

stowa

UNIE VAN
WATERSCHAPPEN

CIRCULAIR ASSETMANAGEMENT WATERSCHAPPEN

ACHTERGRONDRAPPORTAGE REKENMETHODIEK



RAPPORT

2022
19B

CIRCULAIR ASSETMANAGEMENT WATERSCHAPPEN
ACHTERGRONDRAPPORTAGE REKENMETHODIEK

RAPPORT

2022
19B

ISBN 978.90.5773.972.9



COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

AUTEURS B.M. Roelofs MSc
M. Tauber MSc
Ir. R. Dijcker

BEGELEIDINGSCOMMISSIE

B. Nanninga, H. van Meer; UvW
N. Jonkers, E Klaversma; Waternet;
B. de Boer; Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier
J. Schrande; WS Zuiderzeeland
J. Verschoor, P. Blom; WS Vallei en Veluwe
M Akkerman, T. Mollema; WS Noorderzijlvest
J. van IJmeren, P. Willems; WS Rivierenland
J. Baltissen, E. Schut; RWS
B. Palsma; STOWA

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau bv
STOWA STOWA 2022-19B
ISBN 978.90.5773.972.9

Copyright Teksten en figuren uit dit rapport mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.
Disclaimer Deze uitgave is met de grootst mogelijke zorg samengesteld. Niettemin aanvaarden de auteurs en de uitgever geen enkele aansprakelijkheid voor mogelijke onjuistheden of eventuele gevolgen door toepassing van de inhoud van dit rapport.

TEN GELEIDE

INZICHT EN HANDVATTEN VOOR VOLLEDIGE CIRCULARITEIT

In 2030 moet Nederland 50% circulair zijn, in 2050 volledig circulair. Hiermee wordt de belasting van ons milieu beperkt, leveringszekerheid van grondstoffen vergroot en worden economische kansen gecreëerd. Waterschappen beheren objecten, “assets”, in de waterketen, het watersysteem en waterveiligheid en daarmee een grote voorraad aan materialen. Daarmee ligt er een grote uitdaging om deze assets circulair te beheren.

Voor het winnen van deze materialen en vervaardigen van objecten, zijn energie en grondstoffen verbruikt. Hierdoor is er een milieu-impact ‘ingebed’ in deze assets. Deze is voor het totaal van de waterschappen ingeschat op basis van de gegevens van 6 waterschappen. De gemiddelde ingebedde klimaatimpact van de totale materiaalvoorraad per waterschap bedraagt ca. 1,2 Megaton CO₂-eq. Een meer volledige vertegenwoordiging van milieu-impact is de Milieu Kosten Indicator. Deze bedraagt gemiddeld 127 mln EUR per waterschap. De mate van circulariteit is ook bepaald op basis van de Material Circularity Index (MCI) en is nog slechts 13%.

Voor volledige circulariteit in aanleg en beheer van de assets is in deze studie een stappenplan ontwikkeld met als eerste stap inzicht in het huidige areaal (stap 1) en als tweede inzicht in de toekomstige vraag naar materialen voor de aanleg en onderhoud van het areaal en welke materialen daarbij vrijkomen (stap 2). Deze inzichten zijn de basis voor het vaststellen van de tactiek voor aanleg en beheer van specifieke assets (stap 3). Bijvoorbeeld het bevorderen van hoogwaardig hergebruik door modulair te gaan bouwen, of het ‘circulair slopen’ van bestaande objecten. In de realisatiefase (stap 4) wordt de aanpassing in het areaal daadwerkelijk doorgevoerd en veranderd daarmee de materiaalvoorraad.

Met deze inventarisatie en het concretiseren van de opgave is een belangrijke stap gezet in het concretiseren van het circulaire assetmanagement van de waterschappen.

Joost Buntsma
Directeur STOWA

SAMENVATTING

Deze achtergrondrapportage beschrijft de aanpak en rekenmethodiek die gebruikt is voor de materiaalvoorraadanalyse ten behoeve van het STOWA-onderzoek circulair assetmanagement.

Tabel 1 geeft een overzicht van de toegepaste rekenmethodiek per objectcategorie. Hierin is aangeduid per objectcategorie welke data gebruikt is, welke aanvulling gedaan is en hoe de materialisatie bepaald is. Daarnaast wordt met kleuraanduiding (oranje, geel, groen - matig, voldoende, goed) de nauwkeurigheid van de benadering per objectcategorie weergegeven, die opgesteld is op basis van de data volledigheid, kwaliteit van aanvulling en nauwkeurigheid van de materialisatie. De waardering voor nauwkeurigheid geeft aan hoe het volstaat voor het doel van deze studie. Als opmerking wordt per objectcategorie meer inhoudelijke informatie verschaft. Voor meer diepgang wordt verwezen naar de bijbehorende paragrafen in dit rapport.

TABEL 1 OVERZICHTSTABEL REKENMETHODIEK PER OBJECTCATEGORIE EN INDICATIE NAUWKEURIGHEID DOOR MIDDEL VAN KLEURAANDUIDING

Categorie (nauwkeurigheid totaal)	Data (volledigheid)	Aanvulling (kwaliteit)	Materialisatie (nauwkeurigheid)	Opmerking
waterveiligheid	lengte, type	expert judgement: dimensionering, materialisatie	dimensionering, categorisering. materialisatie uit expert judgement	Objecten aangeleverd op verschillende aggregatieniveaus. Inschattingen expert judgement uniek per waterschap.
rwzi's	capaciteit	expert judgement: categorisering	categorisering, schaalbaarheid. referentie objecten	Drie referentieziveringen, klein-middel-groot. Geen onderscheid op procestechnologie.
transportleidingen	lengte, diameter, type	statistisch	dimensionering	Voor enkele objecten aanvulling vereist door middel van statistische waarden.
rioolgemalen	capaciteit	statistisch	categorisering	Mediaan per waterschap, drie referenties.
utiliteitsbouw	oppervlak	statistisch	schaalbaarheid, referentie gebouwen	Aangeleverde data varieert in scope utiliteitsbouw.
poldergemalen	capaciteit	statistisch	categorisering, referentie-objecten	Materialisatie 'middel' gemaal aangehouden voor 'middel' en 'groot'. Effectief 2 referenties.
sluizen	lengte, breedte	statistisch, expert judgement: aanvullende data per objecttype.	categorisering, referentie-objecten	Categorisering sluizen en materialisatie daarvan op basis van expert judgement. Data gebruikt voor categorisering.
stuwen	lengte, breedte, type	statistisch, aanname hoogte	dimensionering, categorisering.	Grove benadering door middel van dimensionering.
duikers	lengte, diameter, type.	statistisch, bij ontbreken type wordt materiaalverdeling toegepast	dimensionering	Bij ontbrekende data wordt materiaalverdeling toegepast.
oeverbeschoeiing	lengte, hoogte, breedte (dikte)	statistisch, aanname breedte parameter	dimensionering, categorisering. Materiaalverdeling.	Materialisatie op basis van expert judgement waterschappen.
infrastructuur	type, lengte	statistisch	dimensionering	Veel variatie in objecten (wegen, bruggen, fietspaden, et cetera). Bij ontbrekend typeomschrijving weg aangehouden.

DE STOWA IN HET KORT

STOWA is het kenniscentrum van de regionale waterbeheerders (veelal de waterschappen) in Nederland. STOWA ontwikkelt, vergaart, verspreidt en implementeert toegepaste kennis die de waterbeheerders nodig hebben om de opgaven waar zij in hun werk voor staan, goed uit te voeren. Deze kennis kan liggen op toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk-juridisch of sociaalwetenschappelijk gebied.

STOWA werkt in hoge mate vraaggestuurd. We inventariseren nauwgezet welke kennisvragen waterschappen hebben en zetten die vragen uit bij de juiste kennisleveranciers. Het initiatief daarvoor ligt veelal bij de kennisvragende waterbeheerders, maar soms ook bij kennisinstellingen en het bedrijfsleven. Dit tweerichtingsverkeer stimuleert vernieuwing en innovatie.

Vraaggestuurd werken betekent ook dat we zelf voortdurend op zoek zijn naar de 'kennisvragen van morgen' – de vragen die we graag op de agenda zetten nog voordat iemand ze gesteld heeft – om optimaal voorbereid te zijn op de toekomst.

STOWA ontzorgt de waterbeheerders. Wij nemen de aanbesteding en begeleiding van de gezamenlijke kennisprojecten op ons. Wij zorgen ervoor dat waterbeheerders verbonden blijven met deze projecten en er ook 'eigenaar' van zijn. Dit om te waarborgen dat de juiste kennisvragen worden beantwoord. De projecten worden begeleid door commissies waar regionale waterbeheerders zelf deel van uitmaken. De grote onderzoekslijnen worden per werkveld uitgezet en verantwoord door speciale programmacommissies. Ook hierin hebben de regionale waterbeheerders zitting.

STOWA verbindt niet alleen kennisvragers en kennisleveranciers, maar ook de regionale waterbeheerders onderling. Door de samenwerking van de waterbeheerders binnen STOWA zijn zij samen verantwoordelijk voor de programmering, zetten zij gezamenlijk de koers uit, worden meerdere waterschappen bij één en het zelfde onderzoek betrokken en komen de resultaten sneller ten goede aan alle waterschappen.

De grondbeginselen van STOWA zijn verwoord in onze missie:

Het samen met regionale waterbeheerders definiëren van hun kennisbehoeften op het gebied van het waterbeheer en het voor én met deze beheerders (laten) ontwikkelen, bijeenbrengen, beschikbaar maken, delen, verankeren en implementeren van de benodigde kennis.

CIRCULAIR ASSETMANAGEMENT WATERSCHAPPEN ACHTERGRONDRAPPORTAGE REKENMETHODIEK

INHOUD

	TEN GELEIDE	
	SAMENVATTING	
	DE STOWA IN HET KORT	
1	INLEIDING	1
	1.1 Circulariteit	1
	1.2 Milieueffecten	4
	1.3 Leeswijzer	4
2	DATA ANALYSE	5
	2.1 Datakwaliteit	5
	2.2 Data verzameling	5
	2.3 Waterveiligheid	6
	2.4 Rioolwaterzuiveringsinstallaties	7
	2.5 Transportleidingen	7
	2.6 Rioolgemalen	7
	2.7 Utiliteitsbouw	7
	2.8 Poldergemalen	8
	2.9 Sluizen	8
	2.10 Stuwen	8
	2.11 Duikers	9
	2.12 Oeverbeschoeiing	9
	2.13 Infrastructuur	9

3	MATERIALISATIE	10
3.1	Rekenmethode	10
3.1.1	Dimensionering	10
3.1.2	Schaalbaarheid	11
3.1.3	Categorisering	11
3.2	Waterveiligheid	11
3.3	Rioolwaterzuiveringsinstallaties	12
3.4	Transportleidingen	13
3.5	Rioolgemalen	14
3.6	Utiliteitsbouw	15
3.7	Poldergemalen	15
3.8	Sluizen	16
3.9	Stuwen	18
3.10	Duikers	19
3.11	Oeverbeschoeiing	20
3.12	Infrastructuur	21
4	MILIEUEFFECTEN	22
4.1	Meetmethode	22
4.2	Werkwijze	22
5	JAARLIJKSE MATERIAALSTROMEN EN MILIEU-IMPACT	24
5.1	Rekenmethoden	24
5.1.1	Toepasbaarheid	24
5.2	Resultaten optie 1: top-down	25
5.3	Resultaten optie 2: bottom-up	25
5.3.1	Validatie	28
5.4	Waterkeringen	28
BIJLAGE(N)		29
BIJLAGE I	GRONDDIJKEN CATEGORISERING EN EIGENSCHAPPEN	30
BIJLAGE II	UTILITEITSBOUW TOEWIJZINGSTABEL	33
BIJLAGE III	SLUIZEN TOEWIJZINGSTABEL	35
BIJLAGE IV	OEVERBESCHOEIING TOEWIJZINGSTABEL	36
BIJLAGE V	INFRASTRUCTUUR TOEWIJZINGSTABEL	38
BIJLAGE VI	MATERIALISATIE SLUIZEN	39
BIJLAGE VII	UITGANGSPUNTEN MKI	42
BIJLAGE VIII	NOTITIE EXPERT JUDGEMENT	46

1

INLEIDING

Deze achtergrondrapportage beschrijft de aanpak en rekenmethodiek die gebruikt is voor de materiaalvoorraadanalyse ten behoeve van het STOWA onderzoek circulair assetmanagement. Het onderzoek geeft inzicht in het (bouw)materialengebruik in objecten en de hieraan gerelateerde milieu-impact om waterschappen in staat te stellen tijdens asset programmering, planvorming en ontwerptrajecten circulair ontwerpen, bouwen en beheren te bevorderen. Het onderzoek is uitgevoerd in opdracht van Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA) en uitgevoerd in samenwerking met de Unie van Waterschappen (UvW) en zes waterschappen (Amstel, Gooi & Vecht (AGV), hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier, hoogheemraadschap van Delfland, waterschap Zuiderzeeland, waterschap Vallei en Veluwe en waterschap Rivierenland).

De resultaten van dit onderzoek zijn beschreven in het Hoofdrapport¹. Vanuit de areaaldata (aantallen en omschrijvingen van objecten in beheer) die zijn aangeleverd door de waterschappen, is bepaald hoeveel materiaal zich in assets bevindt en wat hiervan de ingebedde milieu-impact² is. Met areaal wordt hierbij bedoeld op de assets in het beheer van de waterschappen. Onder assets worden in deze studie de vaste objecten beschouwd, waaronder waterkeringen [waterveiligheid] rioolwaterzuiveringsinstallaties (rwzi's), transportleidingen en rioolgemalen [waterketen], utiliteitsbouw, poldergemalen, sluizen, stuwen, duikers en oeverbeschoeiingen [watersysteem] en wegen [infrastructuur].

In dit achtergronddocument is de rekenmethodiek uitvoerig beschreven om het proces, uitgangspunten en berekeningen inzichtelijk te maken. In dit document zijn ook materiaalsamenstellingen van objecten (materiaalstaten) en aangeleverde areaaldata opgenomen. Tot slot, zijn separaat aan de deelnemende waterschappen ook Factsheets opgeleverd met de resultaten per waterschap.

1.1 CIRCULARITEIT

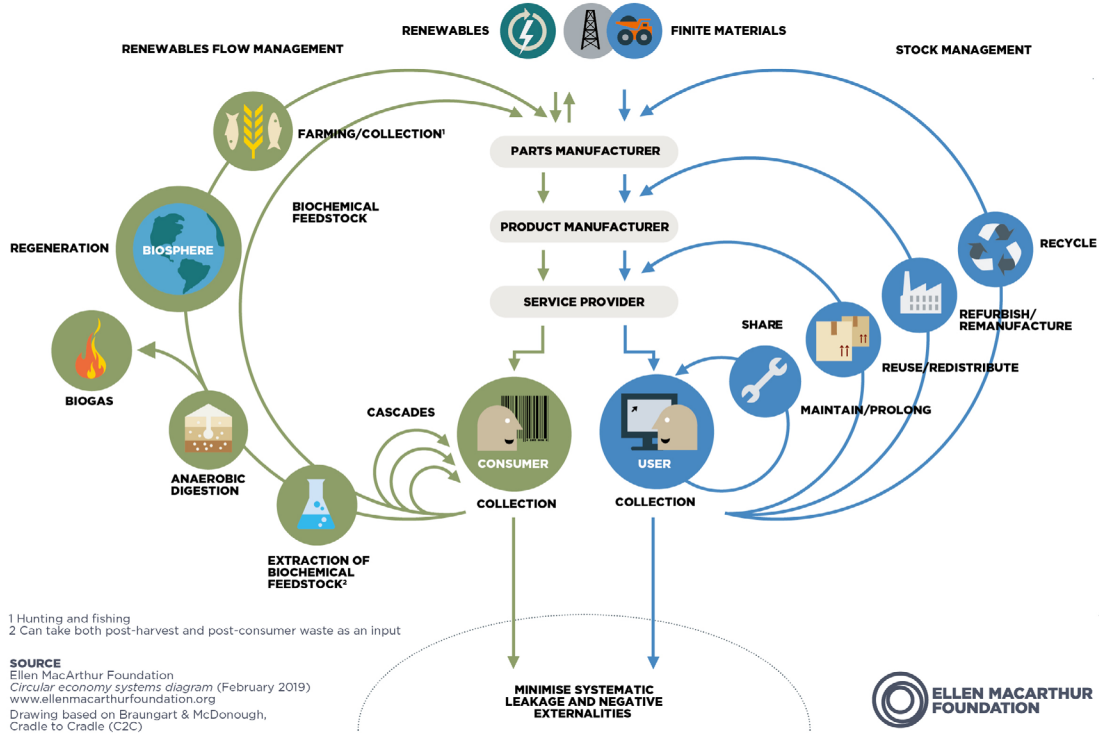
Als materialen vanuit circulariteit worden beschouwd, kunnen deze onderverdeeld worden op herkomst en einde-levensduur bestemming. De herkomst van een materiaal kan abiotisch of biotisch zijn, dat wil zeggen dat het materiaal gewonnen is uit een niet-hernieuwbare of hernieuwbare bron. Hernieuwbare materialen, zoals hout, zijn circulair omdat deze kunnen worden opgenomen in de biologische kringloop en daarmee geen eindige voorraden uitputten. Een veelgebruikt theoretisch kader voor circulariteit is dat van de Ellen McArthur Foundation. Afbeelding 1.1 beschrijft de materiaalstromen in een circulaire economie. Hierbij wordt duidelijk onderscheid gemaakt tussen biotische of hernieuwbare (renewables) en abiotische of niet-hernieuwbare (finite) materialen in de linker en rechter kringloop respectievelijk. De circulaire strategieën zijn hierbij ook verschillend, waarbij de biotische materialen weer opgenomen

¹ 120873-21-018.406-rapc01-Hoofdrapport d.d. 3 december 2021.

² De ingebedde milieu-impact van een object zijn de milieueffecten die plaats hebben gevonden voor de realisatie van het object. Hieronder vallen winning en verwerking van materialen, transport en realisatie van het object en verwijdering.

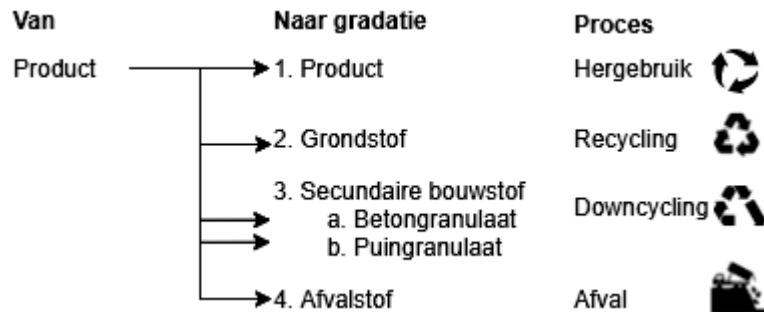
worden in de biosfeer en abiotische materialen zo intensief mogelijk benut moeten worden door middel van de bekende R-strategieën (onder andere reduce, reuse, recycle). Het voorkomen van afdanking door het verlengen van levensduur en hergebruik heeft vaak de voorkeur en zal ook deel uitmaken van circulaire strategieën die toegepast moeten worden voor een circulaire- en duurzame economie.

AFBEELDING 1.1 HERNIEUWBARE (RENEWABLES) EN NIET-HERNIEUWBARE (FINITE MATERIALS) MATERIAALSTROMEN IN DE CIRCULAIRE ECONOMIE



Niet-hernieuwbare materialen kunnen onderverdeeld worden als recyclebaar en niet-recyclebaar. Hierin zijn gradaties te onderscheiden, aangezien sommige materialen na recycling in hun originele toepassing gebruikt kunnen worden en dus gezien kunnen worden als nieuwe grondstof. Andere materialen zijn niet meer toe te passen in hun originele toepassing en kunnen slechts als secundaire bouwstof gebruikt worden, met een laagwaardigere toepassing, ook wel 'downcycling' genoemd (Afbeelding 1.2).

AFBEELDING 1.2 GRADATIE VAN PRODUCT BIJ EINDE VAN DE LEVENSDUUR³



- 3 1: Hergebruik: 1-op-1 hergebruik component.
- 2: Grondstof: hoogwaardige recycling van componenten met behoud van kwaliteitsniveau en materiaaleigenschappen.
- 3: Downcycling: laagwaardige recycling van componenten zonder behoud van kwaliteitsniveau en materiaaleigenschappen.
- 4: Afval: indien enkel verbranden of storten mogelijk is.

Een laagwaardige vorm van recycling is bijvoorbeeld het verbranden en daarmee terugwinnen van energie uit een materiaal. Dit is in veel gevallen laagwaardig, omdat alle toegevoegde waarde van product- en materiaaleigenschappen verloren gaat. Er zijn weinig materialen die enkel als afval gezien kunnen worden. Voorbeelden van hoogwaardig recyclebare materialen zijn metalen en sommige kunststoffen. Beton, keramieken, vezel versterkte kunststoffen zijn enkel als secundaire bouwstof te recyclen en daarmee minder hoogwaardig. Met name zorgwekkende materialen zoals asbest zijn ongewenst in een circulaire economie en zullen als afval behandeld worden. Uitgangspunten voor de aandelen gerecycled materiaal en secundair materiaal zijn opgenomen in tabel 1.1.

Tabel 1.1, afkomstig uit de CB'23 basis dataset⁴, geeft voor recyclebare materialen het aandeel gerecycled materiaal weer. Deze geeft een indicatie van de huidige productie en is daarmee representatief voor materialen die vandaag de dag worden toegepast. Aanvullend is de bestemming bij einde levensduur naar inzicht toegevoegd. Hierbij is rekening gehouden met twee gradaties: recycling als grondstof met behoud van kwaliteit en recycling als secundair materiaal met verlies van kwaliteit.

TABEL 1.1

AANDELEN GERECYCLED MATERIAAL (RECYCLED CONTENT) OP BASIS VAN DE CB'23 BASIS DATASET

Materiaal	Gerecyclede (R) of secundair aandeel (SM) in %	Bestemming
wapeningsstaal	29,5 R	recycling als grondstof
constructiestaal uit west-europa ⁵	94,5 R	recycling als grondstof
plaatstaal	15,1 R	recycling als grondstof
aluminium	73,9 R	recycling als grondstof
glaswol	55,3 R	recycling als secundair materiaal
steenwol	25 R	recycling als secundair materiaal
eps	2 R	recycling als grondstof
lood	557 R	recycling als grondstof
koperdraad	17,8 R	recycling als grondstof
cement ⁶	0-70 SM	recycling als secundair materiaal
beton ⁷ (huidig)	0-55,7 SM	recycling als secundair materiaal
spaanplaat	75,2 R	recycling als secundair materiaal
klei	0 R	recycling als grondstof
zand	0 R	recycling als grondstof
beton (oud)	0 R	recycling als secundair materiaal
aluminium (oud)	0 R	recycling als grondstof
staal & ijzer (generiek)	30 R	recycling als grondstof
overig	0 R	recycling als secundair materiaal
steen	0 R	recycling als grondstof
kunststof (generiek)	0 R	recycling als grondstof
keramiek	0 R	recycling als secundair materiaal
puingranulaat	100 SM	recycling als secundair materiaal
hout	Hernieuwbaar	recycling als secundair materiaal

4 Van Leeuwen, M.L.J. (2020) generieke dataset voor kernmethode CB23.

5 Veelal afkomstig uit Electric Arc Furnaces waar 100% schroot staal kan worden gerecycled. Er is minder primaire productie in West-Europa omdat deze met name in Azië plaatsvindt. Ook bij primaire productie wordt een aandeel schroot gebruikt in het proces. De toepassing in Nederland (West-Europa) wil niet zeggen dat de herkomst West-Europa is, waardoor het eigenlijke aandeel recyclebaar lager is dan hier weergegeven.

6 Voor cement is een aandeel secundair materiaal gebruikelijk met sterke variatie tussen cement types. CEM I bevat bijvoorbeeld 0-5 % secundair materiaal, terwijl CEM III/B 66-80 % secundair materiaal bevat. Het aandeel secundair materiaal is veelal een restproduct uit staalproductie.

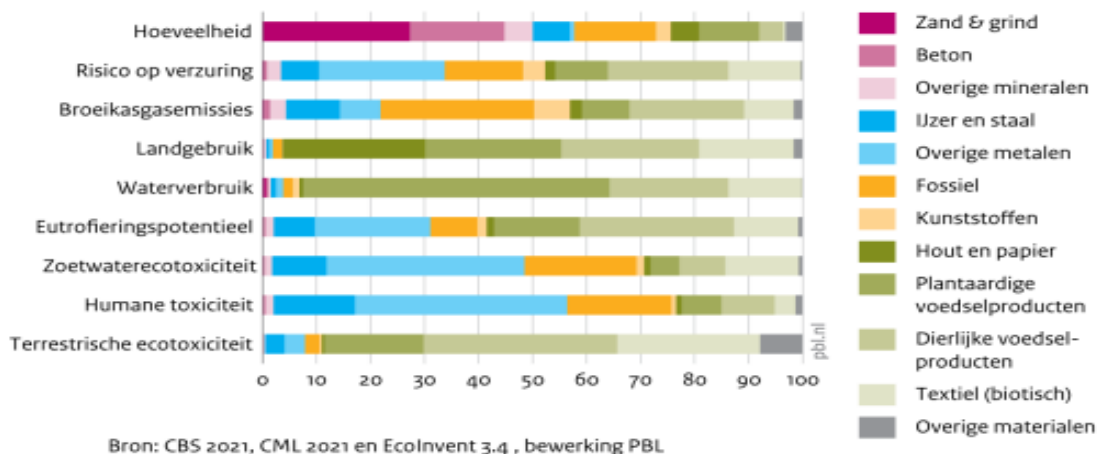
7 Gebroken betonpuin kan gebruikt worden in nieuw beton als vervanging van aggregaat.

1.2 MILIEUEFFECTEN

Grondstoffen en materialen vormen de basis van onze economie en bestaanswijze. De milieueffecten ten gevolge van het winnen en verwerken van deze grondstoffen en materialen beïnvloeden echter op grote schaal vitale natuurlijke systemen.

Afbeelding 1.3 beschrijft de relevantie van grondstoffen en materialen voor de milieueffecten van Nederlandse consumptie. Hierin is te zien wat het massa aandeel van de verschillende materiaalgroepen is in de Nederlandse Economie en wat voor verschillende milieueffect-categorieën de bijdrage van de materiaalgroepen zijn. Hierbij valt op dat minerale grondstoffen en materialen (zand & grind, beton, overige) in massa relatief groot is, maar weinig invloed heeft op de milieu effecten. Voor ijzer en staal en overige metalen is dit tegenovergesteld, met name voor verzuring, broeikasgasemissies, eutrofiering (vermesting) en toxiciteit. Fossiele grondstoffen en materialen hebben met name op broeikasgasemissies een sterk effect. Hout & papier hebben met name op landgebruik een sterk effect⁸.

AFBEELDING 1.3 RELEVANTIE VAN GRONDSTOFFEN EN MATERIALEN VOOR DE MILIEUEFFECTEN VAN NEDERLANDSE CONSUMPTIE IN 2018.



1.3 LEESWIJZER

Dit rapport beschrijft de rekenmethodiek in chronologische volgorde. Eerst is de areaaldata geanalyseerd en aangevuld met statistisch representatieve waarden en/of expert judgement. Dit proces is beschreven in hoofdstuk 2: Data analyse. Vervolgens zijn met behulp van referentieobjecten, schaalbaarheid en expert judgement op basis van karakteriserende eigenschappen de materiaalhoeveelheden bepaald. Een overzicht van referentieobjecten, schaling en categorisering en expert judgement wordt beschreven in hoofdstuk 3. Deze materiaalhoeveelheden zijn vervolgens vertaald naar milieueffecten door kengetallen uit de Nationale Milieu Database (NMD). Deze vertaling wordt toegelicht in hoofdstuk 4. Ten slotte is in hoofdstuk 5 de vertaling van materiaalvoorraad naar materiaalstromen beschreven.

⁸ Overige biotische materialen en grondstoffen (hout en papier, voedselproducten, textiel) zijn met name verantwoordelijk voor landgebruik, waterverbruik, eutrofiering (vermesting) en toxiciteit voor leven op land (terrestrische ecotoxiciteit). Hierbij gaat het met name om voedselproducten.

2

DATA ANALYSE

In dit hoofdstuk wordt het proces van dataverzameling en verwerking beschreven. Met behulp van areaaldata en referentieobjecten is een basis voor circulair asset management gecreëerd. Assetmanagement berust in essentie op kennis en informatie van objecten om deze te beheren. Circulair assetmanagement vergroot de behoefte voor de vastlegging van aanvullende informatie over onder andere materialisatie en milieu-impact.

2.1 DATAKwaliteit

De nauwkeurigheid van de voorraadanalyse valt en staat met de volledigheid en nauwkeurigheid van de aangeleverde data en aannames. Het is voor deze studie niet werkbaar om voor ieder object in detailniveau na te gaan uit welke materialen deze bestaat. Echter zal ook voldoende onderscheid gemaakt moeten worden in materiaalsamenstellingen, objecten en objectkarakteristieken om voldoende inzicht in materiaalgebruik en milieueffecten van de waterschappen te verkrijgen.

Door variërende categorisering (bijvoorbeeld binnen objectcategorieën), beperkte omschrijvingen van objecten en beperkt aantal en detailniveau van referentieobjecten volstaat het resultaat van deze studie niet voor analyse op detailniveau. De resultaten zijn wel bruikbaar voor de beoogde doelstellingen op hoger niveau, namelijk een eerste inzicht geven in de materiaalvoorraad in beheer van waterschappen en ingebedde milieu-impact daarvan.

Waar de volledigheid van de aangeleverde data onvoldoende is, is de ontbrekende data aangevuld door gebruik te maken van statistische waardes. Hierbij is voornamelijk uitgegaan van de mediaan of een gemiddelde. In dit onderzoek is de mediaan het meest toegepast omdat deze methode uitschieters niet meeneemt, die een vertekend beeld kunnen geven.

2.2 DATA VERZAMELING

Als startpunt is een data-uitvraag gedaan bij de deelnemende waterschappen. Hierin zijn de waterschappen verzocht areaaldata per objectcategorie aan te leveren, waarin individuele objecten en karakteristieken (capaciteiten, afmetingen, et cetera) worden beschreven. Daarnaast zijn materiaalstaten uitgevraagd van referentieobjecten, bestaande uit een decompositie van materialen in een object.

Vervolgens is aan de hand van een iteratief proces met de waterschappen de data zo goed mogelijk gevuld. Het iteratieve proces bestond uit achtereenvolgens: het uitsturen van het dataverzoek, een startoverleg, twee rondes datacollectie gevolgd door een tussentijds overleg. Hieruit bleek dat verschillende materiaalstaten niet geleverd konden worden door de waterschappen zelf. Ook zijn er verschillen in het detailniveau en categorisering van de areaalgegevens aanwezig. Een risico is dat hierdoor interpretatieverschillen ontstaan. Hierdoor en voor

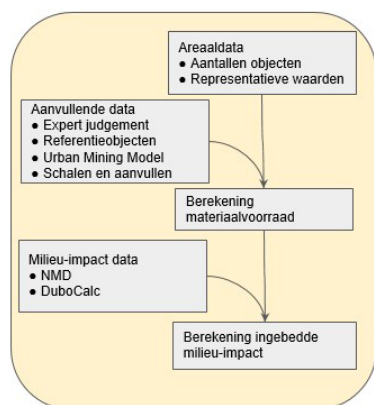
het vullen van ontbrekende data is voor enkele aspecten nog een expert judgement uitgevoerd door de waterschappen.

De resultaten en procesbeschrijving van de dataverzameling zijn vastgelegd in de technische rapportage data-analyse⁹.

Aan de hand van deze technische rapportage heeft de klankbordgroep de geleverde data en aannames gevalideerd. Na validatie en aanvulling van ontbrekende data is aanvullende expert judgement binnen Witteveen+Bos uitgevoerd. Deze expert judgement is uitgevoerd vanuit relevante ontwerpdisciplines binnen de organisatie. De verkregen informatie is een aanvulling op de eerdere uitvraag naar de waterschappen om ontbrekende data aan te vullen door expert judgement. De resultaten van de expert judgement staan vastgelegd in de expert judgement notitie (bijlage VIII).

Een visuele weergave van dataverzameling en -verwerking om tot materiaalvoorraad en milieu-impact te komen is weergegeven in afbeelding 2.1.

AFBEELDING 2.1 VISUALISATIE DATAVERZAMELING EN BEREKENING MATERIAALVOORRAAD EN MILIEU-IMPACT



2.3 WATERVEILIGHEID

Voor waterveiligheid is er veel variatie in de aangeleverde areaaldata. Zo is bijvoorbeeld data aangeleverd voor individuele waterkeringen en in andere gevallen geaggregeerd voor alle primaire keringen. Daarnaast is in sommige gevallen alleen de parameter lengte beschikbaar en voor andere lengte, breedte en hoogte. Wanneer breedte en hoogte onbekend zijn, zijn deze parameters aangevuld met inschattingen gebaseerd op expert judgement, met specifiek onderscheid per waterschap.

De beschrijving van type waterkering loop ook uiteen. Als geen beschrijving in het type waterkering is gegeven, wordt uitgegaan van primaire keringen. De verschillende beschrijvingen van waterkeringen zijn terug te leiden naar Regionale dijk of (water)kering en Primaire dijk of kering. Hier is afhankelijk van het waterschap verder onderscheid op kust, rivieren en meren gemaakt. Dit wordt nader toegelicht in bijlage I en bijlage VIII.

Door variatie in beschrijving en volledigheid van de aangeleverde data ontstaat een grotere onzekerheid. Deze onzekerheid is deels opgevangen door expert judgement, echter is hierbij ook aangegeven dat de resultaten enkel indicatief geïnterpreteerd moeten worden.

9 120873-21-006.057-rapc01-Technische rapportage

2.4 RIOOLWATERZUIVERINGSINSTALLATIES

De beschikbare data voor rwzi's bestaat uit capaciteit in i.e.¹⁰, bouwjaar, type en aanduiding slibverwerking. Hiervan wordt enkel gebruik gemaakt van de capaciteit, doordat met een beperkt aantal referentie objecten onderscheid op de overige indicatoren niet mogelijk is en data van deze indicatoren niet volledig aangeleverd is. De capaciteit is wel voor elke rwzi aangeleverd.

Met dit resultaat zijn de categorieën klein (<7.500 i.e.) middel (7.500 -150.000 i.e.), groot (150.000-750.000 i.e.) en heel groot (>750.000 i.e.) voor rwzi's vervuld. Waar geen capaciteit beschikbaar was voor een rwzi is deze gevuld met de mediaan van 64.000 i.e.

Door ontbrekende informatie over onder andere bouwjaar, type en slibverwerking is een gedetailleerde uitwerking niet mogelijk. Dit heeft als effect dat het onderscheidend vermogen dat deze parameters hebben, niet is meegenomen in deze studie.

2.5 TRANSPORTLEIDINGEN

Voor transportleidingen is lengte, materiaal en diameter uitgevraagd. Voor 119 van de 2233 (circa 5%) leidingen is geen materiaal aangegeven, deze zijn gevuld met meest voorkomende materiaal; beton. De lengte ontbreekt bij 7 van de 2233 (<1 %) leidingen, deze zijn gevuld met de mediaan van 71 meter. Ten slotte is voor 192 van de 2.233 (circa 9 %) leidingen geen diameter beschikbaar, deze zijn gevuld met de mediaan van 0.75 meter.

De beperkingen in de aangeleverde data zijn door statistische waarden opgevangen. Gezien het kleine aandeel van ontbrekende data voor leidinglengte creëert het ontbreken van deze parameter geen grote foutmarge. Het materiaal en met name de diameter zorgt voor onzekerheid in deze resultaten.

2.6 RIOOLGEMALLEN

Bij ontbrekende capaciteit van rioolgemalen is gebruik gemaakt van de mediaan per waterschap als inschatting. De voor alle waterschappen samen vastgestelde mediaan van circa 52 m³/h is geverifieerd door middel van expert judgement. Deze lage capaciteit is aannemelijk omdat er relatief veel kleine rioolgemalen zijn (bijvoorbeeld op ieder boeren erf). Ook is het waarschijnlijk dat in de aangeleverde data meer bekend is over grote, belangrijke gemalen dan de vele, minder belangrijke, kleine gemalen.

Dit resulteert in een mediaan van 1.513 m³/h voor Delfland, 76 m³/h voor HHNK, 43 m³/h voor AGV, 12 m³/h voor Noorderzijlvest, 20 m³/h voor Zuiderzeeland en 230 m³/h voor Vallei & Veluwe.

Het uitgaan van een statistische waarde om ontbrekende data op te vullen zorgt voor een onzekerheid in de resultaten. Door per waterschap de mediaan te bepalen, wordt met het aanvullen van ontbrekende data rekening gehouden met unieke karakteristieken van de waterschappen.

2.7 UTILITEITSBOUW

Voor utiliteitsbouw is geen aanvulling of aanpassing van aangeleverde data gedaan.

¹⁰ Inwoner equivalenten à 136 gram totaal zuurstofvragende stoffen (TZV) per dag.

2.8 POLDERGEMALEN

Bij poldergemalen ontbreekt in een aantal gevallen de capaciteit. Het verschilt sterk of een waterschap grote of kleine gemalen gebruikt door verschillen in landschap. Daarom is bij aanvulling van ontbrekende data de mediaan per waterschap genomen.

Het uitgaan van een statistische waarde om ontbrekende data op te vullen zorgt voor een onzekerheid in de resultaten.

2.9 SLUIZEN

Doorvaarlengte en -breedte ontbreken in enkele gevallen en zijn gevuld met aanvullende data per objecttype. Waar geen type aanduiding beschikbaar is, zijn deze parameters gevuld met het gemiddelde van de aanvullende data.

Het uitgaan van een statistische waarde om ontbrekende data op te vullen zorgt voor een onzekerheid in de resultaten.

2.10 STUWEN

Breedte, kruinbreedte en lengte ontbreken in enkele gevallen en zijn gevuld met aanvullende data per objecttype (tabel 2.1). Waar geen type aanduiding beschikbaar is, zijn breedte en kruinbreedte gevuld met het gemiddelde van de aanvullende data. Lengte is niet aangevuld aangezien dit niet in alle gevallen van toepassing is bij stuwen. Informatie over de hoogte van een stuw is niet uitgevraagd en ontbreekt geheel. Daarom is een aanname gemaakt van een gemiddelde stuwhoogte van 1 meter.

Het uitgaan van een statistische waarde om ontbrekende data op te vullen zorgt voor een onzekerheid in de resultaten. De grove aanname van 1 meter gemiddelde stuwhoogte brengt echter de grootste onzekere factor met zich mee.

TABEL 2.1 AANVULLENDE DATA GEMIDDELTE AFMETINGEN PER TYPE STUW

Type	Kruinbreedte (m)	Doorstroombreedte (m)
aflaatstuw	6	3,99
brievenbusstuw	4,4	0,6
cascadestuw	1,2	2,75
drijverstuw	0,28	0,14
hevelstuw	0,05	1,05
inlaat- en/of aflaatstuw	0,3	0,3
inlaatstuw	5,1	1,06
kantelstuw	6	3,99
keerwand	6	3,99
knijpstuw	0,02	0,02
meetschot	6	3,99
meetstuw	0,05	0,1
onbekend	3,05	0,71
overig	3,71	1,23
overlaat	53,04	39,89
schotbalkstuw	16,48	11,66
segmentstuw	6	3,99
stuw met klep	22,7	20,9
stuw met schuif	10,06	3,92

Type	Kruinbreedte (m)	Doorstroombreedte (m)
stuwbak	3,5	0,89
tuiemel- of kantelstuw	0,98	0,98
tuiemelstuw	7,03	1,58
gemiddelde	6	3,99

2.11 DUIKERS

Voor een aantal objecten ontbreekt informatie over materiaal, diameter en lengte. Voor diameter worden ontbrekende waarden aangevuld met het gemiddeld van circa 0,44 meter. Voor lengte wordt 21,34 meter aangehouden als gemiddelde, vanuit aanvullende data uitvraag. Waar materiaal ontbreekt wordt in plaats van de materialisatie van het object, de materiaalverdeling in duikers gebruikt.

Het uitgaan van een statistische waarde om ontbrekende data op te vullen zorgt voor een onzekerheid in de resultaten.

2.12 OEVERBESCHOEIING

De parameters diepte en lengte ontbreken voor oeverbeschoeiingen in een aantal gevallen. Ook is geen breedte parameter uitgevraagd, waardoor per object geen breedte beschikbaar is.

De ontbrekende diepte wordt aangevuld met de mediaan van 0,8 meter en lengte met de mediaan van 127,7 meter. Voor de breedte (dikte) wordt een aanname gedaan van gemiddeld 0,5 meter.

Er ontstaat een onzekerheid door het toepassen van statistische waarden en de aanname op breedte. De materialisatie middels materiaalverdeling brengt in mindere mate ook een onzekerheid met zich mee omdat deze misschien niet voor alle waterschappen representatief is.

2.13 INFRASTRUCTUUR

Als type aanduiding ontbreekt, wordt gebruik gemaakt van de meest voorkomende aanduiding; weg. Waar lengte ontbreekt, wordt de mediaan toegepast. Voor breedte en hoogte wordt gebruik gemaakt van aanvullende data zoals beschreven in tabel 2.2.

Het uitgaan van een statistische waarde om ontbrekende data op te vullen zorgt voor een onzekerheid in de resultaten. Aanvullende data wordt voldoende geschikt geacht voor een representatieve inschatting omdat deze voortkomen uit expert judgement.

TABEL 2.2 AANVULLENDE DATA GEMIDDELTE AFMETINGEN PER OBJECTTYPE

Afmetingen	Type	Lengte (m)	Breedte (m)	Hoogte (m)	Doorvaartbreedte (m)
5a wegen	fietspad		3	0,03	
5a wegen	weg		5	0,1	
5a wegen	voetpad		2	0,03	
5b bruggen	bruggen	2,99	5,95		1,06

3

MATERIALISATIE

De materiaalvoorraad is bepaald aan de hand van de aangeleverde, geanalyseerde en aangevulde data. Hiervoor is een materialisatie stap noodzakelijk om van het beschreven object naar hoeveelheden van specifieke materialen te komen. In dit hoofdstuk wordt de algemene rekenmethode en per objectcategorie de specifieke aanpak beschreven.

3.1 REKENMETHODE

Voor de materialisatie van de objecten in het areaal is gebruik gemaakt van verschillende benaderingen. Deze benaderingen zijn onder te verdelen als dimensionering, schaalbaarheid en categorisering. Daarnaast is gebruik gemaakt van materiaalstaten (bottom-up) en materiaalverdeling in het areaal (top-down) wanneer specifieke materiaalstaten niet beschikbaar zijn. Materiaalstaten zijn beschrijvingen van materiaalhoeveelheden in een object. Materiaalverdelingen beschrijven voor alle objecten samen, wat het aandeel (gemiddeld) is van een bepaald materiaal in de objectcategorie.

Deze verschillende benaderingen zijn nodig door de verschillende eigenschappen van objecten en beschikbaarheid van data. Er zijn naast deze benaderingen meer methoden mogelijk om de materialisatie te bepalen, echter worden op basis van beschikbare data, object karakteristieken en doel van deze studie onderstaande benaderingen voldoende geschikt geacht.

Ten slotte worden combinaties van benaderingen toegepast, waar bijvoorbeeld het schalen binnen een categorie een betere inschatting voor de materialisatie geeft.

3.1.1 DIMENSIONERING

In het ideale geval is materialisatie van een object exact te bepalen uit dimensionering. Hiermee kan voor ieder object individueel uitgerekend worden wat de massa per materiaal is. Dit kan beschreven worden door de onderstaande formule. Hierbij wordt de som van de massa van een materiaal in object 1 tot n berekend (hierbij is n het laatste object van een lijst). De massa wordt in dit geval bepaald door de lengte (l), breedte (b) en hoogte (h) van het object, vermenigvuldigd met een vormfactor (v, bijvoorbeeld 0,5 voor een gelijkbenige driehoek) en de dichtheid van het materiaal (ρ).

$$\sum_{i=1}^n l_n * b_n * h_n * v * \rho$$

RESULTAAT DIMENSIONERING

Bij nauwkeurige dimensies en correcte rekenmethode zal dimensionering exact de correcte materiaalhoeveelheid geven. Echter is de rekenmethode veelal als benadering toegepast, waarbij de vorm van een object zo ver mogelijk benaderd wordt op basis van de beschikbare dimensies. Het resultaat is dus een goede benadering van de materialisatie, maar geen exact resultaat.

3.1.2 SCHAALBAARHEID

Schaalbaarheid wordt toegepast als een referentieobject lineair schaalbaar is op een parameter. In het voorbeeld wordt de massa van het materiaal in object 1 tot n berekend. Hierbij is x de massa per eenheid van de parameter (bijvoorbeeld kilogram per vierkante meter) en s de schaalbare parameter (bijvoorbeeld oppervlak).

$$\sum_{i=1}^n x_n * s_n$$

RESULTAAT SCHAALBAARHEID

De mate waarin een object schaalbaar is, hangt af van de eigenschappen van het object en de parameter(s) waarop wordt geschaald. Als deze parameter een van de dimensies is die vorm geven aan het object dat bestaat uit een enkel materiaal, is schalen over een zeer nauwkeurige benadering. Als de parameter een andere eigenschap is, bijvoorbeeld capaciteit, dan is schalen veel minder nauwkeurig of zelfs helemaal fout. Er wordt hier uitgegaan van lineair schalen. Bij complexe objecten of parameters kan niet-lineair schalen of een combinatie met categorisering een realistische benadering geven van de materialisatie.

3.1.3 CATEGORISERING

Categorisering wordt toegepast als referentieobjecten niet- of beperkt schaalbaar zijn. Hierbij is onderscheid gemaakt in karakteriserende eigenschappen van het object zoals type of capaciteit. In het voorbeeld wordt voor drie verschillende categorieën (x, y, z) de massa van het materiaal in object 1 tot n gesommeerd. Voor iedere categorie is een referentie object, in dit geval x, y , en z , die alle objecten binnen die categorie vertegenwoordigd.

$$\sum_{i=1}^n x_n + \sum_{i=1}^n y_n + \sum_{i=1}^n z_n$$

RESULTAAT CATEGORISERING

Categorisering gaat uit van een representatieve waarde van een variërende groep. Door zo veel mogelijk uit te gaan van een gemiddelde waarde per categorie, vallen hogere en lagere waarden weg in het totaal. Het is echter niet uitgesloten dat door categorisering (binnen de zelfde orde-grootte) afwijkingen optreden. Door meer categorieën te definiëren wordt het resultaat nauwkeuriger. Ook het combineren met schaalbaarheid kan een nauwkeurigere inschatting leveren.

3.2 WATERVEILIGHEID

Voor de benadering van de materialisatie voor waterveiligheid is categorisering en dimensionering met een vormfactor van 0,5 toegepast. Hiermee kan per categorie specifiek met, breedte, hoogte en de vormfactor een driehoekdoorsnede berekend worden, welke in vermenigvuldiging met de lengte het volume van de waterkering benaderd. Per categorie waterkering is vervolgens de materialisatie gespecificeerd. De specificatie van categorieën en typering van eigenschappen¹¹ van waterveiligheid is opgenomen in tabel I.1, bijlage I.

11 120873 Tabel grond dijken_categorisering en eigenschappen.xlsx

Waterkeringen zijn onderverdeeld in primair kust, primair meren, primair rivier en regionaal boezem- en polderkaden, rivieren en kanalen. Voor een specifiek materiaal wordt per object de massa berekend. Dit kan voor een specifieke waterkering zijn, of een samengestelde totaalhoeveelheid van een type waterkering binnen een waterschap (bijvoorbeeld primair). Deze zijn vervolgens specifiek per waterschap beschreven (Tabel I.1, bijlage I), wat resulteert in $6 \times 4 = 24$ categorieën.

In het rekenmodel wordt aan de hand van de beschreven categorie de juiste waarde voor dimensionering en materialisatie geselecteerd. Voor een specifiek materiaal geldt dan onderstaande formule, waar voor alle posten op basis van de categorie de massa wordt berekend.

$$\sum_{i=1}^n l_n * b_n * h_n * v * \rho + \sum_{i=1}^n l_n * b_n * h_n * v * \rho + \sum_{i=1}^n l_n * b_n * h_n * v * \rho + \dots$$

3.3 RIOOLWATERZUIVERINGSINSTALLATIES

Voor de benadering van de materialisatie voor rwzi's is categorisering en schaalbaarheid toegepast. Voor rioolwaterzuiveringsinstallaties (rwzi's) is categorisering op capaciteit (inwoner equivalenten; i.e.) gewenst door grote verschillen in materialisatie. Hiervoor zijn referentie rwzi's van klein- en middelmatige capaciteit beschikbaar en is er in de expert judgement een aanvullende materiaalstaat voor een grote zuivering bepaald¹². Hiervoor is gebruik gemaakt van drie referentie rwzi's; klein, middel en groot. De categorisering is weer gegeven in Tabel 3.1.

TABEL 3.1 CATEGORISERING RWZI'S OP BASIS VAN REFERENTIE ZUIVERINGEN

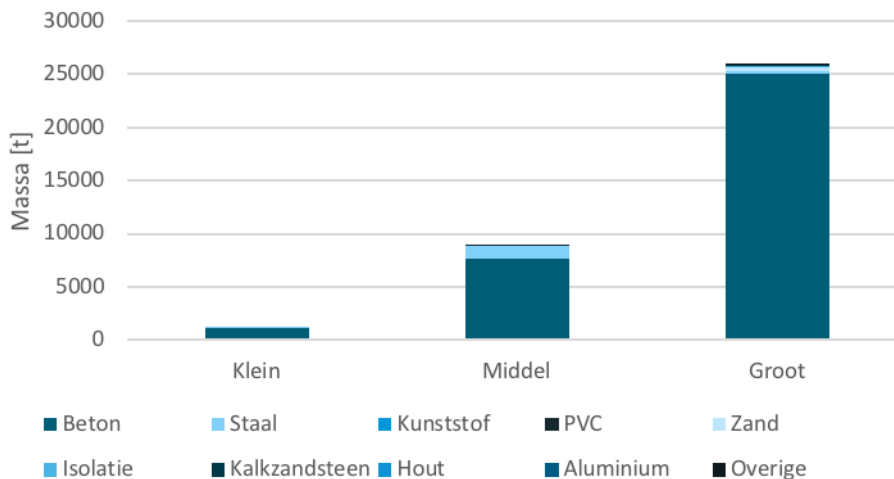
	Klein	Middel	Groot
referentie rwzi [i.e.]	990	40.000	530.000
categorie [i.e.]	<7.500	7.500-200.000	200.000 >

Aan de hand van de categorie wordt de hoeveelheid materiaal [ton/i.e.] opgehaald uit de materiaalstaten en vermenigvuldigd met het aantal i.e.

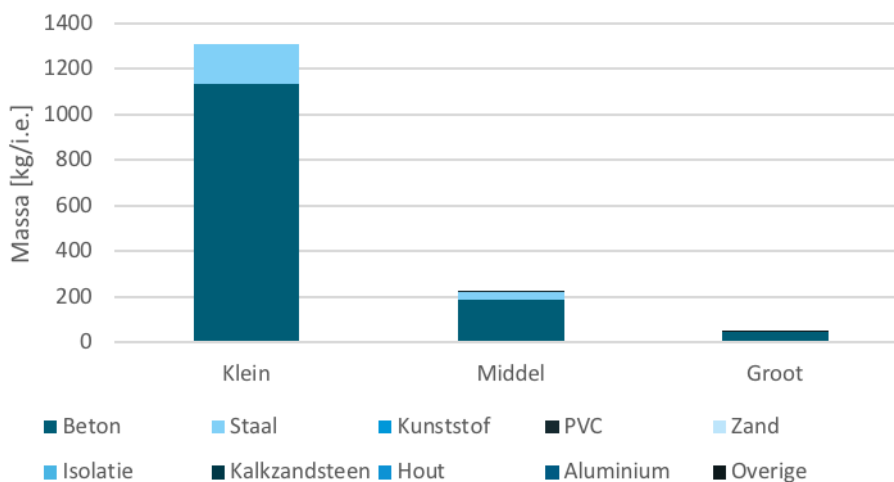
In Afbeelding 3.1 is te zien wat de totale massa en verdeling van materialen in de referentie rwzi's is. Hierbij is een grote rwzi beduidend (26x) meer materiaal aanwezig dan een kleine. In Afbeelding 3.2 is echter te zien dat per i.e. een schaalvoordeel optreedt en beduidend (20x) minder materiaal aanwezig is per i.e. in een grote rwzi¹³.

- 12 Hiervoor is gebruik gemaakt van een beschikbaar Bouw Informatie Model (BIM) van een grote zuivering (530.000 i.e.) waaruit de dimensies en het materiaal van verschillende onderdelen zijn bepaald om de materialisatie van de zuivering te bepalen.
- 13 Dit houdt niet in hele grote zuiveringen per se duurzamer zijn. Mede omdat het gehele zuiveringssysteem ook transportleidingen en gemalen bevat en de gebruiksfase (benodigd transport, beluchting, hulpmiddelen) niet wordt meegenomen.

AFBEELDING 3.1 MATERIALISATIE REFERENTIE RWZI'S



AFBEELDING 3.2 MATERIALISATIE REFERENTIE RWZI'S PER I.E.



Voor een specifiek materiaal is de massa daarmee berekend door per categorie (klein, middel, groot) te schalen naar het aantal i.e. De formule is daarmee zoals hieronder beschreven. Hierbij is x_n de massa van de referentie zuivering per i.e. en s_n het aantal i.e. van de specifieke zuivering (het object).

$$\sum_{i=1}^n x_n * s_n + \sum_{i=1}^n y_n * s_n + \sum_{i=1}^n z_n * s_n$$

3.4 TRANSPORTLEIDINGEN

Voor de benadering van de materialisatie van transportleidingen is dimensionering toegepast. Hierbij is het volume van een holle cilinder berekend door de inhoud van een cilinder op basis van de binnendiameter (inwendig) van een cilinder op basis van de buitendiameter (uitwendig) af te halen en vervolgens te vermenigvuldigen met het soortelijk gewicht van het beschreven materiaal. Hierbij wordt aangenomen dat de binnendiameter circa 90% van buitendiameter is.

Voor een specifiek materiaal is de berekening dus als beschreven door de onderstaande formule.

$$\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{4} \pi * D_n^2 - \frac{1}{4} \pi * (0,9D_n)^2 \right) * \rho$$

3.5 RIOOLGEMALEN

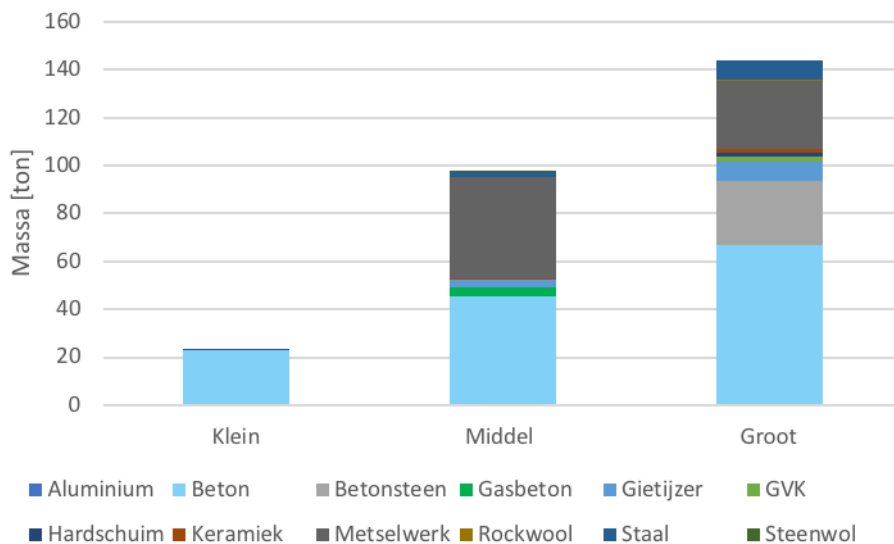
Voor rioolgemalen is gebruik gemaakt van categorisering om de hoeveelheid materialen te bepalen. Uit expert judgement zijn de categorisering in klein, middel, groot opgesteld (tabel 3.2). Hierbij is ook aangegeven waar inhoudelijk (materialisatie) de verschillen zitten. Door beperkte omschrijving zijn deze aspecten echter beperkt meegenomen in de berekeningen¹⁴.

TABEL 3.2 CATEGORISERING RIOOLGEMALEN

Categorie	Capaciteit [m ³ /h]	Opmerking
klein	<100	prefab, nat opgesteld. Vaker kunststof leidingen
middel	500-1.000	bijna allemaal nat opgesteld. Meestal uitgevoerd met betonnen natte kelder, luik, schakelkast, afsluiters en twee pompen
groot	>1.000	droog en nat opgesteld. Nieuwe rioolgemalen vaker nat. Ouder vaker droog. Ook grotere rioolgemalen vaker droog.

In Afbeelding 3.3 wordt de materialisatie van de referentie rioolgemalen weergegeven.

AFBEELDING 3.3 MATERIALISATIE REFERENTIE RIOOLGEMALEN



Aan de hand van de capaciteit (debiet) wordt de categorie bepaald. Per categorie geldt de materialisatie van het referentie rioolgemaal. Voor een specifiek materiaal geldt daarom onderstaande formule.

$$\sum_{i=1}^n x_n + \sum_{i=1}^n y_n + \sum_{i=1}^n z_n$$

14 Nat - of droog opgesteld en wel - of geen bovenbouw heeft veel invloed op de materialisatie, dit is echter niet direct af te leiden uit de beschikbare data.

Nieuwere gemalen, die zijn gebouwd in de laatste 10-15 jaar bevatten andere materialen dan gemalen die daarvoor zijn gebouwd:

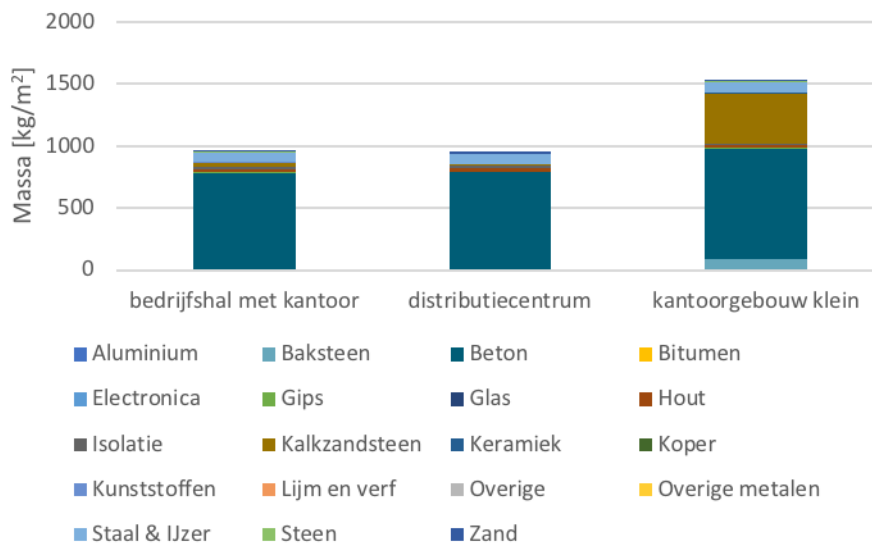
- Leidingwerk binnen het gemaal is van oudsher deels gietijzer, staal.
- Tot de jaren '70-'80 is er mogelijk asbest aanwezig.

3.6 UTILITEITSBOUW

Utiliteitsgebouwen zijn zeer gevarieerde assets in samenstelling. Daarom is gebruik gemaakt van categorisering. De onderverdeling van gebouwtypen naar categorieën is opgenomen in bijlage II. Hierbij zijn gebouwtypes geclassificeerd naar: kantoorgebouw klein, bedrijfshal met kantoor, distributiecentrum (benadering voor loodsen, werkplaatsen, magazijnen, et cetera). De referentieobjecten zijn gebaseerd op eerder onderzoek naar materiaalstaten van gebouwen¹⁵. Vervolgens is door middel van schaalbaarheid, met als parameter oppervlak [m²] vanuit de aangeleverde data, de materialisatie berekend.

In Afbeelding 3.4 staan de materiaalintensiteiten in kilogram per m² bruto vloeroppervlak (BVO).

AFBEELDING 3.4 MATERIALISATIE DOOR MIDDEL VAN MATERIAALINTENSITEIT [KG/M²] UTILITEITSBOUW.



Onderstaande formule beschrijft de berekening van de materialisatie van utiliteitsbouw. Hierbij wordt voor de objecten in het areaal bepaald in welke van de drie categorieën deze valt en op basis daarvan de materiaalintensiteit (z_n) geschaald met het bruto vloeroppervlak (S_n).

$$\sum_{i=1}^n x_n * S_n + \sum_{i=1}^n y_n * S_n + \sum_{i=1}^n z_n * S_n$$

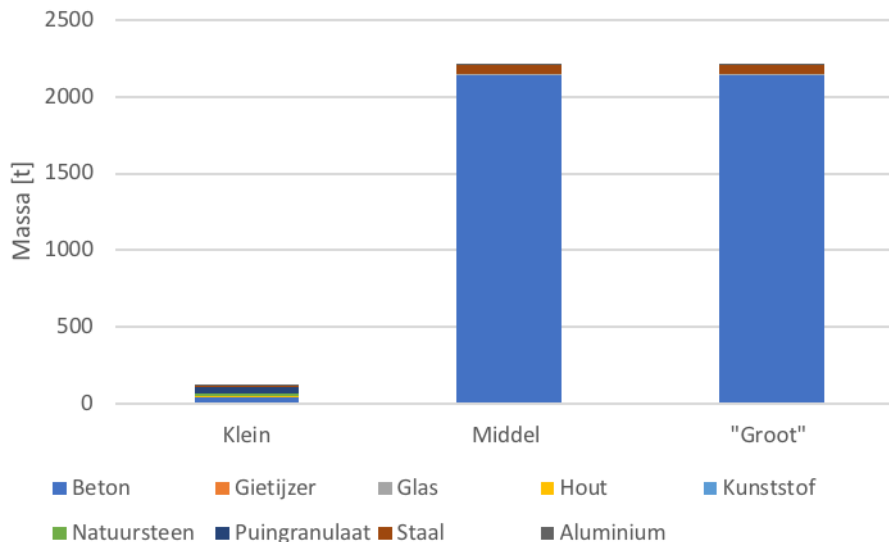
3.7 POLDERGEMALEN

Categorisering toegepast op poldergemalen. Hierbij is uitgegaan van kleine poldergemalen als de capaciteit van minder dan 1 m³/s is, voor middelgrote poldergemalen 1-5 m³/s en grote poldergemalen meer dan 5 m³/s.

Schalen is niet toegepast, echter is vanuit kostenramingen bekend dat lineair schalen mogelijk is voor middel tot grote poldergemalen (1-15 m³/s) en voor kleine (<1 m³/s) poldergemalen non-lineair schalen.

Voor poldergemalen is gebruik gemaakt tien materiaalstaten waarvan gemiddelden per categorie als referentiegemaal dienen. Voor de categorie groot zijn echter geen materiaalstaten beschikbaar en is de categorie middel aangehouden. Feitelijk is er dus onderscheid in twee categorieën, zoals weergegeven in afbeelding 3.5.

AFBEELDING 3.5 MATERIALISATIE REFERENTIE POLDERGEMALEN



Onderstaande formule beschrijft de berekening van de materialisatie van poldergemalen. Hierbij wordt op capaciteit het poldergemaal gecategoriseerd in klein, middel en groot en vervolgens de materialisatie van het referentie gemaal toegekend.

$$\sum_{i=1}^n x_n + \sum_{i=1}^n y_n + \sum_{i=1}^n z_n$$

3.8 SLUIZEN

Voor de materialisatie van sluisen is categorisering toegepast op type en dimensies. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen kleine (< 10 meter doorvaarbreedte) en grote (> 10 meter doorvaarbreedte) schutsluisen (afbeelding 3.7) en spuisluisen (afbeelding 3.8) en keersluisen (afbeelding 3.6). De onderverdeling en onderbouwing van materialisatie voor verschillende sluisen over de drie typerende categorieën is opgenomen in bijlage III.

AFBEELDING 3.6 GROTE KEERSLUIIS



AFBEELDING 3.7 KLEINE SCHUTSLUIS

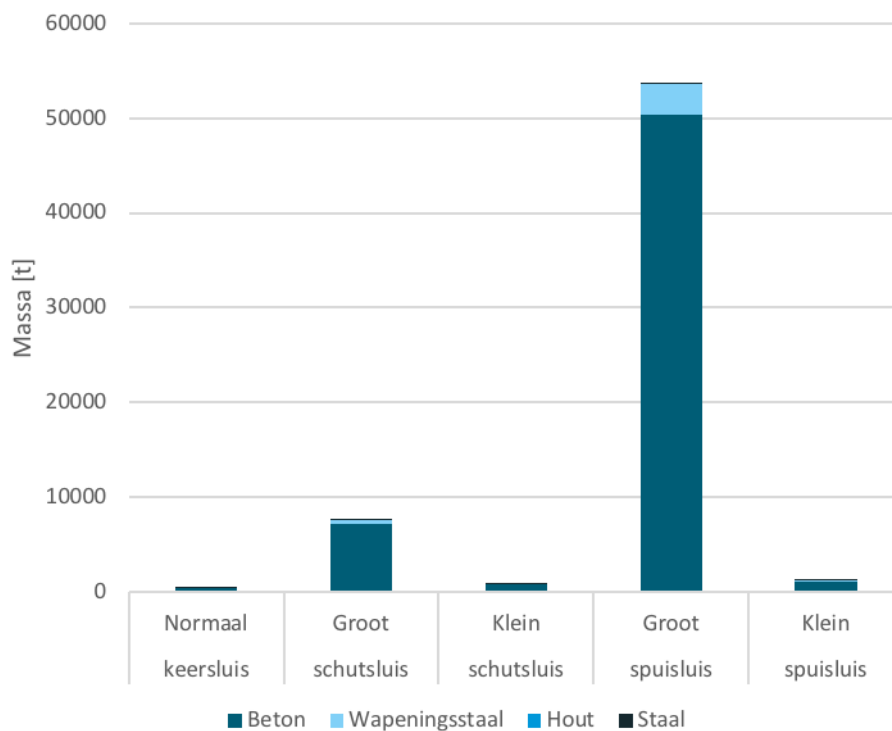


AFBEELDING 3.8 GROTE SPUISLUIS



In afbeelding 3.9 wordt de materialisatie van keersluizen, schutsluizen (groot/klein) en spuisluizen (groot/klein) weergegeven. Deze materialisatie wordt verder toegelicht in bijlage VI.

AFBEELDING 3.9 MATERIALISATIE REFERENTIE SLUIZEN



Onderstaande formule beschrijft de berekening van de materialisatie van sluizen. Hierbij wordt op capaciteit de sluis gecategoriseerd in keersluis, schutsluis klein, schutsluis groot, spuisluis klein of spuisluis groot en vervolgens de materialisatie van de referentie sluis toegekend.

$$\sum_{i=1}^n a_n + \sum_{i=1}^n b_n + \sum_{i=1}^n c_n + \sum_{i=1}^n d_n + \sum_{i=1}^n e_n$$

3.9 STUWEN

Materialisatie van stuwen is berekend op basis van dimensionering en categorisering. Hierbij is gebruik gemaakt van breedte, hoogte, dikte en lengte van de stuw, waarbij lengte de lengte van de uitstroombak is. Het wel of niet aangeven van lengte bepaalt de aanwezigheid van de uitstroombak.

Afbeelding 3.10 en 3.11 laten stuwen zien, respectievelijk met- en zonder uitstroombak.

AFBEELDING 3.10 KLEPSTUW MET BETONNEN UITSTROOMBAK



AFBEELDING 3.11 REGELBARE STUW ZONDER UITSTROOMBAK



De materialisatie is vervolgens aan de hand van categorisering toegepast. Hiervoor is onderscheid gemaakt in grootte, de materialisatie van stuwen verschilt niet sterk per type. Functioneel onderscheid (inlaat-aflaat) is ook minder relevant. Het onderscheid tussen groot en klein is het belangrijkste. De kleine stuwen zijn onder te verdelen in:

1. vaste stuwen (overlaten, meetschot, schotbalkstuw, meetstuw, et cetera);
2. beweegbare stuwen:
 - kantelstuwen (klepstuw, tuimelstuw, kantelstuw, eventueel knijpstuw) en
 - schuifstuwen.

Grote stuwen zijn onder andere segmentstuwen, (eventueel balgstuwen) en grote klepstuwen.

Voor de stuw zelf is gebruik gemaakt van breedte, hoogte en dikte, de uitstroombak is benaderd op basis van een V-profiel. Dit V-profiel is bepaald op basis van lengte, breedte en hoogte, een vormfactor van 0,5 en vervolgens een V-profiel op basis van 90 % breedte hiervan af te halen.

De berekening is daarmee zoals beschreven in onderstaande formule. Hierin wordt eerst het volume van de stuw zelf als balk benaderd, vervolgens wordt de uitstroombak hierbij opgeteld (als $L=0$, dan is het volume uitstroombak ook 0). Het totale volume wordt vermenigvuldigd met materialisatie van de betreffende categorie (v_c) vermenigvuldigd om de massa van verschillende materialen te bepalen.

$$\sum_{i=1}^n (b_n * h_n * d_n + (l_n * b_n * h_n * 0,5 - l_n * 0,9 b_n * h_n * 0,5)) * v_c$$

De materiaalverdeling op basis van expert judgement van de waterschappen die gebruikt wordt om per categorie voor stuwen de materialisatie te bepalen is weergegeven in tabel 3.2. Waar geen omschrijving gegeven is, is gebruik gemaakt van het gemiddelde.

TABEL 3.2 MATERIAALVERDELING (VOLUME PERCENTAGES) STUWEN PER CATEGORIE

Type	Hout in %	Beton in %	Staal in %	Kunststof in %	Steen in %	Aluminium in %	IJzer in %	Metselwerk in %	PVC in %	Roestvast staal (RVS) in %
cascadestuw	93							7		
drijverstuw		100								
hevelstuw		100								
inlaat- en/of aflaatstuw		67						33		
knijpstuw						100				
meetstuw										100
onbekend	38	54						8		
overlaat	57	28	2		1	1	1	9	1	
schotbalkstuw	48	32	4	1		1	4	8	1	
stuw met klep	7	61	13			4	3	2		11
stuw met schuif	30	15	19	1		19	4	1	1	10
tuimel- of kantelstuw	13		38			25	13			13
aflaatstuw		67						33		
brievenbusstuw	24	38	6			13	2	6		11
inlaatstuw		67						33		
kantelstuw	13		38			25	13			13
keerwand	24	38	6			13	2	6		11
meetschot										100
overig	24	38	6			13	2	6		11
segmentstuw	24	38	6	0	0	13	2	6	0	11
stuwbak	24	38	6	0	0	13	2	6	0	11
tuimelstuw	13	0	38	0	0	25	13	0	0	13
gemiddelde	24	38	6	0	0	13	2	6	0	11

3.10 DUIKERS

Voor de benadering van de materialisatie van duikers (afbeelding 3.12) is dimensionering toegepast. Hierbij is voor cilindervormige duikers en duikers met een vierkante doorsnede het volume van een holle buis berekend door de inhoud van een buis op basis van de inwendige maat van een buis op basis van de uitwendige maat af te halen. Hierbij wordt aangenomen dat de inwendige maat circa 90 % van buitendiameter is.

AFBEELDING 3.12 DUIKER



De materialisatie van de duiker wordt vervolgens bepaald door materiaalverdeling (v). Voor een duiker is de berekening dus als beschreven door de onderstaande formules voor een cilindervormige en vierkante buis respectievelijk.

$$\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{4} \pi * D_n^2 - \frac{1}{4} \pi * (0,9D_n)^2 \right) * v$$

$$\sum_{i=1}^n (D_n^2 - (0,9D_n)^2) * v$$

3.11 OEVERBESCHOEIING

Materialisatie van oeverbeschoeiing, is benaderd door dimensionering en categorisering op materiaal. Voor oeverbeschoeiing ontbreekt in veel gevallen de materialisatie. Hiervoor is een materiaalverdeling toegepast (tabel 3.3). Bij ontbrekende type beschrijving is gebruik gemaakt van materiaalverdeling. Hierbij is onderscheid gemaakt in materiaal: hout, staal, kunststof, beton, steen, grasbetontegels. De onderverdeling van verschillende typeringen per categorie is opgenomen in bijlage IV.

AFBEELDING 3.13 OEVERBESCHOEIING



TABEL 3.3 MATERIALISATIE (VOLUME PERCENTAGES) OVER IN HET AREAAL AANWEZIGE OEVERBESCHOEIING

Materialisatie	Hout in %	Beton in %	Staal in %	Kunststof in %	Steen in %	Metselwerk in %	Grasbeton- tegels in %
Oeverbeschoeiing	77	13	4	1	2	1	1

Voor een specifiek materiaal wordt per object het volume berekend ($l \times b \times h$), vervolgens bij ontbrekende typering middels het aandeel (f) van het materiaal het volume materiaal bepaald en met het soortelijk gewicht (ρ) de massa.

$$\sum_{i=1}^n l_n * b_n * h_n * f * \rho + \sum_{i=1}^n l_n * b_n * h_n * f * \rho$$

3.12 INFRASTRUCTUUR

Materialisatie van infrastructuur, bestaande uit wegen en bruggen, is benaderd door dimensionering en categorisering waarna gebruik gemaakt wordt van top-down materialisatie (tabel 3.4). Hierbij is onderscheid gemaakt in twee categorieën: wegen en bruggen. De onderverdeling van verschillende typering per categorie is opgenomen in bijlage V.

TABEL 3.4 MATERIALISATIE PER CATEGORIE INFRASTRUCTUUR

Type	Hout in %	Beton in %	Staal in %	IJzer in %	Asfaltbeton in %	Cementbeton in %	Klinkers in %
Wegen					95	1	4
Bruggen	38	38	15	3			

Voor een specifiek materiaal wordt per object het volume berekend ($l \times b \times h$), vervolgens middels het aandeel (f) van het materiaal het volume materiaal bepaald en met het soortelijk gewicht (ρ) de massa.

$$\sum_{i=1}^n l_n * b_n * h_n * f * \rho + \sum_{i=1}^n l_n * b_n * h_n * f * \rho$$

4

MILIEUEFFECTEN

4.1 MEETMETHODE

De materialisatie van de assets wordt uitgedrukt in massa en ingebedde milieu-impact. Dat wil zeggen dat de milieubelasting die heeft plaatsgevonden om de assets te realiseren en verwijderen wordt meegenomen. Deze milieubelasting of schaduwkosten worden in de Milieu Kosten Indicator (EUR MKI) en broeikasgas emissies (ton CO₂-equivalenten) uitgedrukt.

De MKI omvat een groot aantal relevante milieueffect-categorieën¹⁶ en vat deze samen in een enkele score. Hierin wordt ook de bijdrage aan klimaatverandering door broeikasgassen meegenomen, echter omdat hier in veel gevallen specifiek aandacht aan geschonken wordt (onder andere in grondstofstromen studies) wordt deze separaat weergegeven. Dit houdt in dat grondstofwinning, transport naar producent, productieprocessen (A1-A3 fasen), in beperkte mate transport naar- en installatie op locatie (A4-A5 fasen) en sloop- en verwerking (C1-C2) worden meegenomen. De gebruiksfase (B) wordt daarbij buiten beschouwing gelaten. Deze is in sommige gevallen (bijvoorbeeld rwzi's en gemalen) zeer relevant, maar wordt door de waterschappen in de Klimaatmonitor en grondstof- en energiestromenanalyses al in kaart gebracht. Tabel 4.1 geeft weer welke fasen worden meegenomen in het berekenen van MKI en CO₂-eq.

TABEL 4.1

LEVENSCYCLUS FASEN MILIEU IMPACT BEREKENINGEN

Asset categorie	Productiefase (A1-A3)	Transport- en installatiefase (A4-A5)	Gebruiksfase (B)	Sloop- en verwerkingsfase (C)
waterkeringen	x	x		x
rwzi's	x	x		x
transportleidingen	x	x		x
rioolgemalen	x	x		x
utiliteitsbouw	x	x		x
poldergemalen	x	x		x
sluizen	x	x		x
stuwen	x	x		x
duikers	x	x		x
oeverbeschoeiingen	x	x		x
wegen	x	x		x

4.2 WERKWIJZE

Het opstellen van de MKI-berekening vindt plaats door de MKI per materiaal te bepalen, en deze te koppelen aan de hoeveelheden materiaal in een object en vervolgens het areaal.

De MKI is met de softwareprogramma DuboCalc versie 5.1 bepaald op basis van het ontwerp specifieke materiaal- en energieverbruik en de milieueffectgegevens die zijn opgenomen in de onderliggende Nationale Milieudatabase (NMD).

¹⁶ Klimaatverandering, aantasting ozonlaag, verzuring, eutrofiëring (vermesting), uitputting abiotische middelen - elementen, uitputting abiotische middelen - fossiele brandstoffen, Menselijke toxiciteit, zoetwater ecotoxiciteit, marine ecotoxiciteit, terrestrische ecotoxiciteit, smogvorming.

De bepalingmethode zoals deze is toegepast in dit onderzoek is gericht op de milieuprestatie van objecten en het areaal als geheel vanuit materialen. De bepalingmethode is prestatiegericht, dus niet oplossingsgericht. De methode geeft de mogelijkheid de materiaalgebonden en procesgebonden milieueffecten van een object eenduidig, controleerbaar en reproduceerbaar te berekenen. De methode zelf geeft geen grenswaarden of normstellingen.

Voor het opstellen van de milieu-impact analyse zijn de volgende stappen doorlopen:

1. vaststellen van de hoeveelheden;
2. opstellen van de MKI-berekening;
3. analyse en interpretatie van de resultaten.

Bij het opstellen van de berekening zijn de volgende uitgangspunten voor alle onderdelen gehanteerd:

- voor de levensduur van het areaal is 1 jaar aangehouden. Dat houdt in dat geen vervangingen van materialen zijn meegenomen in de berekening;
- een vergelijkbaar product in de bibliotheek is gekozen en de benodigde hoeveelheid is zodanig omgerekend dat het totale gewicht in het ontwerp overeenkomt met het ingevoerde gewicht van het alternatieve product;
- indien er geen vergelijkbaar alternatief beschikbaar is in de bibliotheek, is onafhankelijk bewijsmateriaal van de MKI gehanteerd. De MKI van het product, inclusief bouwprocessen en transport, is handmatig bij de uitvoer van DuboCalc opgeteld.

De gehanteerde kengetallen per materiaal zijn opgenomen in bijlage VII, tabel VII.1 (omschrijving) en VII.2 (kengetallen).

De milieu-impactberekeningen in dit onderzoek zijn van beperkt detailniveau gezien de grote scope en kwaliteit van input data. Hierbij zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- bij het berekenen van de MKI-waarde zijn de beschikbare materialen uit referentieobjecten en materiaalverdelingen aangehouden. Hierin zijn materialen die in kleine hoeveelheden voorkomen veelal niet opgenomen. Deze materialen kunnen wel een sterk effect op de milieu- en klimaatimpact hebben;
- beperkt onderscheid in materialen is gehanteerd. Verschillende materiaalaanduidingen (e.g. gietijzer, staal, ijzer) zijn gegroepeerd tot een enkele categorie (staal en ijzer). Hierdoor is onderscheid in specifieke materiaaltypen niet mogelijk en is mogelijke variatie daarin niet meegenomen;
- onderscheid materiaaltypen in materialisaties is van beperkt detailniveau (e.g. Beton in plaats van gewapend (50kg/m³) beton C3037 CEMI, 30 % granulaat), waardoor meest gebruikelijke materiaaltypen (e.g. beton C3037 CEM III, 0 % granulaat) zijn aangenomen;
- voor veel objecten is grond- en zandwerk niet meegenomen, omdat dit in veel gevallen niet in de materialisatie is opgenomen en de afbakening van de scope van een object hiermee vervaagd. Voor waterkeringen is dit wel meegenomen.

5

JAARLIJKSE MATERIAALSTROMEN EN MILIEU-IMPACT

De jaarlijkse materiaalstromen en milieu-impact (met name de bijdrage klimaatverandering) zijn voor de waterschappen een belangrijk resultaat uit de STOWA Circulair Asset Management studie. Deze resultaten zijn echter grof benaderd. Daarom is als validatie de berekening zowel ‘top-down’ middels levensduur inschattingen als ‘bottom-up’ middels vervangingen uitgevoerd.

5.1 REKENMETHODEN

Er zijn meerdere benaderingen mogelijk om ‘jaarlijkse emissies’ te berekenen uit assets. Dit is altijd boekhoudkundig, aangezien emissies voornamelijk uit realisatie komen en daarmee in de praktijk niet over de jaren gespreid worden.

Optie 1: inschatten gemiddelde levensduur object, massa en impact areaal delen door de levensduur:

- + eenvoudig;
- onnauwkeurig.

Deze methode is ‘top down’ omdat voor het gehele areaal van alle waterschappen met dezelfde uitgangspunten naar materiaalstromen is gerekend. Het gaat er vanuit dat een object vervangen wordt na levensduur en dat levensduur leidend is voor vervanging. Einde levensduur is niet altijd de aanleiding voor vervanging, andere functionele eisen of economische voordelen kunnen leiden tot vroegtijdige vervanging.

Optie 2: gebruik maken van door waterschap geleverde jaarlijkse vervangingen:

- + nauwkeuriger;
- gebaseerd op HHNK, schaalt niet mee met areaalgrootte.

Doordat deze methode uit gaat van vervangingen op jaarbasis per objectcategorie en op deze manier voor HHNK de materiaalstromen benaderd, is deze methode te typeren als ‘bottom-up’. Het gaat uit van vervangingen in een specifiek jaar (ongeacht aanleiding). Hierdoor worden vervangingen die in dat jaar niet hebben plaatsgevonden niet meegenomen.

5.1.1 TOEPASBAARHEID

De verwachting is dat de ‘wijze’ van vervangingen voor de verschillende objecten anders zal zijn. Waar het ene object volledig vervangen wordt (bijvoorbeeld een rioolgemaal), zal het andere uitgebreid worden (bijvoorbeeld ophoging waterkeringen). Het areaal wordt hierbij namelijk niet vervangen, maar uitgebreid (ophogingen). De opgebouwde materiaalvoorraad

(over honderden jaren) blijft daarmee in gebruik en ophoging in kader van groot onderhoud vindt vaker plaats dan de realisatie van nieuwe waterkeringen.

Optie 1 is dus niet toepasbaar op waterkeringen. Daarom is separaat volgens inschattingen vanuit HHNK de jaarlijkse massa, milieu- en klimaatimpact bepaald voor waterkeringen.

Een gedetailleerde en nauwkeurige inschatting voor jaarlijkse materiaalstromen, milieu- en klimaatimpact vraagt om nadere analyse per objecttype. Hieruit kan volgen dat er voorraad (aandeel) gedreven, instroom/uitstroom (levensduur) gedreven of planmatig gedreven voorraden zijn die kunnen groeien, slinken of gelijk blijven. Voor dit onderzoek willen we echter de huidige inschattingen orde grootte vaststellen en is validatie van Optie 1 voldoende.

5.2 RESULTATEN OPTIE 1: TOP-DOWN

De rekenmethode van optie 1 gaat uit van het gehele areaal dat per x jaar (levensduur object) wordt vervangen. Dit is de toegepaste rekenmethode in de hoofdrapportage. Hiermee is onderstaand resultaat verkregen¹⁷.

TABEL 5.1 RESULTATEN KLIMAATIMPACT OPTIE 1

Waterschap	Ingebedde CO ₂ -impact [ton CO ₂ -eq]	Ingebedde CO ₂ -impact [ton CO ₂ -eq/jaar]
Noorderzijlvest	140.203	3.234
Waterschap AGV	263.627	5.879
Hollands Noorderkwartier	338.924	6.057
Vallei & Veluwe	231.030	4.793
Zuiderzeeland	153.546	4.052
Delfland	241.396	3.311
totaal	1.368.727	27.326
gemiddeld	228.121	4.554

5.3 RESULTATEN OPTIE 2: BOTTOM-UP

Optie 2 gaat uit van vervangingen bij HHNK. Tabel 5.2 geeft deze vervangingen weer. Op basis van deze vervangingen en materialisaties uit de voorradenstudie kunnen inschattingen van materiaalstromen (in en uit bij 1-op-1 vervangen), MKI en bijdrage klimaatverandering door vervangingen gemaakt worden. In tabel 5.3 worden de resultaten van gepresenteerd.

TABEL 5.2 VERVANGINGEN HHNK

Waterketen		
rwzi's		
groot onderhoud	1	per jaar
Rioolgemalen		
booster	2	per jaar
droog opgesteld	2	per jaar
nat opgesteld	10	per jaar
persleidingen		
pvc (gemiddeld 315 mm)	1.000	m/jaar
asbestcement (gemiddeld 400 mm)	450	m/jaar
HPE (gemiddeld 250 mm)	450	m/jaar
PE (gemiddeld 250 mm)	250	m/jaar

¹⁷ Deze resultaten wijken af van het hoofdrapport, door updaten van de berekeningen tussentijds.

Waterketen		
beton (gemiddeld 900 mm)	150	m/jaar
nodulair gietijzer (gemiddeld 700 mm)	200	m/jaar
watersystemen		
poldergemalen		
met capaciteit van 0 tot 10 m ³ per minuut	7	per jaar
met capaciteit van 11 tot 50 m ³ per minuut	4	per jaar
met capaciteit van 51 tot 100 m ³ per minuut	1	per jaar
met capaciteit van 101 tot 250 m ³ per minuut	1	per jaar
met capaciteit van 251 tot 500 m ³ per minuut	0,5	per jaar
met capaciteit van 501 tot 1.000 m ³ per minuut	0,2	per jaar
met capaciteit vanaf 1.000 m ³ per minuut	0,2	per jaar
sluizen	1	per jaar
stuwen		
schotbalkstuw	20	per jaar
stuw met klep	15	per jaar
stuw met schuif	5	per jaar
overlaat	5	per jaar
tuimel- of kantelstuw	2	per jaar
stuwbak	1	per jaar
inlaat- en/of aflatstuw	0,3	per jaar
brievenbusstuw	0,2	per jaar
cascadestuw	0,1	per jaar
hevelstuw	0,1	per jaar

TABEL 5.3 MATERIAALSTROMEN, MILIEU- EN KLIMAATIMPACT PER JAAR, ALTERNATIEVE BENADERING

		Massa [t/j]	MKI [EUR/j]	Klimaatverandering [kg CO ₂ -eq/j]
rwzi	beton	1.1267	109.292	1.408.400
rwzi	staal	562	50.305	663.239
rioolgemalen				
droog opgesteld	beton	224	2.173	28.002
	staal/ijzer	6	519	6.845
	aluminium	0,7	793	4.007
nat opgesteld	beton	57	549	7.083
	staal/ijzer	2	183	2.407
	aluminium	0,2	234.234	1.183,5408
booster	beton	316	3.064	39.482
	staal/ijzer	6	543	7.165
	aluminium	0	191	964
persleidingen				
pvc (gemiddeld 315 mm)	pvc	20	20.380	162.978
asbestcement (gemiddeld 400 mm)	AC	17	186	1.815
HPE (gemiddeld 250 mm)	HPE (gemiddeld 250 mm)	4	3.376	31.460
PE (gemiddeld 250mm)	PE	2	1.837	17.117
beton (gemiddeld 900mm)	beton	44	422	5.439
nodulair gietijzer (gemiddeld 700 mm)	gietijzer	114	10.209	134.600

		Massa [t/j]	MKI [EUR/j]	Klimaatverandering [kg CO ₂ -eq/j]
poldergemalen				
klein	aluminium	16	18.711	94.543
klein	beton	453	4.391	56.591
klein	gietijzer	13	1.135	14.962
klein	glas	38		
klein	hard hout	29	136	-7.647
klein	kunststof	24	14.326	140.995
klein	natuursteen	245		
klein	puingranulaat	523		
klein	staal	103	9.207	121.385
klein	zacht hout	23	109	-6.121
middel/groot	aluminium	1	1.097	5.544
middel/groot	beton	4.073	39.509	509.141
middel/groot	glas	4		
middel/groot	staal	113	10.143	133.735
sluis				
sluis	beton	11.922	115.642	1.490.225
sluis	wapenings-staal			
sluis	hout			
sluis	staal	171	15.312	201.874
stuw				
stuw	staal	658	58.929	776.940
stuw	Beton	1.435	13.920	179.375
stuw	aluminium	2	1.978	9.994
stuw	kunststof	1	525	5.168
duikers				
duikers	pvc	25	24.700	197.517
duikers	beton	37	356	4.589
duikers	staal	11	1.027	13.538
duikers	ijzer	7	616	8.123
duikers	HDPE	1	473	4.410
duikers	Steen	1		
duikers	asbestcement	1		
duikers	gres	1		
duikers	spirosol	1		
duikers	metselwerk	0,2		
oeverbeschoeiingen				
naaldhout	hout	49	227	-12.732
tropisch hardhout (azobe)	hout	10	47	-2.634
wiepen	hout	4	20	-1.141
staal	staal	2	223	2.945
beton	beton	1	5	69
metselwerk	metselwerk	0,3		

		Massa [t/j]	MKI [EUR/j]	Klimaatverandering [kg CO ₂ -eq/j]
inlaten				
inlaten	beton	23.844	231.283	2.980.450
inlaten	wapenings-staal	1.555	139.155	1.834.664
inlaten	hout	11	52	-2.906
inlaten	staal	17	1.531	20.187
waterveiligheid				
primaire keringen (hoogwater beschermingsprogramma - hwbp)				
regionale keringen (verbetering boezemkades - vbk)				
utiliteitsbouw	aluminium	0,1	82	415
	beton	118	1.148	14.792
	staal	12	1.071	14.122
			MKI [EUR/jaar]	klimaatverandering [t CO ₂ -eq/jaar]
totaal			911.342	11.325

5.3.1 VALIDATIE

De resultaten van optie 2 resulteren in 911.342 EUR MKI/j en 11.325 ton CO₂-eq/j. Wat klimaatverandering betreft is dit gezien de nauwkeurigheid van de inschattingen in orde grootte gelijk met de berekeningen voor HHNK met optie 1 (6.057 ton CO₂-eq/j).

5.4 WATERKERINGEN

Voor waterkeringen is gekozen voor een benadering op basis van optie 2: 'bottom-up'. Er is uitgegaan van 0.5 m ophoging per jaar voor de aangegeven hoeveelheden waterkering, als een beste schatting uit het handboek dijkenbouw. Verder is door HHNK aangegeven dat 6 km/jaar primaire kering worden opgehoogd, dat is vervolgens vermenigvuldigd met de verhouding primaire kering, zand en primaire kering, overig.

TABEL 5.4 INSCHATTINGEN JAARLIJKSE MATERIAALSTROMEN WATERKERINGEN OP BASIS VAN OPHOGINGEN HHNK

Totaal	Volume [m ³]	Massa [ton]	Dichtheid [ton/m ³]
klei	22.429	40.374	1,8
zand	288.069	469.552	1,63
grond	201.868	343.176	1,7

BIJLAGE(N)

BIJLAGE I

GRONDDIJKEN CATEGORISERING EN EIGENSCHAPPEN

Per waterschap zijn de keringen verdeeld in verschillende typen. De tabel is opgesteld met input van interne- en externe experts, raadpleging van leggers, hoogtekaarten en grondboringen. Het gaat hier om globale schattingen die zo representatief mogelijk zijn voor het betreffende waterschap. Het is mogelijk dat voor een specifieke situatie grote verschillen worden waargenomen met de waarden in deze tabel en echte dijk geometrie/materialisatie. Daarom is het van belang om deze tabel ook als zodanig te gebruiken. Dit geldt in het bijzonder voor de inschattingen van regionale keringen, aangezien waterschappen honderden tot duizenden kilometers aan regionale keringen in beheer hebben die erg verschillend kunnen zijn.

TABEL I.1 GRONDDIJKEN CATEGORISERING EN EIGENSCHAPPEN

Waterschap	Type kering	Max	Min	Repr.	Max	Min	Repr.	Klei	Zand	Overig	Gras	Verhard	Bijlage(n)
								in %	in %	(leem, veen etc.) in %	in %	in %	
HHNK	primaïr rivier	n.v.t.											-
	primaïr kust	85	60	65	9	7	8	10	70 - 80	10 - 20	70	30	-
	primaïr meren regionaal boezem- en polderkaden, rivieren en kanalen	75	35	45	7	5	6,5				80	20	-
Delfland	primaïr rivier	40	25	30	2	1	1,5	70	30				veel verschillen in opbouw dijken. Veel dijkversterkingen zijn gedaan op oude dijken waarvan de samenstelling niet bekend is. Daarom erg moeilijk om te zeggen wat de materialisatie is van de kern. Goed uitgangspunt is D-geo sommen die zijn gedaan voor versterkingen bij W+B
	primaïr kust	45	35	40	4	3	3,3	20	80		10	90	-
	primaïr meren regionaal boezem- en polderkaden, rivieren en kanalen	n.v.t.											-
Zuiderzeeland	primaïr rivier	40	5	15	4	0,5	1,5	80	10	10			sterk afwisselend beeld voor bekleding: Groene dijken, dijken met oeverbestorting en kades
	primaïr kust	n.v.t.											-
	primaïr meren	n.v.t.											-
waterschap AGV	primaïr rivier	100	60	70	9	5	6,25	70	30		80	20	grote verschillen in breedte en kruinhoogte (vanaf m + mv). Oorzaak diepe ligging maaiveld polder en verschillen tussen maaiveld hoogten per dijktraject. Repr. aangepast n.a.v. communicatie L. Westrik van 80 m breed , 7,5 m hoog naar 70 m breed, 6,25 hoog.
	regionaal boezem- en polderkaden	30	5	15	1	0,5	0,75	90		10	100	0	gemiddeld maaiveld NAP -5m, kruinhoogte iets hoger
	primaïr rivier												primaïre kering loopt deels door Amsterdam (IJ). Verschillende keringen, veel verborgen keringen
waterschap AGV	primaïr kust	n.v.t.											-
	primaïr meer	60	10	40	2,5	1	2	40	20	40	85	15	IJ/Gooimeer
	regionaal boezem- en polderkaden, rivieren en kanalen	30	10	20	3,5	1	1,5 - 2	40		60	95	5	-

Waterschap	Type kering	Max	Min	Repr.	Max	Min	Repr.	Klei in %	Zand in %	Overig (leem, veen etc.) in %	Gras in %	Verhard in %	Bijlage(n)
Noorder-zijlvest	primair rivier	n.v.t.											-
	primair kust	85	60	65	9	7,5	8	20	70 - 80		70	30	-
	primair meren	65	45	35	5	4	4,5	80	10	10			-
	regionaal boezem- en polderkaden, rivieren en kanalen				3,5	1		50	25	25	90	10	voornamelijk groene keringen
Vallei & Veluwe	primair rivier	45	25	35	4	2	3,5	30	70		80	10	-
	primair kust	n.v.t.											-
	primair meren	50	30	35	4	2,5	3,5	20	80		90	10	-
	regionaal boezem- en polderkaden, rivieren en landscheidingen	n.v.t.											maar 2 regionale keringen in hele gebied

BIJLAGE II

UTILITEITSBOUW TOEWIJZINGSTABEL

De toewijzings tabel (tabel II.1) beschrijft de koppeling tussen aangeleverde beschrijving en categorie waar het object is ingedeeld.

TABEL II.1 TOEWIJZINGSTABEL UTILITEITSBOUW

Type Utiliteit	Categorie
kantoor	kantoorgebouw klein
steunpunt voor onderhoud in het gebied, kantoorruimte en diverse loods en voor materieel.	bedrijfshal met kantoor
loods voor opslag materieel	distributiecentrum
loods voor opslag calamiteitenmaterieel	distributiecentrum
hoofdkantoor met circa 500 werkplekken, serverruimte, archief, opslag museumstukken	kantoorgebouw klein
onderhoudsgebouw	distributiecentrum
pompstation	distributiecentrum
vestigingsgebouw	kantoorgebouw klein
bedieningsgebouw	kantoorgebouw klein
bedieningsgebouw (sluisdeur 1 en 2), gebouw (opslag/toilet)	kantoorgebouw klein
bedieningsgebouw + gebouw ark zijde	kantoorgebouw klein
opslag	distributiecentrum
kantoor zuid	kantoorgebouw klein
kantoor noord	kantoorgebouw klein
waterzuivering	distributiecentrum
bedrijfsgebouw	bedrijfshal met kantoor
zandfiltergebouw	distributiecentrum
werkplaats	distributiecentrum
magazijn	distributiecentrum
slibverwarmingsgebouw	distributiecentrum
slibcentrifugegebouw	distributiecentrum
energiegebouw	distributiecentrum
slibontwateringsgebouw	distributiecentrum
Influentemaal	distributiecentrum
tussengemaal	distributiecentrum
schakelkastgebouw K100	distributiecentrum
schakelkastgebouw K600	distributiecentrum
schakelkastgebouw K700	distributiecentrum
pilothal	distributiecentrum
NBI gebouw	distributiecentrum
Influentgebouw	distributiecentrum
magazijn ZV	distributiecentrum
magazijn Slibgebouw	distributiecentrum
slibverwarmingsgebouw	distributiecentrum
blowergebouw	distributiecentrum
roostergoedgebouw	distributiecentrum
schakelkastgebouw HKA	distributiecentrum
Slibretourgebouw	distributiecentrum
surplusslibgemaal 1	distributiecentrum

Type Utiliteit	Categorie
surpluslibgemaal 2	distributiecentrum
bandindikker gebouw	distributiecentrum
pearl	distributiecentrum
schakel gebouw beluchting	distributiecentrum
schakel gebouw influent	distributiecentrum
demon schakelruimte	distributiecentrum
bedrijfgebouw	bedrijfsshal met kantoor
schakelruimte influent	distributiecentrum
schakelruimte beluchting	distributiecentrum
slibverwerkingsgebouw	distributiecentrum
retourslib gemaal	distributiecentrum
hoofdkantoor	kantoorgebouw klein
dijkmagazijn	kantoorgebouw klein
0	distributiecentrum

BIJLAGE III

SLUIZEN TOEWIJZINGSTABEL

De toewijzings tabel (tabel III.1) beschrijft de koppeling tussen aangeleverde beschrijving en categorie waar het object is ingedeeld.

TABEL III.1 CATEGORISERING SLUIZEN

Objecttype	Categorie
keersluis	keersluis
uitwateringsluis/spuisluis	spuisluis
schutsluis naar een zijde	schutsluis
schutsluis naar twee zijden	schutsluis
inlaatsluis	keersluis
overig	keersluis
spuisluis	spuisluis
schutsluis	schutsluis
onbekend	keersluis
stuw met klep	keersluis
inlaat- en/of aflatstuw	keersluis

BIJLAGE IV

OEVERBESCHOEIING TOEWIJZINGSTABEL

De toewijzings tabel (tabel IV.1) beschrijft de koppeling tussen aangeleverde beschrijving en categorie (materiaal) waar het object is ingedeeld. Lege velden zijn opgevuld conform beschrijving in hoofdstuk 2.12 Data analyse - Oeverbeschoeiingen.

TABEL IV.1 TOEWIJZINGSTABEL OEVERBESCHOEIING

Beschoeiing	Materiaal
914-houten perkoenpalen met schot Licht	hout
912 - houten damplanken Middel	hout
602 - geen oeverbeschoeiing	
Onbekend	
913 - houten damplanken Zwaar	hout
16 - duurzame oevers	
15 - natuurvriendelijke oevers	
953 - staal damwand met deksloof zwaar	staal
941 - kunststof palen met kunststof mat licht	kunststof
916 - houten perkoenpalen met schot zwaar	hout
932 - betonnen blokkenmatten middel	beton
922 - steen bestorting met ondermateriaal middel	steen
943 - kunststof damwand zwaar	kunststof
933 - betonnen damwand zwaar	beton
02 - kademuur	
92 - beton	beton
07 - damwand	staal
934 - Betonnen damwand Extra zwaar	beton
911 - Houten damplanken Licht	hout
921 - Steen bestorting los Licht	steen
952 - Bitumineuze matten Middel	
942 - kunststof matten middel	kunststof
11 - beschoeiing- steen	steen
931 - betonnen baal met betonplaat Licht	beton
af- en aanvoervak	
boezemvak 1	
boezemvak 2	
kademuur	
damwand staal/beton	staal
damwand hout/kunststof	hout
steenbestorting	steen
schanskorven	
beschoeiing	
915 - houten perkoenpalen met schot middel	hout
91 - glasvezel	
beschoeiing <Null>	
damwand hout	hout
beschoeiing hout	hout

Beschoeiing	Materiaal
<null> beton	beton
<null> grasbetontegels	grasbetontegels
(perkoen)paaltjes <null>	
<null> metselwerk	steen
damwand beton	beton
<null> <null>	
damwand metselwerk	steen
damwand staal	staal
<null> hout	hout
keer- of kademuur beton	beton
keer- of kademuur <null>	
talud- en bodembekleding metselwerk	steen
damwand <null>	staal
taludbekleding beton	beton
keer- of kademuur metselwerk	steen
bodembekleding beton	beton
talud- en bodembekleding beton	beton
beschoeiing beton	beton
<Null> steen	steen
bodembekleding grasbetontegels	grasbetontegels
beschoeiing kunststof	kunststof
taludbekleding <Null>	
bodembekleding <Null>	
<Null> lokale bodemsoort	
(perkoen)paaltjes hout	hout
talud- en bodembekleding grasbetontegels	grasbetontegels
taludbekleding grasbetontegels	grasbetontegelsbeton
tussenoplossing of combinatie van damwand en talud (gebroken) hout	hout
damwand ijzer	ijzer
99 hout	hout
taludbekleding steen	steen
bodembekleding steen	steen
bodembekleding gres	gres
taludbekleding hout	hout
talud- en bodembekleding <Null>	
99 <Null>	
talud- en bodembekleding steen	steen
beschoeiing aluminium	aluminium
taludbekleding kunststof	kunststof
damwand steen	steen
99 steen	steen
overig <Null>	
damwand kunststof	kunststof

BIJLAGE V

INFRASTRUCTUUR TOEWIJZINGSTABEL

De toewijzingstabel (tabel V.1) beschrijft de koppeling tussen aangeleverde beschrijving en categorie waar het object is ingedeeld. Grondkering, tunnels en duikers zijn buiten beschouwing gelaten.

TABEL V.1 TOEWIJZINGSTABEL INFRASTRUCTUUR.

Objecttype	Categorie	Categorie 2
fietspad	fietspad	wegen
inrit	weg	wegen
parkeervlak	weg	wegen
rijbaan lokale weg	weg	wegen
rijbaan regionale weg	weg	wegen
verkeerseiland	weg	wegen
voetpad	voetpad	wegen
voetpad op trap	voetpad	wegen
bruggen	bruggen	bruggen
grondkering		
wegen	weg	wegen
tunnels		
duikers		
weg	weg	wegen

BIJLAGE VI

MATERIALIZATIE SLUIZEN

Uit analyse blijkt dat bijna alle waterschappen maximaal scheepvaartklasse II (50-55m lengte, 6,6m breed, diepgang 2,6 m) faciliteren. Kijkend naar de doorvaartbreedtes zijn dit kleine sluisen. Sluisen voor enkel recreatievaart zullen ook een doorvaartbreedte hebben gelijk aan die van de kleine sluisen, maar zullen minder lang zijn. (beroepsvaart CEMT lengte 50 m +, recreatie vaart circa 25-35 m)

Er wordt uitgegaan van puntdeuren. Uitgaand van 2 x sets van 2 puntdeuren met een helling 1:3 met bekende doorvaarthoogte en doorvaartbreedte kan het oppervlak van de deuren worden uitgerekend per object. Anders kan een standaard referentie object worden ingevuld. (recreatie sluis of kleine sluis)

De keersluis moet een bepaald waterniveau keren en dient voornamelijk als barrière. Er hoeft in sommige gevallen geen scheepvaart te passeren, de lengte van de sluis zal dus veel korter zijn. Bij benadering zou een sluishoofd kunnen worden gehanteerd zoals bij de schutsluisen, en ook de deuren zoals bij de schutsluisen.

TABEL VI.1 MATERIALISATIE KLEINE SCHUT-/KEERSLUIS

	Hoeveelheid	Eenheid	Massa [t]	Opmerking
beton vloer	125,7425	m ³	289,2078	aanname 2,3 tot en met 3
wapening vloer	18861,375	kg	18,86138	
beton wanden	137,8	m ³	316,94	aanname 2,3 tot en met 3
wapening wanden	20670	kg	20,67	
beton fundering	69,312	m ³	159,4176	aanname 2,3 tot en met 3
wapening fundering	10396,8	kg	10,3968	
hout deuren	24,32	m ³	12	

Daarmee bevat het referentieobject kleine sluis voor schutsluisen circa 765 ton beton, 50 ton wapeningsstaal en voor deuren 12 ton hout óf 18 ton staal.

Voor grote sluisen zijn de dimensies van het referentie object kleine sluis aangepast naar onderstaande dimensies.

TABEL VI.2 DIMENSIONERING GROTE SCHUT-/KEERSLUIJS

	Bijlage(n)	Eenheid	Opmerking
doorvaarbreedte	14	m	
lengte kolk	135	m	
lengte sluishoofden	7	m	
diepte sluis	8	m	
dikte muur en vloer	0,65	m	
fundering	150	stuks	vierkante paal
fundering	0,38	m	dikte paal
fundering	16	m	lengte paal
wapening	150	kg/m ³	
deuren	4	stuks	
deuren	7	m	breedte deur
deuren	8	m	hoogte deur
deuren	0,6	ton/m ²	

Vanuit de dimensionering zijn materiaalhoeveelheden berekend. Hieruit volgt de materialisatie in tabel VI.3.

TABEL VI.3 MATERIALISATIE GROTE SCHUT-/KEERSLUIJS

	Hoeveelheid	Eenheid	Massa [t]	Opmerking
beton vloer	1342,575	m ³	3087,923	aanname 2,3 t/m ³
wapening vloer	201386,3	kg	201,3863	
beton wanden	1404	m ³	3229,2	aanname 2,3 t/m ³
wapening wanden	210600	kg	210,6	
beton fundering	346,56	m ³	797,088	aanname 2,3 t/m ³
wapening fundering	51984	kg	51,984	
hout deuren	224	m ²	33,6	

In totaal resulteert dit in 7.114 ton beton en 464 ton wapeningstaal voor de kolk en fundering. Voor deuren wordt 33,6 ton hout óf 28 ton staal gebruikt

Voor de spuisluizen is een aanname van 0.4 m als dikte voor de wanden gedaan. Afhankelijk van de lengte kan de hoeveelheid beton worden bepaald, lengte is zeer variabel dus afhankelijk van input waterschappen. Voor deuren wordt gekeken naar de schutsluisdeuren, hier echter zal vaker een hefdeur worden toegepast.

Voor de kleine spuisluis is een sluis van 3 stroomkokers van 2.5 x 2.5 m, betonvloeren, -wanden en -dak 400 mm dik en stalen hefschuiven 100 kg/m². Lengte 15 m genomen. Deze dimensionering is vastgelegd in Tabel VI.4.

TABEL VI.4 DIMENSIONERING SPUISLUIZEN EN INLATEN KLEIN

	Hoeveelheid	Eenheid
aantal stroomkokers	3	stuks
hoogte stroomkoker	2,5	m
breedte stroomkoker	2,5	m
dikte wanden	0,4	m
lengte koker	15	m
hefschuif	100	kg/m ²

In Tabel VI.5 is een overzicht gepresenteerd voor materialisatie van de verschillende typen sluisen. Deze materialisatie en categorisering wordt overgenomen in de berekening.

TABEL VI.5 MATERIALISATIE SLUIZEN

Type sluis	Beton [t]	Wapeningsstaal [t]	Hout (deur) [t]	Staal (deur) [t]
schutsluis/keersluis in vaarweg, klein houten deur	765	50	12	
schutsluis/keersluis in vaarweg, klein stalen deur	765	50		18
schutsluis/keersluis in vaarweg, groot houten deur	7.114	464	34	
schutsluis/keersluis in vaarweg, groot stalen deur	7.114	464		28
keersluis niet in vaarweg, houten deur	297	19	4,8	
keersluis niet in vaarweg, stalen deur	297	19		7,2
spuisluis of inlaat klein	1.087	71		0,63
spuisluis of inlaat groot	50.346	3283		1,54

BIJLAGE VII

UITGANGSPUNTEN MKI

Tabel VII.1 en VII.2 geven de koppeling van materiaalomschrijving met DuboCalc producten en de afgeleide kengetallen voor MKI en CO₂-eq weer. De gebruikte DuboCalc versie is 5.1, waarvoor per product aanpassingen zijn gemaakt om aan te sluiten op de materiaalsoort en impact van materialisatie. Element in DuboCalc 5.1 product geeft aan welk element uit het product is gekozen als benadering van de materialisatie van een product (exclusief aanleg, transport, et cetera).

TABEL VII.1 UITGANGSPUNTEN MKI, MATERIAALSOORTAANDUIDING, GEKOPPELD AAN DUBOCALC 5.1 PRODUCT MET AANPASSINGEN IN OPMERKING²

Materiaalsoort (origineel)	Gemiddeld	Product in DuboCalc 5.1	Element in DuboCalc 5.1 product	Opmerking
kunststof buis aanleg	kunststof	HDPE (polyetheen)	-	voor hoofdriool HDPE-buis, volwandige buis, diameter 200 mm, SN 8 (klasse 34) en 1,5 meter diep ingegraven. Incl. toeslag
kunst-stoffen	kunststof	HDPE (polyetheen)	HDPE (gemiddeld)	materialisatie HDPE-buis, enkel HDPE buis productie. Incl. toeslag
staal verzinkt aanleg	staal	profielstaal (verzinkt)	-	plaatsen van liggers bij een brugdek. Incl. toeslag.
staal verzinkt	staal	profielstaal (verzinkt)	verzinkt bandstaal	materialisatie verzinkt staal liggers, enkel productie. Incl. toeslag.
staal aanleg	staal	profielstaal (niet verzinkt)	90% Balkstaal (BF en EAF) 10% plaat (BF)	plaatsen van liggers bij een brugdek. Incl. toeslag.
staal	staal	profielstaal (niet verzinkt)	-	materialisatie staal liggers, incl. toeslag. enkel productie (90 % Balkstaal (BF en EAF) 10 % plaat (BF))
beton aanleg	beton	betonmortel C30/37 (CEMIII)	-	realisatie incl. toeslag. Betonmortel C30/37, mix: 25 % CEMI+75 % CEMIII
beton	beton	beton, in het werk gestort, C30/37; incl. wapening (massieve wanden, dragend)	SBK 847 Betonmortel C30/37 (o.b.v. 75% CEM III en 25% CEM I	materialisatie, incl. toeslag
beton incl. wapening	beton	beton, in het werk gestort, C30/37; incl. wapening (massieve wanden, dragend)	-	realisatie incl. toeslag 1 m ² a 0,5882 ton massieve wand gewapend C30/37
zacht hout	hout	vuren, grenen, larix	-	realisatie incl. toeslag. Aanbrengen palen, geïmpregneerd vuren.
bestrating	bestrating	straatbaksteen waalformaat	-	Realisatie Straatstenen waalformaat, incl. toeslag. halfsteens- en keperverband, staand, kwaliteit A 4-12, rood, breedte >3,00 m Geen rekening gehouden met aanleg en verwerken van zand.
klei	klei	klei	-	Realisatie incl. toeslag. klei verwerken in depot. Klei in depot met hoogte 6,00 - 10,00 m, breedte grondvlak 20 - 50 m. Uitgegaan van een graafmachine 1.000 ltr.
puingra-nulaat	puingranulaat	menggranulaat 300 mm	-	Realisatie incl. toeslag. aanbrengen van menggranulaat 0/40, 1.850 kg / m ³ na verdichting, dikte 300 mm.
gietijzer	Gietijzer	gietijzer	gietijzer	Materialisatie, incl. toeslag. Obv gietijzeren buis

Materiaalsoort (origineel)	Gemiddeld	Product in DuboCalc 5.1	Element in DuboCalc 5.1 product	Opmerking
stenen	Stenen	natuursteen; gelijmd	SBK 169 Natuursteen (of project Nationale Milieudatabase SBK versie 2.2 (ecoinvent 3.4))	materialisatie
asfalt	asfaltbeton	asfalt (OAB) partiële recycling 20 %	-	aanbrengen van OAB 0/11 35 mm.
diesel		diesel	-	
aluminium	aluminium	aluminium, gecoat	SBK 007 Aluminium (of project Nationale Milieudatabase SBK versie 2.2 (ecoinvent 3.4))	materialisatie, incl. toeslag
baksteen		baksteenmetsel-werk; KNB	KNB Metselbaksteen, PRODUCTIE met gaswasser, 2012, c2	materialisatie, incl. toeslag
bitumen		bitumen emulsie kleeflaag (0,3 kg/m ²)	bitumen emulsie tussenlaag	materialisatie, incl. toeslag
elektronica		N/A	-	-
gips		gipspaneel 22mm		13,2-18 kg/m ²
glas		HR++ (dubbel) glas; coating / gasvulling (argon) , 4/16/4 mm	HR++ (dubbel) glas@6~ coating / gasvulling (argon), 4/16/4 mm	Materialisatie, incl. toeslag. HR++ (dubbel) glas; coating / gasvulling (argon) , 4/16/4 mm.
hout		hardhout met FSC-keurmerk	-	Realisatie damplanken, incl. toeslag.
isolatie		steenwol MWA 2012; platen;	0013-fab&Steenwol (o.b.v. Stone wool {GLO} market for stone wool Cut-off, U) (of project National	Materialisatie, incl. toeslag. Steenwol MWA 2012; platen.
kalkzand-steen		kalkzandsteen lijmblokken VNK	-	Realisatie incl. toeslag. Wand met Silka/Calduran kalkzandsteenblokken met lijmmortel en kimmortel, dikte variabel van 100 mm tot 300 mm.
keramiek		Madura rood/ geëngobeerde keramische dakpan	-	20-30 kg/m ²
Koper		DBM koperen bakgoot	-	MKI gedeeld door koperen dakgoot
lijm en verf		Alkydverf	-	Verf aanbrengen 80 micrometer.
steen		Breuksteen (waterbouw)	-	Gebaseerd op transport per beunschip, zelfladend en lossend, vaarafstand 15 km.
zand		Landzand (per as)	-	
betonsteen	Beton	betontegels normaal	-	Realisatie incl. toeslag Betontegels 300x300x45mm, doorlopend verband, grijs, breedte 2,40 m. Geen rekening gehouden met aanleg en verwerken van zand.
gasbeton	Beton	cellenbeton blokken (Xella-Ytong)	-	56kg/m ²
GVK		VVK, glasvezel in epoxy	-	
hardschuim		fenolschuim	-	
metselwerk		baksteenmetsel-werk; KNB	-	Realisatie incl. toeslag. 127,5 kg KNB metselbaksteen, 45 kg metselmortel, 14 kg voegmortel.
overige metalen		-		Gem. metalen
overige		-		Gem. alles
hard hout		hardhout met FSC-keurmerk	-	Realisatie damplanken, incl. toeslag.
natuur-steen		natuursteen; gelijmd	-	Materialisatie

TABEL VII.2 KENGETALLEN MKI EN CO₂-EQ, MATERIAALSOORTAANDUIDING, GEKOPPELD AAN PRODUCT IN DUBOCALC 5.1 MET OMREKENING

Materiaal­soort (origineel)	Gemiddeld	DuboCalc	Unit	Soortelijk ge­wicht (kg/m ³)	MKI (EUR)	CO ₂ (kg)	Om-reken-factor	MKI/ton	kg CO ₂ -eq/ton
kunststof buis aanleg	kunststof	HDPE (poly-etheen)	ton	950	829,29	7.727,71	1,00	829,29	7.727,71
kunst-stoffen	kunststof	HDPE (poly-etheen)	ton	950	377,80	4.152,72	1,00	377,80	4.152,72
staal verzinkt aanleg	staal	profielstaal (verzinkt)	ton	7.800	109,55	1.420,94	1,00	109,55	1.420,94
staal verzinkt	staal	profielstaal (verzinkt)	ton	7.800	192,52	2.951,92	1,00	192,52	2.951,92
staal aanleg	staal	profielstaal (niet verzinkt)	ton	7.850	97,91	1.217,87	1,00	97,91	1.217,87
staal	staal	profielstaal (niet verzinkt)	ton	7.850	89,54	1.180,40	1,00	89,54	1.180,40
beton aanleg	beton	betonmortel C30/37 (CEMIII)	m ³	2.400	27,92	256,43	0,42	11,63	106,84
beton	beton	beton,in het werk gestort, C30/37; incl. wapening (massieve wanden, dragend)	ton	2.400	9,72	125,16	1,00	9,72	125,16
beton incl. wapening	beton	bBeton,in het werk gestort, C30/37; incl. wapening (massieve wanden, dragend)	m ²		29,74	276,81	1,70	50,56	470,60
zacht hout	hout	vuren, grenen, larix	ton	460	4,66	-261,33	1,00	4,66	-261,33
bestrating	bestrating	straatbak-steen waal-formaat	ton	2.000	3,22	29,49	1,00	3,22	29,49
klei	klei	klei	ton	2.000	3,77	31,87	1,00	3,77	31,87
puin-granulaat	puin­granulaat	meng-granulaat 300 mm	ton	2.100	2,78	19,67	1,00	2,78	19,67
gietijzer	gietijzer	gietijzer	ton	7.200	245,09	1.947,42	1,00	245,09	1.947,42
stenen	stenen	natuur-steen; gelijmd	kg	2.600	0,12	1,16	1.000,00	117,50	1.155,67
asfalt	asfaltbeton	asfalt (OAB) partiële recycling 20 %	ton	2.500	10,81	105,65	1,00	10,81	105,65
diesel		diesel	l	840	0,75	4,29	840,00	631,94	3603,60
aluminium	aluminium	aluminium, gecoat	kg	2.710	1,16	5,84	1.000,00	1.155,00	5.836,64
baksteen		Bbaksteenmetselwerk,KNB	kg	1.900	0,02	0,24	1.000,00	20,59	243,79
bitumen		bitumen emulsie kleeflaag (0,3 kg/m ²)	ton	2.100	52,98	360,43	1,00	52,98	360,43
elektronica		N/A	kg	N/A	N/A	N/A	1000,00	-	-
gips		bipspaneel 22 mm	m ²	N/A	3,65	35,23	64,10	233,73	2.258,17
glas		HR++ (dubbel) glas; coating / gasvulling (argon) , 4/16/4 mm	kg	N/A	0,34	2,22	1.000,00	344,60	2.221,42
hout		hardhout met FSC-keurmerk	ton	1.020	10,12	-147,01	1,00	10,12	-147,01
isolatie		steenwol MWA 2012; platen;	kg	N/A	0,12	1,23	1.000,00	123,91	1.227,78
kalkzand-steen		kalkzand-steen lijmblokken VNK	m ³	1975	0,94	12,26	1.000,00	1,86	24,21

Materiaalsoort (origineel)	Gemiddeld	DuboCalc	Unit	Soortelijk gewicht (kg/m ³)	MKI (EUR)	CO ₂ (kg)	Om-reken-factor	MKI/ton	kg CO ₂ -eq/ton
keramiek		Madura rood/ geëngo-beerde keramische dakpan	m ²	N/A	15,62	161,54	40,00	624,92	6.461,44
koper		DBM koperen bakgoot	kg	N/A	0,11	1,11	1.000,00	113,00	1.110,00
lijm en verf		Alkydverf	ton	N/A	0,74	5,27	1,00	0,74	5,27
steen		breuksteen (water-bouw)	ton	2.500	17,67	58,57	1,00	17,67	58,57
zand		landzand (per as)	m ³	1.600	6,82	59,34	0,63	4,26	37,08
betonsteen	beton	betontegels normaal	ton		12,26	76,17	1,00	12,26	76,17
gasbeton	beton	cellenbeton blokken (Xella-Ytong)	m ²		2,57	26,26	17,86	45,92	468,96
GVK		VVK, glasvezel in epoxy	ton		1.318,77	5.680,92	1,00	1.318,77	5.680,92
hardschuim		fenol-schuim	m ²		2,08	14,71	264,55	550,19	3.890,66
metselwerk		baksteenmetselwerk; KNB	m		8,66	82,11	5,36	46,43	440,25
overige metalen		-	ton				1,00	0,00	0,00
overige		-	ton	3.109	99,71	789,27	1,00	99,71	789,27
hard hout		hardhout met FSC-keurmerk	ton	1.020	10,12	-147,01	1,00	10,12	-147,01
natuursteen		natuur-steen; gelijmd	kg	2.600	0,12	1,16	1.000,00	117,50	1.155,67

BIJLAGE VIII

NOTITIE EXPERT JUDGEMENT