minder regenwater afstromen naar de riolering. De RWA moet dus minder regenwater verwerken waardoor de capaciteit (de diameters) van het RWA kan verkleinen. In Figuur 38 is de milieukost weergegeven van variant 3 maar dan met een verkleinde diameter van de rioleringsbuis. Dit geeft een winst in milieukost van € 3798,59 t.o.v. de originele toestand.



Figuur 38: Weergave van de berekende MKI voor de originele toestand en variant 3 en variant 3 met verkleinde riolering en de originele toestand.

Financieel gezien ligt de kostprijs van waterdoorlatende bestrating deels hoger dan bij klassieke bestrating. Dit komt zowel door de aankoopprijs van de drainerende steen als door de fundering. De fundering, die poreus moet zijn, heeft een grotere dikte, meer materiaal en dus een verhoogde kostprijs.

Een standaard straatsteen van (220/110/100) kost gemiddeld 15 €/m² (verondersteld een strook van 2,5m breed). Wanneer er een drainerende steen wordt gekozen kost deze gemiddeld 20 €/m². Wanneer een goed doorlatende ondergrond verondersteld wordt is de meerprijs voor de fundering 1,15 €/m² (20/40 i.p.v. 0/40 van 20 cm dik) [31].

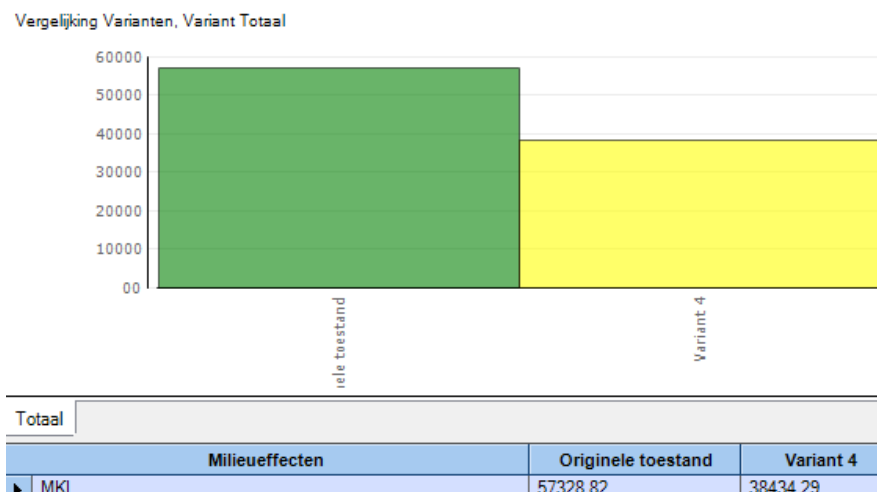
7.4.5 Variant 4: combinatie van de verschillende varianten

Voor de laatste variant worden alle voorgaande varianten gecombineerd. De aanpassingen aan variant 4 t.o.v. de originele toestand zijn:

- Voor de rijweg wordt gebruik gemaakt van lage temperatuur asfalt.

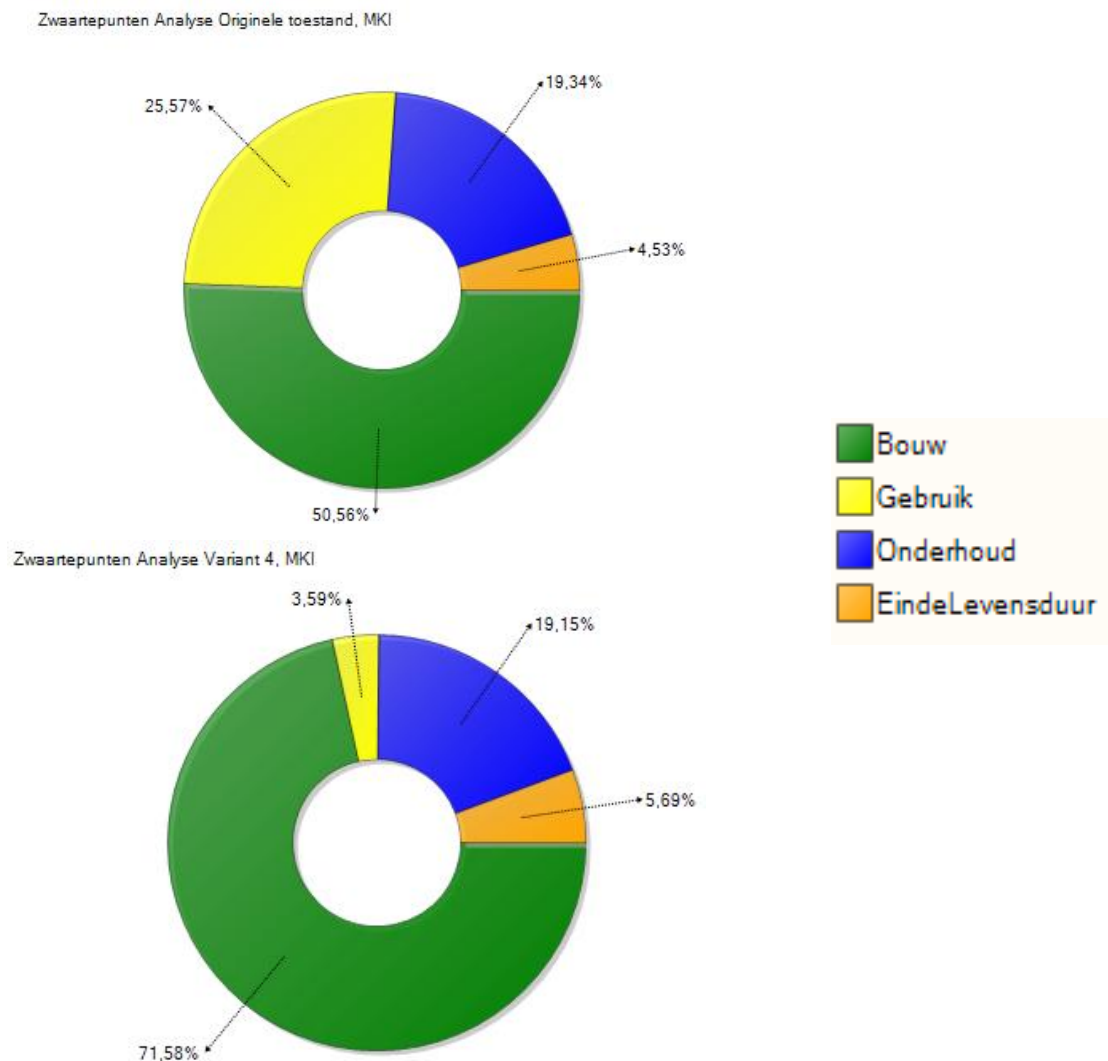
- Gebruik van intelligente LED-straatverlichting met gebruik van groene elektriciteit.
- Klassieke kleinschalige bestrating is vervangen door waterdoorlatende bestrating.

Al deze aanpassingen zorgen voor een forse verlaging in milieukost van € 18894,53 (zie figuur 39). In vergelijking met de originele toestand is deze gedaald met 32,96%.



Figuur 39: Weergave van de berekende MKI voor de originele toestand en variant 4.

Als er gekeken (zie figuur 40) wordt naar de zwaartepuntanalyses van de fasen van de levenscyclus valt op dat de invloed van de gebruikskost (3,59%) sterk verlaagd is t.o.v. de originele toestand. Door deze verschuiving is de invloed van de bouwphase wel sterk gestegen (71,58%)



Figuur 40: Invloed van de fasen van de levenscyclus van variant 4 (onder) en de originele toestand (boven).

7.5 Beperkingen van DuboCalc

Het is niet mogelijk om zelf materialen toe te voegen aan de DuboCalc-bibliotheek. Wanneer er een item wordt toegevoegd, moet dit via de Stichting Bouwkwiteit (SBK). De data moet uit de Nationale Milieudatabase komen die beheerd wordt door de SBK. Via een online procedure kan een aanvraag worden ingediend en zodra deze is goedgekeurd en is opgenomen in de SBK GWW-database, kan de data worden opgenomen in de DuboCalc-bibliotheek [33].

De bibliotheek van DuboCalc is nog niet erg uitgebreid. Voorlopig staan de meest gebruikte materialen erin. Er wordt gewerkt aan een uitbreiding van de

bibliotheek. Zo kunnen fabrikanten zelf informatie aanreiken die na verificatie kan worden toegevoegd.

Voor het bepalen van de milieueffecten zijn regelmatig gemiddeldes genomen voor een bepaalde sector. Zo is het mogelijk dat een producent zijn product met een lagere MKI kan produceren dan berekend met DuboCalc, maar het omgekeerde is uiteraard ook mogelijk.

7.6 Beperking van de berekeningen

Niet alle materialen die effectief gebruikt zijn in het project, zijn opgenomen in de berekeningen in deze masterproef. Dit nadeel is toe te schrijven aan verschillende oorzaken:

- Niet alle gebruikte materialen van het originele project zijn terug te vinden in de bibliotheek.
- Er zijn materialen die in alle varianten zouden weerkeren zonder dat moeten worden aangepast. Het toevoegen van deze materialen zou er dus slechts toe leiden dat de totale MKI van alle varianten zou verhogen.

7.7 Besluit

De onderzoeksvraag die gesteld werd in deze masterproef was de invloed bestuderen van het toepassen van duurzaamheidverhogende maatregelen op een bestaand project.

In de case study is de impact van verschillende maatregelen nader onderzocht door ze (fictief) toe te passen op een bestaand infrastructuurwerk. Dit onderzoek loopt van ontwerp tot en met de eindelevensduur van alle gebruikte materialen van het project. Met het programma DuboCalc, dat de totale milieukost berekent van een project, wordt duidelijk welke maatregelen een duurzame impact hebben en welke niet.

De belangrijkste conclusie die kan getrokken worden uit de case study is dat zelfs met het toepassen van slechts enkele maatregelen de milieukost een sterke daling kan hebben van meer dan 30%.

Bij het toepassen van één enkele maatregel kan de daling van de milieukost ook al aanzienlijk zijn. T.o.v. de originele toestand werd de laagste MKI bekomen bij

variant 2c (LED straatverlichting die i.f.v. de tijd wordt geregeld). Hier daalt de milieukost al met 24,84%. Het aanpassen van de verlichting en dus de verbruikte elektriciteit heeft de grootste invloed. Financieel gezien is het toepassen van intelligente straatverlichting ook voordeliger dan de klassieke verlichting (zie maatregel "Intelligente straatverlichting" (bijlage 1.7)).

Hierna volgt het gebruik van asfalt bij verlaagde temperatuur. Het toepassen hiervan zorgt voor een daling van 7,87% terwijl de kostprijs nagenoeg gelijk blijft t.o.v. asfaltbeton. Tenslotte blijkt het toepassen van waterdoorlatende bestrating slechts verantwoordelijk te zijn voor een kleine daling in de milieukost bij deze specifieke case study. Het toepassen hiervan kost ook meer dan het toepassen van de klassieke betonstraatsteen.

De grootste beperking van DuboCalc op dit moment is de beperktheid van de bibliotheek. De meest voorkomende materialen zijn terug te vinden, maar deze lijst is niet volledig. Er ontbreken nog veel soorten van materialen die in de bouw gebruikt worden. In de toekomst zal deze bibliotheek verder uitbreiden, wat als voordeel heeft dat een project alsmaar meer in detail kan worden ingegeven, waardoor het resultaat steeds meer de realiteit benadert.

8 Conclusie

Duurzaamheid is een begrip dat breed geïnterpreteerd kan worden. Dit heeft als gevolg dat het moeilijk is om juist te definiëren wat duurzaamheid bij infrastructuurwerken moet inhouden. Langs de ene kant moet het breed genoeg zijn, opdat alle belangrijke aspecten van duurzaamheid erin verwerkt zijn. Langs de andere kant mag het niet te breed worden geïnterpreteerd, want dan bestaat het risico dat het begrip onoverzichtelijk wordt.

Uit een enquête, afgenomen bij verschillende steden en gemeenten, en uit diverse interviews blijkt dat informatie verkrijgen over duurzaamheidverhogende maatregelen nog niet vanzelfsprekend is. Hier zijn diverse redenen voor. Ten eerste zijn het vaak technieken die nieuw en onbekend zijn. Dit heeft als gevolg dat opdrachtgevers er vaak nogal argwanend tegenover staan, aangezien zij wensen dat de werking en de voordelen van een maatregel duidelijk kunnen worden aangetoond. Verder wordt informatie omtrent duurzaamheid vaak slechts gegeven indien er een specifieke vraag over gesteld wordt. Tenslotte is het begrip duurzaamheid momenteel een "hot topic", waardoor het vaak te pas en te onpas gebruikt wordt en de voorgestelde maatregel dus niet altijd als even betrouwbaar ervaren wordt. Het ontwikkelen van instrumenten, die het bepalen van duurzaamheid mogelijk maken is hiervoor van belang. Op deze wijze kunnen er objectieve keuzes gemaakt worden welke maatregelen best toegepast worden. De aanwezigheid van certificerende instellingen, die hierop kunnen toezien, is dan ook een goede zaak.

Op basis van de literatuurstudie en de bovenvermelde informatie zijn er in deze masterproef elf informatiefiches opgesteld die duurzaamheidverhogende maatregelen omvatten. Deze kunnen toegepast worden bij het ontwerp en bij de uitvoering van infrastructuurwerken.

In de case study is op basis van het programma Dubocalc een vergelijking gemaakt tussen de milieu kosten indicator-waarde voor en na het toepassen van duurzaamheidverhogende maatregelen. Het voordeel van dit programma is dat het de mogelijkheid geeft om duurzaamheid te kwantificeren en te komen tot één algemene indicator. Uit het resultaat van de studie blijkt dat het nut heeft om duurzame maatregelen toe te passen. Vooral het toepassen van LED

straatverlichting heeft een aanzienlijke invloed van om en bij de 30% op de milieukost t.o.v. het oorspronkelijke project. Ook financieel is dit reeds interessant. Het toepassen van asfalt bij verlaagde temperatuur en waterdoorlatende bestrating doen de milieukost ook dalen.

De verdere ontwikkeling van dergelijke programma's kan ervoor zorgen dat duurzaamheid bij infrastructuurwerken op een relatief eenvoudige en betaalbare manier snel kwantitatief bepaald kan worden.

Deze masterproef kan in de toekomst aangevuld worden met nieuwe maatregelen. Nieuwe technische informatie kan zorgen voor bijkomende fiches, die dan opgenomen kunnen worden in duurzaamheidsevaluatiesystemen.

9 Bijlagen

Bijlage 1: Duurzaamheidverhogende maatregelen

Maatregel 1: Waterdoorlatende bestrating

1 Het probleem

De oppervlakte aan waterondoorlatende verharding is groot. Dit heeft als gevolg dat water niet meer overal kan infiltreren in de bodem (wat kan leiden tot een daling van de grondwatertafel), maar afgevoerd moet worden via afwateringssystemen. Bij overbelasting van deze systemen bestaat er kans op wateroverlast.

2 Oplossingen

Er zijn verschillende afvoersystemen voor hemelwater mogelijk, maar deze zijn niet allemaal even duurzaam. De ladder van Lansink [1] geeft een bindende rangorde aan in de keuze van het afvoersysteem. Deze dient steeds gevolgd te worden, indien dit technisch haalbaar is, en is terug te vinden in VLAREM 2 [2]. De volgorde is als volgt:

1. opvangen voor hergebruik (hemelwaterput);
2. infiltratie op eigen terrein;
3. buffering met vertraagd lozen op het oppervlaktewater of een kunstmatige afvoerweg voor hemelwater;
4. lozing in de hemelwaterafvoerleiding (RWA) in de straat.

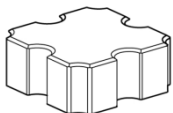
De ladder is zo opgesteld dat, naast hergebruikt, het hemelwater zoveel mogelijk ter plaatse blijft en kan infiltreren in de ondergrond. Dit kunnen we verwezenlijken door het water te bufferen en daarna te laten infiltreren. Gebruik van waterdoorlatende bestrating bewijst hier zijn voordeel.

Bij waterdoorlatende bestrating infiltreert het hemelwater doorheen / langs de straatstenen naar de fundering. Het hemelwater passeert de poreuze steen, drainageopeningen of brede voeg en de straatlaag. Hierdoor is er geen afstroming op het oppervlak en worden overstromingen vermeden. In de onderlagen wordt het hemelwater gebufferd, bij voorkeur enkel in de onderfundering. Via de onderlagen infiltreert het hemelwater in de bodem. Afhankelijk van de permeabiliteit van de bodem wordt bepaald of een knijpleiding

toegepast moet worden of niet. Indien nodig, voert de knijpleiding het water in de onderlagen vertraagd af naar infiltratiesystemen, sloten of het rioleringsstelsel.

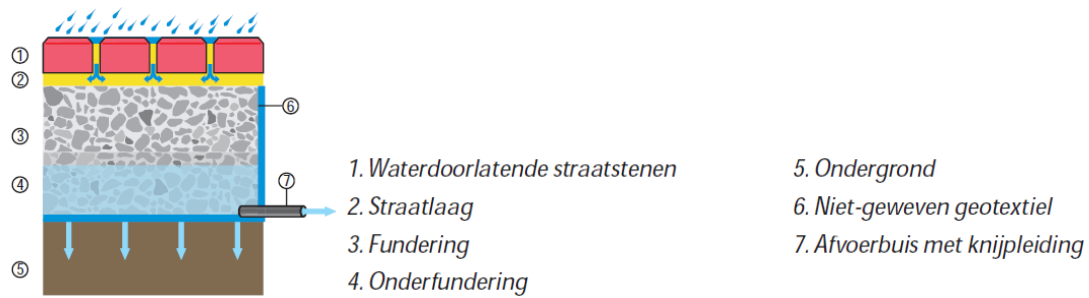
Er bestaan verschillende types van waterdoorlatende bestrating (zie tabel 1).

Tabel 1: De verschillende systemen van waterdoorlatende bestrating [3].

Naam	Voorbeeld	Voeg
Poreuze bestrating		1 tot 2 mm breed, opvullen met voegmateriaal 0,5/1 of 0,5/2 (vermijden van 0/0,5)
Bestrating met drainageopeningen		Over het algemeen 10 mm breed, opvullen met gebroken steenslag 1/3 of 2/5 mm
Bestrating met brede voeg		

De straatlaag dient minimaal een waterdoorlaatbaarheid te hebben van $5,4 \times 10^{-5}$ m/s [3]. Bij bestrating met drainageopeningen en brede voeg moet minimaal 10% van de totale oppervlakte waterdoorlatend zijn met een doorlaatbaarheid van $5,4 \times 10^{-4}$ m/s [3].

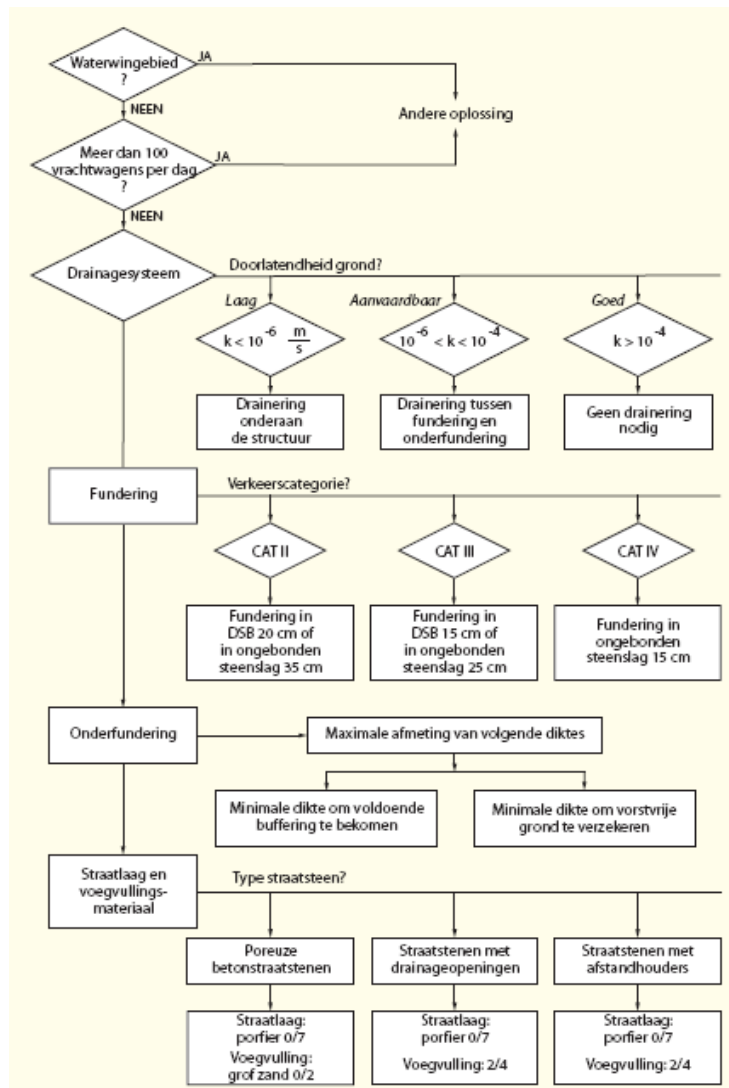
De opbouw van een waterdoorlatende bestrating wordt weergegeven in Figuur 1.



Figuur 1: Opbouw van waterdoorlatende bestrating bij matig tot slecht doorlatende grond [3].

In figuur 2 wordt een beslissingsboom gegeven, waarmee waterdoorlatende bestrating kan worden gedimensioneerd. Waterdoorlatende bestrating is enkel van toepassing, indien er geen waterwingebied aanwezig is en indien er geen zwaar verkeer is. Afhankelijk van de permeabiliteit van de bodem en de verkeersbelasting dienen de fundering en de onderfundering aangepast te worden. De voegvulling staat in functie van het gekozen systeem. Bij straatstenen met drainageopening en bestrating met brede voeg mag zeker geen voegzand gebruikt worden, maar wel een vulling met grovere fractie.

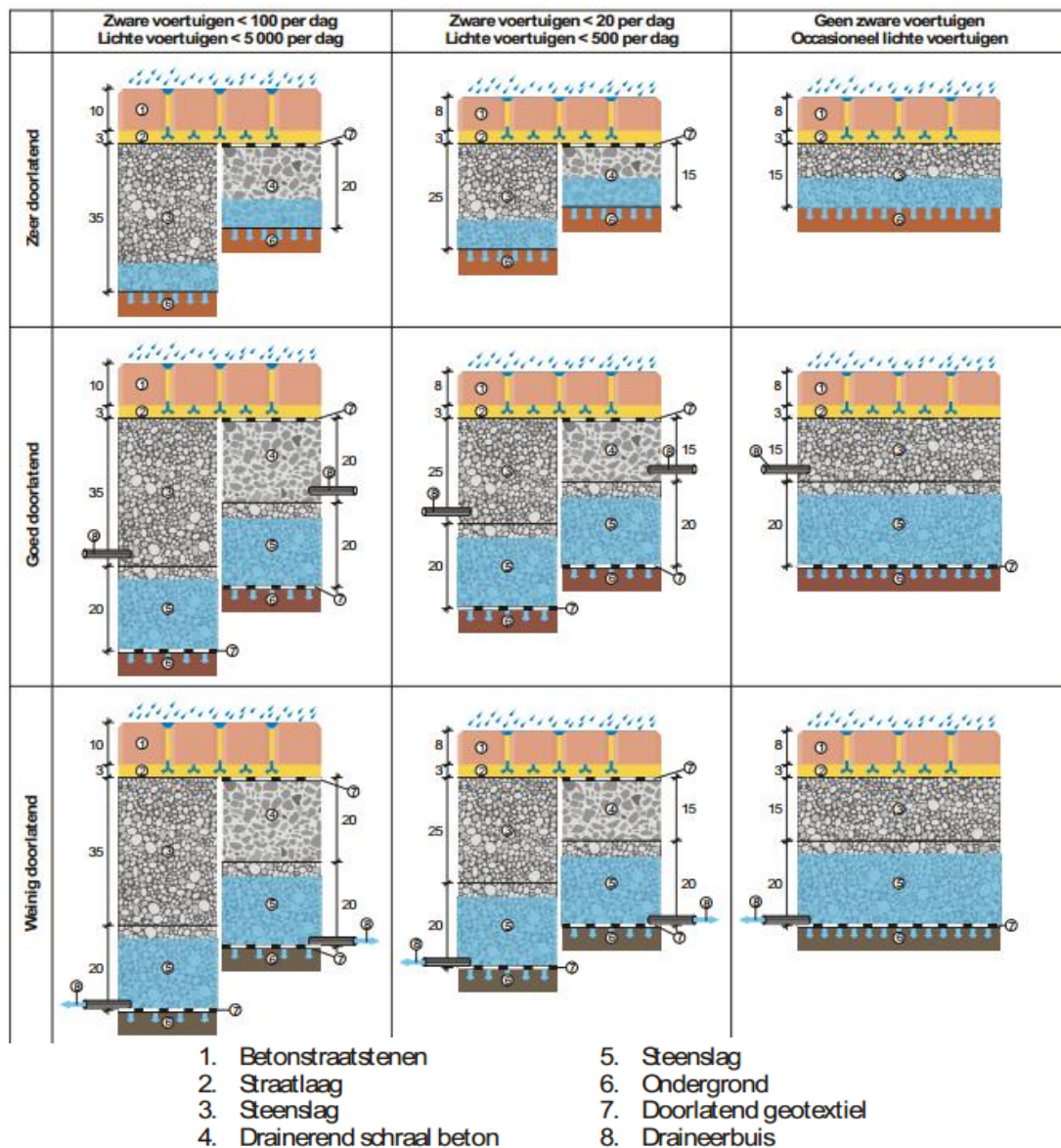
Beslissingsboom



Figuur 2: Randvoorwaarden voor het toepassen van waterdoorlatende bestrating [4].

Mogelijke structuren

Op basis van figuur 2 dient de juiste opbouw gekozen te worden, zodat de ondergrond stabiel en draagkrachtig is. In figuur 3 staat de kofferopbouw afgebeeld in functie van de verkeersbelasting en de waterdoorlaatbaarheid.



Figuur 3: Mogelijke kofferopbouw afhankelijk van de doorlaatbaarheid van de ondergrond en de voorziene belasting [3].

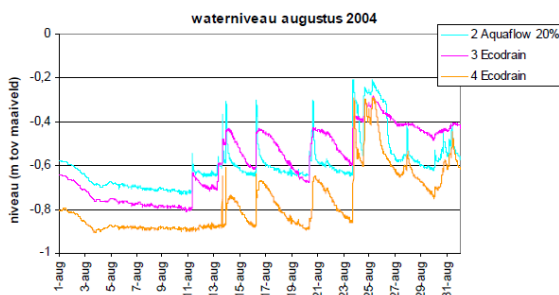
3 Het effect op duurzaamheid

Voordelen:

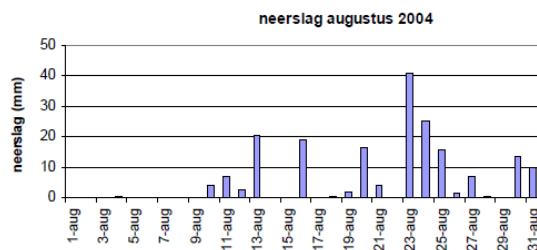
- *Vertraagde afvoer van het regenwater:* In de onderlagen kan regenwater tijdelijk gebufferd worden. De buffering en afvoer moeten goed gedimensioneerd zijn om alles goed te laten verlopen. Hierdoor worden piekbelastingen in het afwateringssysteem vermeden, waardoor de kans op wateroverlast verkleint.
- *Het hemelwater ter plaatse houden en ter plaatse laten infiltreren zodat het grondwaterpeil behouden blijft:* In figuur 4 & 5 staan de resultaten

afgebeeld van een proefproject, dat bestaat uit verschillende oppervlakken met verschillende waterdoorlatende systemen [5]. In figuur 5 is de neerslag weergegeven van de maand augustus. In figuur 4 is, ook voor de maand augustus, het niveau van het grondwaterpeil weergegeven voor verschillende testvakken. Op deze manier kon men nagaan wat het effect was op het grondwater en of er voldoende buffering voorzien was zodat het grondwater altijd onder het maaiveld bleef. De verschillende proefvakken zijn de volgende:

- Het systeem Aquaflow 20% bestaat uit betonstraatstenen met brede voeg, waarmee 20 procent van de totale oppervlakte is bedekt. Voor de rest is gebruik gemaakt van gewone betonstraatstenen. De funderingslaag is 40 cm dik.
- Het systeem Ecodrain bestaat uit een poreuze waterdoorlatende betonstraatsteen met brede voeg. Het verschil tussen Ecodrain type drie en type vier is de dikte van de funderingslaag. Bij type drie is deze 40 cm dik + 10 cm split en bij type vier 25 cm + 10 cm split.



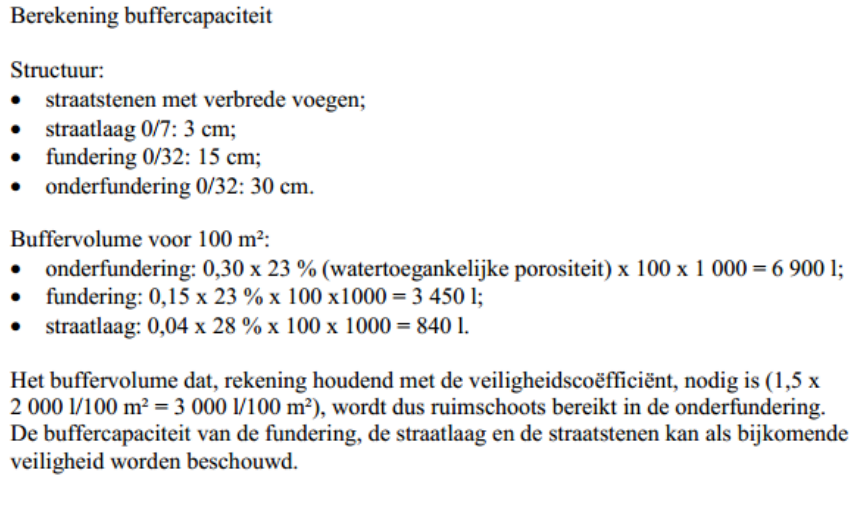
Figuur 4: Het grondwaterniveau in m t.o.v. het maaiveld in de maand augustus 2004 [5].



Figuur 5: Neerslag in mm in de maand augustus [5].

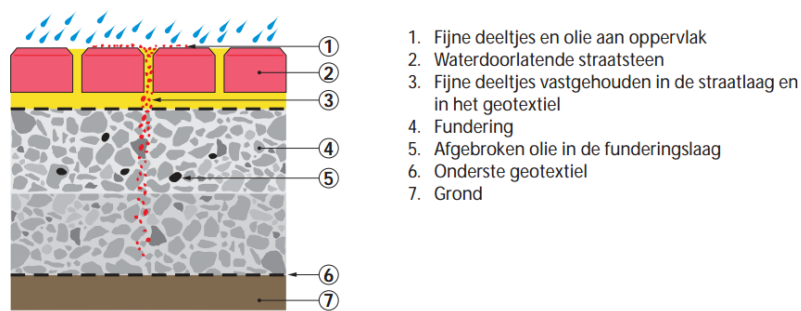
De buffering is voor de drie testvakken voldoende, zodat de straatlaag nooit onder water komt te staan (zie figuur 4). Bij het vak 4, 'Ecodrain met ondiepe fundering', is de stijging van het grondwater het hoogst tijdens de zware regenval op 23 augustus, namelijk 55cm. Dit valt te verklaren doordat het vak met de tradionele bestrating deels afloopt naar dit vak.

- *De tijdelijke bufferwerking van het systeem:* Hierdoor wordt de RWA tijdens piekmomenten minder belast. De nodige buffering is afhankelijk van de infiltratiesnelheid. In figuur 6 wordt het berekende buffervolume weergegeven voor betonstraatstenen met brede voeg.



Figuur 6: Berekening van de nodige buffercapaciteit [6].

- *Mogelijkheid tot het achterwege laten/verminderen van regenwaterriolering en straatputten:* dit wordt mogelijk door de infiltratie en bufferwerking. Doordat een deel van het regenwater niet meer moet afgevoerd worden via de RWA kan de nodige capaciteit van de RWA verlaagd worden. Dit kan enkel op voorwaarde dat er voldoende infiltratie en buffering mogelijk zijn.
- *Beperken van directe afstroom van vervuild water:* Normaal gezien stroomt oppervlaktewater af, inclusief alle vervuilingen. Dit kan plaatselijke ecosystemen schade toebrengen. Waterdoorlatende bestrating kan dit fenomeen beperken. Dit gebeurt op de volgende wijze (zie figuur 7):
 Bij rechtstreekse infiltratie infiltreren vervuilingen, zoals zwevende sedimenten, koolwaterstoffen, zware metalen en organische en anorganische verbindingen, ook mee met het water naar de bodem. Waterdoorlatende bestrating heeft op de meeste van deze stoffen echter een positieve werking. Zo is uit onderzoek gebleken dat bacteriën in de onderlagen van de bestrating zorgen voor een afbraak van oliën. In monsters van afgestroomd oppervlaktewater bij ondoorlatende verharding bleek dat 100% van de monsters oliën bevatten, terwijl dit in monsters van de waterdoorlatende bestrating slechts 38% is [5].



Figuur 7: Filtering en afbraak van verontreinigende bestanddelen [7].

Nadelen:

- *Mogelijk Beperkte levensduur van de gebruikte materialen:* Dit kan een probleem zijn bij poreuze betonstraatstenen. Enerzijds bestaat het risico dat de stenen minder drukvast zijn dan de betonstraatstenen met brede voeg of drainageopening, anderzijds is er gevaar voor vorstschade, indien de ondergrond onvoldoende doorlaatbaar is. Er bestaat dan het gevaar dat er water in de stenen blijft staan, waardoor deze bij vorst kapot kunnen vriezen. Betonstraatstenen met brede voeg of drainageopening hebben een gelijkaardige levensduur als de klassieke steen [8].
- *Moeilijk toepasbaar voor wegen met zwaar verkeer:* Waterdoorlatende betonstraatstenen hebben een open structuur nodig, zodat het water kan doorsijpelen naar de bodem. Normaal gezien beoogt men een zo groot mogelijke verdichting van de ondergrond en het beton. Indien voor open structuren gekozen wordt, kan dus aan sterkte verloren gaan. Vanaf het moment dat er meer dan 5.000 voertuigen (<3.5 ton) of meer dan 400 zwaardere voertuigen (>3.5 ton) per dag passeren, is het toepassen van waterdoorlatende bestrating niet meer aangewezen [1].
- *Gevaar op dichtslibben:* Bij gebruik van poreuze betonstraatstenen bestaat het gevaar dat het gehele oppervlak kan dichtslibben, terwijl bij betonstraatstenen met drainageopening of brede voeg de voegen kunnen dichtslibben.

4 Het effect op de kostprijs

- ***Kostprijsverhogende elementen***

- Het verschil in kostprijs tussen waterdoorlatende bestrating en de klassieke betonstraatsteen wordt weergegeven in Tabel 2. Deze prijzen zijn grootteordes voor producten van 10 cm dikte.

Tabel 2: Richtprijzen voor verschillende types van waterdoorlatende bestrating [8].

Product	Prijs	Vershil
Klassiek 22x11x10	€12/m ²	/
Poreus waterdoorlatend 22x11x10	€17/m ²	€5/m ²
Brede voeg 22x11x10	€16/m ²	€4/m ²
Grastegel 60x40x10	€12,5/m ²	€0.5/m ²

Deze prijzen gelden enkel voor de stenen, niet voor de opbouw van de koffer. Deze is afhankelijk van de doorlatenheid van de grond.

- Voor een blijvende goede werking zal een regelmatige reiniging moeten voorzien worden.

- ***Kostprijsverlagende elementen***

- Indien aan alle randvoorwaarden voldaan is, dient er geen riolering aangelegd te worden.

- Indien aan alle randvoorwaarden voldaan is, dient er geen buffering voorzien te worden.

5 Toepassing

In Almere in Nederland zijn 4 verschillende proefvakken met waterdoorlatende bestrating aangelegd. Er is zowel gebruik gemaakt van poreuze betonstraatstenen als van betonstraatstenen met brede voeg/drainage gaten. Deze vakken zijn 1 jaar opgevolgd. Ondanks dat de doorlatendheid na 1 jaar

deels is afgenomen bij de verschillende vakken is het nog steeds voldoen om goed te kunnen functioneren. Voor meer info over deze casestudies wordt verwezen naar [5].

6 Bronnen

[1] Vlaamse Milieumaatschappij, "Hemelwater"

<http://www.vmm.be/water/waterwegwijzerbouwen/hemelwater>

[2] VLAREM 2, "Besluit van de Vlaamse regering van 1 juni 1995 houdende algemene sectorale bepalingen inzake milieuhygiëne", 1995, p 446.

[3] A. Beeldens, F. Gendera, L. Rens, T. Van den Berghe, G. Van den Heyning, L. Vijverman, "Waterdoorlatende verhardingen met betonstraatstenen", 2008, Mededeling 77, OCW, p. 9, 10, 13, 14, 15.

<http://www.brcc.be/pdf/mededelingen/med77t.pdf>

[4] "Beslissingsboom", OCW.

http://www.brcc.be/ocw/n15/n15_03a_b1.php

[5] M.A. Rus, "Doorlatende verharding, Proefvakken op parkeerplaats bij noodschool 3T, resultaten van 1 jaar", 2004, Dienst Stadswerk Almere, p. 5, 11.

<http://www.riool.net/riool/binary/retrieveFile?itemid=1203>

[6] A. Beeldens, L. Donne, L. Vijverman, "Waterdoorlatende bestrating: hoe te dimensioneren?", Opzoekingscentrum voor de wegenbouw, p. 11.

<http://www.abr-bwv.be/sites/default/files/II.29..pdf>

[7] A. Beeldens, O. De Myttenaere, S. Perez, "Wintercursus 2009 Wegen en duurzame ontwikkeling", "Sanerende effecten van waterdoorlatende bestratingen op verontreiniging met voertuigolie", 2009, Mededeling 77, OCW, p. 15.

<http://www.brcc.be/pdf/mededelingen/med77.pdf>

[8] Interview Frank Gendera, EBEMA, 19 februari 2013.

Maatregel 2: Belang van steenverband bij wegenissen

1 Probleem

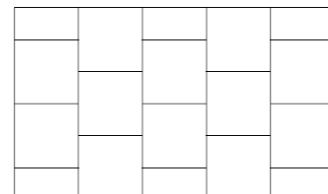
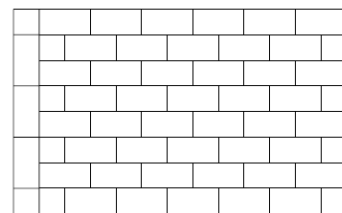
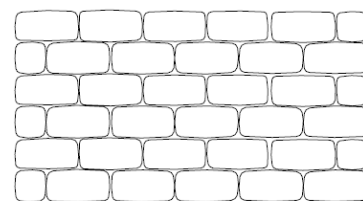
Bij het aanleggen van wegenissen wordt nog regelmatig gebruik gemaakt van stabiliteitsongunstige legverbanden, zoals halfsteensverband en blokverband (zie Tabel 1).

De meest voorkomende legverbanden zijn opgenomen in het standaardbestek 250 versie 2.2 (zie Tabel 1 en Tabel 2).

Tabel 1: halfsteensverband en blokverband [1].

Halfsteensverband

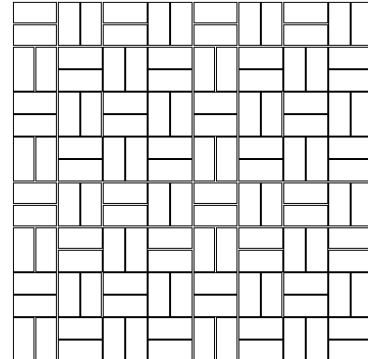
- Het halfsteensverband is van toepassing op in rijen te leggen kasseien, betonstraatstenen, gebakken straatstenen en betontegels.
- De stenen vormen evenwijdige rijen, die loodrecht op de rijrichting staan. De langsvoegen tussen de rijen zijn rechtlijnig en evenwijdig.
- Bij in rijen te leggen kasseien (zie bovenste figuur rechts) verspringen de dwarse voegen in de rijen van rij tot rij een derde tot de helft van de lengte van de kasseien. De uiteinden van de rijen worden afgewerkt met eindkeien.
- Bij beton- of gebakken straatstenen (zie middelste figuur rechts) verspringen de dwarse voegen van rij tot rij de helft van de lengte van de stenen. De opsluiting tegen de trottoirbanden, weggoten of kantstroken gebeurt met een streklaag.
- Bij betontegels (zie onderste figuur



rechts) liggen de rijen evenwijdig met de rand van de rijbaan bij gebruik als fietspad, voetpad of oprit.

Blokverband

- Het blokverband is van toepassing op betonstraatstenen en gebakken straatstenen.
- De stenen liggen zoals bij parket in blokken van twee stenen samen, afwisselend met hun lengteas evenwijdig aan en dwars op de rijrichting.
- De voegen liggen op rechte lijnen.



2 Oplossingen

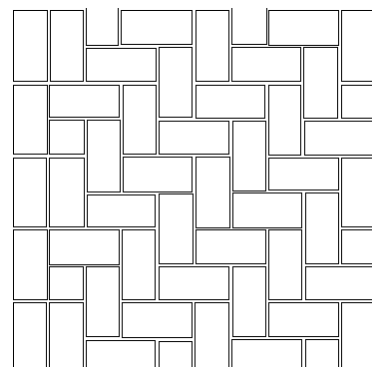
Stabiliteit van de verharding

Door het gebruiken van een aangepast legverband verhoogt de stabiliteit van de bestrating. Hiervoor moet gebruik gemaakt worden van aangepaste legverbanden (zie Tabel 2).

Tabel 2: Aangepaste legverbanden [1].

Elleboogverband

- Het elleboogverband is van toepassing op betonstraatstenen en gebakken straatstenen.
- De stenen liggen voor de helft loodrecht op en voor de helft evenwijdig aan de rijrichting.
- De voegen liggen op rechte lijnen.
- De opsluiting tegen trottoirbanden,

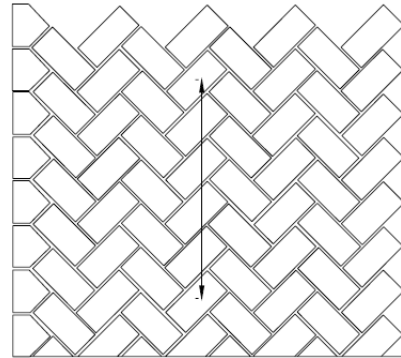


weggoten of kantstroken gebeurt met een streklaag.

- De opvulling gebeurt met geprefabriceerde halve stenen.

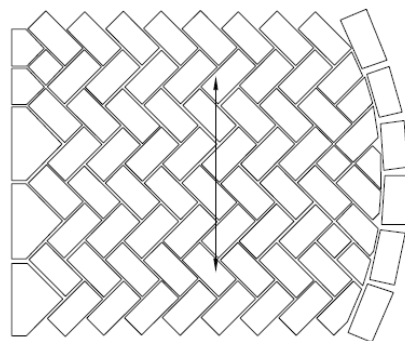
Visgraatverband

- Het visgraatverband is van toepassing op betonstraatstenen en gebakken straatstenen.
- De stenen liggen diagonaal op de rijrichting.
- De voegen liggen op rechte lijnen.
- De opsluiting tegen trottoirbanden, weggoten of kantstroken gebeurt met aangepaste geprefabriceerde vormstenen (bisschops- of kardinaalsmutsen). In bochten gebeurt de opsluiting met een streklaag.



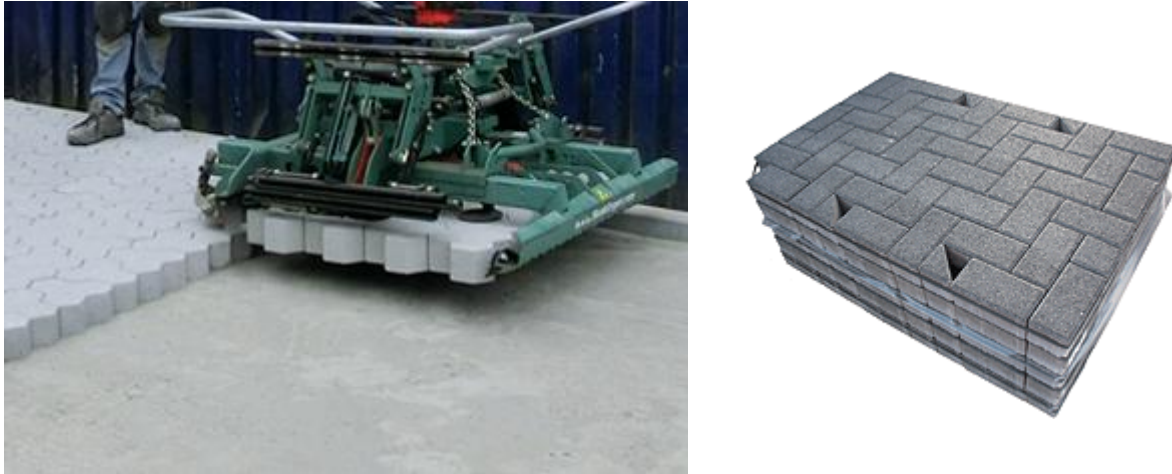
Keperverband

- Het keperverband is van toepassing op betonstraatstenen en gebakken straatstenen.
- De stenen liggen diagonaal op de rijrichting, maar 90° gedraaid t.o.v. het visgraatverband.
- De voegen liggen op rechte lijnen.
- De opsluiting tegen trottoirbanden, weggoten of kantstroken gebeurt met aangepaste geprefabriceerde vormstenen (bisschops- of kardinaalsmutsen). In



bochten gebeurt de opsluiting met een streklaag.

Een bijkomend voordeel is dat deze legverbanden bijzonder geschikt zijn voor machinale plaatsing (zie figuur 1). Hierdoor wordt het aanleggen van kleinschalige bestrating minder arbeidsintensief en tevens sneller.



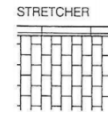
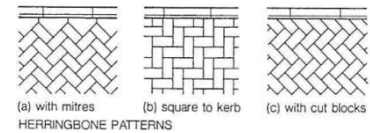
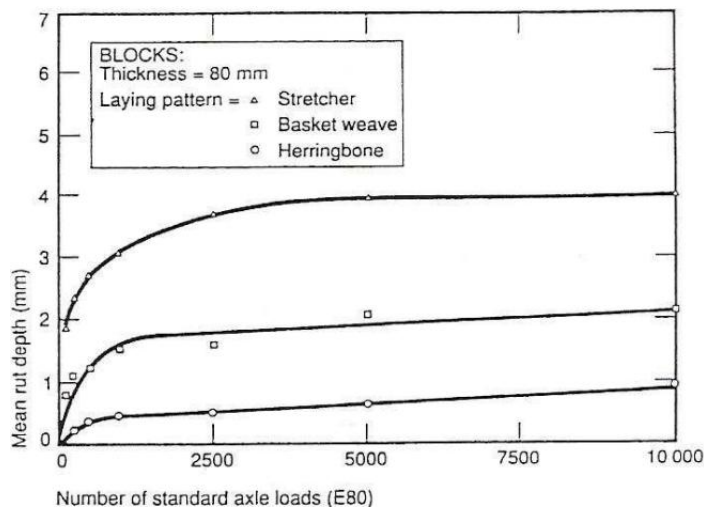
Figuur 1: Machinale plaatsing + voorgestapeld steenpakket [2].

Steenverband in functie van structurele stijfheid

De structurele stijfheid van betonstraatsteenverharding is afhankelijk van een aantal elementen. Zo moeten de fundering, de onderfundering, de straatlaag, de voegen, etc. volgens de regels van de kunst worden opgebouwd en uitgevoerd.

Betonstraatstenen zijn maatvast, wat bevorderend is wanneer men een stevig geheel wilt bekomen. Wanneer goed aangelegd, vermindert dit de kans op drukpunten, die mogelijk kunnen leiden tot beschadiging van de elementen.

Ook blijkt dat het steenverband belangrijk is voor het structureel gedrag en het tegengaan van spoorvorming bij elementverhardingen. In Figuur 2 wordt deze spoorvorming in functie van de wegbelasting voor verschillende steenverbanden weergegeven [3].



Figuur 2: Spoorvorming i.f.v. wegbelasting voor verschillende steenverbanden (herringbone patterns: keper-, elleboog-, visgraatverband; stretcher: halfsteensverband; basket weave: blokverband) [3].

Er is een duidelijk verschil in spoorvorming merkbaar tussen de verschillende verbanden. De grootste vervorming treedt op bij het halfsteensverband. De geringste spoorvorming treedt op bij gebruik van het visgraatverband, het elleboogverband of het keperverband [3].

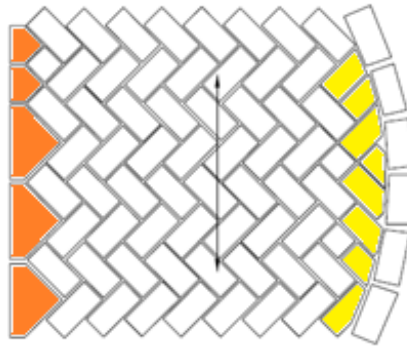
3 Het effect op duurzaamheid

Voordelen

- *Bekomen van een grotere stabiliteit:* door het gebruik van de voorgestelde steenverbanden.
- *Langere levensduur:* doordat de stabiliteit hoger is zullen de stenen op hun voorziene plaats blijven liggen en op de juiste manier belast worden zodat er minder snel schade optreedt.

Nadelen

- *Beperkte keuze van het aantal legverbanden:* Door de vooropgestelde legverbanden in het Standaardbestek 250 is de keuze aan verschillende steenverbanden beperkt. Indien gewenst, kan een ander verband voorgeschreven worden.
- *Moeilijkere kantopsluiting:* Er zijn speciale elementen nodig om de kantopsluiting te verwezenlijken (zie figuur 7).



Figuur 7: Keperverband met aanduiding van kantopsluiting [1].

In oranje: bisschop- of kardinaalsmutsen.

In geel: verzagen van stenen voor kantopsluiting.

4 Toepassing

Bij de bouw van wegsplitsingen, parkeerplaatsen, pleinen of kruispunten, kunnen er verschillende soorten steenverbanden toegepast worden. Welk soort steenverband gebruikt wordt hangt vaak af van de toepassing. Zo wordt bijvoorbeeld op wegen meestal het keperverband of soms het elleboogverband toegepast, bij parkeerplaatsen het elleboogverband. Voor voet- en fietspaden kan het blok- en halfsteensverband ook toegepast worden.

Bij tijdelijke verhardingen worden blokverbanden het vaakst gebruikt vanwege de hoge productiesnelheid. Voor het uitzicht kan er ook gewerkt worden met verschillende kleuren stenen.

5 Bronnen

[1] Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, "Standaardbestek 250 versie 2.2", 2013, Hoofdstuk 6 – Verhardingen, p. 84-85.

[2] Diamant Beton BV, "Machinaal straten".

<http://www.diamant-beton.nl/machinaalstraten/>

[3] B. Shackel, "Design and construction of interlocking concrete pavements", 1990, Elsevier Applied Science, p. 7.

http://lib.ugent.be/fulltxt/RUG01/001/311/775/RUG01-001311775_2010_0001_AC.pdf

[4] "Handleiding voor het ontwerp en de uitvoering van verhardingen in betonstraatstenen", OCW, p. 19, p. 26.

<http://www.brrc.be/publications/a/a8009.pdf>

Maatregel 3: Luchtzuiverende bestrating NO_x

1 Probleem

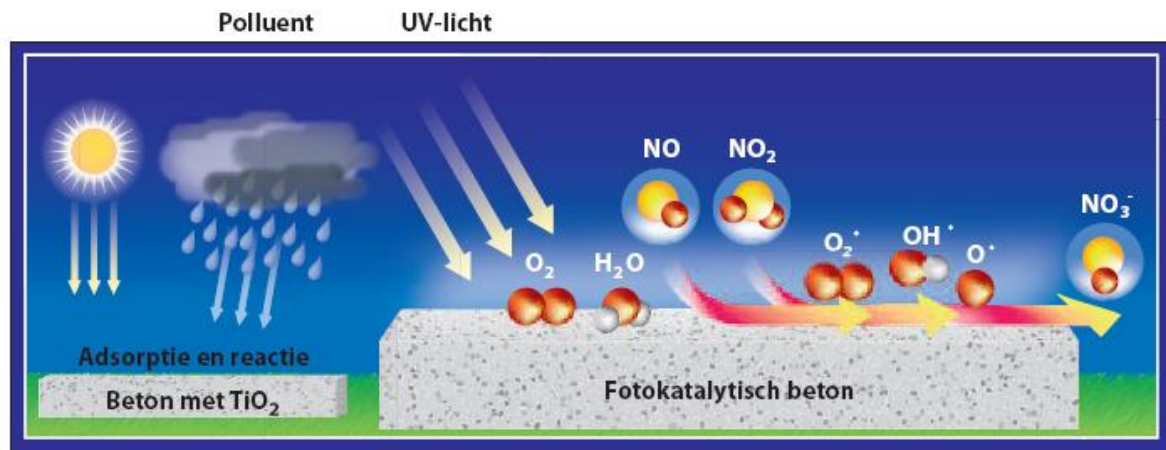
Het transport is verantwoordelijk voor een groot deel van de emissies naar de lucht. Het wegverkeer is met 87% hiervan de grootste boosdoener [1]. Er zijn verschillende soorten vervuiling, maar hier wordt er toegespitst op de NO_x (stikstofoxiden) vervuiling. Elk jaar wordt er ongeveer 22.000 ton NO_x uitgestoten in België [2]. Deze uitstoot is de oorzaak van de volgende milieueffecten, die een invloed hebben op de menselijke gezondheid [3]:

1. Vorming van troposferisch ozon of smog: dit wordt gevormd wanneer NO_x en VOCs (vluchtige organische componenten) met elkaar reageren in het bijzijn van warmte en licht.
2. Fijnstofvorming: dit wordt gevormd wanneer NO_x in contact komt met ammoniak (NH₃), vocht en andere verbindingen en hiermee HNO₃ (salpeterzuur) vormt.
3. Zure regen: dit wordt gevormd wanneer NO_x reageert met zwaveldioxide (SO₂) en andere verbindingen. Deze kunnen dan neerslaan in de vorm van zure regen.

2 Oplossingen

Gebruik van luchtzuiverende bestrating

Luchtzuiverende bestrating is zo ontworpen dat het de vervuilende NO_x (NO en NO₂) delen uit de lucht haalt en onder invloed van UV-stralen oxideert tot nitraat NO₃⁻. Hiervoor wordt titaandioxide (TiO₂) als katalysator gebruikt (Figuur 1) [4].

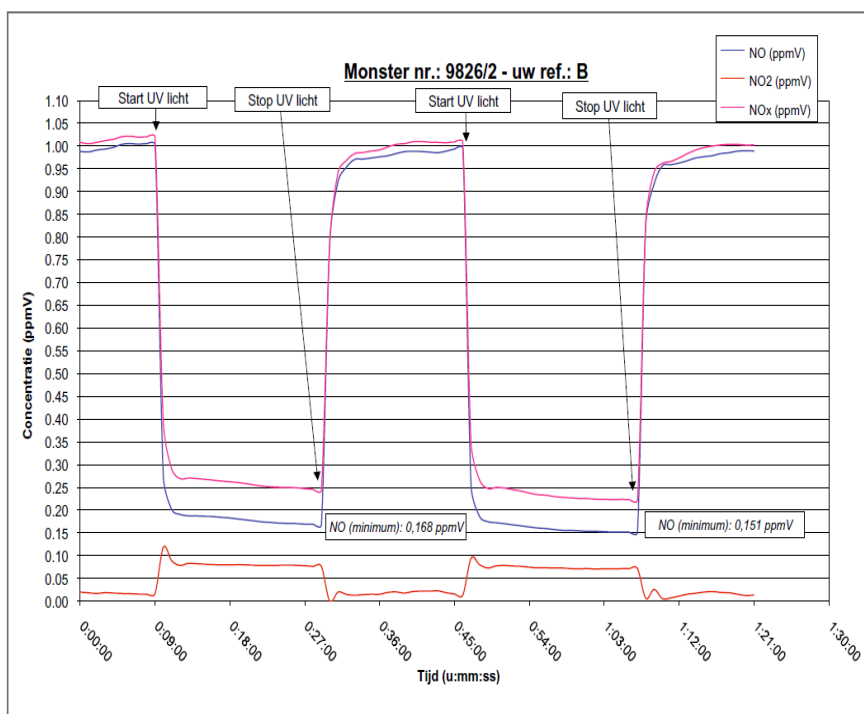


Figuur 1: Beton met titaandioxide zorgt voor een fotokatalytische werking in aanwezigheid van NO_x [4]

3 Het effect op duurzaamheid

Voordelen:

- *Filtert NO_x uit de omgeving:* Zoals hierboven te lezen valt, worden de schadelijke NO_x -delen omgezet naar nitraten. In een studie, uitgevoerd door het OCW, is een duidelijke daling van NO_x merkbaar (Figuur 2).



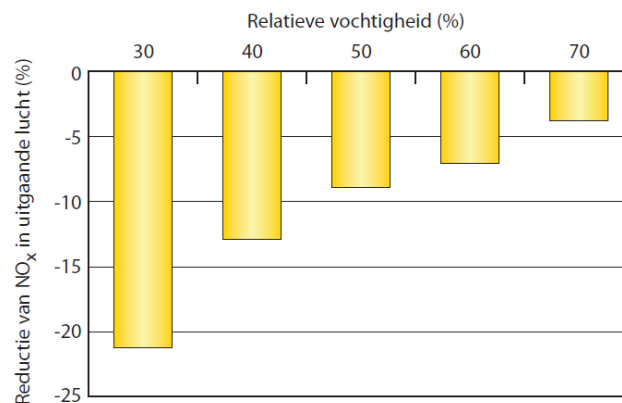
Figuur 2: Concentratie van NO_x in functie van de tijd en UV-licht. In een laboratorium laat men lucht met een bepaalde NO_x -concentratie (1ppmV) in contact komen met een luchtzuiverend oppervlak. Dit gebeurt steeds onder dezelfde temperatuur, relatieve vochtigheid, stroomsnelheid en lichtintensiteit. Vervolgens worden de concentratie aan NO_x gemeten en de reductie bepaald

[5].

- *Onmiddellijke filtering op plaatsen met een piekbelasting van NO_x* : De bestrating ligt dicht bij een grote bron van NO_x , namelijk het wegverkeer.
- *Zelfreinigende eigenschappen bij neerslag*: Wanneer het regent, kunnen de gevormde nitraten wegspoelen met de neerslag naar de ondergrond of de riolering.

Nadelen:

- *Sterk afhankelijk van de relatieve luchtvochtigheid*: Hoe vochtiger de lucht, hoe minder NO_x er wordt omgezet naar NO_3^- (zie Figuur 3) [4].



Figuur 3: Reductie van NO_x (in %) in functie van de relatieve vochtigheid [4].

- *Regen nodig voor reiniging van de stenen*: Het omzetten tot nitraten gebeurt aan het oppervlak van de bestrating. Als deze verzadigd geraakt, vermindert de werking ervan. Bij regen spoelen de gevormde nitraten weg en verbetert de werking opnieuw.
- *Meerkost van $\pm 6 \text{ euro/m}^2$ ten opzichte van een standaard onbehandelde deklaag* [6].
- *Kleurveranderingen van de wegbekleding*: Het gebruikte witte pigment TiO_2 zorgt ervoor dat zwarte kleuren lichter worden. Indien men zo zwart mogelijke betonstraatstenen wilt, is dit door het witte pigment niet mogelijk.

4 Toepassing

Er zijn verschillende proefvakken aangelegd, onder andere in België, om de in situ werking van de fotokatalytische materialen beter te kunnen bestuderen. Zo

zijn er proefprojecten aangelegd op de Antwerpse leien, de Leopold II-tunnel in Brussel en op een industrieterrein in Wijnegem [7].

De conclusie van deze testvakken is dat er zeker potentieel is tot het terugdringen van luchtverontreiniging. In het labo is de efficiëntie reeds aangetoond. De vele parameters maken het in situ meten moeilijk, maar de resultaten van bijvoorbeeld het testvak op het industrieterrein van Wijnegem zijn een indicatie dat deze techniek mogelijk een toekomst heeft.

Voor meer info over deze casestudies wordt verwezen naar [7].

Ook in andere landen zijn er reeds onderzoeken gedaan naar de werking van het fotokatalytisch materiaal. In Louisiana, Verenigde Staten, is een case study uitgevoerd waar een fotokatalytische coating op een asfaltoppervlakt is gespoten. Ook hier zijn de resultaten positief maar er wordt gesuggereerd dat er meer onderzoek moet gedaan worden naar de werkingsduur van het product en de invloed van de verschillende variabelen.

Voor meer info over deze case studies zie bron [8].

5 Bronnen

[1] C. De Geest, "Achtergronddocument sector transport", 2010, Milieurapport Vlaanderen MIRA, p. 49.

http://www.milieurapport.be/Upload/main/0_achtergronddocumenten/2011/AG2010_transport_TW.pdf

[2] S. Logghe, F. Vanhove, "Het Belgische verkeer in cijfers", 2004, Transport & Mobility Leuven, p. 4.

http://www.tmleuven.be/project/verkeersindices/200401_artikel.pdf

[3] H. Eskens, "Stikstofoxide en gezondheid", KNMI, [online] www.KNMI.nl

[4] A. Beeldens, E. Boonen, "Fotokatalyse bij het OCW: de luchtzuiverende weg op", 2011, Mededeling 88, OCW, p. 4, p. 6.

<http://www.brrc.be/pdf/mededelingen/med88t.pdf>

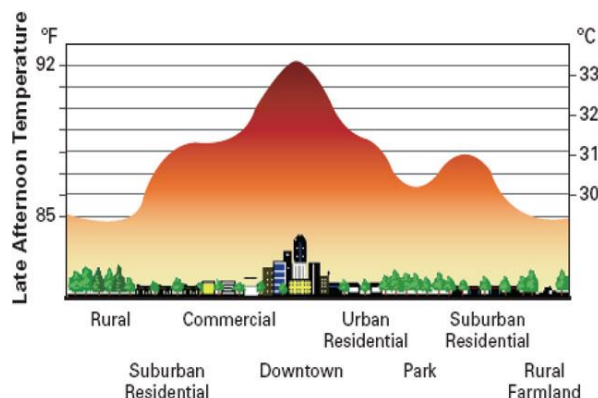
- [5] Stradus Infra, "D-NO_x luchtzuiverende bestrating", p. 3.
http://www.stradusinfra.be/content/stradusinfra/uploads/docs/Brochure%20D-NOx_NL_DEF_web.pdf
- [6] Interview Frank Gendera, EBEMA, 19 februari 2013.
- [7] A. Beeldens, E. Boonen, "Fotokatalyse: de luchtzuiverende weg", OCW.
http://www.brrc.be/pdf/congress2013/Abstract_I.5.3.pdf
- [8] M. Hassan, A. Okeil, "Field and Laboratory Investigation of Photocatalytic Pavements", Gulf Coast Research Center for Evacuation and Transportation Resiliency, 2011.

Maatregel 4: Zonreflecterende bestrating

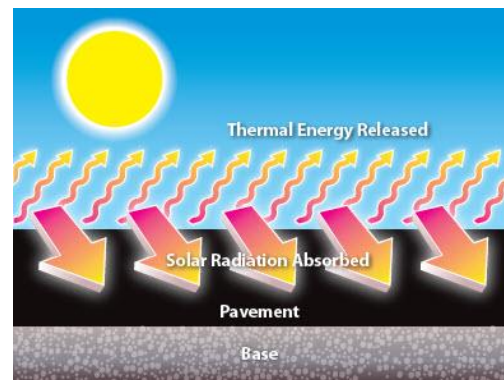
1 Probleem

Materialen absorberen energie (fotonen) die wordt uitgezonden door de zon (zie Figuur 2). In de materialen kan deze energie omgezet worden in verschillende vormen. De meest voorkomende omzetting is deze van fotonen in warmte met als gevolg het opwarmen van de materialen en een temperatuurstijging in hun directe omgeving. Dit fenomeen is beter gekend als hitte-eilandeffect (zie Figuur 1). Donkere materialen hebben een kleinere reflectiecoëfficiënt dan lichtgekleurde materialen, waardoor zij sneller opwarmen.

In Vlaanderen neemt het totale transportnetwerk een grote oppervlakte in, namelijk zo'n 5,5% van de totale Vlaamse oppervlakte of zo'n 74.383 ha. Deze grote oppervlakte absorbeert of reflecteert zonnestrallen met een bepaald albedo of een bepaalde reflectiecoëfficiënt. Het feit dat wegenissen meestal bestaan uit donkere materialen, speelt dan ook een belangrijke negatieve rol in deze opwarming.



Figuur 1: Het hitte-eilandeffect [2].

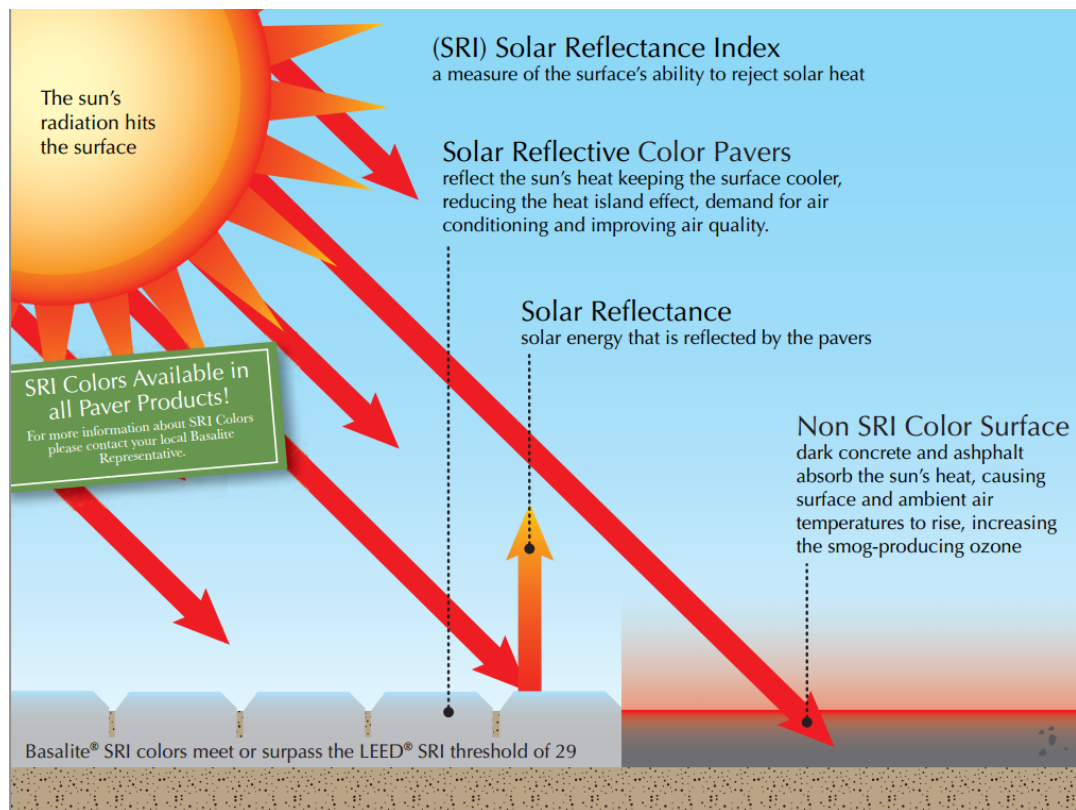


Figuur 2: Het opwarmen van materialen door invallen van de zonnestrallen [3].

2 Oplossingen

Gebruik maken van materialen met een hoge reflectiecoëfficiënt. Materialen met een lage reflectiecoëfficiënt zetten een deel van de opgenomen energie om in warmte. Er zal dus meer warmte worden vrijgegeven, indien het materiaal meer energie opneemt. Het gebruik van materialen met een goede reflectiecapaciteit, minstens 29 (voor zwart is dit 0 en voor wit 100), kan voor dit probleem dus een oplossing bieden (zie Figuur 3). Het gebruik van bijvoorbeeld lichtgekleurde

bestrating of grasdallen (door de grote openingen en beperkt oppervlak aan beton) kan hieraan tegemoet komen.



Figuur 3: De Solar Reflectance Index (SRI) geeft de reflectiecapaciteit van een oppervlakte weer, waarbij 0 zwart (geen reflectie) en 100 wit (volledige reflectie) voorstelt [4].

3 Het effect op duurzaamheid

Voordelen:

- *Daling van de temperatuur in dichtbebouwde gebieden:* Wanneer er meer zonnestralen gereflecteerd worden, wordt er minder warmte vrijgegeven en is er dus minder opwarming.
- *Daling van het energieverbruik door minder nood aan koeling:* Hoe koeler de buitenomgeving is, hoe minder de binnenruimtes opwarmen en hoe minder koeling er bijgevolg nodig is om de gewenste temperatuur te bekomen. Een koelere buitenomgeving bekomen kan eventueel door gebruik te maken van zonreflecterende bestrating.
- *Verbetering van de luchtkwaliteit:* Wanneer het minder warm is, ontstaat er minder fotochemisch smog.

Nadelen:

- *Een groot oppervlak moet hoog reflecterend zijn*: Een groot deel van het verharde oppervlak moet een hoge reflectiecoëfficiënt hebben om een verschil te kunnen maken.

4 Toepassing

In Athene werd het Flisvos park heraangelegd. De oorspronkelijke asfaltverharding werd vervangen door 4200 m² zonreflecterende bestrating. Voor de heraanleg werden metingen uitgevoerd naar de omgevingstemperatuur, windsnelheden en luchtvervuiling. Deze metingen zijn ingevoerd in een rekenmodel. Dezelfde metingen werden uitgevoerd na aanleg van de zonreflecterende bestrating en vervolgens ook ingevoerd in dit rekenmodel. Hiermee konden de twee dan vergeleken worden met elkaar.

Er werd gevonden dat onder bepaalde omgevingscondities de omgevingstemperatuur daalt met 1,9 °C en dat de oppervlaktetemperatuur wordt gereduceerd met 12 °C.

Voor meer info over deze case study zie bron [5].

5 Bronnen

[1] C. De Geest, "MIRA achtergronddocument 2010 Transport", 2010, Vlaamse Milieumaatschappij, p. 33.

http://www.milieurapport.be/Upload/main/miradata/MIRA-T/01_sectoren/01_06/AG_transport.pdf

[2] "Urban heat Island Effect", [online],
<http://www.southwesturbanhydrology.com/urbanization-concerns/urban-heat-island-effect/>

[3] "Enjoy cool surfaces, cool cities", [online],
<http://www.neyra.com/products/sunshield/#!prettyPhoto/2/>

[4] Basalite® Concrete Product, "Solar reflective colors", 2010, p. 3.
http://basalite.com/documents/ca/Brochure-DownloadFile-60_SRI%20Brochure.pdf

[5] M. Santamouris, N. Gaitani, A. Spanou, M. Saliari, K. Giannopoulou, K. Vasilakopoulou, T. Kardomateas, "Using cool paving materials to improve

microclimate of urban areas e Design realization and results of the flisvos project", 2012, Building and Environment.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132312000376/pdf?md5=a2e87bb60364746de9f7d7d3257468cc&pid=1-s2.0-S0360132312000376-main.pdf>

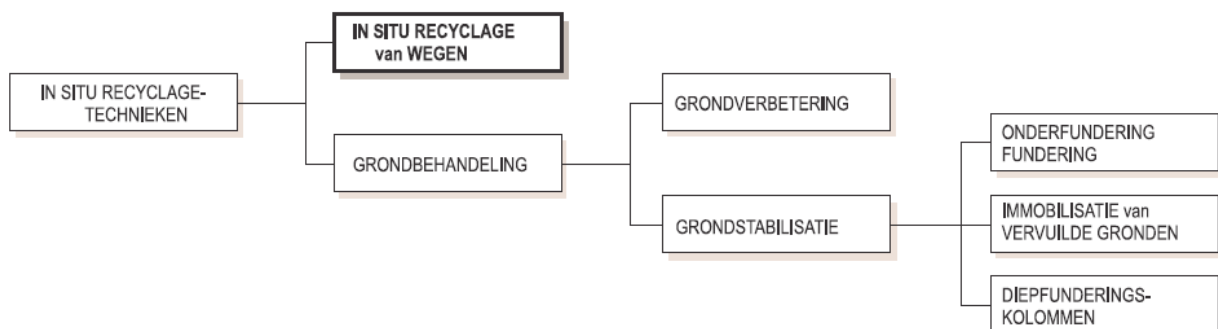
Maatregel 5: Grondbehandeling en toepassing van secundaire materialen

1 Probleem

De ondergrond verschilt sterk van werf tot werf. Een goede stabiele ondergrond bekomen is dan ook niet vanzelfsprekend. Door het verbeteren of stabiliseren van de ondergrond wordt de kans op degradatie van de weg door het verzakken van de ondergrond kleiner. Maar toch zien we nog regelmatig degradatie van oppervlakken ten gevolge van slechte ondergrond. Het is dus bijgevolg interessant om dit op te nemen bij het ontwerp.

2 Oplossingen

Figuur 1 beschrijft twee verschillende mogelijkheden voor de verbetering/stabilisatie van de ondergrond. De eerste mogelijkheid bestaat eruit de grond te behandelen, totdat er aan de gestelde eisen is voldaan. Een tweede mogelijkheid is het gebruik maken van secundaire materialen.



Figuur 1: In situ recyclagetechnieken [1].

Grondbehandeling

Grondverbetering past men toe op leem- en kleigronden (zie Figuur 2). Het is belangrijk om een goede kennis te hebben van de aanwezige ondergrond. Afhankelijk van dit onderzoek zal de grond op verschillende manieren bewerkt worden.



Figuur 2: Grondverbetering toegepast in de praktijk [2]. Voorbereiden, strooien, mengen, beluchten en verdichten van de grond.

Er zijn ook verschillende bindmiddelen mogelijk. De meest gebruikte zijn kalk, cement of een mengeling van deze twee. Wanneer deze in situ worden ingemengd, is het mogelijk om grond van mindere kwaliteit toch te gebruiken. Door deze techniek moet er dan geen grond getransporteerd worden.

Het bewerken van de grond gebeurt in verschillende stappen:

1. voorbereiding van de grond

Bij bepaalde grondsoorten is een goede voorbereiding van de grond van belang. Een goede voorbereiding richt zich op twee zaken, namelijk: loswoelen en bevochtigen. Het loswoelen zal het mengen in, stap drie, vergemakkelijken. Het bevochtigen gebeurt om een gelijkmatige vochtigheid te verkrijgen over de te behandelen dikte.

2. Strooien/spreiden van bindmiddel

Bij het strooien wordt gebruik gemaakt van een gesloten laadbak. Deze kan zelfrijdend zijn of voortgetrokken worden. Het behandelingsmiddel komt langs de achterkant uit de laadbak en wordt verspreid over de grond. Bij het strooien moet er gelet worden op een goede dosering van het behandelingsmiddel.

3. Mengen

Bij stap drie wordt het bindmiddel op gelijkmatige manier over de te behandelen dikte gemengd. Afhankelijk van de grondsoort, de aard en de grootte van het

werk wordt de optimale mengmachine gekozen. Het mengen gebeurt best zo snel mogelijk na het strooien van het behandelingsmiddel.

4. Ventilatie

Voor de ventilatie moet er een onderscheid gemaakt worden tussen grondbehandeling met kalk en met cement.

De met kalk bewerkte gronden kunnen zolang de weersomstandigheden en de voortgang van de werkzaamheden het toelaten blootgesteld blijven aan de buitenlucht. Op het einde van de werkdag moet deze wel verdicht worden.

De gronden die bewerkt zijn met cement mogen niet zolang ventileren door de korte verwerkbaarheid van het cement. Deze gronden moeten ten laatste twee uur na het inmengen verdicht worden.

5. Verdichten

Nadat de gronden genivelleerd zijn, worden deze verdicht. Het verdichten moet in laagdiktes gebeuren die de verdichtingmachines aankunnen. Het doel is om na het verdichten een droge dichtheid te bekomen die tussen 95% en 100% van de in het laboratorium gevonden dichtheid ligt [3].

Secundaire materialen

In het verleden werden bij de renovatie van wegenissen de bestaande funderingen en de bovenlagen opgebroken en afgevoerd naar stortplaatsen. Tegenwoordig beoogt men deze materialen te recyclen. De opgebroken materialen worden gebroken en gezeefd om zo gerecycleerd te worden voor de fundering (Figuur 3). Dit breken en zeven kan gebeuren op vaste locaties. Meer en meer gebeurt dit echter ook in situ met behulp van een mobiele breker om op die manier onnodig transport te voorkomen. Er zijn verschillende soorten brekers, namelijk de percussie- en de kaakbreker. Sommige machines hebben ook de optie om bepaalde korrelgroottes te bekomen. Ook kan er gebruik gemaakt worden van een mobiele zeefinstallatie om de verschillende korrelgroottes van elkaar te scheiden. Daarna kunnen de verschillende fracties terug worden samengevoegd in de juiste hoeveelheid om zo het ideale mengsel te bekomen voor gebruik.



Figuur 3: Mobiele betonbreker [4].

3 Het effect op duurzaamheid

Voordelen

- *Vermindering van het gebruik van eindige primaire materialen door recyclage/verbetering:* Wanneer de materialen gerecycleerd worden, dienen er minder nieuwe materialen aangevoerd te worden.
- *Verminderde transportoverlast:* Door het in situ breken en hergebruiken van materialen moet er minder naar vaste brekers, naar verwerkingsinstallaties en/of naar stortplaatsen gereden worden. Dit geldt ook voor in situ grondverbetering: er moet geen grond aangebracht of weggereden worden.
- *Vermindering gestort materiaal:* Dit brengt lagere storkosten met zich mee en tevens een lagere milieu-impact.

Nadelen

- *Technische eisen van de recyclagematerialen:* Gezien men werkt met recyclagemateriaal, moet men de eigenschappen goed controleren, opdat ze voldoen aan de gestelde eisen.
- *Mogelijke geluidsoverlast* bij het in situ breken, verbeteren van de grond.
- *Kans op vervuiling:* Indien men niet beschikt over voldoende voorkennis van de ondergrond, bestaat het risico op voortzetting van historische vervuilingen. Wanneer de oorspronkelijk gebruikte grond vervuild zou zijn

en deze hierop niet voldoende wordt gecontroleerd, is het mogelijk dat deze vervuiling wordt meegenomen bij het hergebruik van de materialen.

- *Grondverbetering moet mogelijk en rendabel zijn:* niet alle gronden zijn even gemakkelijk te verbeteren. Hierdoor kan het verbeteren van de grond soms duurder uitkomen dan het uitgraven en terug aanvoeren van nieuwe grond.

4 Toepassing

In situ grondverbetering wordt reeds regelmatig toegepast. Een reden hiervoor is dat, afhankelijk van de aard en de samenstelling van de grond, het goedkoper is dan de grond uit te graven en af te voeren.

Bij een project in Waregem was de kost van het in situ toevoegen van 3% kalk-/cementmengsel over een diepte van 30cm 6,83€/m³. Wanneer de aanwezige grond afgevoerd en vervangen zou worden door nieuwe grond zou dit 25,81€/m³ kosten. Hierin speelt de transportkost voor het aan- en afvoeren van de grond een grote rol. Bovendien verhoogt dit de uitstoot van schadelijke stoffen. Voor meer info over deze case studie wordt verwezen naar bron [5].

5 Bronnen

[1] L. Rens, "In situ recyclage van wegen met cement", 2003, Febelcem, p. 2

http://www.febelcem.be/fileadmin/user_upload/dossiers-ciment-94-08/nl/30_nl.PDF

[2] M. Lerat, "Grondstabilisatie en grondrecyclage met kalk", p. 1

http://www.kalkflash.be/Brochure_Stabilisatie.pdf

[3] Werkgroep APPD.4, "Handleiding voor grondbehandeling met kalk en/of hydraulische bindmiddelen", OCW, 2010, p 61.

<http://www.brrc.be/publications/a/a8110.pdf>

[4] Naessens Hydraulics, betonbreker, [online]

<http://naessenshydraulics.com/tag/betonbreker>

[5] B. Voeten, "Grondbehandeling, kalk of cement", XIOS Hogeschool Limburg, 2010, p 85.

http://doks.xios.be/doks/do/files/FiSe8ae57e8c2bbeaafb012bd382918c002b/200700445_10.pdf?recordId=Sxhl8ae57e8c2bbeaafb012bd382918c002a

Maatregel 6: Lichtere materialen

1 Probleem

Het transport heeft een grote impact op het milieu. Per jaar worden er 22.000 ton stikstofoxiden (NO_x) en 3.800 ton vluchtige organische componenten uitgestoten [1]. Hier bovenop komen er nog 1.300 ton fijne stofdeeltjes vrij. Vrachtwagens nemen het grootste deel voor hun rekening: zij zijn verantwoordelijk voor ongeveer de helft van deze uitstoot, terwijl ze minder dan 15% van alle kilometers afleggen. Hoe minder transport, hoe beter dus. Betonproducten zijn erg zwaar, zodat er maar een beperkt aantal producten per keer kan getransporteerd worden. Dit kan resulteren in een groot aantal gereden kilometers.

2 Oplossingen

Gebruik van lichtere materialen

Stel dat we hetzelfde product met dezelfde eigenschappen zouden kunnen maken, alleen een aantal procent lichter. Dit zou resulteren in een groter aantal producten per vracht, zodat het uiteindelijke aantal vrachten daalt. Minder verreden kilometers betekent minder kosten en minder uitstoot voor hetzelfde project.

Een voorbeeld hiervan is Bleijko light. Hun producten zijn 15 à 20 % lichter dan de vergelijkbare standaardproducten. De producten kunnen de vorm aannemen van zowel banden, stenen als tegels [2].

Bleijkolight®



Ook met gewichtsreductie voldoen deze elementen aan de eisen van KOMO en DUBOkeur. KOMO is een Nederlands keurmerk, dat waakt over de kwaliteitseisen van een product. DUBOkeur daarentegen waakt over de milieuvriendelijkheid van producten.

Een ander voorbeeld is LightRoc, een betonsoort, waarbij het gebruik van zand en grind deels vervangen wordt door lichtgewicht granulaten uit geëxpandeerde en gebakken klei, waardoor er een belangrijke reductie van het gewicht bekomen



wordt. Er wordt een reductie bekomen van gemiddeld 2350 kg/m³ naar 2000 kg/m³ bij licht beton. Toepassingen van dit product zijn reeds terug te vinden bij de renovatie van bruggen en parkings [3].

3 Het effect op duurzaamheid

Voordelen:

- *Mogelijke daling van transportkosten door lichtere lading:* Hoe minder er moet gereden worden om de materialen op de daartoe voorziene plaatsen te krijgen, hoe minder transportkosten er zullen zijn. De voorwaarde is dat het volume van de getransporteerde goederen het toelaat om meer materialen te transporteren met één lading.
- *Daling van schadelijke uitstoot:* Wegens verminderd transport zal er ook minder uitstoot van schadelijke gassen zijn.

Nadelen:

- *Inboeten aan sterkte:* Men moet nauwgezet controleren dat de vooropgestelde sterkte behouden wordt.

4 Bronnen

[1] S. Logghe, F. Vanhove, "Het Belgische verkeer in cijfers", 2004, Transport & Mobility Leuven, p. 4.

http://www.tmleuven.be/project/verkeersindices/200401_artikel.pdf

[2] Bleijkolight, "Duurzaam, esthetisch, veelzijdig en arbo-proof".

<http://www.bleijko.be/pdf/0902BLE002+PMS+Light.pdf>

[3] Holcim, "LIGHTROC, structureel beton met lichte granulaten".

http://www.holcim.be/fileadmin/templates/BE/doc/Produits_et_services/beton/catalogue/Fiche_Holcim_Beton_Belgie_Lightroc.pdf

Maatregel 7: Intelligente straatverlichting

1 Probleem

Voor de verlichting van ons kilometerslange wegennet is heel wat elektriciteit nodig. In heel wat gemeenten en steden is de straatverlichting verantwoordelijk voor 50% van het elektriciteitsverbruik [1]. Voor het opwekken van deze elektriciteit hebben we energie nodig. Net met deze energie willen we zo spaarzaam mogelijk omgaan.

2 Oplossingen

Licht doven

Deze oplossing wordt nu reeds op vele plaatsen toegepast tijdens de nacht, waaronder in België. Op een bepaald tijdstip, afhankelijk van de natuurlijke lichtintensiteit, worden de lichten volledig gedoofd op de meeste snelwegen. Het voordeel hiervan is dat er geen energie verbruikt wordt. De keerzijde is dat het minder aangenaam en veilig is om te rijden. Uit onderzoek is gebleken dat verlichting over het algemeen een gunstig effect heeft op de verkeersveiligheid [2]. Wanneer voorheen onverlichte straten verlicht worden, blijkt dit een gunstig effect te hebben op de verkeersveiligheid [2]. Ook zorgt verlichting ervoor dat de zwakke weggebruiker sneller gezien wordt.

Licht op aanvraag

Met de hedendaagse technologie zouden er ook andere mogelijkheden kunnen worden toegepast. Zo kan men bijvoorbeeld een "slim" lichtnetwerk maken. Dit zou op verschillende manieren geconfigureerd kunnen worden. Hieronder volgen enkele mogelijkheden.

Licht aanvragen met behulp van de GSM [3]

De eerste mogelijkheid bestaat eruit dat je het licht echt moet aanvragen. Eerst moet het centrale systeem weten waar er licht moet zijn, vooraleer men het kan aan doen. Op elke verlichtingspaal staan hiervoor een telefoonnummer en een code. De gebruiker moet eerst naar het nummer bellen, dit is een oproep naar een computer. Dan moet de gebruiker de code ingeven, die op de lamp staat, zodat het systeem weet welke lampen moeten worden aangedaan. De computer stuurt een signaal, dat de lampen aansteekt op de aangevraagde plaats. Het aanschakelen van de verlichting neemt slechts twee seconden in beslag na het

doorgeven van de code. Dit systeem werd voor het eerst toegepast in Dörentrup in Duitsland. Een mogelijke variant op deze toepassing is het gebruiken van een SMS systeem.



Figuur 1: Licht op aanvraag met behulp van de GSM [4].

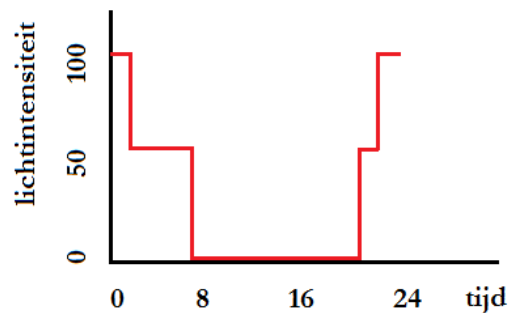
Op deze wijze zou het ook technisch mogelijk zijn de gebruiker te laten mee betalen voor gebruik. Maar heden is dit vermoedelijk niet haalbaar voor straatverlichting, aangezien men dan moet betalen voor zijn veiligheid. Eventueel is dit wel toepasbaar op verlichting bij sportterreinen en speelterreinen. Een voorloper hiervan is het betalen voor verlichting van monumenten en kerken met muntautomaten.

Lichten dimmen

Een tweede mogelijkheid bestaat eruit de lichten te laten dimmen op bepaalde tijdstippen. Als men een bestaande lichtreeks wil dimmen, zal men in elke lamp iets moeten installeren en aansluiten zodat de verlichting tot op een juist niveau kan gedimd worden. Nu zijn er twee mogelijkheden: werken met een vaste programmatie of het lichtnet dynamisch aanpassen.

Lichten dimmen met vaste programmatie (statisch)

Bij vaste programmatie stelt men eenmaal in wanneer de verlichting aan moet gaan en op welk niveau. Hierna zijn deze instellingen niet meer van op afstand aan te passen, enkel nog ter plekke. Een voorbeeld van zulk een configuratie is terug te vinden in Figuur 1. Wanneer het schemerdonker is, moet de lichtintensiteit niet 100% zijn, maar wel bijvoorbeeld 55%. Wanneer het dan donkerder wordt, kan men overgaan naar de maximum lichtintensiteit. Ook kan de verlichting volledig worden uitgeschakeld vanaf een bepaald moment, indien men dit wenst.



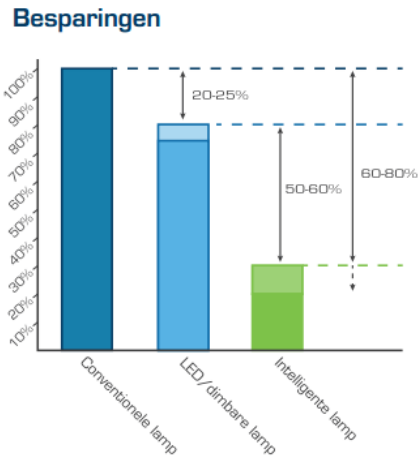
Figuur 1: Evolutie van de lichtintensiteit over 24 uur tijd door vaste programmatie.

Lichten dimmen met variabele programmatie (dynamisch)

Bij gebruik van dynamische programmatie bestaat er de mogelijkheid om de ingestelde lichtintensiteit te veranderen afhankelijk van de actuele situatie. Zo moet de lichtintensiteit niet elke nacht dezelfde zijn, maar is deze afhankelijk van verschillende factoren. Deze zijn de hoeveelheid dag/nachtlicht, de weersomstandigheden, de verkeerssituatie, speciale evenementendagen,

Bepalen wanneer de lampen moeten aangaan kan zowel met statische gegevens als met dynamische gegevens. Het is mogelijk om de lampen steeds om bijvoorbeeld 20.00 uur te laten aangaan, maar een lichtsensor bepaalt dan welke lichtintensiteit nodig is.

Wanneer men bij dit systeem dimt met vaste programmatie, is er een energiebesparing mogelijk. Bij toepassing op hogedruk-natriumlampen kan deze energiebesparing oplopen tot 15 %, wanneer men de lampen tot 50% dimt gedurende de helft van de nacht (zie figuur 2) [5]. Het nadeel van deze hogedruk-natriumlampen is dat het dimmen ervan even tijd in beslag neemt. Wanneer men met een dynamische aansturing van de lampen zou werken, moet men ook steeds kijken of de lamp hiervoor in aanmerking komt. Dit is nodig omdat er dan verwacht wordt dat de lamp op relatief snelle tijd van lichtintensiteit kan veranderen en dit is niet altijd het geval.



Figuur 2: Mogelijke energiebesparingen wanneer er gewerkt wordt met nieuwe technieken [6].

Een tweede mogelijkheid bestaat erin om lampen met sensoren uit te rusten, zodat de lichten aangaan wanneer iemand aanwezig is. Deze sensoren detecteren dan aankomende bestuurders, fietsers, voetgangers, ... en laten op deze manier de straatverlichting aangaan. Het nadeel van dit systeem is dat de lampen niet "slim" zijn. De lamp kan bijvoorbeeld niet weten of er een andere auto aankomt buiten het bereik van de sensor. Zo kan het zijn dat de lamp slechts voor enkele seconden wordt uitgeschakeld, wat natuurlijk niet ideaal is. Beter zou zijn als de lampen onderling konden communiceren of in contact stonden via een centraal besturingssysteem. Dit brengt ons tot de volgende mogelijkheid.

Sensoren en onderlinge communicatie tussen lampen

De derde mogelijkheid gebruikt eveneens sensoren om het aankomende verkeer te detecteren, maar nu communiceren de verschillende lichtpunten ook met elkaar. Zo is het mogelijk om het systeem gebruiksvriendelijker te maken. Nu kan een lichtpunt doorgeven aan een ander dat er een auto aankomt, die de sensor nog niet kan zien. Dit zorgt ervoor dat het onnodig uit- en aangaan van een lamp wordt tegengegaan (Figuur 3).



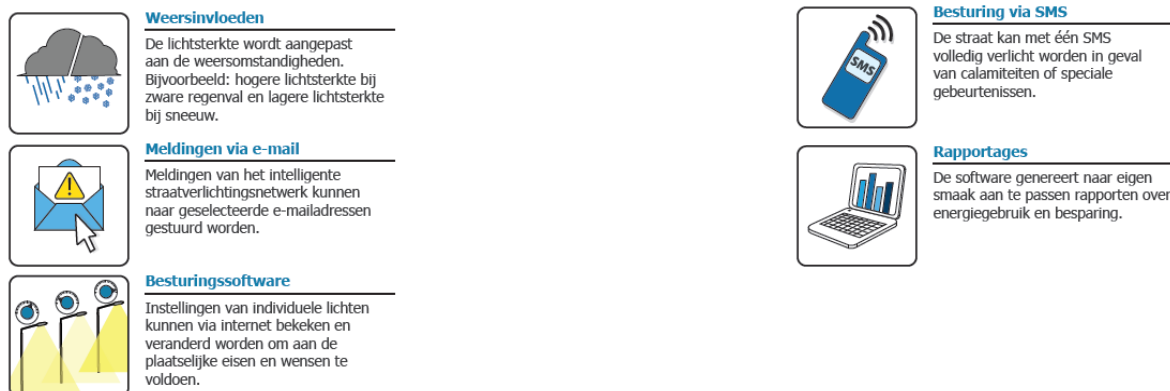
Dynamisch verlichten

Tijdens daluren dimt de verlichting naar vooraf ingestelde niveaus. Wanneer een verkeersdeelnemer wordt gedetecteerd, wordt zijn omgeving rondom volledig verlicht.



Robuust

De lichten gaan naar de standaard modus (volledige lichtsterkte) indien er problemen optreden in het intelligente systeem.



Figuur 3: Eigenschappen van verlichting met sensoren en onderlinge communicatie [6].

3 Eventuele toekomstige toepassingen

Licht op aanvraag via smartphone

Een mogelijkheid zou erin bestaan te werken met de smartphone voorzien van GPS en datacommunicatie. De smartphone weet op enkele meters na waar iemand zich juist bevindt en kan deze informatie doorgeven aan een centraal computersysteem. Deze informatie kan dan doorgegeven worden aan de lichtpunten. Zo kunnen de nodige lichten worden ontstoken op het juiste tijdstip.

Verder is het mogelijk te weten wie wanneer en waar de lichten doet branden. Dit heeft als voordeel dat met dit systeem er afhankelijk van de gebruiker de mogelijkheid zou bestaan tot het instellen van een gewenste lichtintensiteit. Echter, het nadeel is dat dit misschien niet strookt met de privacywetgeving en niet iedereen in het bezit is van een smartphone.

Voor zover geweten, is dit systeem nog nergens toegepast, maar zou het op termijn haalbaar kunnen zijn.

4 Het effect op duurzaamheid

Voordelen:

- *Besparingen*: Energiebesparing mogelijk tot 80% [7] op de elektriciteitsrekening en een daling van 50% op de onderhoudskost door de langere levensduur van de LED verlichting [1].
- *Verlaging van de CO₂ uitstoot*: Aangezien er tot 80% minder energie verbruikt wordt, moet deze energie ook niet meer opgewekt worden. Dit bespaart kostbare brandstoffen.

- *De gebruiker betaalt*: De technische mogelijkheid bestaat om de gebruiker te laten betalen voor het gebruik. Hoe dit juist in zijn werk kan treden, kan zaak per zaak bekeken worden.
- *Actief beheer mogelijk*: De verlichting kan actief beheerd worden bij een dynamisch systeem. Dit drukt de kosten, aangezien de lampen langer meegaan en men zich niet moet verplaatsen om de lampen te controleren.

Nadelen:

- Aan- en uitgaan van lichten kan storend zijn voor omwonenden, echter blijkt dit mee te vallen.
- De gevoeligheid van de detectoren kan onnodig aangaan van de verlichting veroorzaken.

5 Toepassing

Het gebruik van ledverlichting heeft zijn nut al bewezen in verschillende proefprojecten. Zo is in Sint-Truiden een project uitgevoerd waar het verbruik met 17,5% zakte. Voor meer info over deze case studies wordt verwezen naar bron [8]. Wanneer er bijkomend gebruik wordt gemaakt van de mogelijkheid tot dimmen of intelligent aansturen van de lampen, bv. met bewegingssensor of lichtsensor, kan de energiebesparing nog verhogen tot zelfs 80%. In Ieper is een dergelijk project uitgevoerd. Voor meer info over deze case studies wordt verwezen naar bron [8]. Ook in het Nederlandse Nuenen is er al een project geweest van TVILights. Voor meer info over deze case studies wordt verwezen naar bron [9].

Document [10] is bijzonder interessant. Dit betreft een samenvatting van testprojecten in verschillende Europese landen. Zo is er een testproject in Zele terug te vinden. In figuur 4 zijn de resultaten van dit project weergegeven.

2. **Zelee, Belgium**

(Lighting control in street lighting – An overview of the state of the art in technology and application – Authors: Dr.Nguyen van Tien –Institute of Materials Science, VAST Hanoi, Vietnam Email:

THANGLONGNEON@HN.VNN.VN

Mr.Yodsak Unhavaithaya –Meridian Technologies Co., Ltd

Dr.Nguyennang Dinh – Institute of Materials Science, VAST, Hanoi, Vietnam)

Location:	Zelee, Belgium
The overall installed power	1,008 KW
Type of controller:	Dimming electronic ballast with IDM
Manufacture:	Verdeyen N.V
Quantity of used controllers:	60
Annual energy consumption KWh:	4,231kwh
Reduced annual energy consumption KWh:	2,943.4kwh:
Annual energy saving KWh:	12,876
Annual energy saving %:	30%

Figuur 4: Resultaten van een test project met intelligente straatverlichting in Zelee [9].

6 Bronnen

[1] TU Delft, 2011, "Intelligente straatverlichting TU Delft".

http://www.youtube.com/watch?v=09AcX_LBQYI

[2] Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid, "openbare verlichting", 2011, p. 2-3.

http://www.swov.nl/rapport/Factsheets/NL/Factsheet_Openbare_verlichting.pdf

[3] A. Zammert, J. Ewing, Bloomberg businessweek.

http://www.businessweek.com/globalbiz/content/jul2009/gb2009072_088382.htm

[4] C. Lepisto, "On Call Street Lights", 2009.

<http://www.treehugger.com/clean-technology/on-call-street-lights-light-by-phone-saves-energy-and-city-budgets.html>

[5] J. T'Jonck, "Dagdeel 4", 2012, Infrax, p. 29.

http://www.west-vlaanderen.be/kwaliteit/Leefomgeving/milieu/psh/lichtvisie/Documents/Infrax_JT_J_Opleiding_Prov_W-VI_%20Module%204.pdf

[6] Brochure, "Intelligente Dynamisch Straatverlichting", Tvilight, p. 2, 3.

<http://www.tvilight.com/wp-content/uploads/130402-Brochure-Digital.pdf>

[7] TU Delft, "Intelligente straatverlichting TU Delft bespaart tot 80% energie", 2011.

<http://home.tudelft.nl/nl/actueel/laatste-nieuws/artikel/detail/intelligente-straatverlichting-tu-delft-kan-tot-80-energie-besparen/>

[8] "Proefprojecten met verlichting toetsen theorie aan praktijk", Mobiel Vlaanderen voor lokale overheden, MOW, 2011.

<http://www.mobielvlaanderen.be/overheden/artikel.php?id=1191>

[9] Tvilight b.v., "case study woonwijk, Nederland".

http://www.tvilight.com/wp-content/uploads/2013/11/CSE_Eeneind_Dutch_Online.pdf

[10] "Intelligent Road and Street Lighting in Europe", E-streets.

<http://www.e-streetlight.com/Documents/WP%20FINAL/WP%20D3.2%20Small%20scale%20test%20projects.PDF>

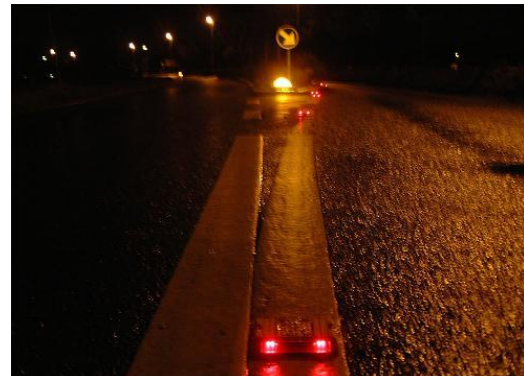
Maatregel 8: Fosforescerende wegmarkering

1 Probleem

Om de veiligheid van de weggebruikers te verhogen, wordt er vaak straatverlichting geplaatst. Deze is echter duur in aanschaf en in onderhoud. In vele gevallen is het voldoende om te zorgen voor goed zichtbare wegmarkeringen om veilig te kunnen rijden.

2 Oplossing

Twee mogelijke oplossingen zijn reeds op verschillende plaatsen terug te vinden. Zo kan men gebruik maken van lichtreflecterende elementen (Figuur 1) of van ingewerkte LED verlichting (Figuur 2).



Figuur 1 & 2: Reflecterende elementen en LED verlichting ingewerkt in de wegmarkering [1]

Een andere oplossing bestaat uit het produceren van lichtuitstralende of fosforescerende elementen door wegmarkeringsproducten te vermengen met poeders, die het licht absorberen en het bij duisternis terug afgeven (figuur 3). Meestal zijn het producten, die gebaseerd zijn op fosfor, vandaar de naam 'fosforescerend'. Een bekende toepassing is de oplichtende wijzer van analoge polsuurwerken. De lichtabsorptie kan gebeuren door het daglicht of door de lichten van voorbijrijdende voertuigen.



Figuur 3: Voorbeeld van lichtgevende of fosforescerende wegmarkering [2].

3 Effect op de Duurzaamheid

Door het gebruik van fosforescerende wegmarkeringen is er minder nood aan straatverlichting en kan er bespaard worden op energiekosten.

4 Toepassing

Dit idee maakt deel uit van het "Smart Highway" concept, dat is uitgewerkt door designer Daan Roosegaarde en aannemersbedrijf Heijmans. Zij brengen het op de markt onder de naam "Glowing Lines". Een eerste proefproject werd in Eindhoven gerealiseerd. "Weg van de toekomst" is het eerste project ter wereld waar Glowing Lines zijn toegepast.

Voor meer info over deze case study, zie bron [3].

5 Bronnen

[1] Alv technics, "LED wegmarkering".

<http://www.alvtechnics.be/led-wegmarkering.html>

[2] Studio Roosegaarde, "Smart Highway".

<http://www.studioroosegaarde.net/project/smart-highway/>

[3] "Weg van de toekomst: Glowing lines".

http://www.wegvandetoekomst.nl/weg_van_de_toekomst/duurzaamheid_en_innovatie/mobiliteit-en-verkeer/glowing-lines

Maatregel 9: onkruidbeheer

1 Probleem

Vanaf 1 januari 2004 mag er geen gebruik meer gemaakt worden van herbiciden door overheidsinstanties in Vlaanderen. Dit heeft een impact op het onderhoud van infrastructuurwerken. Andere oplossingen in verband met onkruidbeheer zijn dus onontbeerlijk.

2 Oplossing

Om een oplossing te verkrijgen voor dit probleem wordt er zowel naar preventieve maatregelen gekeken als naar de bestrijding bij reeds gecreëerde infrastructuurwerken.

Preventief

Voor het preventief bestrijden van onkruid zijn er verschillende aspecten waarmee rekening moet gehouden worden. Door huidige materialen doordacht en op een juiste manier te gebruiken kan veel bereikt worden. Maar de eerste vraag die steeds moet gesteld worden is of de verharding echt noodzakelijk is. Zijn er andere mogelijkheden zoals gras, grasbetontegels, enz.? Indien dit niet het geval is, is het aangewezen onderstaande preventiemaatregelen in acht te nemen.

Aandacht voor moeilijke punten

Indien er reeds bij het ontwerp van het project en tijdens de uitvoering aandacht wordt besteed aan de moeilijk bereikbare plaatsen, krijgt het onkruid minder kans om te groeien op deze plaatsen. Met moeilijke plaatsen wordt bedoeld [1] [2]:

- Randen en bochten
- Zones met gevaar voor verzakkingen of onvlakheden
- Dichtbij groenzones of bosgebied
- Aanwezige obstakels
- Aanwezigheid van kantopsluiting
- Goten van kleinschalige elementen

Andere belangrijke aspecten zijn:

- Voegbreedte: de voegbreedte (ruimte tussen twee stenen) heeft een invloed op de onkruidgroei. Hoe groter de voeg, hoe meer kans op onkruidgroei. Voor een klassieke betonstraatsteen is de voegbreedte 2 à 3 mm.
- Waterafvoer: wanneer regenwater niet wordt afgevoerd en de fundering verzadigd raakt zal het draagvermogen verminderen. Het pompeffect kan ook optreden wanneer wagens hierover rijden. Bij het pompeffect wordt water onder de stenen uit naar het oppervlakte geperst. Met het water wordt ook de straatlaag naar omhoog gepompt waardoor de stenen kunnen verzakken. Deze verzakkingen kunnen tot bredere voegen leiden wat nadelig is voor de onkruidbestrijding
- Bij het ontwerp moet er reeds rekening gehouden worden met de mogelijkheid tot niet chemische onkruidbestrijding.

Reeds bij het ontwerp is het belangrijk dat deze punten in het achterhoofd gehouden worden. Zo kan het aantal probleempunten gereduceerd worden. Bij een nauwkeurige uitvoering ontstaan er minder snel probleemplaatsen waar het onkruid kan beginnen groeien. Eens het onkruid ergens een kans krijgt om te groeien, ontstaat de mogelijkheid om zich snel te verspreiden naar de rest van de verharding.

Aandacht voor materiaalkeuzes

Er zijn drie belangrijke parameters waar de materiaalkeuzes een rol spelen:

- Straatsteensoort

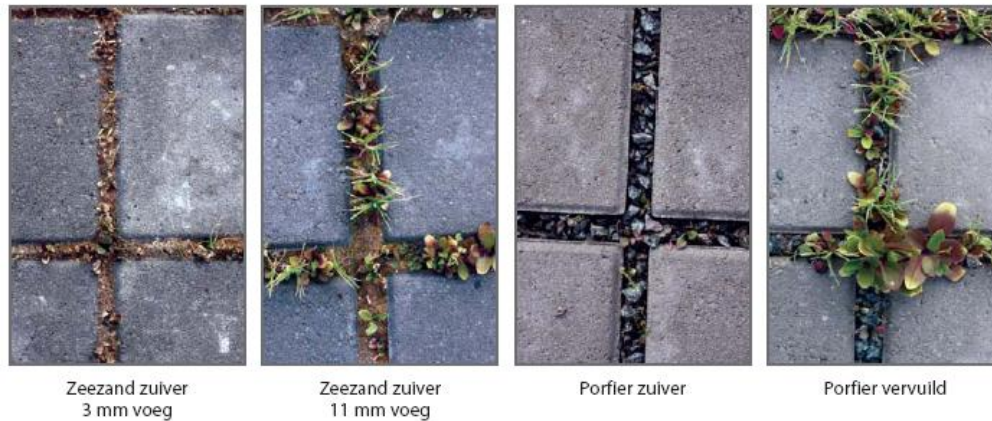
De materiaalkeuze hier is belangrijk aangezien dit de voegbreedte en het percentage van voegen in het verhardingsoppervlak zal bepalen.

- Straatlaag

Het is belangrijk dat de straatlaag goed is aangelegd. Meestal is het de straatlaag waar de eerste schade optreedt door het pompeffect. Hierdoor kunnen bijvoorbeeld verzakkingen optreden, wat op zijn beurt nadelig is voor onkruidbestrijding. Hoe opener de straatlaag is, hoe sneller het water kan wegstromen, hoe minder water er stil blijft staan en hoe minder snel er onkruidgroei zal zijn.

- Voegvulling

De onkruidgroei is niet voor alle voegvullingen gelijk. De vervuiling met organisch materiaal speelt een grote rol, evenals de voegbreedte (zie figuur 1).



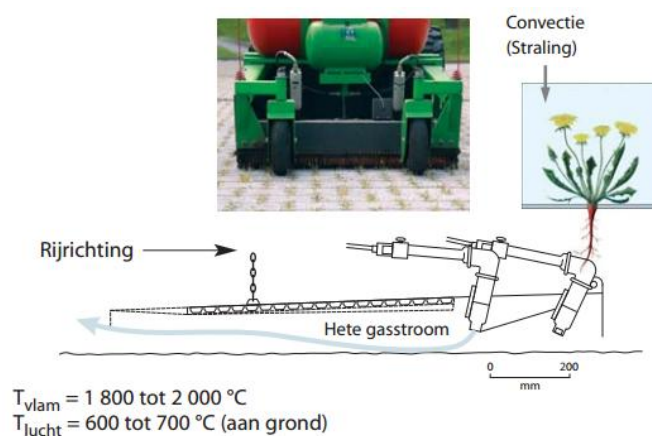
Figuur 1: Onkruidgroei bij verschillende voegvullingen, al dan niet vervuild met organisch materiaal en met verschillende voegbreedtes [1].

Bestrijding van onkruid

De meest voorkomende technieken voor de bestrijding van onkruid zijn van thermische of mechanische aard.

Bij de thermische bestrijding van onkruid maakt men gebruik van verhitting om het onkruid aan te pakken. Deze bewerking kan op verschillende manieren gebeuren, namelijk:

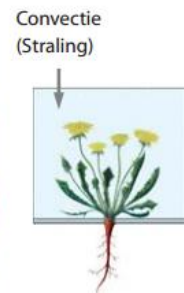
- Stootbrander: de hete gasstroom zorgt voor een hoge temperatuur die het onkruid aantast.



Figuur 2: Stootbrander, de open vlam zorgt voor een hete gasstroom. Deze moet zo dicht mogelijk en voldoende lang bij het onkruid branden [1].

- Hete lucht: de temperatuur is bij deze techniek minder hoog als bij de stootbrander. De ventilator zorgt voor turbulente luchtstroom die nodig is voor een goede warmteoverdracht op het onkruid.

$T_{\text{lucht}} = 90 \text{ tot } 130 \text{ }^{\circ}\text{C}$



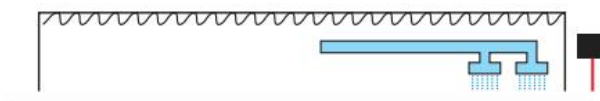
Figuur 3: Heteluchttechniek, het onkruid komt niet in contact met de vlam maar wel met wervels van hete lucht [1].

- Heet water: water geleidt de warmte goed. Door deze goede geleiding kan het onkruid dieper worden aangetast.



$T_{\text{water}} = 96 \text{ tot } 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$

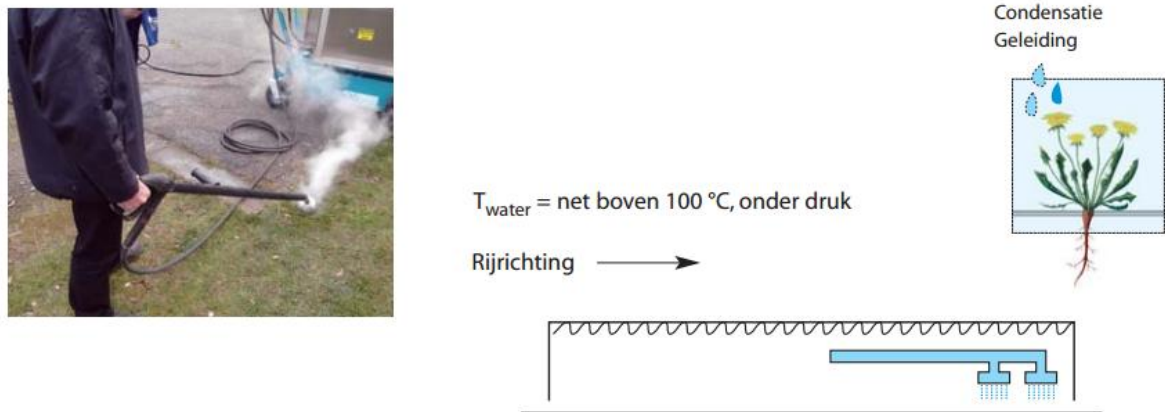
Rijrichting →



Water = goede geleider + hoge warmtecapaciteit

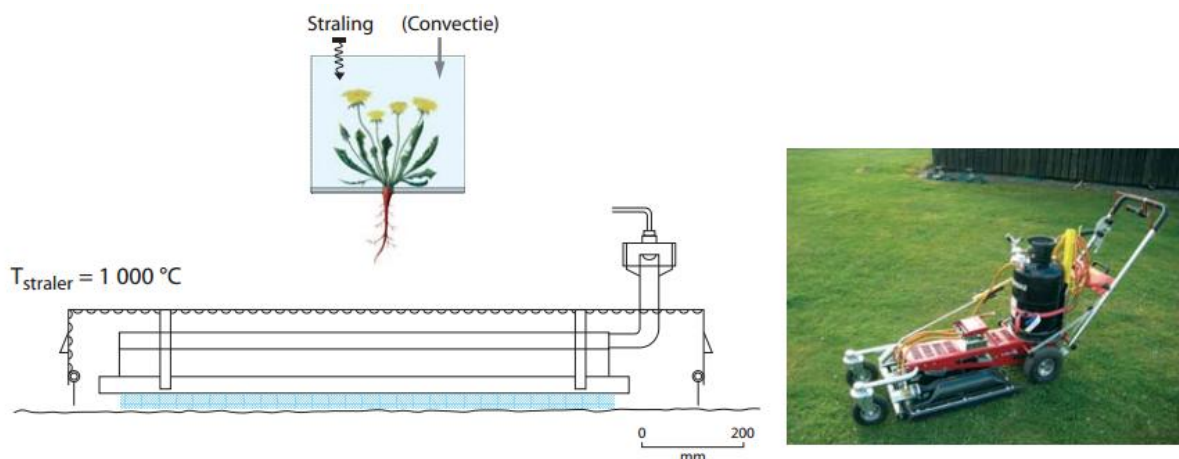
Figuur 4: Heetwatermachine, water is een goede geleider en heeft een hoge warmtecapaciteit [1].

- Stoom: stoom heeft een hogere warmte-inhoud dan de hete lucht en heet water technieken. Hierdoor wordt het onkruid dieper aangetast.



Figuur 5: Stomen, warmte wordt overgedragen door condensatie en geleiding [1].

- Infraroodstralen: bij infraroodstraling worden de hoogenergetische golven door het onkruid geabsorbeerd en omgezet in warmte, waardoor het onkruid afsterft.



Figuur 6: Infraroodbrander, werkingsprincipe [1].

Indien er gebruik wordt gemaakt van mechanische bestrijding zal één van de volgende technieken gebruikt worden. Al deze technieken hebben ongeveer hetzelfde resultaat, namelijk: ze snijden het onkruid af bij de voeg of rukken het los uit de voeg.

- Borstelen: met behulp van een mechanische borstel wordt het onkruid geraakt.

- Waterstralen: met behulp van een krachtige waterstraal wordt het onkruid geraakt.
- Maaien: met behulp van bijvoorbeeld een bosmaaier wordt het onkruid geraakt.

3 Effect op duurzaamheid

Voordelen:

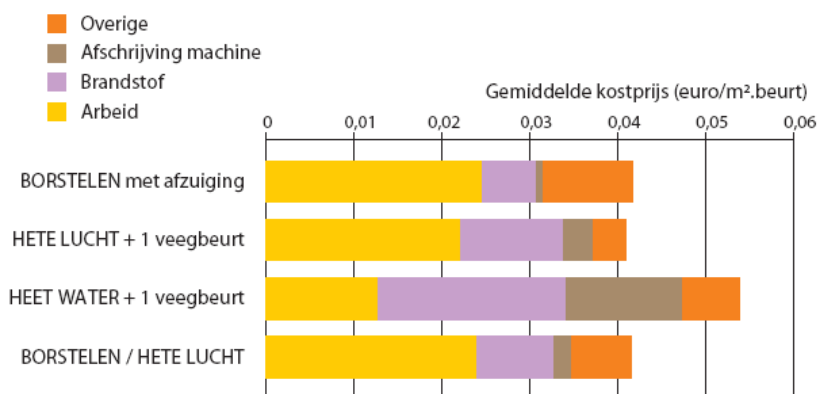
- *Bescherming van oppervlakte- en grondwater:* door het verbod op het gebruik van herbiciden kunnen deze chemische producten niet meer afvloeien naar de oppervlaktewaters of infiltreren in het grondwater.
- *Verlaging van het gebruik van pesticiden.*
- *Veiliger voor de gebruiker:* bij chemische bestrijding van onkruid wordt er gewerkt met producten die gevaarlijk zijn voor de gezondheid van de uitvoerder. Deze producten komen nu niet meer in aanmerking.

Nadelen:

- *Bestrijding van onkruid kost meer:* het bestrijden van onkruid zonder chemische middelen duurt langer en is arbeidsintensiever, wat de hogere kost verklaart.
- *Behandeling van onkruid moet jaarlijks meer herhaald worden:* doordat de huidige niet chemische bestrijdingsmiddelen minder effectief zijn, is het nodig meerdere behandelingen per jaar uit te voeren.

4 Toepassing

Deze technieken worden reeds uitgebreid toegepast aangezien het gebruik van chemische bestrijdingsmiddelen niet meer is toegestaan. De werking is dus ook al reeds bewezen. Hier is het bijgevolg interessanter om het prijsverschil tussen de verschillende technieken te bekijken, zie figuur 7.



Figuur 7: Gemiddelde kostprijs van verschillende technieken op betonstraatstenen met verbrede voegen. De totale kost is opgesplitst in vier categorieën, namelijk borstelen, hete lucht, heet water, borstelen + hete lucht [1].

5 Bronnen

[1] E. Boonen, B. De Cauwer, M. Fagot, A. Beeldens, D. Reheul, "Handeleiding voor niet-chemisch(e) onkruidbeheer(sing) op verhardingen met kleinschalige elementen", OCW, p 56-58, 71.

<http://www.brrc.be/publications/a/a8412.pdf>

[2] G. Lauryssen, "Niet-chemische onkruidbestreiding", 2006, p. 12,13.

http://doks.khk.be/eindwerk/do/files/FiSe413ebf17093f9ba2010943c9f8380925/thesis2006307.pdf?recordId=SKHK413ebf17093f9ba2010943c9f8380924&origin=publication_detail

Maatregel 10: Asfalt bij verlaagde temperatuur

1 Probleem

De productie van asfalt is een erg energieconsumerend proces. Alle aggregaten moeten gedroogd en verwarmd worden. Bij klassiek asfalt stijgt de verwarming tot een temperatuur van 170°C. Dit energiegebruik gaat uiteraard gepaard met een grote uitstoot aan CO₂ en andere schadelijke emissies, zoals CO, NO_x, SO₂ en VOC's. Eens het warme asfalt klaar is, ontstaan er ook dampen van bitumen. Deze kunnen onder andere PAKs (Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen) bevatten [1]. Deze stof heeft carcinogene eigenschappen. Tevens is het niet aangenaam en gezond voor de arbeiders om te werken met dergelijk heet asfalt. Bij normaal asfalt duurt het ook langer vooraleer het terug berijdbaar is.

2 Oplossing

Het gebruik van lage temperatuur asfalt kan voor een groot stuk inspelen op deze problemen. Doordat het asfalt tot een lagere temperatuur moet verwarmd worden, zal het energieverbruik sterk dalen.

Initieel vochtgehalte aggregaten	0%	3%	5%	7%
Productie bij 130°C				
Energieverbruik per ton aggregaat (MJ)	111	190	244	297
Procentuele besparing	20%	13%	11%	10%
Productie bij 110°C				
Energieverbruik per ton aggregaat (MJ)	92	171	224	277
Procentuele besparing	33%	22%	18%	16%
Productie bij 90°C				
Energieverbruik per ton aggregaat (MJ)	74	84	91	97
Procentuele besparing	47%	62%	67%	70%

Figuur 1: Schatting van de daling van het energieverbruik t.o.v. productie op 160°C [2].

Figuur 1 maakt duidelijk zichtbaar dat er grote energiebesparingen mogelijk zijn door het gebruik van asfalt bij verlaagde temperatuur. Op 90° is de minimum besparing al 47%, bijna de helft ten opzichte van het originele mengsel op 170°C.



Figuur 2: dampen van bitumen bij verschillende temperaturen [2].

Er ontstaan veel minder dampen van bitumen. Deze dampen worden drastisch teruggedrongen door het verlagen van de temperatuur. Figuur 2 visualiseert dit duidelijk. Met slechts een afname van 10°C kan er al een verlaging van ongeveer 50% bekomen worden. Wanneer er verder wordt afgekoeld en men de temperatuur met 40°C laat zakken, bekomt men zelfs een vermindering van 94% van de dampen [2]. Door deze verlaging van dampen en aerosolen is het veel aangenamer voor de arbeider om hiermee te werken.

3 Effect op duurzaamheid

Voordelen:

- *Daling van het energieverbruik:* Doordat het asfalt tot minder hoge temperaturen moet verhit worden is er minder energie nodig
- *Terugdringen van schadelijke emissies:* Doordat er minder brandstof nodig is, is er minder uitstoot van CO, CO₂, NO_x, SO₂, VOC, ...
- *Terugdringen van bitumendampen*
- *Aangenamere en betere werkomstandigheden voor de arbeider, minder geurhinder voor omwonenden*
- *Sneller berijdbaar:* De tijd die het asfalt nodig heeft om af te koelen, is minder lang, aangezien het temperatuurverschil minder groot is.

- *Minder slijtage van de asfaltcentrale:* Doordat er met minder hoge temperaturen gewerkt wordt slijt de asfaltcentrale minder snel.

Nadelen:

- *Aanpassing nodig van asfaltcentrale:* Verschillende onderdelen van de asfaltcentrale moeten aangepast worden om asfalt bij verlaagde temperatuur te produceren.
- *Lager aandeel aan asfaltpuingranulaat (APG):* De hoeveelheid asfaltpuingranulaat dat toegevoegd wordt, ligt lager dan bij andere soorten, rond de 30% [3]. Hoe meer recyclagemateriaal er gebruikt kan worden hoe minder primaire grondstoffen nodig zijn. Het is dus beter als meer APG mogelijk is.
- *Onbekende invloed additieven:* Bij de productie van asfalt bij verlaagde temperatuur wordt gebruik gemaakt van additieven. Het gedrag van deze additieven op langere termijn vereist nog onderzoek
- *Nog niet beschreven in het SB250:* Hier is een werkgroep voor opgericht onder leiding van MOW zodat dit in de toekomst kan worden toegevoegd

4 Toepassing

In 2008 zijn, in samenwerking met het OCW, drie kleine proefvakken aangelegd. Zowel de resultaten van laboproeven als deze van de proeven in de praktijk zijn positief.

Voor meer info over deze case study, zie bron [4].

In 2010 heeft de aannemer Van Wellen een proefvak van 300 ton asfalt bij verlaagde temperatuur aangelegd. Voor meer info over deze case study, zie bron [5].

Asfalt bij verlaagde temperatuur zal ook toegepast worden bij het pilootproject "carbon Free-ways". Bij dit project worden de top- en onderlaag van de N171 tussen Keizershoek en de Pierstraat in Kontich vervangen. De nieuwe top- en onderlaag worden energiezuinig geproduceerd en er wordt getracht de CO₂ uitstoot te beperken. Voor meer info over dit project, zie bron [6].

5 Bronnen

[1] "Bitumen - Health-based recommended occupational exposure limit", 2007, The Health Council of the Netherlands, p. 12.

https://europa.eu/sinapse/sinapse/index.cfm?fuseaction=lib.attachment&lib_id=F2F5E2D5-94E0-89B5-46A8A1BFED5EA886&attach=LIB_DOC_EN.

[2] S. Vansteenkiste, "Asfalt bij verlaagde temperaturen – overzicht technologieën", 2011, OCW, p. 5, 6, 7

[3] N. Vanhollebeke, P. Modde, "AVT-Asfalt in België: Visie van de aannemer", p. 7.

[4] J. De Visscher, F. Vervaecke, A. Vanelstraete, H. Soenen, T. Tanghe, P. Redelius, "Asfalt met verlaagde temperatuur, invloed op de prestatiekenmerken", OCW en Nyas Belgium.

<http://www.abr-bwv.be/sites/default/files/I.2.1..pdf>

[5] "Minder CO2 door Asfalt met Verlaagde Temperatuur (AVT)", Copro.

http://www.copro.eu/content/News110801_nl.html

[6] D. Van Troyen, D. Keunen, "Carbon Free-Ways", 2013, AWV.

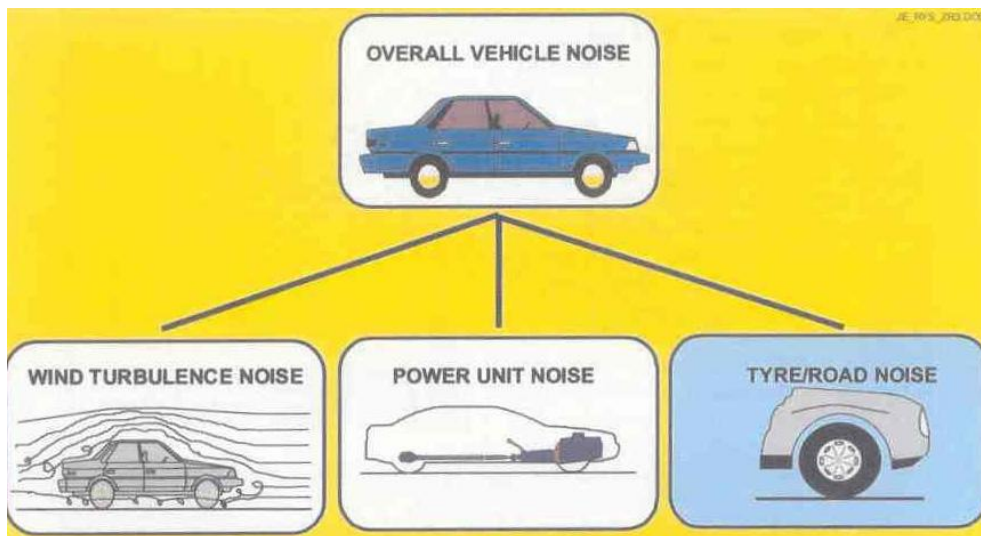
www.wegencongres.be/PDF/3/3_3%20vantroyen%20NL.pdf

Maatregel 11: Verminderen van verkeerslawaaai

1 Probleem

Het verkeer veroorzaakt veel lawaai. Dit verkeerslawaaai is ook een vorm van milieuvervuiling. Door het verstoren van de rust is het een oorzaak van gezondheidsproblemen.

Het geluid afkomstig van de weg wordt op verschillende manieren opgewekt. De oorzaken van het verkeersgeluid zijn terug te vinden in figuur 1.



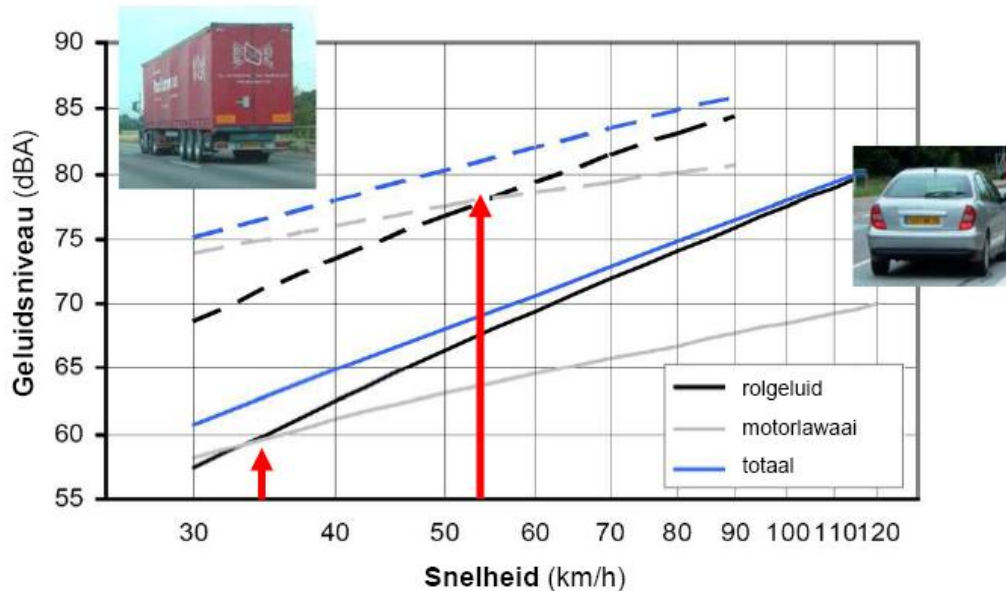
Figuur 1: De drie oorzaken van verkeersgeluid [1].

Een eerste bron van verkeersgeluid is de windturbulentie. Op lagere snelheden is deze verwaarloosbaar. Pas bij hogere snelheden (120 km/h) begint het geluid door windturbulentie een (kleine) rol te spelen [2]. Met deze bron wordt dus verder geen rekening gehouden.

De aandrijving van de voertuigen is de tweede bron van geluid. De motor nodig voor de verplaatsing produceert geluid en vooral bij acceleratie is er een verhoging van dit geluid. Deze bron is echter van minder belang vanaf een snelheid van 70 km/h [3]. Deze bron wordt in deze masterproef niet verder besproken omdat het verlagen van het motorgeluid niet afhankelijk is van de infrastructuurwerken. Deze bron kan verder worden onderzocht en aangepakt door de autofabrikanten.

De derde bron is verantwoordelijk voor het grootste aandeel van het geproduceerde verkeerslawaaai, nl. het geluid afkomstig van het contact tussen

de banden en het wegdek, het zogenaamde rolgeluid. Figuur 2 geeft een verband tussen de snelheid en het geluidsniveau voor zowel een personenwagen als een vrachtwagen. Hier valt meteen op dat vrachtwagens een hoger geluidsniveau produceren.



Figuur 2: Voorstelling van het geluidsniveau i.f.v. de snelheid van auto's en vrachtwagens [4].

Aangezien de laatste bron, het rolgeluid, de grootste rol speelt in het verkeerslawaai wordt deze verder bekeken in deze fiche.

2 Oplossing

Het rolgeluid, opgewekt door het contact tussen de band en het wegdek, is afhankelijk van verschillende variabelen, namelijk:

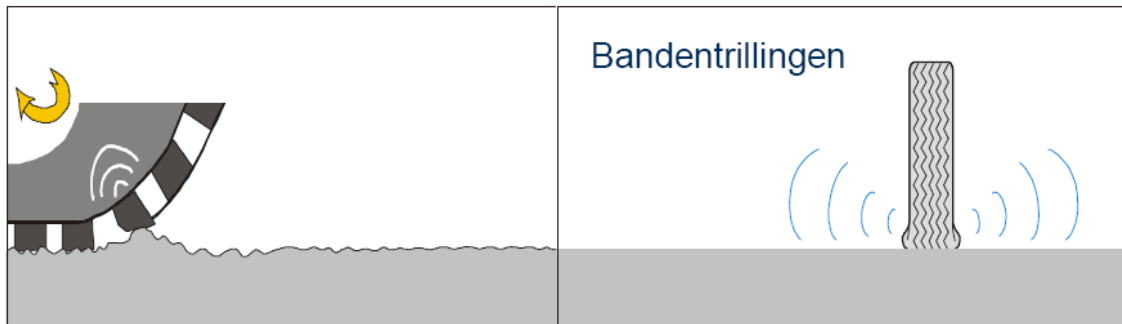
- De ruwheid van het wegoppervak
- De open/dichte structuur van het wegdek
- De snelheid van de wagen
- De banden

In deze fiche wordt dieper ingegaan op de invloed van het type wegdek op het rolgeluid. Het doel is te duiden welk type wegdek een verlaging van het rolgeluid tot gevolg zal hebben.

Het opwekken van het rolgeluid gebeurt op verschillende manieren: er is zowel mechanische geluidsofwekking als aerodynamische geluidsofwekking. Beide zijn

een opsomming van verschillende effecten. De effecten met de grootste bijdrage aan het geluid worden hieronder verder toegelicht.

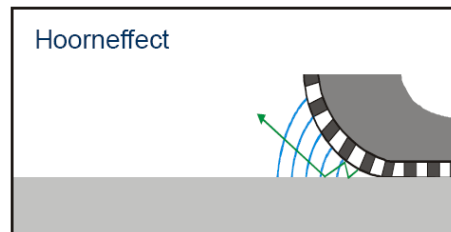
De voornaamste mechanische geluidsopwekking is voorgesteld in figuur 3. Door de oppervlaktetextuur van de weg gaan de banden trillen. Deze trillingen wekken op hun beurt het geluid op.



Figuur 3: Mechanische geluidsopwekking: Bandentrillingen [4].

Bij aerodynamische geluidsopwekking hebben zowel het pompen van lucht (figuur 4) als het hoorneffect (figuur 5) een effect. Luchtpompen treedt op bij dichte oppervlakken wanneer er lucht wordt aangezogen of wordt weggepompt uit de kamers, gecreëerd tussen het profiel van de band en de weg. Hoe poreuzer het wegdek, hoe minder gesloten ruimtes er zijn tussen de band en het wegdek en hoe minder geluid er opgewekt wordt door het pompeffect.

Tussen de band en het wegdek is er een soort van hoorn waar de opgewekte geluiden versterkt worden (denk hierbij aan het effect van een megafoon). Deze geluiden worden opgewekt door zowel mechanische als aerodynamische werking. Wanneer er gebruik gemaakt wordt van een poreus wegdek wordt dit effect verminderd. Een bijkomend voordeel van een poreus wegdek is de verlaging van de kans op aquaplaning.



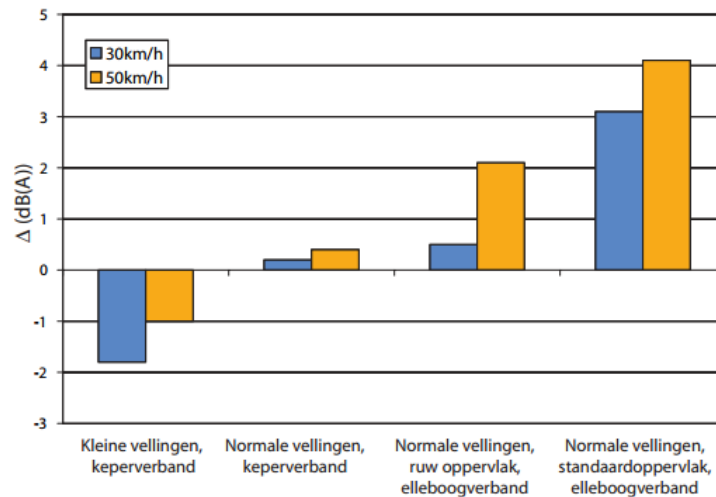
Figuur 4 & 5: Aerodynamische geluidsofwekking: Pompen van lucht (links) en het Hoorneffect (rechts) [4].

Voor de geluidsreductie is het dus wenselijk om een wegdek te voorzien dat zowel een vlakke oppervlaktestructuur heeft als poreus is. Dit wordt nu reeds bekomen met Zeer Open Asfaltbeton (ZOAB). ZOAB heeft een grovere onderlaag met daarop een fijnere toplaag. Door die fijnere toplaag zal het geluid, afkomstig van de bandentrillingen, verminderen. Door de open structuur dalen het pompen van lucht en het hoorneffect.

Een andere manier om het geluid te reduceren, zonder al te grote ingrepen te doen op de opbouw van de bestaande weg, is gebruik maken van Dunne Geluidsreducerende Deklagen (DGD's). Dit is een asfaltlaag van maximum 3 cm dik die op de bestaande structuur kan worden aangebracht. DGD's zorgen voor een reductie van het rolgeluid door de fijne oppervlaktestructuur en de aanwezige holle ruimtes.

Een andere nieuwe techniek, die momenteel nog in de testfase zit, is het poro-elastisch wegdek. Dit is een elastisch wegdek dat bestaat uit rubberkorrels en stenen en dat wordt samengehouden door kunsthars. Met dit wegdek is een grote reductie van het geluid (tot 12 dB(A)) mogelijk [4].

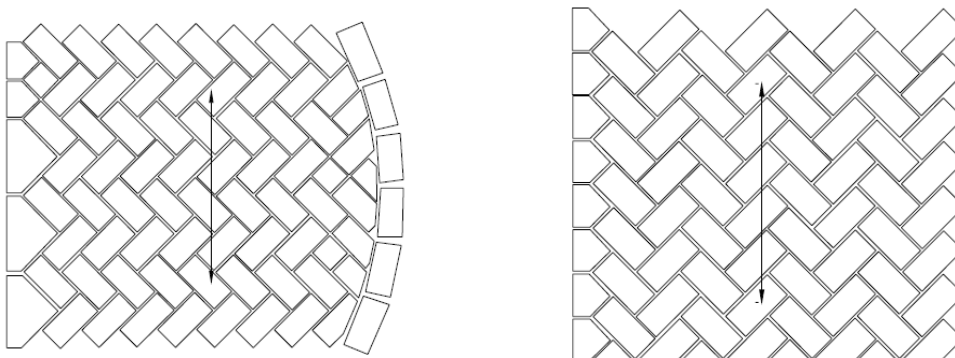
Bij verhardingen met kleinschalige bestrating is het geproduceerde geluid afhankelijk van enkele bijkomende factoren, zoals het steenverband, de velling, de vorm en de voegbreedte. Ook hier blijft de oppervlakteruwheid van belang. In figuur 5 is het belang van deze factoren terug te vinden.



Figuur 6: Geluidsproductie in functie van steenverband, velling en oppervlakteafwerking [5].

Aangezien het voortgebrachte geluid afhankelijk is van deze parameters, kan er gekeken worden of deze zo kunnen aangepast worden dat er een verlaging van het geluidsniveau bekomen wordt.

Steenverband



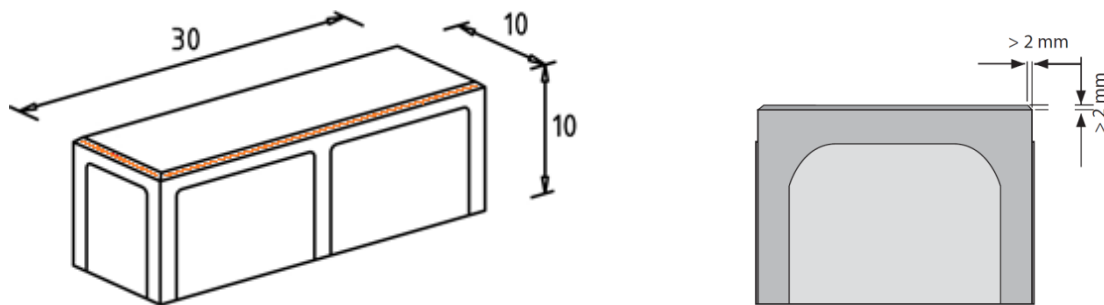
Figuur 7: Steenverband; keper- of visgraatverband [6].

Indien het geluidseffect ook in rekening wordt genomen, wordt er, vertrekkende van de drie legverbanden die de stabiliteit het meest verhogen, het best gekozen voor het keper- of visgraatverband (zie figuur 7). Het rolgeluid is bij deze verbanden het kleinst, doordat de betonstraatstenen in een hoek van 45° ten opzichte van de rijrichting liggen. Dit kan de geluidsemissie doen dalen met 3 dB(A), wat meer dan de helft is voor het menselijk oor [7].

Voegen

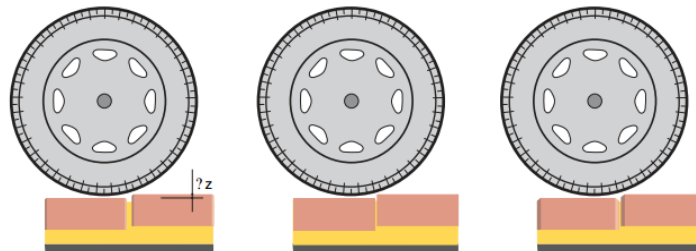
De voegbreedte maakt men best zo klein mogelijk. Hoe verder de stenen van elkaar liggen, hoe minder geleidelijk de overgang van steen tot steen is en hoe hoger de geluidsproductie is.

Vellingen



Figuur 8: Velling (oranje gedeelte) [5]

De velling is de vlakke afschuining van een steen, aangeduid in het oranje op figuur 8. Vellingen zorgen ervoor dat de overgang naar de volgende steen geleidelijker verloopt. Daarnaast vangen ze ook mogelijke hoogteverschillen in de straatlaag op (zie figuur 9). Een velling moet ten minste op 2 x 2 mm worden uitgevoerd [5]. Dit is nodig, zodat de randen van de stenen niet afbreken, maar de velling wordt best zo klein mogelijk gehouden om het rolgeluid te beperken.



Figuur 9: Velling zorgt voor het opvangen van hoogteverschillen [5]

Open of fijne oppervlaktetextuur

De oppervlaktetextuur is een belangrijke factor bij geluidsreductie. De textuur is afhankelijk van de gebruikte materialen: wanneer er veel grovere stenen worden gebruikt zal het oppervlak ruwer worden. Dit heeft tot gevolg dat het geluidsniveau stijgt. Door gebruik van een open of fijne oppervlaktetextuur worden de geluidsgolven geabsorbeerd, waardoor er een daling is van het rolgeluid.

3 Invloed op de duurzaamheid

Voordelen:

- *Minder verkeerslawaaï:* door de geluidsreducerende eigenschappen daalt het geluidsniveau van het verkeerslawaaï.
- *Dunne Geluidsreducerende Deklagen (DGD's) hebben geen invloed op het straatbeeld:* bij andere maatregelen is dit niet altijd het geval, denk aan geluidsschermen.
- *Goedkope oplossing voor het rolgeluid:* doordat de DGD's zo dun zijn (max 3 cm) kunnen ze rechtstreeks worden aangelegd op de bestaande bestrating.

Nadelen

- *De levensduur:* doordat deze lagen zo dun zijn is er kans op rafeling of het loskomen van DGD van de onderlaag.
- *Niet geschikt om overal toe te passen:* waar veel wringend verkeer voorkomt is het niet aangeraden.
- *Meer aandacht nodig bij aanleg:* door de geringe dikte koelt de deklaag sneller af. Een snellere verdichting is dus nodig
- *Goede onderliggende lagen noodzakelijk:* DGD's dragen structureel niets bij aan de opbouw. Het is dus nodig dat de onderlagen in goede staat zijn.

4 Toepassing

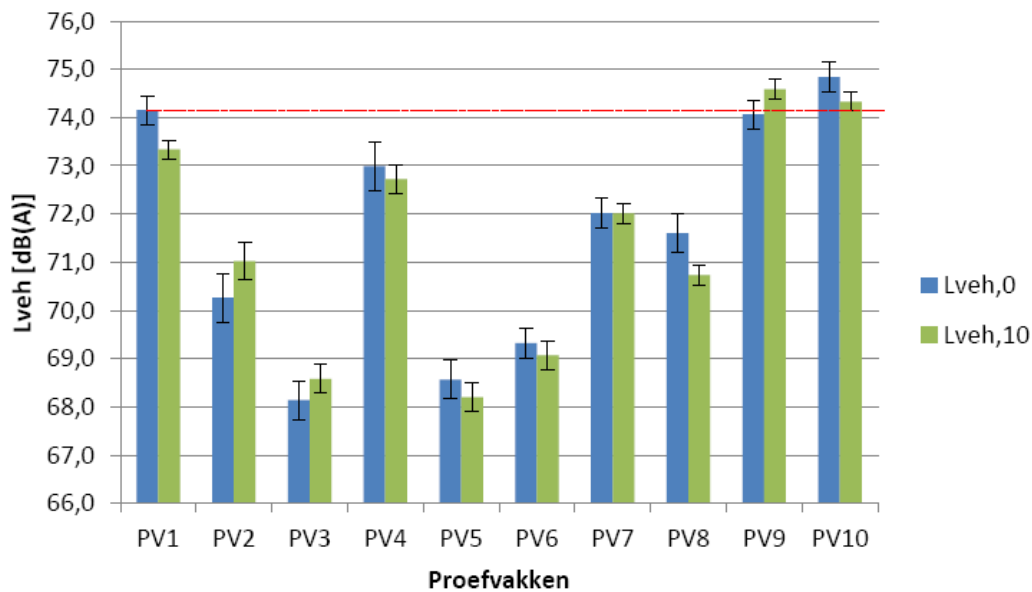
Het Agentschap wegen en verkeer (AWV) en het Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw (OCW) onderzoeken samen proefvakken op de N19 Turnhout-Kasterlee. Dit project is van start gegaan in 2012 en loopt nu nog steeds. Hier zijn 10 verschillende wegdekken aangelegd (zie tabel 1) om de akoestische en mechanische eigenschappen en de duurzaamheid te bepalen.

Er is een referentievlak aangelegd, namelijk proefvak 1 (PV 1), hiervoor is SMA-C2 gebruikt. Buiten de ZOAB zijn voor de andere proefvakken allemaal Dunne Geluidsreducerende Deklagen (DGD's) gebruikt met verschillende samenstellingen. Deze deklagen zijn interessant omdat ze gemakkelijk kunnen worden aangelegd op de bestaande structuren. Het nadeel hierbij is dat de duurzaamheid van deze lagen beperkt is (rafeling)

Benaming proefvakken	Korrel-grootte	% H.R.	Laag-dikte	Extra informatie
SMA-C2 (PV1)	0/10	-	-	Zoals beschreven in SB250. [55]
(PV2)	0/4	23-30	30 mm	Nieuwste product in DGD. Discontinu mengsel.
(PV3)	0/4	23-30	30 mm	Uit hetzelfde gamma producten als PV2. Goedkoper dan PV2 en slechts 1 dB(A) luider. ± Continu mengsel.
(PV4)	0/6,3	5-6	20-25 mm	Testwerven in Duitsland en België. Heeft een concave oppervlaktestructuur.
Dubbellaags ZOAB (PV5)	-	-	-	De bovenste laag van dubbellaags ZOAB is functioneel onafscheidelijk van de onderlaag en valt daarom buiten de definitie van een DGD.
(PV6)	0/6	12-20	30 mm	Hoge stroefheid. Proefvak toegepast in Polen.
(PV7)	0/6	17-24	30 mm	Ouder product, twintig jaar geleden ontworpen. Minder geluidreductie verwacht. Onder dezelfde naam gekend in Nederland en toegepast.
(PV8)	0/6	-	25 mm	Toegepast in Frankrijk en Tsjechië.
(PV9)	0/6	-	30 mm	Zelfde mengsel als PV8, maar andere laagdikte.
(PV10)	0/8	-	25-40 mm	Aandacht op de duurzaamheid, de producent had de bedoeling om de gevoeligheid voor rafeling te verminderen en toch nog een geluidreductie te bekomen. Wordt binnen dit onderzoek voor de eerste keer aangelegd in de praktijk.

Tabel 1: informatie over de verschillende proefvakken[8].

In figuur 5 is het geluidsniveau na aanleg en na 10 maanden terug te vinden voor de verschillende proefvakken. Volgens het bestek moeten DGD's na twee jaar nog een geluidsreductie hebben van 2 dB t.o.v. het SMA-C2 proefvak. Dit is echter niet voor alle proefvakken zo. De proefvakken die niet voldoen aan deze eis (zowel na aanleg als na 10 maanden) zijn PV9 en PV10. We merken op dat voor sommige vakken het geluidsniveau is gestegen en voor andere het geluidsniveau gedaald is.



Figuur 10: Geluidsniveau van de verschillende proefvakken na aanleg en na 10 maanden [8]

Hieruit valt af te leiden dat verschillende DGD's interessant kunnen zijn voor het reduceren van het verkeersgeluid. Echter aangezien dit proefproject is aangelegd in 2012 zal er nog verder onderzoek nodig zijn naar zowel de duurzaamheid als de geluidsreducerende eigenschappen van de verschillende proefvakken in de tijd. Meer info over dit project wordt gegeven in [8].

5 Bronnen

- [1] M. Butzen, S. Wijns, "Studie van de akoestische eigenschappen van enkele typische wegdekken", Hogeschool Antwerpen, 2008, p. 11.
- [2] D. Mogrovejo, G. Flintsch, E. Leon, K. McGhee, "Effect of air temperature and vehicle speed on tire/pavement noise measured with on-board sound intensity methodology", p. 6.
- [3] M. Desiere, "Invloed van het visuele aspect van vegetatie op de ervaren geluidshinder", Universiteit Gent, 2013, p. 15.
- [4] A. Bergiers, "Op weg naar een stad met minder verkeerslawaaï", OCW, 2014, p. 8, 13.
- [5] H. Keymeulen, "Handleiding voor het ontwerp en de uitvoering van verhardingen in betonstraatstenen", OCW, p. 19, p. 26.

<http://www.brrc.be/publications/a/a8009.pdf>

[6] Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, "Standaardbestek 250 versie 2.2", 2013, Hoofdstuk 6 – Verhardingen, p. 84-85.

[7] Febe, "Innovatie: geluidsreducerende betonstraatstenen".

<http://www.febe.be/frontend/files/userfiles/files/Beton%20Tijdschrift/Beton%20210/Geluidsreducerende%20betonstraatstenen.pdf>

[8] T. Vercauteren, "Studie van de akoestische kwaliteit van stille deklagen en dubbellaags zeer open asfalt", Universiteit Antwerpen, 2014, p. 30, 44.

10 Referenties

[1] United Nations, "Our Common Future", 1987, p 37.

http://conspect.nl/pdf/Our_Common_Future-Brundtland_Report_1987.pdf

[2] MVO ondernemen, "People, Planet, Profit"

<http://www.mvo-ondernemen.nl/people-planet-profit>

[3] W. Debauche, "De weg: actor van duurzame mobiliteit", Publicatie N46/09, OCW, p. 12.

<http://www.brrc.be/publications/n/n4609.pdf>

[4] LEnSE partners, WTCB, "Methodology Development towards a Label for Environmental, Social and Economic Buildings (LEnSE)", 2006-2008, EU Sixth Framework Programme

www.lensebuildings.com

<http://www.wtcb.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=bbri-contact&pag=Contact13&art=195>

[5] Valideo, "Thema's en rubrieken", p. 1.

http://www.valideo.org/Files/media/valideo/Valideo_files/Valideo2011_Themas-rubrieken.pdf,

[6] BREEAM, "BREEAM in numbers",

<http://www.breeam.org/page.jsp?id=559>

[7] EcoVeritas, "BREEAM new buildings – categories"

<http://www.ecoveritas.gr/ebreeamnewbuildings/categories.html>

[8] BCCA, "Certificaat: Gebouw 'Royale BOTA 145", 2012, p. 1.

<http://www.bcca.be/download.cfm/116255.PDF>

[9] W. Maassen, BREEAM "Duurzaamheid meten", 2010, p. 4

<http://www.royalhaskoninggebouwinstallaties.com/nl-nl/Thema's/Documents/Duurzaamheid-Maassen%20-%20ppt%20-%20BREEAM%20NL%20Toelichting%20-%202021%20oktober%202010.PDF>

[10] GPR Gebouw, "Duurzaamheid in 5 thema's".

<http://www.gprgebouw.nl/>

[11] A. Janssen, L. Delem, J. Van Dessel, "Principes en aandachtspunten bij de keuze voor duurzame bouwmaterialen", 2012, WTCB.

[12] S. van den Berg, "Meer duurzaamheid in infrastructuur met de WEEG-methode", 2010, Grondmij, p. 4.

http://www.crow.nl/nl/Binaries/PDF/PDF-Infradagen/17_VandenBerg.pdf

[13] De Stichting Klimaatvriendelijk Aanbesteden en Ondernemen, "CO₂-Prestatieladder", 2011, p. 7, 8.

http://www.skao.nl/images/cms/Brochure_Prestatieladder.pdf

[14] J. Duijsens, "reconstructie N61 hoek – schoondijke, duurzaam inkopen met CO₂-presatieladder en DuboCalc", 2012, Rijkswaterstaat, dia 12.

[15] Grontmij, "Duurzaamheid in projecten meetbaar met DuboCalc".

<http://grontmij.nl/Projecten/Pages/Duurzaamheid-in-projecten-meetbaar-met-DuboCalc.aspx>

[16] Rijkswaterstaat, Duurzaamheid bij contracten en aanbestedingen, DuboCalc.

http://www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/duurzaam/duurzaam_inkopen/duurzaamheid_bij_contracten_en_aanbestedingen/dubocalc/

[17] Interview Peter Vekemans, EBEMA, 4 april 2014.

[18] R. Decuypere, "Rubberen wegbekledingen helpen verkeerslawaaai te bestrijden", Technology Watch, 2011.

[19] TU Delft, 2011, "Intelligente straatverlichting TU Delft".

http://www.youtube.com/watch?v=09AcX_LBQYI

[20] C. De Geest, "Achtergronddocument sector transport", 2010, Milieurapport Vlaanderen MIRA, p. 49.

http://www.milieurapport.be/Upload/main/0_achtergronddocumenten/2011/AG2010_transport_TW.pdf

[21] H. Eskens, "Stikstofoxide en gezondheid", KNMI, [online] www.KNMI.nl

[22] A. Janssen, "Technology Watch", 2013, WTCB.

http://www.technologywatch.be/index.cfm?n01=techwatch&n02=innovations&PageAction=SearchDetail&article_id=50

[23] "Milieurapport Vlaanderen", 2012, Vlaamse milieumaatschappij

<http://www.milieurapport.be/nl/feitencijfers/sectoren/transport/aantal-transportmiddelen/aantalwegvoertuigen/>

[24] B. Guelton, D. Verfaillie, M. Van Bogaert, J. Cornil, J. Neven, "Wintercursus 2009, Wegen en duurzame ontwikkeling", 2009, OCW, p. 3.

<http://www.brrc.be/pdf/mededelingen/med77.pdf>

[25] Dienst standaardisatie, "Bushaltegids - Standaardisatie van toegankelijke bushaltes", 2011, De Lijn, p. 12.

http://www.delijn.be/images/bushaltegids_tcm7-25285.pdf

[26] R. Decupere, "Technology Watch, Machinaal bestraten", WTCB, 2013

http://www.technologywatch.be/index.cfm?n01=techwatch&n02=innovations&PageAction=SearchDetail&article_id=29

[27] R. Decuypere, "Zelfherstellend beton", Technology Watch, 2012.

[28] F. van't Wout, M. Groot, M. Sminia, M. Haas, "Functionele Specificatie DuboCalc", DuboCalc, 2010, p. 11.

https://www.milieudatabase.nl/imgcms/Functionele_Specificatie_Dubocalc_rev_13.pdf

[29] V. Donné, "Verlichting op masten: principes en opstelling", Mobiliteit en openbare werken, 2013.

<http://www.mobielvlaanderen.be/overheden/artikel.php?id=1401>

[30] W. Frans, "Openbare wegverlichting: energieverbruik", Vlaamse Ingenieursvereniging, 2004, p.5.

<http://www.kviv75jaar.be/energie/symp-verkeer-Frans.pdf>

[31] Interview I. Desmidt, VBG – COLAS Belgium, 7 mei 2014.

[32] K. Putteman, "Inventaris van de openbare verlichting", BVI, 2012, p. 11.

http://www.ibe-biv.be/media/pdf/Studiedag_2012/04_2012-10-18_K_Putteman.pdf

[33] DuboCalc, "Veel gestelde vragen".

http://www.rws.nl/zakelijk/duurzaam/duurzaam_inkopen/duurzaamheid_bij_contracten_en_aanbestedingen/dubocalc/veelgestelde_vragen/

Auteursrechtelijke overeenkomst

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:

Duurzaamheid bij infrastructuurwerken

Richting: **master in de industriële wetenschappen: bouwkunde**

Jaar: **2014**

in alle mogelijke mediaformaten, - bestaande en in de toekomst te ontwikkelen - , aan de Universiteit Hasselt.

Niet tegenstaand deze toekenning van het auteursrecht aan de Universiteit Hasselt behoud ik als auteur het recht om de eindverhandeling, - in zijn geheel of gedeeltelijk -, vrij te reproduceren, (her)publiceren of distribueren zonder de toelating te moeten verkrijgen van de Universiteit Hasselt.

Ik bevestig dat de eindverhandeling mijn origineel werk is, en dat ik het recht heb om de rechten te verlenen die in deze overeenkomst worden beschreven. Ik verklaar tevens dat de eindverhandeling, naar mijn weten, het auteursrecht van anderen niet overtreedt.

Ik verklaar tevens dat ik voor het materiaal in de eindverhandeling dat beschermd wordt door het auteursrecht, de nodige toelatingen heb verkregen zodat ik deze ook aan de Universiteit Hasselt kan overdragen en dat dit duidelijk in de tekst en inhoud van de eindverhandeling werd genotificeerd.

Universiteit Hasselt zal mij als auteur(s) van de eindverhandeling identificeren en zal geen wijzigingen aanbrengen aan de eindverhandeling, uitgezonderd deze toegelaten door deze overeenkomst.

Voor akkoord,

Panis, Toon-Bert

Datum: **25/08/2014**