

Executive summary / Samenvatting

Background: Material consumption of urban development and their impact

Urban development is accompanied with resource depletion and environmental impact of the Earth's ecosystem, with sand and gravel as the most consumed construction materials.

Sand and gravel are key ingredients in the built environment, especially in lowland delta regions such as the Rhine-Meuse estuary in the Netherlands. These materials are used in the urban constructions of concrete, asphalt, as fill sand for site raising and building site preparation or for flood protection through dikes or beach nourishment. This consumption is globally at a such high rate that sand has become the second most consumed material, after water. This consumption results in resource depletion of the stock reservoir and environmental impact such as erosion or decline of flood protection. Concrete has also a significant environmental impact due to the cement production which contribute to the emission of CO₂. Urban design and planning deals with urban development which causes the consumption of material. However, the notion of material consumption and the related impact within the profession of urbanism is currently lacking.

The challenge is to meet the urban development demand in the Rijnmond-Drechtsteden region within the scope of circular economy and consumption reduction.

Material consumption is related to construction demand and activities. The Netherlands has a demand for 1 million housing to construct until 2040, with the majority situated in the western Randstad region where the Rhine-Meuse estuary is located with the conurbation of the Rijnmond-Drechtsteden (RMDS). Next to the demand for new housing, replacement

Achtergrond: Materiaalconsumptie en de impact van stedelijke ontwikkeling

Stedelijke ontwikkeling gaat gepaard met het uitputten van grondstoffen en de milieu-impact op het aardse ecosysteem, waarbij zand en grind, de op een na meest geconsumeerde materialen, voornamelijk gebruikt wordt in de stedelijke bouwwerken.

Zand en grind zijn belangrijke ingrediënten binnen de gebouwde omgeving, vooral in laaggelegen deltaregio's, zoals de Rijn-Maas monding in Nederland. Deze materialen worden toegepast in stedelijke constructies, zoals in beton, asphalt, bij het ophogen en bouwrijp maken, in waterkeringen als dijken of kustsuppletie. De consumptie van, voornamelijk beton, is wereldwijd zo enorm dat zand het op één na (na water) meest geconsumeerde materiaal is. Deze consumptie put de voorraad van de grondstof uit en zorgt voor verschillende milieu-impacts, zoals erosie en aantasting van de natuurlijke waterbescherming. Beton heeft ook een aannemelijke milieu-impact door de uitstoot van CO₂ tijdens de productie van cement. De consumptie van deze materialen wordt veroorzaakt door stedelijke ontwikkelingen die binnen de discipline van stedelijk ontwerp en ruimtelijke planning vallen. Het besef van de materiaalconsumptie en de gerelateerde impact binnen deze disciplines is echter afwezig.

De uitdaging is om de benodigde stedelijke ontwikkeling te realiseren in de Rijnmond-Drechtsteden regio binnen de ambitie van circulariteit en materiaalvermindering.

Materiaal consumptie is gerelateerd aan de vraag naar constructies en zijn activiteiten, zoals de vraag naar huisvesting. In Nederland is de vraag om 1 miljoen huizen te realiseren voor 2040, waarbij deze huizen grotendeels in de Randstad gerealiseerd moet

of the current stock is also an activity which occurs in the urban ecosystems. All of these activities drive the metabolism of the urban constructions which is currently consumed according the linear model of produce, consume and disposal. On both national and local governmental level, the ambition is set to shift towards a circular consumption of material with a reduction of primary material consumption of 100% until 2050. The challenges lies within the two ambition of housing construction and circular consumption and their relation to the profession of urban design. This is the problem statement within this graduation research for the Master Urbanism at the TU Delft.

Consumption of construction materials is part of the construction metabolism within the urban metabolism concept of an urban ecosystem.

The concept of urban metabolism 'describes how material, food, water and energy flow through an urban ecosystem , and are consumed to support its metabolism, then grow and reproduce, consequently generating products and by-products' (Zhang et al., 2018). This concept can be applied on the construction ecosystem where sand and gravel are primarily integrated. Construction metabolism relates to the construction and demolition activities within urban ecosystem which causes material flow from and towards products/stocks.

Within the Dutch context, sand and gravel are important for the construction of the urban environment in order to secure its durability, accessibility and safety.

Within the construction metabolism, the sand and gravel framework can be highlighted. As mentioned above, these materials are integrated within several urban constructions. These constructions contribute to the purpose of housing opportunities in the environment through durability, accessibility and safety. The different constructions are also linked with each other within the metabolic framework where waste

worden. Deze regio is ook de casestudy locatie van Rijnmond-Drechtsteden (RMDS), gelegen in Rijn-Maas delta. Naast de woningvraag is vervanging van het huidige woningaanbod ook een activiteit die binnen de stedelijke constructie ecosysteem voorkomt. Deze activiteiten volgen het lineair consumptiemodel van produceren, consumeren en storten. Op zowel nationaal als lokaal bestuurlijk niveau is er de ambitie voor een circulaire consumptie van materialen met een reductie van primaire grondstoffen van 100% in 2050. De opgave ligt in het samenbrengen van de twee ambities van de woningvraag en circulaire consumptie in relatie tot het vakgebied stedenbouwkundig ontwerp. Dit is ook de probleemstelling binnen dit afstudeeronderzoek voor de Master Urbanism aan de TU Delft.

De consumptie van constructiematerialen is onderdeel van het constructie-metabolisme binnen het stedelijke metabolisme concept.

Het concept van stedelijk metabolisme beschrijft 'hoe materiaal, voedsel, water en energie door het stedelijke ecosysteem stroomt en hoe het geconsumeerd wordt voor het ondersteunen van zijn metabolisme, waarna het groeit of reproduceert, waarbij het producten en bijproducten genereert'. Dit concept kan op het constructie ecosysteem worden toegepast waar zand en grind in geïntegreerd zijn. De constructie-metabolisme is gerelateerd aan constructie-en sloopactiviteiten binnen het stedelijk ecosysteem. Deze activiteiten veroorzaken materiaalstromen van en naar producten/stocks.

Zand en grind zijn belangrijk voor de constructie van de stedelijke leefomgeving binnen de Nederlandse context, waarbij het zorgt voor goede levensduur, draagkracht van de grond en veiligheid.

Binnen het constructie metabolisme kan zand en grind worden uitgelicht in een systematisch kader. Zoals hierboven is genoemd zijn deze materialen

from one stock is recycled in another stock. This process means that sand and gravel never leaves the anthropocentric urban ecosystem which can result in the saturation of some stocks. On the other hand, the construction ecosystem has a continuous demand for primary material.

The notion of durability in the complex urban system is an important character of construction metabolism where internal and external factors can be distinguished which affect the flux of a stock.

The durability and lifespan of a stock depends on when an activity of construction or demolition occurs within the construction metabolism (the so called flux) These stocks have a very low dynamic within the urban environment which means that their lifespan are long, between the 75-125 years and sometimes even infinite. The durability can be affected through internal or external factors which results in the activity of demolition with its outflow and sometimes new construction. Internal factors might be material degradation which are set within the projected lifespan of a construction when it is designed. External factors are unforeseen at the moment of design, which can be policy/land use change or hazards Within the complex urban ecosystem, the durability and its external factors are quite difficult to forecast.

Purpose: Material reduction through urban design

The research aims to find ways to reduce the demand of primary construction sand through urban design.

The research relates to the challenges around construction metabolism, material consumption, the environmental impact of consumption, and urban design within the case study area of RMDS region. The aims in the research project can be summed up as follows:

geïntegreerd in verschillende stedelijke constructies. Deze constructies zorgen er onder andere voor dat de waterveiligheid van het gebied gewaarborgd wordt (door dijken en kustsuppletie), dat een gebied begaanbaar en bouwrijp is (door het op te hogen met zand) of dat gebouwen voor een lange periode blijven staan (door beton). Al deze eigenschappen zorgen ervoor dat huisvesting in een gebied mogelijk kan zijn. De verschillende constructies zijn ook met elkaar verbonden, waarbij afval van de ene constructie hergebruikt wordt in de andere. Dit is het geval bij sloopafval van woning- of utiliteitsbouw dat gebruikt wordt als funderingsmateriaal bij het ophogen van onder andere wegen. Dit fenomeen zorgt ervoor dat zand en grind het 'antropocentrische' stedelijke ecosysteem nooit verlaten wat kan leiden tot een verzadiging van sommige stocks. Aan de andere kant heeft het constructie ecosysteem ook een continue vraag naar primair materiaal.

Levensduur van stedelijke constructie binnen het complexe stedelijke systeem is een belangrijke eigenschap van het constructie metabolisme, waarbij er een onderscheid gemaakt kan worden tussen interne en externe factoren die de 'flux van een stock' beïnvloeden.

De levensduur van een constructie (of stock) is afhankelijk van wanneer er een activiteit binnen het constructie ecosysteem plaatsvindt (de flux). Deze constructies hebben een erg lage dynamiek binnen de gebouwde omgeving wat betekent dat ze een lange levensduur hebben. Deze levensduur ligt tussen de 75 en 125 jaar en is soms zelfs oneindig. De levensduur kan beïnvloed worden door interne en externe factoren die constructie- en/of sloopactiviteiten veroorzaken met de gerelateerde materiaalstromen. Onder interne factoren vallen de verouderingsprocessen van het materiaal. Deze factor is meegenomen in het ontwerp van een constructie. De externe factoren daarentegen, zijn onbekend op het moment van

Image A

Construction sand and gravel metabolism within the Dutch context.
(original on page 43)

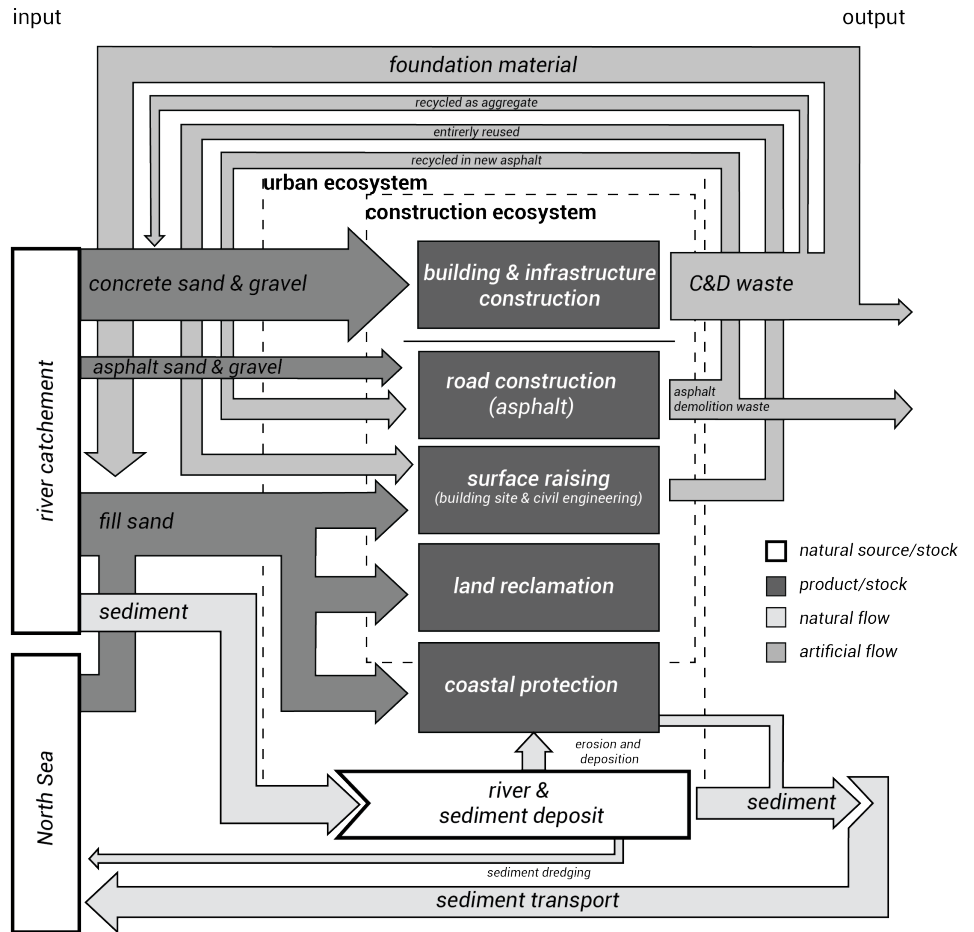


Image B

NEN-EN 15804:2012+A1
LCA scheme
(original on page 68)

PRODUCT stage			CONSTRUCTION PROCESS stage		USE stage					END OF LIFE stage				Benefits and loads
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4	D
Raw material supply	Transport	Manufacturing	Transport	Construction / installation aprocess	Use	Maintenance	Repair	Refurbishment	Replacement	Deconstruction/demolition	Transport	Waste processing	Disposal	Reuse, recovery & recycling potential
					B6	operational energy use								
					B7	operational water use								

- (1) Improve the sand and gravel metabolic balance in the RMDS region by minimising the consumption
- (2) Clarify the drivers behind the construction sand and gravel in order to understand its ecosystem
- (3) Improve the metabolic balance by applying solutions in spatial and urban planning which requires less primary sand and gravel.
- (4) Develop an approach in urban design where material impact and application is better exposed in the design process.

The aims are translated in the main research question:

“How can **urban design** reduce the **consumption of primary construction sand and gravel** in the **construction ecosystem** of the Rijnmond-Drechtsteden region?”

The research question is divided in four main sub-questions which are discussed in the method paragraph. The scientific relevance of the research is that urban consumption and impact of urban design and development are underexposed in both urbanism and urban metabolism studies. The social relevance is that urban consumption reduction is a major challenge within the circular economy ambitions on different governance levels.

Method: A sand-sensitive experiment

The research is a systematic experiment where construction possibilities will be assessed according to their impact on the consumption of primary construction sand and gravel within the urban metabolism. A division in three topics can be made which are; understanding the construction metabolism, exploration of improvements and urban design practice which reduces the consumption of sand and gravel.

ontwerp. Onder deze factoren vallen veranderingen binnen de landpolitiek of -gebruik en natuurrampen. De levensduur en externe factoren zijn, binnen het complexe stedelijke systeem, lastig te voorspellen.

Doel: Materiaalreductie door stedenbouwkundig ontwerp

Het onderzoek richt zich op het verkennen van methodes om de vraag naar primair constructie-zand te verminderen door middel van stedenbouwkundig ontwerp.

Het onderzoek is gerelateerd aan de uitdagingen rondom het constructie metabolisme, materiaal consumptie met zijn impact en stedenbouwkundig ontwerp in context van de RMDS regio. De doelen van het onderzoek zijn als volgt geformuleerd:

- (1) Het verbeteren van de balans in het zand- en grind-metabolisme in de RMDS regio door de consumptie te minimaliseren.
- (2) Het verhelderen van de drijfveer achter de consumptie van constructie-zand en -grind om vervolgens het achterliggende ecosysteem te begrijpen.
- (3) Het verbeteren van het metabolische balans door het toepassen van ruimtelijke en strategische oplossingen die minder primair zand en grind nodig hebben.
- (4) Het ontwikkelen van een aanpak binnen stedenbouwkundig ontwerp, waarbij de impact en toepassing van materiaal beter geïntegreerd zijn in het ontwerpproces.

Deze doelen kunnen vertaald worden in de volgende hoofdvraag:

“Hoe kan **stedenbouwkundig ontwerp** de **consumptie van primair constructie-zand en -grind** reduceren binnen het **constructie-ecosysteem** van de Rijnmond-Drechtsteden regio?”

The construction sand and gravel metabolism will be explained through an analysis of the current system by developing a business as usual scenario for the material flow analysis, extended with a dynamic stock model and a material intensity study.

In order to reduce the consumption of primary sand and gravel within the construction metabolism of RMDS region, an analysis of this current system needs to be made. This analysis tackles the sub-questions: 'What is the construction sand & gravel metabolism of RMDS region until 2040?' and 'What is the impact of the construction sand & gravel metabolism of RMDS region until 2040?'. The sand and gravel metabolism is based on the theoretical metabolic framework as mentioned above and the related internal and external factors in the region which cause flows and activities. This is done by constructing a material flow analysis (MFA) which is extended to a dynamic stock model. The dynamic stock model includes the internal and external factors and their systematic impact. The internal factor is further explored through a material intensity study in the region with parameters such as expected end-of-life of buildings and its amount of concrete. The results of the MFA will be translated into a Life-Cycle Analysis (LCA) model where the environmental impact is transparent and made explicit for the constructed business as usual scenario of the region.

Improvements for reduction of material consumption within the urban design context are explored through the development of a Catalogue of Solutions for sand-sensitive solutions.

The problem statement mentions the lack of the notion of material consumption within the profession of urban design. This problem is tackled according the sub-question: 'How can urban design reduce the material consumption and impact of construction sand & gravel?'. The possible improvements are explored through literature review and will eventually be used to develop an approach for material sensitive design.

De hoofdvraag is verdeeld in vier deelvragen die in de methode behandeld zullen worden. Het onderzoek is zowel wetenschappelijk als maatschappelijk relevant. Wetenschappelijk gezien is de stedelijke consumptie van bouw materiaal en de impact van stedelijke ontwikkeling nog onderbelicht binnen de studies van zowel stedenbouw als stedelijke metabolisme. Maatschappelijk gezien is het verminderen van de consumptie gerelateerd aan stedelijke constructie en ontwikkeling een belangrijke uitdaging voor het behalen van een circulaire economie.

Methode: een zandsensitief experiment

Het onderzoek is een systematisch experiment, waarbij constructiemogelijkheden worden geëvalueerd en verbeterd volgens de impact van de consumptie van primair constructie zand en grind binnen het stedelijk metabolisme. Het onderzoek is onderverdeeld in drie onderdelen; het begrijpen van het constructie metabolisme, het verkennen van verbeteringen en het reduceren van materiaal binnen het stedenbouwkundig ontwerpproces.

Het constructie zand en grind metabolisme zal worden verklaard aan de hand van een analyse van het huidige systeem door middel van een business as usual scenario van een materiaalstromen analyse, met onderbouwing van een dynamisch stockmodel en materiaalintensiteit studie.

Een analyse van het huidige systeem is van belang om de consumptie van primair zand en grind binnen het constructie metabolisme van de RMDS regio te reduceren. Deze analyse pakt de volgende twee deelvragen aan: "Wat is het constructiezand en -grind metabolisme van de RMDS regio tot 2040?" en "Wat is de impact van de constructie zand en grind metabolisme in de RMDS regio tot 2040?". Het zand

The improvements are collected in the Catalogue of Solutions where the link between space, system and environment are studied and stated. The study also explores the relation between material consumption and urban design which the foundation for the new approach.

Based on the business as usual scenario of the consumption of construction sand and gravel and the Catalogue of Solutions, a research by design is carried out where urban design example will reduce their material consumption.

The aim is to reduce the consumption of sand and gravel within the current scenario for the RMDS region. The final sub-question in order to answer the main research question is: 'How can the construction sand & gravel metabolism of RMDS region be improved?'. This part is tackled through research by design where urban design studies will be used to improve its material consumption. This improvement is based on the input from the Catalogue of Solutions. This design study will affect the system and urban environment which can be used in the extrapolation towards the regional system.

Findings 1/3: Analysis of the current sand system

The Rijnmond-Drechtsteden region requires an enormous amount of primary material for the different construction activities but also needs to deal with a high amount of waste material which needs to be integrated in the urban ecosystem.

The future urban development of the RMDS region can be distinguished in different drivers, related to urban design, causing flows. Drivers can be the urban development activities (densification, retrofitting, transformation and greenfield development) or maintenance activities (due to subsidence, sea level rise, dredging or infrastructure status) within

en grind metabolisme is gebaseerd op het hierboven benoemde theoretisch metabolisch kader en de gerelateerde interne en externe factoren in de regio die activiteiten en materiaalstromen veroorzaken. Dit kader is praktisch toegepast door middel van een materiaalstromen analyse (MFA) dat uitgebreid is met een dynamisch stock model. Dit model bevat de interne en externe factoren en de impact ervan op het metabolisch systeem. De interne factoren zijn verder verkend aan de hand van een materiaalintensiteit studie voor de regio met parameters zoals de verwachte levensduur van een gebouw en zijn materiaalvoorraad. De resultaten van de MFA worden gebruikt om een levenscyclusbeoordeling (LCA) model op te zetten, waarbij de milieutechnische impact zichtbaar wordt van het business as usual scenario voor de regio.

Verbeteringen voor het reduceren van de materiaalconsumptie binnen de context van het stedenbouwkundig ontwerp worden verkend aan de hand van het ontwikkelen van een oplossingscatalogus.

Onderdeel van de probleemstelling is het ontbreken van de effecten op materiaalconsumptie binnen het vakgebied stedenbouwkundig ontwerpen. Dit onderdeel wordt behandeld in de deelvraag: "Hoe kan stedenbouwkundig ontwerp de materiaalconsumptie van constructie zand en grind en zijn impact reduceren?". De verbeteringen worden verkend aan de hand van een literatuurstudie en uiteindelijk gebruikt om een materiaalsensitieve aanpak te formuleren. De oplossingen worden verzameld in de oplossingscatalogus, waarbij het verband tussen ruimtelijk, systematische en milieutechnische inpassingen wordt behandeld. De studie behandelt ook het verband tussen materiaalconsumptie en stedenbouwkundig ontwerp, wat uiteindelijk toegepast wordt in de nieuwe aanpak.

the construction ecosystem. These drivers mainly require primary sand and gravel but there is also an outflow of demolition waste from building which reach their assumed end-of-life. As the diagram in image C shows, most material mains within the urban ecosystem where it is recycled. An exception is the coast and river related activities such as beach nourishment and dredging. These activities are still influenced by the natural sediment ecosystem of sand and gravel. The diagram is an assumption based on a business as usual scenario. The large quantities and related transport affect the environment the most. Concrete has a manufacturing process which also has an environmental impact. The metabolism can be characterised by its continuous and large demand for material but also has several opportunities for recycling and reduction.

In order to reduce the material consumption within the sand and gravel metabolism of the Rijnmond-Drechsteden region, options need to be found in alternatives for the continuous demanding drivers such as fill sand for subsidence and for recycling opportunities of waste flows from dredging or demolition waste.

Findings 2/3: Material conscious approach

Derived from the analysis of the current system, it is stated that consciousness of material consumption needs to be integrated within urban design process. The research aims to find both practical and systematic solutions or methods which have an impact on the material consumption. The results can be divided in the material conscious approach and the Catalogue of Solutions.

Aan de hand van het business as usual scenario van de constructie-zand- en grindconsumptie en de oplossingscatalogus zal een ontwerpend onderzoek worden uitgevoerd, waarbij stedenbouwkundig ontwerpvoorbeelden inzicht geven in hoe het materiaalgebruik verminderd kan worden.

Het doel van het onderzoek is om de consumptie van zand en grind te reduceren binnen het huidige scenario voor de RMDS regio. De laatste deelvraag is: "Hoe kan het constructie zand en grind metabolisme van de RMDS worden verbeterd?". Voor deze kwestie wordt een ontwerpend onderzoek uitgevoerd met kleinschalige stedenbouwkundig ontwerpstudies om de materiaalconsumptie te verbeteren door middel van input vanuit de oplossingscatalogus. De ontwerpstudie heeft een systematische impact op regionale schaal door middel van extrapolatie.

Bevindingen 1/3: Analyse van het huidige zand systeem

De verschillende constructie activiteiten in de Rijnmond-Drechsteden regio vragen om een enorme hoeveelheid aan primaire grondstoffen maar moeten ook een aannemelijk deel van het sloopafval integreren binnen het stedelijk ecosysteem.

De toekomstige stedelijke ontwikkelingen van de RMDS regio kunnen worden gekenmerkt door verschillende drijfveren die aan stedenbouwkundig ontwerp gerelateerd zijn en dus materiaalstromen veroorzaken. Deze drijfveren zijn de vier verschillende stedelijke ontwikkelingstypes (verdichten, herstructureren, transformatie en uitleg) en het onderhoud van gebieden (vanwege bodemdaling, zeespiegelstijging, bageren of infrastructuur status). Deze drijfveren hebben voornamelijk zand en grind nodig, maar veroorzaken soms ook een materiaalstroom van sloopafval, afkomstig van afgeschreven gebouwen. Het merendeel van de gebruikte materialen blijft binnen het stedelijke

Material conscious approach for urban design integrates the four stages of a construction process from the lifecycle perspective (situation, construction, maintenance and end-of-life) with its related material consumption for each construction where the material efficiency strategies will be applied on; prevention, reuse, recycle.

The study of construction ecology aims to improve the current linear material consumption pattern towards a more circular one. This improvement can be achieved by becoming more efficient with our materials. Material efficiency can be done by applying the three related strategies (from highest to lowest priority); prevention or reduction of material consumption, reuse of products or elements, and recycling of materials. These strategies also requires a life-cycle perspective, which relate to the LCA (according the NEN-EN 15804:2012+A1), of the design product in order to

ecosysteem door middel van recycling, zoals weergegeven in afbeelding C. De enige uitzonderingen hierop zijn de activiteiten die gerelateerd zijn aan de rivier of kust, zoals baggeren en kustsuppletie. Het diagram is een aanname gebaseerd op het business as usual scenario. De grote materiaalhoeveelheden, het transport en de productie van beton hebben het grootste effect op het milieu. Het metabolisme kan gekenmerkt worden door zijn continue en grote vraag naar materiaal maar er zijn ook enkele kansen voor recyclen en reductie.

Oplossingen zijn nodig om de materiaalconsumptie binnen het zand en grind metabolisme van de RMDS regio te reduceren. Deze oplossingen moeten betrekking hebben op de continue vraag naar materiaal (zoals ophoogmateriaal tegen bodemdaling) en voor recycle opties van afvalstromen (van het baggeren of slopen).

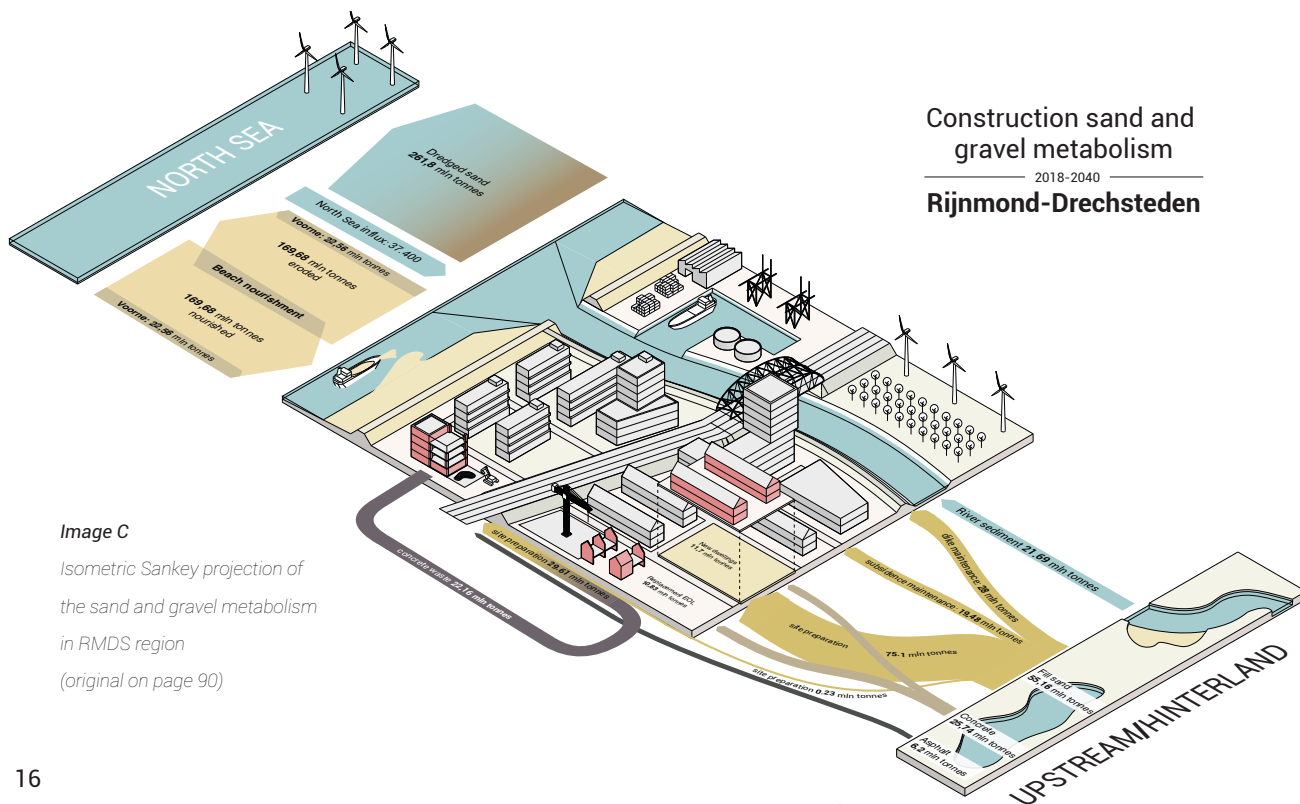


Image C
Isometric Sankey projection of the sand and gravel metabolism in RMDS region (original on page 90)

include the overall environmental impact. The life-cycle perspective for urban development includes: situation, construction, maintenance and end-of-life/demolition. Each process is related to material consumption where the material efficiency strategies can be applied on. For an urban designer, it is important to become aware of the conditions (based on drivers of the construction ecosystem) where material consumption occurs.

Spatial intervention regarding material consciousness are integrated in the Catalogue of Solutions where each intervention contributes to a material efficiency strategy within the construction ecosystem.

In order to strengthen the link between material consumption or reduction and urban design, the Catalogue of Solution is developed through an exploration of spatial interventions. These spatial interventions and their impact relate to the material efficiency strategies. Three solutions will be explained in order to clarify this relation. (1) Reduction of material consumption can be done by the development of buildings on water because this does not requires fill sand for building site preparation. (2) Reuse can be the transformation of non-residential building to a residential one. (3) Recycling of material can be done by linking demolished buildings as secondary resources for new construction (also known as urban mining). The solutions can be applied within different urban conditions which affect the consumption of material.

Findings 3/3: Design research

Three locations are chosen in the region which represent the different urban development types and conditions. The locations are; Ommoord in Rotterdam (transformation of non-residential areas and subsidence maintenance), Vliesland in Spijkenisse (greenfield development) and Spoorzone in Dordrecht (densification and retrofitting). The material conscious

Bevindingen 2/3: Materiaalbewuste aanpak

De analyse van het huidige systeem laat zien dat een bewustwording van materiaalconsumptie geïntegreerd moet worden binnen het stedenbouwkundig ontwerpproces. Het onderzoek streeft ernaar om zowel praktische als systematische oplossingen of methodes te vinden die impact hebben op het materiaalgebruik. Deze resultaten kunnen verdeeld worden in de materiaalbewuste aanpak en de oplossingscatalogus.

De materiaalbewuste aanpak voor stedenbouwkundig ontwerp integreert vier stappen van de levenscyclus van een constructie (situatie, constructie, onderhoud en deconstructie) en ieders relatie met materiaalconsumptie, waarbij de materiaalefficiënte strategieën (voorkomen, hergebruiken en recyclen) worden toegepast.

De studie naar constructie ecologie streeft naar het verbeteren van de huidige lineaire materiaalconsumptie naar een circulaire consumptie. Deze verbeteringen kunnen worden behaald door efficiënter met onze materialen om te gaan. Materiaalefficiëntie is gerelateerd aan een drietal strategieën (van hoogste naar laagste prioriteit); voorkomen of reduceren van materiaalconsumptie, hergebruik van producten of onderdelen en het recyclen van materialen. De strategieën vereisen ook een perspectief op de levenscyclus (gerelateerd aan de LCA volgens de NEN-EN 15804:2012+A1) binnen een ontwerp, zodat de milieu impact meegenomen kan worden. De levenscyclus van stedelijke ontwikkelingen bevatten: situatie, constructie, onderhoud en deconstructie. Iedere stap is gerelateerd aan materiaalconsumptie, waarbij de materiaalefficiënte strategieën toegepast kunnen worden. Voor een stedenbouwkundig ontwerper is het ook belangrijk om bewust te worden van de condities (afgeleid van

approach is applied in every location where first a business as usual design (BaU) is constructed. This BaU design is accompanied with a spatial and material consumption impact. The consumption impact is integrated in a territorial metabolic life-cycle (TM-LCA) scheme which embodied the core of the material conscious approach.

The designs seek to reduce material demand, reuse structures or recycle material through spatial solutions where each design option has an different spatial, systematic and environmental impact.

Based on the BuA, solutions from the Catalogue of Solutions are applied at each situation which results in three improved concepts. The results from the improvements are quite different from each other. Alternative or recycled material from demolished buildings can be used for the new construction to reach the same spatial conditions as the BaU or the current buildings can be completely transformed and elevated with new structure. Another improvement is done by creating a complete new urban environment built on stilts above a green landscape. These improved designs reduce the primary material consumption but are sometimes depended on regional interventions or activities such as secondary resources or treatment plants. Some designs also affect the built environment which might conflict with current standards.

Circular sand metabolism is a multiscalar system where regional demand and supply is embedded in the local urban designs. These improvements require new flows and supplies which results in industrial spatial transformation of environments elsewhere.

On the regional scale, supply from demolition and demand from construction needs to be linked in order to facilitate recycling potentials for both concrete and fill sand. Storage and manufacturing need to be located on available and suitable locations such as tidal parks for dredged sediment as fill sand substitute

de drijfveren van het constructie metabolisme) waar materiaalconsumptie plaatsvindt.

Ruimtelijke interventies met betrekking tot materiaalbewustzijn zijn geïntegreerd in de oplossingscatalogus waarin iedere oplossing bijdraagt aan een materiaalefficiënte strategie binnen het constructie ecosysteem.

Om de link tussen materiaalconsumptie, reductie en stedenbouwkundig ontwerp te versterken, is de oplossingscatalogus ontwikkeld door middel van een verkenning naar ruimtelijke interventies. Deze interventies en de impact zijn gerelateerd aan de materiaalefficiënte strategieën. Deze relatie zal worden verduidelijkt aan de hand van drie voorbeelden. Als eerste kan de reductie van de materiaalconsumptie worden gerealiseerd door woningen op water te ontwikkelen, zodat er geen ophoogzand nodig is voor het bouwrijp maken. Een tweede voorbeeld van hergebruik is de transformatie van utiliteitsgebouwen naar woningen. Het laatste voorbeeld is het recyclen van materiaal dat gedaan kan worden door het vrijgekomen sloopmateriaal uit afgedankte gebouwen te verbinden met nieuwe constructies waar het als grondstof gebruikt kan worden. De oplossingen kunnen binnen verschillende stedelijke condities worden toegepast die uiteindelijk een impact hebben op de materiaalconsumptie.

Bevindingen 3/3: Ontwerpend onderzoek

Drie locaties zijn gekozen binnen de regio die de verschillende stedelijke ontwikkelingen en condities representeren. De locaties zijn; Ommoord in Rotterdam (transformatie en bodemdaling onderhoud), Vliesland in Spijkenisse (uitleglocatie) en Spoorzone in Dordrecht (verdichting en herstructurering). Op iedere locatie is de materiaalbewuste aanpak toegepast, waarbij eerst een business as usual ontwerp (BaU)

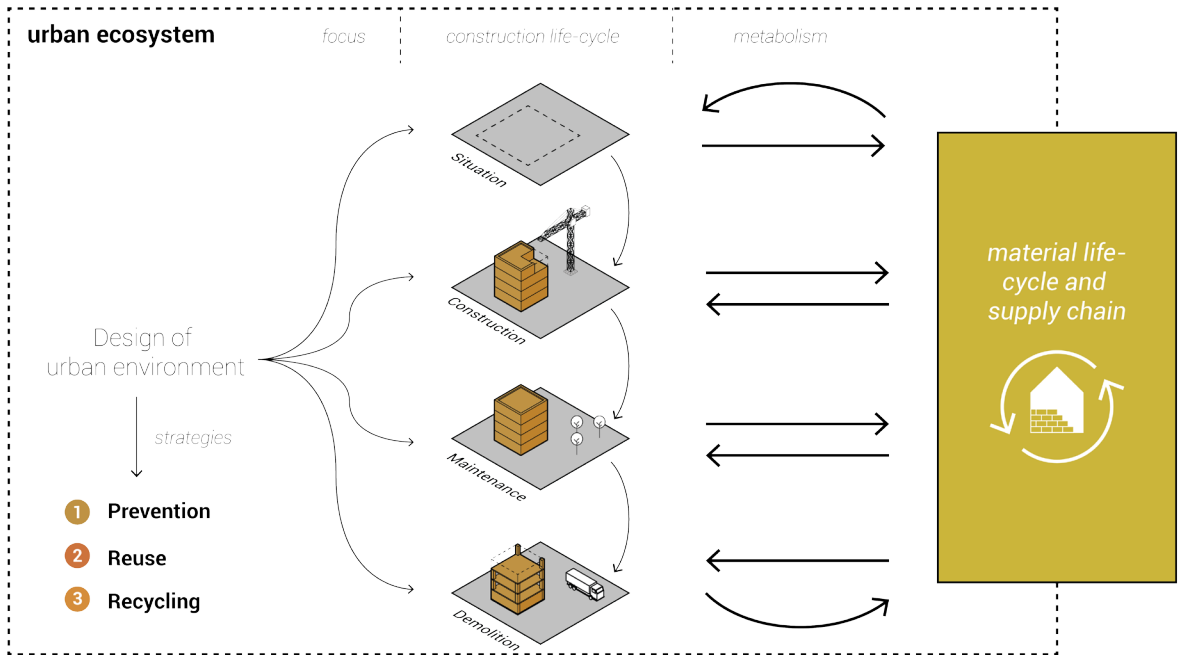
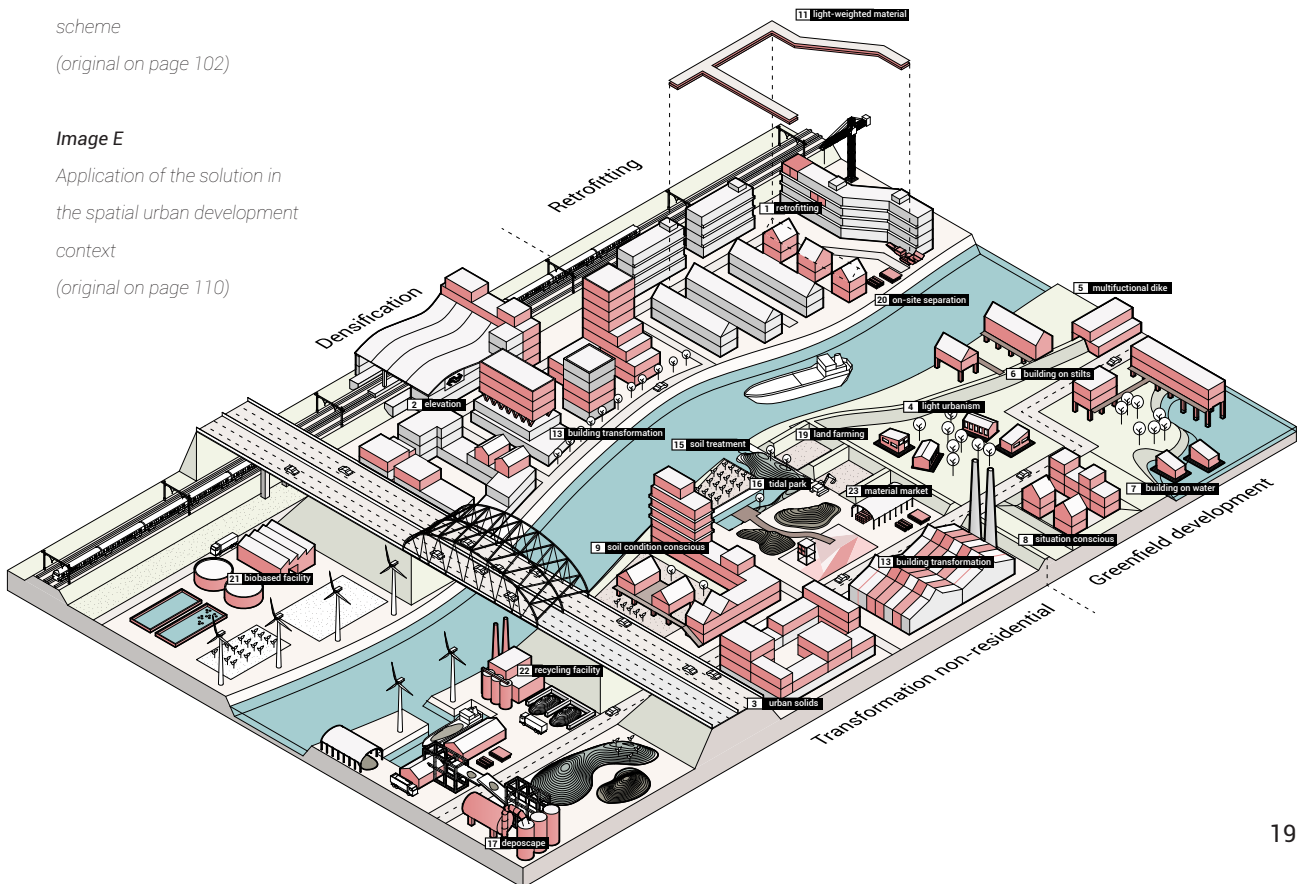


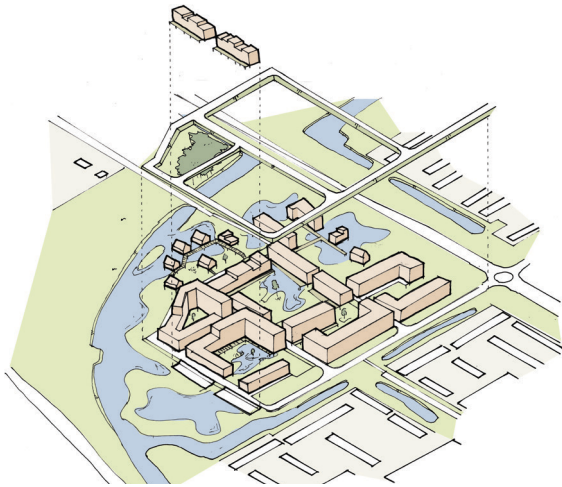
Image D

Material conscious approach scheme
(original on page 102)

Image E

Application of the solution in the spatial urban development context
(original on page 110)





is ontwikkeld. Het BaU ontwerp heeft zowel een ruimtelijke als consumptieve impact. De consumptie impact is geïntegreerd in een territoriale metabolisme levenscyclus (TM-LCA) schema dat de kern van de materiaalbewuste aanpak omvat.

De ontwerpen streven ernaar om de materiaalvraag te reduceren, te structuren en te hergebruiken of om materiaal te recyclen met behulp van ruimtelijke interventies, waarbij ieder ontwerp een andere ruimtelijke, systematische en milieutechnische impact heeft.

Oplossingen uit de catalogus zijn toegepast in iedere situatie die resulteren in drie verbeterde concepten op basis van de BaU. De nieuwe concepten zijn erg verschillend van elkaar. Van het gebruik van gerecycled of alternatief materiaal in nieuwe constructies om dezelfde ruimtelijke kwaliteit als de BaU te behalen, het volledig transformeren of verticaal uitbreiden van de huidige constructies tot een compleet nieuwe verhoogde omgeving gebouwd op palen boven een groen landschap. Deze verbeterde ontwerpen reduceren de primaire materiaalconsumptie maar zijn soms ook afhankelijk van regionale factoren of activiteiten, zoals de beschikbaarheid van secundaire grondstofbronnen (gebouwen als stedelijke mijn). Ook veranderen ze de gebouwde omgeving op zo'n manier dat het de afwijkt van de huidige standaarden.

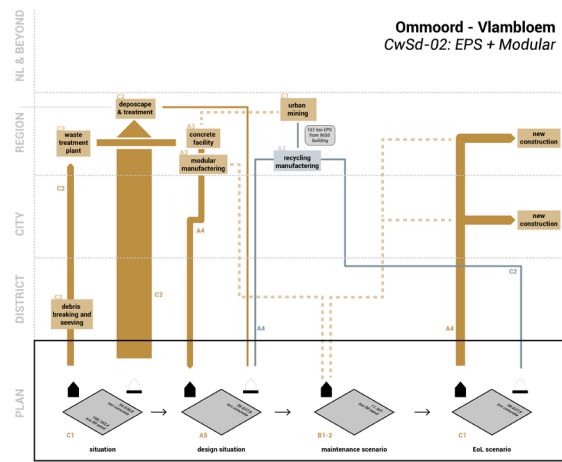


Image F
 Example of design intervention
 (original on page 126)

Een circulair zand metabolisme is een systeem dat uit meerdere lagen bestaat, waarbij de regionale vraag en het aanbod van materiaal is gekoppeld aan stedenbouwkundige ontwerpen op lage schaal. Sommige lokale interventies vereisen nieuwe stromen en faciliteiten die resulteren in transformatie en ontwikkeling op een andere plaats.

Het aanbod van de sloop en vraag uit de constructie moet gelinkt worden aan de regionale schaal om voor zowel beton als voor ophoogzand

or material storage for recyclable material or modular building components. A balance is necessary in order to meet this supply and demand. However, a first estimation based on extrapolation results in a mismatch in the supply and demand. This means that further study is required.

Conclusions and recommendations

Sand and gravel are integrated in the built environment and thus relate to the profession of urban design and planning. The activities which cause consumption of sand and gravel are the core of the urban design profession but its metabolism and flux have a really low dynamic. However, this dynamic is affected by different internal and external factors which can be translated into different kind of conditions. These relate to urban development such as the type of urban development (e.g. densification) or the maintenance demand which relates to climate effects (e.g. subsidence). Based on these conditions, future assumptions and scenarios can be made of the material consumption in the RMDS region. The assumed sand and gravel metabolism in this region requires large quantities which causes transportation and resource depletion and indirect emission from manufacturing. The current recycling process of demolition waste has a chance to become saturated which amplifies the necessity of alternative recycling options.

The conditions causing material flow are important in the integration of material consumption in urban design. The research resulted in a material conscious approach where urban metabolism, urban design and the lifecycle perspective are combined. The approach integrates the entire lifecycle of the constructions (situation, construction, maintenance and end-of-life) in the urban design process and relates these to the consumption of material. This consumption relates to

de faciliteiten voor de recycling te realiseren. Opslag en productie moeten plaatsvinden op beschikbare en geschikte locaties, zoals getijdenparken voor baggersediment als zandvervanger of de opslag van modulaire gebouwelementen in en rondom wijken. Een balans is nodig voor deze vraag en aanbod omdat het mogelijk is dat de huidige strategieën niet goed hierop aansluiten.

Conclusies en aanbevelingen

Zand en grind zijn sterk geïntegreerd binnen de gebouwde omgeving en zijn gerelateerd aan de vakgebieden van stedenbouwkundig ontwerp en ruimtelijke planning. De activiteiten die de consumptie van zand en grind veroorzaken zijn de kern van stedenbouwkundig ontwerp maar het metabolisme en de flux ervan hebben een erg lage dynamiek. Deze dynamiek wordt beïnvloed door verschillende interne en externe factoren die vertaald zijn naar condities. Deze condities hebben betrekking op stedelijke ontwikkelingen, zoals verdichting of op onderhoudsactiviteiten gerelateerd aan het klimaat, zoals bodemdaling. Een toekomstscenario en een aanname zijn gemaakt voor de materiaalconsumptie in de RMDS regio, gebaseerd op de condities. Vanuit de aanname komt naar voren dat er grote aantallen zand en grind metabolisme in de regio nodig zijn die transport en grondstofuitputting (en indirect ook broeikasgassen door betonproductie) veroorzaken. Het huidige recyclingproces van sloopafval zou mogelijk verzadigd kunnen worden wat de belangen van alternatieven vergroot.

De condities die materiaalstromen veroorzaken zijn belangrijk bij de integratie van materiaalconsumptie in stedenbouwkundig ontwerp. In het kader van het onderzoek is een materiaalbewuste aanpak ontwikkeld waarin de consumptie, stedelijk metabolisme en een levenscyclus perspectief in zijn gecombineerd. Deze aanpak omvat de volledige levenscyclus van een

the urban ecosystem and its metabolism which are made visible through a TM-LCA scheme. This scheme visualises the consumption during the lifespan of a construction and the origin or impact of the materials. This scheme can be used to evaluate the metabolic impact of a design to eventually apply material efficient strategies of reduce, reuse and recycle. Within the scope of material efficiency, an exploration of spatial solutions is made and combined in the Catalogue of Solutions which give an overview of sand-sensitive interventions related to urban design. These interventions can be linked to the different conditions which relate to both material consumption as urban design.

Three focus locations are used to test the material conscious approach and its solutions. These locations reflect the different conditions according to the urban development types. A two-step method was applied where first a business as usual scenario was designed with a TM-LCA scheme. Based on this design, improvements were made which reduces the material consumptions. Urban design has a significant impact on the consumption of material through the application of the material conscious approach. However, material conscious urban designs have an impact on the standard spatial quality and requires a regional system where material can be recycled and treated. The question remains if the ecosystem can supply both the material and space for production, treatment or storage in order to be able to reuse or recycle everything and to become circular. On the other hand, systematic improvement on the regional scale can contribute to design decisions on the local scale.

The research was a study which aimed to tackle the challenges related to sand and gravel consumption and its reduction from an urban design perspective. The study had an interdisciplinary approach because it covered topics from urbanism and civil engineering. However, this interrelation needs to be further explored

stedelijke constructie (situatie, constructie, onderhoud en afdanking) en zijn relatie met materiaalconsumptie. De relatie tussen deze consumptie en het stedelijke ecosysteem of metabolisme worden verduidelijkt door middel van het TM-LCA schema. Dit schema visualiseert de consumptie en de impact van de constructie over zijn volledige levenscyclus. Daarnaast kan het gebruikt worden om de metabolische impact van een ontwerp te evalueren om er uiteindelijk de materiaalefficiënte strategieën (voorkomen, hergebruiken, recyclen) op toe te passen. Een verkenning van ruimtelijke oplossingen zijn samengevat in de oplossingscatalogus die een overzicht geeft van zandsensitieve interventies met betrekking tot stedenbouwkundig ontwerp.

De materiaalbewuste aanpak en de gerelateerde oplossingen zijn toegepast op drie locaties binnen de RMDS regio. Deze locaties vertegenwoordigen de verschillende condities van de stedelijke ontwikkeling. Een methode in twee stappen is toegepast, waarbij eerst een business as usual ontwerp is opgezet vergezeld van een TM-LCA schema. Als tweede worden, gebaseerd op dit ontwerp, verbeteringen gemaakt die de materiaalconsumptie reduceren. Door het toepassen van de materiaalbewuste aanpak kan stedenbouwkundig ontwerp een aanzienlijke en directe impact op de materiaalconsumptie hebben. Echter hebben deze ontwerpen een impact op de standaarden van ruimtelijke kwaliteiten en zijn ze soms afhankelijk van een regionaal systeem voor recycling en reiniging. De vraag blijft of het ecosysteem de vraag naar secundair materiaal kan opvangen en of er genoeg plaats is om de ruimtelijke ingrepen voor productie, reiniging en opslag huis te vesten om zodoende dus circulair te worden. Aan de andere kant kunnen regionale systematische verbeteringen bijdrage aan ontwerpkeuzes voor stedenbouwkundige plannen.

for the technical feasibility of the design improvements and their impact on the drivers and the environment (e.g. by the execution of a LCA). The discipline of urban design can continue on exploration towards the relation between spatial composition and material consumption in order to optimise the reduction through a design.

The current designs relate to a regional systematic improvement and integration. Regional and local storage and treatment plants need to be facilitated. This task demands further research from both regional planning and environmental studies. Based on the environmental impact of e.g. transportation, suitable and strategic locations need to be found for these plants, both geographical as governmental.

On a more practical level, research needs to be done based on the quantitative feasibility of recycling possibilities. Some alternative material, for example EPS as a fill sand substitute, are interesting to be recycled and implemented but the quantity originated from secondary stock mismatches the demand. This requires studies towards a balance in circular material consumption and its alternatives which can continue on findings and methods from this research.

Het onderzoek was gericht op de problemen rondom de zand en grind consumptie en reductie vanuit een stedenbouwkundig ontwerpperspectief. Het onderzoek had een interdisciplinaire aanpak aangezien het op het raakvlak van stedenbouw en civiele techniek ligt. Deze relatie zou verder moeten worden verkend voor de technische haalbaarheid van de ontwerpen en de impact op de drijfveren van de consumptie en omgeving (door middel van het uitvoeren van een LCA). Voor stedenbouwkundig ontwerp ligt er nog de kans om de relatie tussen ruimtelijke compositie en materiaal reductie en optimalisatie verder te verkennen.

De huidige ontwerpen zijn gerelateerd aan regionaal systematische verbetering en integratie. Regionale en lokale opslag- en reinigingslocaties moeten worden gefaciliteerd. Dit vergt verder onderzoek vanuit zowel regionale planning als milieutechnisch perspectief. Gebaseerd op de milieu impact van onder andere transport moeten er geschikte en strategische locaties gekozen worden, zowel ruimtelijk als bestuurlijk.

Vanuit een meer praktisch oogpunt is verder onderzoek nodig naar de kwantitatieve haalbaarheid van de recycling mogelijkheden. Sommige alternatieven, zoals het voorbeeld van EPS als ophoogzandvervanger, zijn recyclebaar en toe te passen maar het aanbod uit secundaire bronnen komt niet overeen met de vraag. Hiervoor zijn studies naar de balans in een circulaire materiaalconsumptie nodig die de bevindingen en methodes uit dit onderzoek kunnen gebruiken als inspiratie en startpunt.