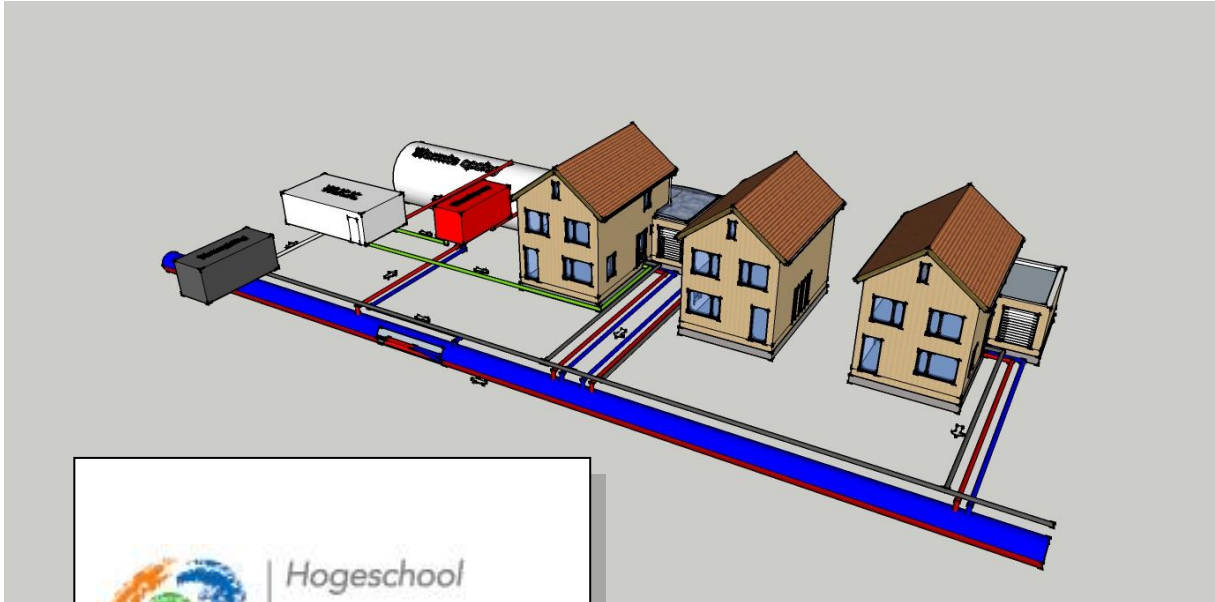
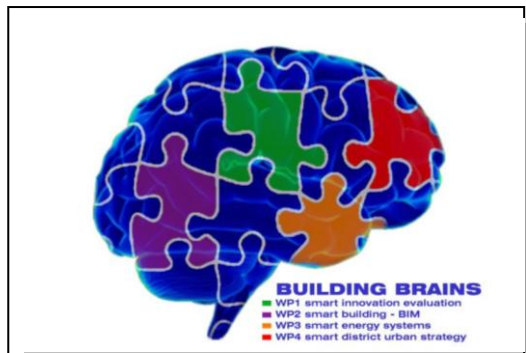


Energie opwekken met water

voor een energie neutrale wijk



Dit is een leeropdracht van de Hogeschool Van Hall Larenstein



Bastian Coes
Juni 2010

Dit is een leeropdracht van de Hogeschool Van Hall Larenstein

Trefwoorden: energie, water en woonwijk

Afstudeerder:	Bastian Coes
Hogeschool:	Hogeschool van Hall-Larenstein onderdeel van de WUR.
Opleiding:	Land en watermanagement
Major:	Inrichting en waterbeheer
Externe begeleider:	Harry Campen – Ballast Nedam Infra
Interne begeleider:	Elgard van Leeuwen – Deltares/Van Hall - Larenstein
Afstudeerbedrijf:	Ballast Nedam Infra
Project:	Building Brains: Smart Building and District Energy Neutral
Periode:	januari 2010 - juli 2010
Contact:	
E-mail:	bastian_coes@hotmail.com
Telefoon:	06 2200 7215

Ballast Nedam Infra
Nieuwegein, 1 juni 2010

Samenvatting

De regering wil dat Nederland in 2020 een van de schoonste en energiezuinigste landen van Europa is. Hierbij is het van belang dat er energie wordt bespaard en er zowel regionaal als lokaal duurzame energie wordt opgewekt. Onderzoeksprogramma Building Brains is aan het onderzoeken wat er mogelijk is om op wijkniveau energie op te wekken en hoe een energieneutrale woonwijk kan worden ontwikkeld. Eén van de onderzoeken gaat over energie winnen uit water in de woonwijk, waarop dit afstudeeronderzoek is gericht. Er is onderzoek gedaan naar technieken om energie op te wekken met water. Hierbij is gekeken naar de techniek, status van ontwikkeling en haalbaarheid in de markt. Uit deze technieken is een selectie gemaakt. De criteria voor deze selectie zijn: de techniek moet toepasbaar zijn in een woonwijk, duurzame energie produceren, technisch en financieel haalbaar en moet passen binnen de visie van de opdrachtgevers.

Warmtewinning en biogaswinning uit huishoudelijk afvalwater zijn geselecteerd als kansrijke concepten. De warmte in het riool wordt gewonnen door een, in het riool geplaatste, warmtewisselaar. De temperatuur van het afvalwater is in Nederland gemiddeld ongeveer 14°C en hieruit kan energie worden onttrokken dat na bewerking van een warmtepomp een temperatuur heeft van 40°C en kan 18% van de warmtevraag voorzien van de Rotterdamse woonwijk Lombardijen.

Biogas wordt geproduceerd van de faeces van huishoudelijk afvalwater. De biomassa wordt in het riool gescheiden, door middel van een filter. De biomassa levert na vergisting en verbranding een kleine bijdrage aan de warmtevraag, namelijk 0,12%. Dit komt doordat de energielevering is berekend voor een woonwijk van 6.200 woningen.

Om van beide technieken te weten welke invloeden er zijn op de energieproductie en hoe ze optimaal kunnen functioneren, is een optimale toepassing bepaald. De externe beperkende factoren van rioolwarmte winning zijn invloeden van de bodem, lucht, seizoenen en inmenging van koud(afval)water. Om de warmteproductie beter te laten verlopen moeten deze factoren worden beperkt. Dit kan worden gedaan door in de woning koud en warm afvalwater separaat af te voeren en de warmte in een geïsoleerde warmwaterleiding te winnen, hierbij kan in 22% van de warmtevraag worden voorzien, een stijging van 3% op de 'conventionele' techniek.

Biogas winning uit huishoudelijk afvalwater werkt niet door de biomassa uit de afvalwaterstroom te filteren omdat de organische fractie is namelijk te vochtig om te vergisten. Een andere factor is dat biovergisting beter werkt wanneer er een co-vergister, zoals GFT, wordt toegevoegd. Om de hoeveelheid vocht te beperken moeten de faeces separaat worden opgevangen en getransporteerd naar een vergister. Dit kan worden gedaan door middel van een vacuümtoilet en persleidingen. Op deze persleiding kan ook het GFT worden afgevoerd dat door middel van een shredder in een gootsteen wordt verkleind. De energieproductie wordt hierdoor verhoogd met 0,32% naar 0,5% van de gehele warmtevraag. Bij deze optimale toepassingen komt het neer op een drie leidingen systeem: een zwartwaterleiding voor de biovergister, een warmwaterleiding voor de warmtewisselaar en een grijswaterleiding voor het koude huishoudelijke afvalwater en neerslag. Financieel gezien is warmtewisseling mogelijk om toe te passen. De terugverdientijd van deze techniek ligt, afhankelijk van de toepassing, tussen de 10 en 20 jaar. Biogaswinning daarentegen is niet haalbaar. Door de hoge investering en lage energieproductie is de terugverdientijd 83 jaar en daardoor niet interessant om in te investeren.

Inhoud

Samenvatting.....	3
Voorwoord	5
Inleiding.....	6
1.1 Building Brains en Ballast Nedam.....	8
1.2 Het onderzoek	8
1.3 Definities.....	9
1.4 Aanpak en methode	9
H 2. Inventarisatie.....	11
2.1 Water en energie.....	11
2.2 Techniek inventarisatie	13
H3. Selectie	20
3.1 Afwegingskader	20
3.2 Criteria.....	20
3.3 Tabel met gegevens criteria	22
3.4 Keuze	22
3.5 Verklaring van keuze	22
H4. Rioolwarmte	24
4.1 Conceptbeschrijving voor toepassing in een woonwijk	24
4.2 100% scenario	24
4.3 Rekenmodel.....	25
4.4 Uitkomsten rekenmodel.....	27
4.5 Optimaliseren	30
4.6 Financiën	32
4.7 Haalbaarheid	33
H 5. Biogas uit rioolafval	35
5.1 Conceptbeschrijving voor toepassing in een woonwijk	35
5.2 100% scenario	35
5.3 Energiemodel	37
5.4 Optimaal scenario	37
5.5 Financiën	37
5.6 Haalbaarheid	37
H 6. Toepassing in een woonwijk	39
6.1 Beschrijving Lombardijen	39
6.2 Energievraag.....	39
6.3 Inpassing van energietechnieken	39
6.4 Energieproductie	41
Conclusies en aanbevelingen	42
Bijlagen.....	43

Voorwoord

Deze afstudeerscriptie is geschreven ter afsluiting van de HBO-opleiding Land- en Watermanagement aan de Hogeschool Van Hall-Larenstein te Velp. De opdrachtgever van het onderzoek is Ballast Nedam Infra en wordt uitgevoerd bij het onderzoeksprogramma Building Brains.

“In 1874 voorspelde sciencefiction schrijver Jules Verne dat water de kolen van de toekomst zouden zijn. Meer dan een eeuw later, in een wereld waar gezocht wordt naar alternatieven voor fossiele brandstoffen, zou dit wel eens werkelijkheid kunnen worden”.

Tot slot wil ik alle geïnterviewden bedanken voor hun medewerking. Speciale dank voor Harry Campen, Business Developer Ballast Nedam en Elgard van Leeuwen, Lector water, Van Hall-Larenstein voor de goede begeleiding tijdens het afstuderen.

Nieuwegein, juni 2010.

Bastian Coes

Inleiding

Het kabinet wil van Nederland één van de schoonste en zuinigste energielanden in Europa maken. Om dit te bereiken is de volgende ambitieuze doelstelling geformuleerd: 'In 2020 moet Nederland 30% minder broeikasgassen uitstoten, het tempo van de energiebesparing moet omhoog van gemiddeld 1% naar 2% per jaar en het aandeel duurzame energie van het totale Nederlandse energieverbruik moet stijgen tot 20%¹. Om onder andere deze transitie te versnellen is het onderzoeksprogramma *Building Brains* opgezet, met als aandachtsgebied: *Smart Building and District - Energy Neutral* (hierna: Building Brains). Smart Building and District - Energy Neutral staat voor energieleverend, innovatief en toekomstgericht en zorgt voor een koppeling tussen gebouw, wijk en energie. Dit betekent dat er inzicht moet worden ontwikkeld dat kan leiden tot een energieneutrale woonwijk.

Building Brains is een ambitieus onderzoeksprogramma onder leiding van TNO met ongeveer 120 kenniswerkers van 27 bedrijven, die de gehele bouwsector omvatten. Het project wordt gefinancierd door de zogenaamde 'Kennswerkers regeling'. Dit is een regeling die gevormd is om tijdens de recessie kennis voor bedrijven te behouden en te versterken en loopt van september 2009 tot 31 december 2010. Een van de opdrachten aan Building Brains is het inventariseren en ontwikkelen van innovatieve productconcepten en het creëren van nieuwe kennis op het gebied van duurzame energie op wijkniveau.

Op dit moment wordt het grootste deel van de duurzame energie geproduceerd door zonnecellen en windmolens. Deze systemen kunnen, door de onvoorspelbaarheid en ongelijktijdigheid van de energielevering, niet in de gehele energievraag van Nederland voorzien. Hiervoor zijn aanvullende duurzame energiebronnen of grootschalige opslag nodig. Bijvoorbeeld: energie uit bodem en water. Om meer inzicht te krijgen wordt in Building Brains naast energie uit zon en wind, aanvullende energiebronnen met bijbehorende technieken geïnventariseerd en verder ontwikkeld.

Als onderdeel van Building Brains wordt voorliggend afstudeeronderzoek gedaan. Het afstudeeronderzoek wordt in opdracht van Ballast Nedam Infra uitgevoerd. Ballast Nedam is deelnemer van Building Brains en is onder andere geïnteresseerd in energieproductiemiddelen met water. Daarom is het onderzoek gericht op water als aanvullende duurzame energiebron om een deel van de energievraag van een woonwijk te voorzien. De resultaten worden deels als input gebruikt voor Building Brains.

De onderzoeksvraag die in dit rapport wordt beantwoord is driedelig en luidt:

- 1) Is het technisch mogelijk om energie te produceren uit of met water in een woonwijk?
- 2) Is het economisch haalbaar?
- 3) Hoe kan dit concept geoptimaliseerd worden?

Ballast Nedam wil de ontwikkelingen op het gebied van duurzame energie verkennen. Energie uit water is daar onderdeel van. Dit thema heeft potentie om een deel van de energievraag van een woonwijk te voorzien van duurzame energie. Bij deze ontwikkelingen gaat het om wat er technisch mogelijk is en wat de kansen zijn om dit economisch haalbaar, volgens een optimale situatie, op de markt te zetten.

¹ Bron: Nieuwe energie voor het klimaat, werkprogramma Schoon en Zuinig, VROM 2007

Om tot inzicht te komen wat er op de markt aanwezig is aan energieproductietechnieken uit water, is er een 'marktscan' uitgevoerd. Hierbij is desk research gedaan en hebben er interviews plaats gevonden met producenten, adviseurs en leveranciers. Tijdens de inventarisatie is beschreven wat de werking, status van ontwikkeling en haalbaarheid is. Uit beschreven technieken is aan de hand van criteria een keuze gemaakt om er twee verder te onderzoeken en uit te werken namelijk: 'warmte terugwinnen uit afvalwater' en 'biogas produceren uit afvalwater'. Tijdens nader onderzoek wordt in eerste instantie een eenvoudige berekening gemaakt om inzicht te krijgen in grootheden en formules en daarna nauwkeuriger berekend wat de energieproductie is bij een bepaalde schaal. Dit wordt gedaan aan de hand van een rekenmodel. Dit model berekent hoeveel energie de techniek levert bij een x aantal woningen. Hierbij wordt rekening gehouden met externe factoren die de energieproductie beïnvloeden. Dit rekenmodel dient tevens als input voor de energiemodule die door Building Brains ontwikkeld wordt om beter inzicht te geven aan gemeenten en woningcorporaties over de verschillende mogelijkheden om de gehele energievraag van een woonwijk te voorzien van duurzame energie. Naast dat het belangrijk is om te weten hoeveel energie er wordt geproduceerd is het interessant om te weten hoe de technieken ruimtelijk toegepast kunnen worden in een woonwijk. Hiervoor wordt de Rotterdamse woonwijk Lombardijen gebruikt. Waaruit mogelijk blijkt dat de inpassing van de techniek geoptimaliseerd kan worden. De laatste fase is het optimaliseren van het concept om de energietechnieken optimaal te laten produceren.

Het rapport is geschreven speciaal voor Ballast Nedam Infra Projecten en dient als afstudeerscriptie.

H 1. Onderzoeksomschrijving

1.1 Building Brains en Ballast Nedam

In het kader van de 'Kenniswerkers regeling' van de overheid is Building Brains (BB) opgericht om energieneutraal bouwen en ontwikkelen te versnellen en te verbeteren. Veel gemeenten hebben de ambitie om een energieneutrale wijk te bouwen, maar de uitvoering vindt moeizaam plaats. Het is gebleken uit interviews door BB dat het ontwikkelproces vaak vast loopt en dat er op dit moment de energieneutrale wijk nog niet is ontwikkeld. De ontwikkeling loopt vast of wordt vertraagd door gebrek aan kennis bij de gemeenten. Hierdoor worden ambities afgezwakt of niet uitgevoerd. BB heeft de taak om hier een versnelling aan en meer inzicht in te geven. Dit wordt gedaan door handreikingen te geven ter bevordering van deze ontwikkelingen. De handreikingen zijn onder te verdelen in:

- Een databank waarin onder andere analyses van verschillen projecten, stakeholders en duurzaamheidmeetlatten zijn beschreven.
- Een leidraad om het ontwikkelproces van een energieneutraal gebied te versnellen.
- Een energiemodule gebaseerd op GIS, waarbij gebieden kunnen worden ingevoerd. Dit model moet tot inzicht en adviezen leiden over hoe een wijk voorzien kan worden van duurzame energie.
- Producten die bijdragen aan energiezuiniger omgaan met energie, zoals een draadloos 'domotica' lichtstelsel en een feedback en control-panel oftewel een slimme energiemeter. Van deze producten wordt zowel de kennis verspreid als fysieke producten ontwikkeld.

Deze kennis en producten worden na 2010 gebundeld in een stichting om de ontwikkeling van energieneutrale wijk te bevorderen.

Het rapport wordt geschreven in opdracht van Ballast Nedam Infra (BN). BN neemt deel aan BB en is bedrijfsbreed geïnteresseerd in contacten met de overige deelnemende bedrijven. Ten eerste om meer inzicht te krijgen in de projectmatige aanpak van andere bedrijven op het gebied van gebiedsontwikkeling in het algemeen en ten tweede om de ontwikkelingen op het gebied van duurzame energie te verkennen en te implementeren in het ontwikkelproces. De afdeling binnen BN waarvoor dit onderzoek is gedaan, is geïnteresseerd in energie in combinatie met water. Mede daarom en om aansluiting te krijgen bij BB richt het onderzoek zich op energieproducerende technieken in combinatie met water.

1.2 Het onderzoek

Dit onderzoek is erop gericht om met de energiebron water, kansrijke technieken te beschrijven. Het thema is zeer omvangrijk. Om met de beperkte tijdsduur van 4,5 maand tot een verdieping te komen, is de keuze gemaakt om eerst een algemene inventarisatie naar mogelijkheden uit te voeren, waarna een keuze wordt gemaakt om tot kansrijke techniek(en) te komen. Daarbij wordt ook gekeken of dit voor BB en BN van meerwaarde is. De kansrijke technieken worden verdiept en de resultaten moeten tot een aanbeveling leiden voor een optimaal scenario.

Om tot een optimaal scenario te komen zijn de volgende onderzoek- en deelvragen beschreven:

Onderzoeksvraag:

De onderzoeksvraag luidt:

Is het in een woonwijk technisch en economisch haalbaar om energie te produceren op basis van water en welke optimalisatie kan behaald worden?

Deelvragen:

1. Welke water gerelateerde energieleverende concepten zijn er op de markt aanwezig?
2. Welke criteria zijn belangrijk voor duurzame energieproductie in een woonwijk?
3. Welke energieleverende concepten zijn technisch en economisch haalbaar voor inpassing in een woonwijk?
4. Hoeveel energie leveren de geselecteerde concepten en welke invloeden zijn van belang voor de levering?
5. Wat is de optimale toepassing van de concepten, zowel op het energetisch als financieel gebied?

1.3 Definities

Het onderzoek gaat over energieneutraliteit en duurzame energie. Deze termen worden veel gebruikt als 'modewoorden' en worden verschillend geïnterpreteerd. Om duidelijk te maken wat er voor dit rapport met deze termen wordt bedoeld zijn onderstaande definities beschreven:

In deze scriptie wordt **duurzame energie** als volgt gedefinieerd:

Duurzame energie is energie die door schone onuitputtelijke bronnen wordt opgewekt en niet wordt opgewekt door aardolie, aardgas, steenkool of nucleaire stoffen.

Onder de **energie neutrale woonwijk** wordt verstaan:

Een woonwijk is energieneutraal als er op jaarbasis geen netto import van fossiele of nucleaire opgewekte energie van buiten de wijkgrens nodig is om de gebouwen en infrastructuur te voorzien van energie.

1.4 Aanpak en methode

Het onderzoek is opgebouwd uit vijf fasen.

In fase 1 is het **plan van aanpak** geschreven. Tijdens deze fase is onderzocht wat de verschillende partijen verwachten van het onderzoek en welke vragen ze hebben over het onderwerp. Dit is gedaan aan de hand van gesprekken en analyse van verschillende plannen van aanpak van Building Brains. De resultaten hiervan zijn vertaald naar een plan van aanpak voor dit afstudeeronderzoek, hoofd- en deelvragen en methode.

Fase 2 is een **inventarisatie** van technieken en kansen om energie op te wekken uit water. In deze fase is er een desk research gedaan en zijn er interviews afgenomen. Tijdens deze onderzoeken is er gekeken naar wat de technische werking is, de status en haalbaarheid. De desk research bestaat uit een internet- en literatuuronderzoek naar bestaande technieken. Bij het literatuuronderzoek is er gebruik gemaakt van technische vakbladen, literatuur over energie en foldermateriaal van producenten en adviseurs. Na het bepalen van de technieken, zijn er gesprekken gevoerd met producenten, adviesbureaus en aannemers om hun toepassingen en ervaringen met betreffende technieken vast te leggen. Bijlage 1 is een overzicht van geïnterviewde bedrijven/personen. De inventarisatie van de technieken met uitleg over techniek, ruimte en haalbaarheid is beschreven in hoofdstuk 2.

In fase 3 wordt uit de technieken van fase 2 een **selectie** gemaakt volgens bepaalde criteria. De criteria zijn samen met de opdrachtgever bepaald. BN heeft in deze fase een belangrijke rol want de verder te onderzoeken technieken moeten binnen de visie van BN en die van BB passen. De techniek(en) die aan alle criteria voldoet wordt verder onderzocht. De criteria en keuze worden in hoofdstuk 3 beschreven en nader verklaard.

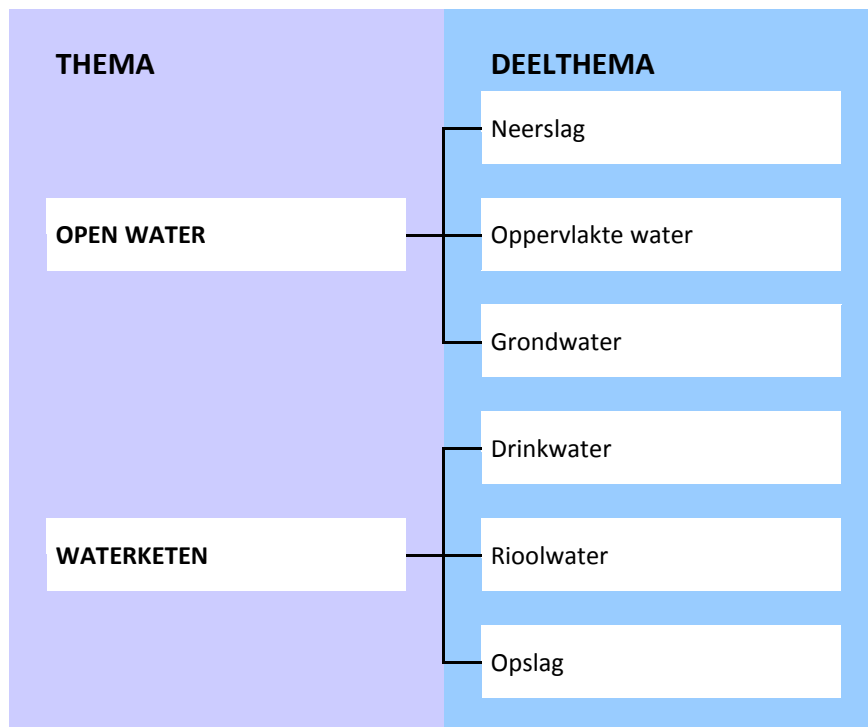
In fase 4 worden de geselecteerde technieken verder onderzocht op technische, ruimtelijke en financiële **haalbaarheid**. Er wordt hierin een rekenmodel ontwikkeld zodat berekend kan worden hoeveel energie de technieken opwekken. Het model is in MS Excel, op basis van de energievraag en -productie per uur opgebouwd en geeft inzicht in het vermogen en de capaciteit van de techniek. Zo kan een nauwkeurig beeld worden gegeven van de invulling van de energievraag en de invloeden van de seizoenen. Met het model worden verschillende toepassingen doorgerekend. Dit zijn verschillende berekeningen van verschillende toepassingen van de techniek. Hierbij wordt gekeken naar schaalgrootte en naar combinaties met andere technieken. Deze toepassingen worden vergeleken op basis van energielevering en financiële haalbaarheid. Deze fase is beschreven in hoofdstuk 4 en 5. Het rekenmodel wordt als input gebruikt voor een energiemodule van BB. Deze energiemodule moet inzichtelijk maken hoe verschillende technieken gecombineerd kunnen worden, zowel ruimtelijk als het voorzien van de totale energievraag van een woonwijk.

In fase 5 wordt de **inpassing** van de technieken in een woonwijk onderzocht. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen toepassing volgens bestaande systemen in een woonwijk en een optimaal scenario en wordt er gekeken naar de mogelijke veranderingen. De inpassing van de technieken wordt onder andere met architecten en uitvoerende partijen besproken en wordt visueel gemaakt in GIS en Sketchup. Het is de bedoeling dat in de toekomst deze bovenstaande fase gedeeltelijk door de energiemodule van BB wordt gedaan. Tijdens schrijven van dit rapport was deze energiemodule in een opstartfase. Fase 5 is beschreven in hoofdstuk 6.

H 2. Inventarisatie

2.1 Water en energie

Uit de kinetische en thermische energie van water kan elektriciteit en warmte worden geproduceerd. Water is voor dit onderzoek te onderscheiden in 2 hoofdthema's: open water en waterketen. Het hoofdthema open water wordt water dat zich 'vrij' kan verplaatsen bedoeld. Dit water is van nature aanwezig in het milieu en landschap en kan is mede bepalend voor vorming van het landschap. Met waterketen wordt water bedoeld dat in leidingen wordt getransporteerd en wordt gebruikt voor het dagelijks leven. De hoofdthema's zijn elk onder te verdelen in 3 deelthema's. Voor open water: neerslag, oppervlaktewater en grondwater. Voor watersystemen: drinkwater, rioolwater en opslag.



Tabel 1: Verdeling thema's

Voor elk thema is er onderzocht of er energie kan worden opgewekt en met welke technieken dit kan worden gedaan. Per thema zijn verschillende technieken beschreven.

DEELTHEMA	ENERGIE LEVERENDE SYSTEMEN
Neerslag	<ul style="list-style-type: none"> - Energie opwekken uit stromend regenwater - Energie opwekken m.b.v. straatkolken
Oppervlakte water	<ul style="list-style-type: none"> - Getijden-/ golf- en stromingsenergie - Warmte uit oppervlaktewater - Energie opwekken op basis van overgang zoet naar zout water
Grondwater	<ul style="list-style-type: none"> - Geothermie
Drinkwater	<ul style="list-style-type: none"> - Elektriciteit opwekken
Afvalwater	<ul style="list-style-type: none"> - Warmtewinning uit afvalwater - Biogas produceren uit afvalwater/Effluent RWZI
Opslag	<ul style="list-style-type: none"> - Warm- en koudeopslag (WKO) - (Ondergrondse) pomp accumulatie centrale ((O)PAC)

Tabel 2: Energieliverende technieken

2.2 Techniek inventarisatie

Eerder in dit hoofdstuk is opgesomd welke duurzame technieken er passen bij de deelthema's van water. Hieronder worden deze technieken verder onderzocht en verklaard.

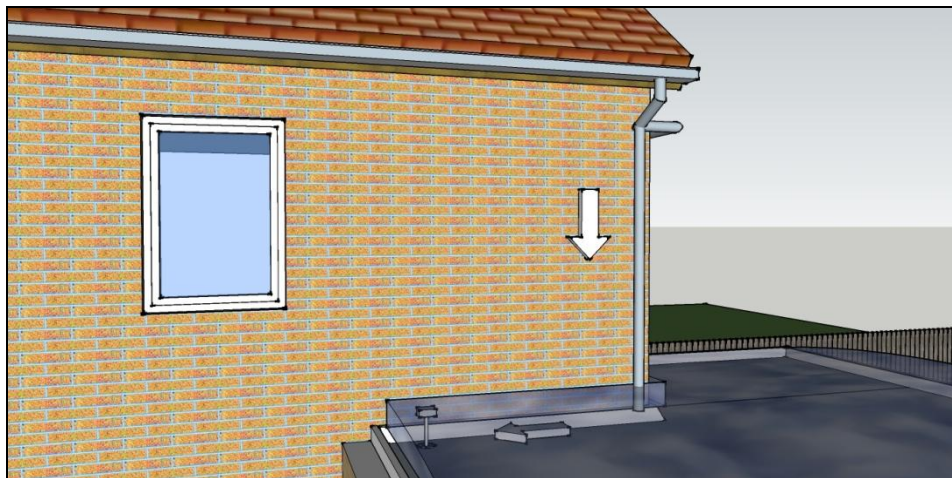
Neerslag

Energie opwekken uit regenwater

Techniek

In Nederland valt ongeveer 750 mm regen per jaar. Een groot deel van dit water valt op daken of op een ander (verhoogd) verhard oppervlak, om daarna afgevoerd te worden naar bijvoorbeeld een infiltratierolering. Het water overbrugt vanaf een dak, ongeveer 10 meter. Dit hoogteverschil is equivalent met een drukverschil van 1 bar. 1 bar is 10 N/cm^2 oftewel 10 kN/m^2 . Bij een verhoging van 1 meter komt er 1 kN bij want: $1000 \text{ kg/m}^3 = 1 \text{ kN/m}^3$ dus bij 10 meter wordt de druk verhoogt met 10 kN/m^3 . Uit deze druk kan energie (elektriciteit) worden opgewekt door het water bijvoorbeeld door een turbine te laten stromen. Onderstaand figuur geeft weer hoe de energie(water) wordt opgevangen. Door alle neerslag op te vangen kan er wanneer er genoeg water is in een keer door een turbine worden gestort.

Bij dit concept wordt regenwater van het hele dak opgevangen boven op de garage. Hierover zit een koepel zodat het water niet kan verdampen. Wanneer er genoeg water op het dak ligt wordt het water door een turbine afgevoerd.



Figuur 1: Elektriciteit uit neerslag

Status

Zover als na te gaan, is dit onderwerp nog nooit onderzocht, omdat men waarschijnlijk te weinig opbrengst verwacht. De opbrengst van een woning is, bij gemiddeld 148 liter neerslag per dag wat op het dak valt, 700 W per dag. Dit is nog geen procent van de energievraag per dag en is het dus zeer onwaarschijnlijk dat de investering ooit wordt terugverdient.

Haalbaarheid

Zoals onder "status" aangegeven wordt er weinig van deze techniek verwacht en zal de kosten-baten analyse zeer negatief uitvallen. Deze techniek zal op deze schaal nooit haalbaar kunnen worden.

Energie opwekken m.b.v. straatkolken

Techniek

De techniek is gebaseerd op dezelfde uitgangstechniek als bij “Energie opwekken uit regenwater” alleen nu op het creëren van een hoogteverschil onder het maaiveld. Waarbij het wegdek als opvangbassin kan dienen. Een verschil is dat er een groter oppervlak is, zoals een grote parkeerplaats.

Status

De opbrengst van de techniek ligt rond de 1 kW per dag. Dit is berekend aan de hand van afvoerend oppervlak op een straatkolk. De techniek is nog nooit toegepast omdat het te weinig energie levert.

Haalbaarheid

De techniek levert te weinig energie op om de investering van de energieleverende straatkolk terug te verdienen en zal waarschijnlijk nooit worden toegepast.

Oppervlaktewater Getijden-/Golf- en stromingenergie

Techniek

Door gebruik te maken van de stroming, die bijvoorbeeld veroorzaakt wordt door het verschil van eb en vloed, kan met behulp van een turbine energie worden opgewekt. De turbines worden op de bodem van de zee geplaatst, op een diepte van minimaal 15 meter zodat er geen hinder voor scheepvaart is. Ook is er onderzoek gedaan naar het winnen van energie uit golfbewegingen, door het leggen van meebewegende drijvende plateaus in zee, maar dat was tot op heden nog geen succes.



Figuur 2: Pelamis

Status

In Wales is door E.on en Lunar Energy een pilotproject gestart. Daar wordt voor de kust 8 turbines geplaatst die samen een piekvermogen levert van 1 MW. Met deze turbines kunnen 5.000 woningen van energie worden voorzien. De investeringskosten ligt voor dit project op € 14,5 miljoen. In Nederland wordt in de Oosterscheldekering een getijdenturbine geplaatst. Deze turbine levert een piekvermogen op van 150 kW en levert 45 MWh.



Figuur 3: Lunar Energy

Haalbaarheid

De techniek heeft een slecht rendement ten opzichte van andere duurzame technieken. Daardoor kan deze techniek niet worden toegepast zonder overheidssubsidie. Energieproducent en leverancier E.on denkt dat in 2020 een getijdenturbine rendabel kan worden. De kostprijs, dus inclusief, investeringen, brandstof en onderhoud, zou volgens het Britse onderzoeksinstituut Carbon Trust ongeveer € 0,16 per kWh zijn. Voor windenergie €0,06 en voor steenkool € 0,05². De techniek is technisch haalbaar maar waarschijnlijk niet rendabel met de huidige energieprijzen.

² Bron: De Ingenieur, 2006

Energie opwekken op basis van overgang zoet naar zout water

Techniek

Elektriciteit uit de overgang van zoet naar zout water oftewel 'Blue Energy' kan door middel van omgekeerde osmose worden opgewekt. De energiewinning maakt gebruik van het verschil in zoutconcentratie tussen het zoute water van de Waddenzee en het zoete water van het IJsselmeer. Zoutdeeltjes in het zoute water trekken naar het zoete water en daarbij komt energie vrij.

Status

Er ligt een plan voor de ontwikkeling van een energiecentrale bij de Afsluitdijk. Het bedrijf Redstack heeft samen met energiebedrijf ENECO en Rijkswaterstaat een intentieverklaring voor de winning van 'blue Energy' op deze plek.

Na Noorwegen is Nederland het tweede land dat deze techniek, de zogeheten reversed electro dialysis (RED), op proefschaal gaat toepassen.

Haalbaarheid

Er wordt onderzocht aan welke voorwaarden een RED-installatie moet voldoen. Daarna wordt een energiewinninginstallatie gebouwd met een vermogen van tussen de 10 en 50 kilowatt. De centrale kan ruim honderd huishoudens van stroom voorzien. Tot 2010 vindt dit onderzoek plaats. Wanneer dit een succes blijkt te zijn, zal de capaciteit worden uitgebreid tot 1000 kW. Het uiteindelijke streven is de capaciteit van een centrale; 200 megawatt.³ Mogelijk zou deze techniek in de toekomst een deel van de Nederlandse energievraag kunnen voorzien.



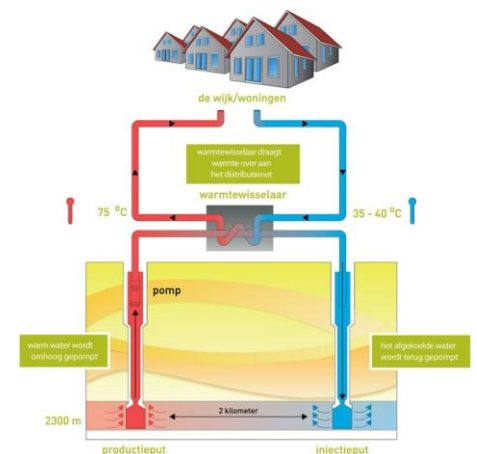
Figuur 4: Blue Energy, afsluitdijk

Grondwater Geothermie

Techniek

Bij geothermie wordt aardwarmte uit diepe bodemlagen onttrokken. De geschikte bodemlagen liggen tussen de 500-4000 meter⁴. De temperatuur in deze bodemlagen is 50 tot 120 °C, de temperatuur neemt ongeveer 3°C per 100 meter toe. Het (zoute)water wordt via een productieput opgepompt. Na warmtewisseling wordt het afgekoelde water via een injectieput teruggevoerd. De productie- en injectieput komen op hetzelfde punt boven het maaiveld, dit wordt een doubletsysteem genoemd. Deze techniek wordt veelal toegepast omdat de druk in het reservoir op peil blijft. De volumestroom van deze doubletsystemen bedraagt 100 tot 250 m³ per uur. De warmtecapaciteit varieert van 3 tot 14 MW_{thermisch}. De technische levensduur van de bron bedraagt 30 tot 100 jaar. Na beëindiging herstelt de bron.

In Nederland zijn de Onder-Germaanse Trias-laag en het Rijswijk Laagpakket interessant om warmte uit te onttrekken. Deze hebben een goede transmissiviteit (product van permeabiliteit en laagdikte).



Figuur 5: Geothermie

³ Bron: Staatscourant

⁴ Bron: Geothermie voor Den Haag, IF technology, 2005

Status

De techniek wordt in Duitsland, Denemarken en Frankrijk veelvuldig toegepast. In Nederland beperkt zich dit tot een bron in een proefproject van de stichting 'Aardwarmte Den Haag' en in een project in het Westland. Door gemeenten wordt veelvuldig de ambitie uitgesproken om woonwijken met geothermie te verwarmen. Bedrijven die advies geven voor geothermie zijn onder andere: IF Technology, Deerns raadgevend ingenieurs, Fugro en DLV glas en energie. Uitvoerende partijen zijn Pleuger, Deep Drill Group, Kennisinstellingen gespecialiseerd op dit gebied: GeoDelft, Deltares, TNO-Bouw en Ondergrond, TU Delft en Het Platform Geothermie.

Uitgaande van dimensionering van 110 m³ per uur, een put diameter van 14 centimeter, een putdiepte van 2500 meter een technische levensduur van 30 jaar en warmteafname voor lage temperatuurverwarming van 6.200 woningen, wordt de investeringkosten geschat op € 47.000.000,- Dit is ongeveer € 7800,- per woning. De energiekosten van verwarming ligt rond de € 800,-. Dit betekent dat de geothermie bron na ongeveer 10 jaar terugverdiend is.⁵

Haalbaarheid

De toepassing van geothermie ligt voor de hand omdat de CO₂-emissie verwaarloosbaar en dat er sprake is van constante productie en dat de productie niet wordt beïnvloed door externe factoren zoals seizoenen, wind of zon. In een bestaande woonwijk met stadsverwarmingnet is het toepassen van een geothermische bron het meest geschikt. Er is reeds een warmtevraag waarop gedimensioneerd kan worden en de infrastructuur is reeds aanwezig. Dit resulteert in relatief lage aansluitkosten.

Drinkwater

Elektriciteit opwekken

Techniek

Elk huishouden in Nederland heeft recht op een aansluiting op schoon en veilig drinkwater.⁶ Drinkwater wordt in Nederland onder druk gedistribueerd door een leidingstelsel. De druk ligt tussen de 1,5 en 4 bar⁷. In kranen in de woning is de druk ongeveer 1,0 bar, de rest van de druk gaat tijdens het transport van het water verloren en zou mogelijk gebruikt kunnen worden om elektriciteit op te wekken.



Figuur 6: Engadget

Status

Deze techniek wordt gebruikt als gadget om te laten zien dat er uit onverwachte hoeken elektriciteit kan worden opgewekt. Er zijn, zover als na te gaan, geen projecten die dit serieus hebben bekeken. Wanneer deze techniek op grootschalige wijze wordt toegepast moet de druk van het leidingwater omhoog. Dus zal het energieverbruik van het waterleidingbedrijf verhogen en per saldo niets opleveren.

Haalbaarheid

Gezien het feit dat per saldo geen energie wordt gewonnen is deze techniek niet haalbaar.

⁵ Bron: Geothermie Den Haag

⁶ Bron: Drinkwaterwet 2009

⁷ Bron: NEN 5128, tapwater

Afvalwater

Warmte uit rioolwater

Techniek

Een Nederlander gebruikt gemiddeld 127,5 liter. Hiervan is ongeveer 75 liter warm tapwater⁸ oftewel 60% van het totale verbruik. De gemiddelde temperatuur van rioolwater ligt tussen de 12°C en 28 °C⁹ en gaat nu verloren aan de bodem en lucht. De temperatuur is afhankelijk van de hoeveelheid huisaansluitingen, afkoppeling neerslag, grondtemperatuur en soort rioelstelsel. Door het plaatsen van een warmtewisselaar in het rioelstelsel, kan de teruggewonnen warmte gebruikt worden voor een warmtepomp of direct worden gebruikt als verwarming.



Figuur 7: Rioel warmtewisselaar Geveke

Status

Technisch is het terugwinnen van rioelwarmte mogelijk, maar wordt in Nederland nog niet toegepast. In Duitsland, Zwitserland en Oostenrijk zijn er ongeveer 50 projecten. Er zijn er twee geplande proefprojecten. In Zwolle wordt nu berekend hoeveel het kan opleveren en aan de hand van deze gegevens wordt bepaald wat voor systeem er in de rioelbuizen moet worden geïnstalleerd. In Apeldoorn wordt er op korte termijn een rioelwarmtewisselaar aangelegd.

Haalbaarheid

Technisch is het mogelijk om de warmte te winnen. De energiebalans van het systeem is positief en de technieken om dit op grote schaal toe te passen zijn in de markt aanwezig. De technieken zijn nog wel erg verspreid over verschillende bedrijven maar kunnen relatief eenvoudig worden gekoppeld. Financieel is het systeem haalbaar omdat je een aanzienlijke kostenbesparing hebt voor het verwarmen van een gebouw. De terugverdientijden liggen tussen de 10-20 jaar.

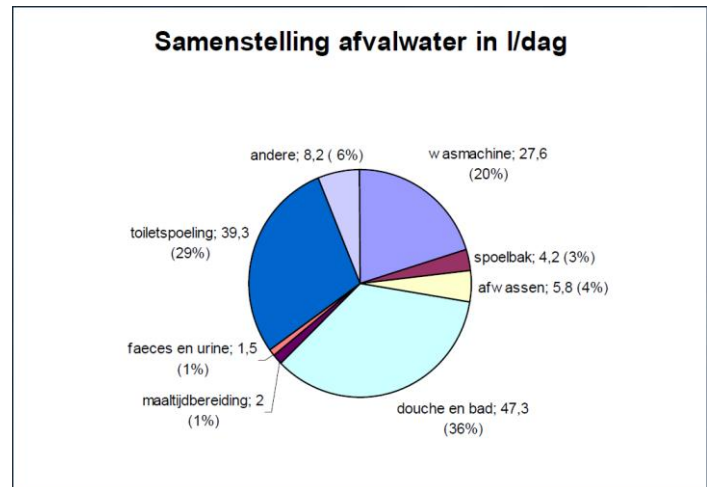
⁸ Bron: Rapportage Watergebruik thuis 2007, TNS NIPO

⁹ Bron: Tauw, 2009

Biogas uit afvalwater/effluent RWZI

Techniek

Afvalwater bestaat voor het grootste deel, ongeveer 99%, uit redelijk schoon water dit water bestaat onder andere uit afvalwater van (af)wasmachine, spoelbak, douchen en toiletspoeling. De overige 1%¹⁰ is biomassa in de vorm van faeces. Uit dit deel van het afvalwater kan biogas worden geproduceerd. De winning van biomassa uit het riool is op verschillende manieren mogelijk. Namelijk direct bij de bron (d.m.v. een vacuümtoilet), net voor een rioolwaterzuivering waarbij de biomassa gescheiden wordt en na het zuiveringsproces, door het zuiveringslib af te vangen.

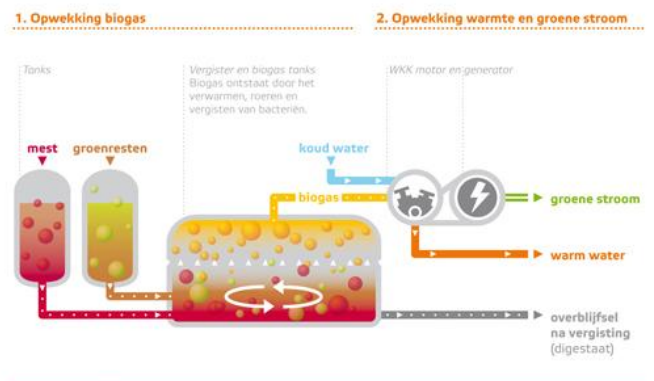


Tabel 3: Samenstelling afvalwater

De hoeveelheid water dat per jaar naar alle RWZI in Nederland wordt afgevoerd is 2.852.928 m³ per jaar hiervan is 1% organisch dit komt over een met 7.817 m³ faeces en urine per dag.

Status

Er is onder de waterschappen een trend om het zuiveringslib te vergisten. Hiermee wordt de RWZI, na verbranding van het biogas in een warmtekrachtkoppeling, van elektriciteit voorzien. Het vergisten voor de RWZI gebeurt nog nauwelijks, in Sneek is er een proefopstelling voor het vergisten van faeces van 232 woningen.¹¹



Figuur 8: Biovergisting

Haalbaarheid

De techniek wordt op meerdere plekken toegepast en laten goede resultaten zien. Dat wil zeggen dat er biogas wordt geproduceerd. De techniek om het voor de RWZI te vergisten is ook haalbaar alleen hierbij is het de vraag of het zonder veel bewerkingen kan opereren.

Opslag

Warmte en koudeopslag(WKO)

Techniek

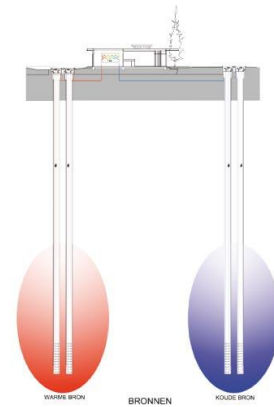
De meest bekende uitvoering van een WKO is een systeem waarbij thermische energie (warmte en of koude) in ondergrondse waterdragende zandlagen (aquifers) wordt opgeslagen. Gekoppeld aan een warmtepomp wordt warmte of koude afgegeven via een laagtemperatuur-systeem in een woning.

¹⁰ Bron: Stichting RIONED, 2008

¹¹ Bron: Waterforum, 2010

Status

De WKO techniek wordt veelvuldig toegepast. Alle grote gebouwen op bijvoorbeeld de Zuid As in Amsterdam zijn voorzien van dit systeem en is dus een 'proven concept'. De techniek levert een aanzienlijke bijdrage aan het besparen op energie in een gebouw. In de toekomst moet ervoor gewaakt worden dat er niet te veel WKO-systemen bij elkaar worden geplaatst. Wanneer een koude bron met een warme bron van een ander systeem in aanraking komt, wordt er alleen nog maar lauw water opgepompt en werkt het systeem niet meer.



Figuur 9: Warmte en koudeopslag

Haalbaarheid

Het is bewezen dat de techniek haalbaar is. Voor een woonwijk kan dit ook goed worden toegepast er moet wel goed gelet worden de hoeveelheid bronnen in een klein gebied. Een mogelijke optie is het slaan van één WKO voor een blok van woningen.

(Ondergrondse) pomp accumulatie centrale ((O)PAC)

Techniek

Pompaccumulatie centrale valt onder te verdelen in twee technieken: de bovengrondse pomp accumulatie centrale (PAC) en de ondergrondse pomp accumulatie centrale (OPAC). Beide technieken werken met het zelfde principe. Het systeem bestaat uit twee reservoirs, een lage en een hoge. Tijdens de daluren pompt men het water met behulp van een turbinepomp uit het lage reservoir naar het hoge reservoir. In de piekuren wordt het water omgedraaid en genereert de turbine stroom. PAC's staan vrijwel altijd in bergachtig terrein. OPAC staat voor Ondergrondse Pomp Accumulatie Centrale en bestaat uit een bovengronds meer met een oppervlakte van ca. 30 ha en een ondergronds bassin op ca. 1400 meter diepte. OPAC heeft een vermogen van 1.400 MW en kan 8 GWh elektriciteit leveren. Dit staat gelijk aan de productie van twee kolencentrales en is voldoende voor 1,2 miljoen huishoudens (voor de duur van zes uur).¹²



Figuur 10: Pomp accumulatie centrale

Status

PAC is de meest gebuikte er staat wereldwijd 50 GW opgesteld. In Limburg wordt een OPAC gerealiseerd.

Haalbaarheid

PAC wordt veelvuldig toegepast en wordt gezien als belangrijke schakel voor de duurzame energie voorziening. OPAC is nog in een ontwikkelingsfase, het ziet er wel naar uit dat deze ontwikkeling op korte termijn wordt uitgevoerd. Mogelijk kunnen beide technieken ook op kleine schaal haalbaar zijn. Hierna is, zover als is na te gaan, nog geen onderzoek geweest.

¹² Bron: Agency of Natural Resources and Energy

H3. Selectie

3.1 Afwegingskader

In hoofdstuk 2 is er een inventarisatie gemaakt van een aantal energieleverende technieken die met water te maken hebben, met een beschrijving van de gebruikte techniek, status en haalbaarheid. Deze technieken zijn gericht op verschillende schaalniveaus en gebieden. Om de hoofdvraag, 'Is het technisch mogelijk en economisch haalbaar om energie te produceren uit of met water in een woonwijk?', te kunnen beantwoorden, is er een selectie gemaakt op basis van de volgende criteria: Gebied, Duurzame energie, Technisch haalbaar, Financieel haalbaar, Visie Ballast Nedam en Visie Building Brains. De criteria zijn in overleg met de opdrachtgever bepaald en zijn gericht op toepassing in een woonwijk.

3.2 Criteria

Gebied

De energieleverende techniek moet ruimtelijk ingepast kunnen worden in een gebied. In dit geval een woonwijk in Nederland. Dit betekent dat het moet worden gevoed uit een energiebron in de woonwijk en dat het systeem niet gebiedsoverschrijdend is. Als de techniek meer energie produceert dan de wijk nodig heeft, dan kan dit worden gebruikt voor andere doelen.

Verklaring:

Het (Building Brains-)onderzoek is gericht op energieneutraliteit van Nederlandse woonwijken, waarbij de definitie: 'Een woonwijk is energieneutraal als er op jaarbasis geen netto import van fossiele of nucleaire opgewekte energie van buiten de wijkgrens nodig is om de gebouwen en infrastructuur te voorzien van energie'.

Duurzame energie

De techniek moet duurzame energie leveren. De Nederlandse regering wil de energieneutrale woonwijk stimuleren, daarbij moet naast energiebesparingen 'hernieuwbare' energie worden opgewekt.

Verklaring:

Definitie duurzame energie: 'Duurzame energie is energie die niet wordt opgewekt door aardolie, aardgas, steenkool of nucleaire stoffen, maar door schone onuitputtelijke bronnen'.

Technisch haalbaar

De techniek moet realistisch zijn en kansen hebben om te slagen.

Verklaring:

Als resultaat uit dit onderzoek moet een energieleverende techniek komen die mogelijk toe te passen is in een woonwijk. Hiervoor moet de techniek realistisch zijn en een grote kans hebben om verder ontwikkeld te worden of dat het al ontwikkeld is.

Financieel haalbaar

Het concept moet een redelijke Return on Investment (R.O.I.) of terugverdientijd (TVT) hebben. Redelijk is dat de R.O.I. en TVT positief moeten zijn binnen 20 jaar.

Verklaring:

Veel duurzame technieken vereisen hoge investeringskosten en hebben daardoor lange terugverdientijden en R.O.I. De terugverdientijden zijn onder andere afhankelijk van de energieprijzen, deze zijn volatiel. Er is met weinig zekerheid te zeggen hoe deze prijs zich gaat ontwikkelen. Dit zorgt voor onzekerheid over de verwachte terugverdientijd en R.O.I. is de terugverdientijd langer dan 20 jaar, dan is dit vaak een reden om niet te investeren in een duurzame productie techniek en lopen dus veel nieuwe energie ontwikkelingen vast op de financiering.

Visie Ballast Nedam

Ballast Nedam is op zoek naar nieuwe markten. Dit rapport onderzoekt de nieuwe markt voor het product: Energie uit water in de bebouwde omgeving.

Verklaring:

Het rapport wordt geschreven in opdracht van Ballast Nedam Infra (BN). BN neemt deel aan Building Brains (BB) omdat het bedrijfsbreed geïnteresseerd is in contacten met de overige deelnemende bedrijven. Ten eerste om meer inzicht te krijgen in de projectmatige aanpak van andere bedrijven op het gebied van gebiedsontwikkeling in het algemeen en ten tweede om de ontwikkelingen op het gebied van duurzame energie te verkennen en te implementeren in het ontwikkelproces.

De afdeling binnen BN waarvoor dit onderzoek is gedaan, is geïnteresseerd in energie in combinatie met water. Mede daarom en om aansluiting te krijgen bij BB richt het onderzoek zich op energieproducerende technieken in combinatie met water. BN maakt een keuze tussen de verschillende technieken die als kansrijk zijn aangemerkt. Daarbij is van belang dat de basis kennis over betreffende techniek al binnen BN aanwezig is.

Visie Building Brains

Building Brains heeft als doel om handreikingen te geven voor het ontwikkelen van een energie neutrale woonwijk. Eén van deze handreikingen is het inventariseren en analyseren van energieproducerende concepten die toepasbaar zijn in een woonwijk.

Verklaring:

Het onderzoek wordt onder andere gedaan bij BB en wordt deels gebruikt als input en moet dus voldoen aan de eisen van BB.

3.3 Tabel met gegevens criteria

In onderstaand tabel staat per techniek beschreven of ze voldoen aan de criteria:

Criteria: →

Techniek: ↓	Gebied	Duurzame energie	Technisch	Financiën	Ballast Nedam	Building Brains
- Energie opwekken uit stromend regenwater	V	V	V			
- Energie opwekken uit straatkolken	V	V	V			
- Getijden-, golf en stromingsenergie		V	V	V		
- Warmte uit oppervlaktewater		V	V	V		V
- Energie opwekken op basis van de overgang van zoet naar zout water		V	V	V		
- Geothermie	V	V	V	V		V
- Elektriciteit uit drinkwater	V	V	V			
- Warmtewinning uit afvalwater	V	V	V	V	V	V
- Biogas winnen uit afvalwater	V	V	V	V	V	V
- Warmte- en koudeopslag (WKO)	V	V	V	V		V
- (Ondergrondse) pomp accumulatie centrale (O)PAC		V	V			

Tabel 4: Criteria analyse

3.4 Keuze

Uit bovenstaande criteria-analyse blijkt dat er twee technieken voldoen aan alle criteria. Dit zijn “Warmte winnen uit afvalwater” en “Biogas winnen uit afvalwater”. Deze keuze betekent niet dat de andere technieken niet interessant zijn om verder te onderzoeken en ontwikkelen. De keuze is in samenwerking met BN gemaakt en vindt deze technieken interessant omdat de ontwikkeling voor de markt uitloopt en kansen biedt voor verder onderzoek. BN wil hierbij weten hoe het werkt, wat voor deze techniek van belang is en wat de techniek zou kunnen opleveren aan energie.

3.5 Verklaring van keuze

Uit bovenstaande criteria analyse worden meerdere technieken als kansrijk gezien. Warmte winnen uit afvalwater en Biogas winnen uit afvalwater zijn als interessant voor verder onderzoek aangemerkt.

Warmte winnen uit afvalwater

De techniek voldoet aan alle criteria en wordt verder onderzocht in hoofdstuk 4 omdat het toepasbaar is op een beperkte schaal, bijvoorbeeld een woonwijk. Het levert duurzame energie want de warmte wordt niet met fossiele brandstoffen opgewekt er wordt gebruik gemaakt van warmte uit afvalwater dat anders verloren gaat. De techniek is tientallen keren toegepast in het buitenland en is technisch haalbaar, dus heeft potentie om verder ontwikkeld te worden. Building Brains is opzoek naar technieken om energie op te wekken voor een woonwijk en heeft dus aansluiting met onderzoek. Ballast Nedam heeft deze techniek als interessant en kansrijk aangemerkt. Dit kansrijke concept wordt nog niet in Nederland toegepast en dat maakt het extra interessant om te onderzoeken.

Biogas winnen uit afvalwater

De tweede techniek die aan alle criteria voldoet is het winnen van biogas uit het organische deel van rioolwater. Het is in theorie mogelijk om biogas op te wekken op kleine schaal. Dus het voldoet aan de gebied en technisch haalbaar-criteria. Biogas levert duurzame energie er is voor dit proces nauwelijks energie nodig. De energie die nodig is kan worden opgewekt door het biogas.

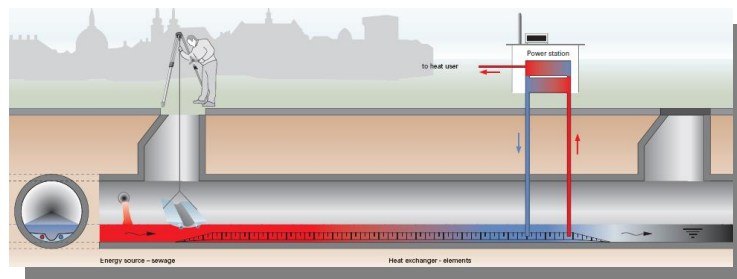
Building Brains is op zoek naar technieken om energie op te wekken voor een woonwijk en dit onderzoek heeft dus aansluiting met het onderzoek. Ballast Nedam is bezig met het opzetten van een CNG-net. Dit net moet het rijden op (bio)gas stimuleren. Het is dus interessant om te weten waar biogas uit kan worden geproduceerd. BN vindt de techniek ook kansrijk omdat het mogelijkheden biedt om rioolwater te zuiveren op kleinere schaal.

H4. Rioolwarmte

4.1 Conceptbeschrijving voor toepassing in een woonwijk

Uit voorgaande inventarisatie onderzoek is gebleken dat warmte winnen uit afvalwater geschikt zou kunnen zijn om toe te passen in een woonwijk. De warmte wisseltechniek kan op verschillende manieren worden toegepast: de warmte wordt teruggewonnen in de woning door middel van een douche warmtewisselaar of de warmte kan worden teruggewonnen in een riolwaterleiding in een straat. In dit rapport wordt, op verzoek van Ballast Nedam, alleen gekeken naar warmte terugwinnen op wijkniveau. Daardoor komt het onderzoek naar douche warmtewisseling te vervallen. Dat wil niet zeggen dat de techniek niet interessant is. Een douche warmtewisselaar bespaart 50% op het gasverbruik en is, bij de huidige gasprijs van € 0,30, binnen 8-10 jaar terugverdient.¹³

Dit product wordt aangeboden op de Nederlandse markt. Geveke klimaattechniek bv. heeft rioolwarmtewisselaars genaamd Therm-Liner. Deze wisselaars zijn geproduceerd door UHRIG GmbH. HUBER heeft ook een afvalwater warmtewisselaar genaamd ThermWin®. Adviesbureau Tauw is op dit moment, in opdracht van Stichting STOWA, aan het onderzoeken of dit product toegepast kan worden in het Nederlandse rioleringsstelsel. Ze zijn onder andere bezig met het meten van riolwatertemperaturen en willen een proefproject opstarten.



Figuur 11: Installatie riool warmtewisselaar

4.2 100% scenario

Om meer inzicht te krijgen in grootheden, parameters en productiehoeveelheden van de techniek is een 100% scenario berekend. Deze Excel-sheet laat zien welke schaal de techniek heeft om in de gehele energievraag van een woonwijk met een energieleverend object te voorzien. De Rotterdamse woonwijk Lombardijen is door BB gebruikt als proefgebied. Dankzij de medewerking van BB zijn veel gegevens beschikbaar waaronder de energievraag, onderverdeeld in koude-, warmte- en elektriciteitsvraag. Deze stap is onder andere input voor BB.

De energieproductie is op basis van ervaringsgetallen berekend. De ervaringsgetallen zijn bepaald aan de hand van gegevens van een bestaand project in Winterthur te Zwitserland, dat zich bezighoudt met warmteopwekking uit riolwater voor 300 woningen. Deze informatie is afkomstig uit persberichten en is van websites gehaald. Dit betekent dat er voorzichtig moet worden omgegaan met de resultaten omdat het mogelijk is dat deze gegevens niet kloppen. De techniek wordt in onderstaande berekening opgeschaald van 300 naar 6.200 woningen. Er is vanuit gegaan dat de opschaling zonder externe beperkende

¹³ Bron: Nefit, 2010

factoren kan worden berekend. Waarschijnlijk heeft opschaling wel invloed maar voor het 100% scenario is dat niet meegenomen.

Energievraag:

De energievraag van Lombardijen is berekend door BB en wordt als input gebruikt voor dit onderzoek (zie bijlage 2). Voor de berekening is uitgegaan van de energievraag van woningen. De totale elektriciteitsvraag is 72.184 GJ oftewel 20.051.111 kWh en de warmtevraag is 224.907 GJ oftewel 62.474.166 kWh.

Aannames:

Constance afvoer voor 300 huishoudens:	0,2 l/s
Piekafvoer voor 300 huishoudens:	0,8-1,0 l/s
Woningen op een warmtewisselaar in voorbeeld project:	300
Energieproductie per uur:	180 kW
Woningen in Lombardijen:	6.200
Temperatuur afvalwater tussen:	10°C-18°C
Totale warmtevraag Lombardijen:	224.907 GJ;thermisch

Tabel 5: Aannames 100% scenario

Resultaten:

Gebaseerd op bovenstaande analyses van het project in Winterthur is de volgende berekening gemaakt op uurbasis:

- Bij een effectieve afkoeling van 2°C en een volume stroom van 0,2 l/s kan er 120 kW aan warmte worden onttrokken.
- Na een warmtepomp komt er 180 kW aan warmte beschikbaar op een temperatuurniveau van 50°C. Dit is ongeveer 0,6 kW per woning per uur. Bij 6.200 woningen is dat 3.720 kWh per dag oftewel 13,4 GJ per dag.
- Bij 6.200 woningen wordt er jaarlijks 4.891 GJ geproduceerd. Dit is 2,2% van de warmtevraag.
- Om alle woningen in Lombardijen in de totale warmtevraag van 224.907 GJ te voorzien zijn 281.818 woningen nodig.

Alle bovenstaande uitkomsten zijn berekend door een relatief klein project op te schalen tot op wijkniveau. De hoeveelheid energie die werkelijk uit het systeem komt moet nader onderzocht worden in een praktijkcase. Er kunnen geen conclusies aan deze getallen worden verbonden omdat de betrouwbaarheid klein is. Er zijn op dit moment twee praktijkproeven: in Zwolle en in Apeldoorn. Deze proeven worden door het ingenieursbureau Tauw, in opdracht van de belangenvereniging Stowa, uitgevoerd. Uitkomsten worden medio 2010 verwacht. Deze resultaten zijn interessant om bovenstaande berekening te controleren.

4.3 Rekenmodel

In het 100% scenario is gewerkt met ervaringsgetallen van een reeds uitgevoerd warmte winproject. Dit geeft een onbetrouwbare weergave van de potentie van de techniek in een gebied. Om de energiepotentie van de warmtewisselaar beter te doorgronden en te berekenen, is er een rekenmodel opgezet. Dit is een Excelsheet op basis van eisen van de energiemodule van BB. De module wordt gekoppeld aan het gebiedsontwikkelingsmodel "Urban Strategy" van TNO. Hierin worden de resultaten visueel gepresenteerd in een GIS omgeving.

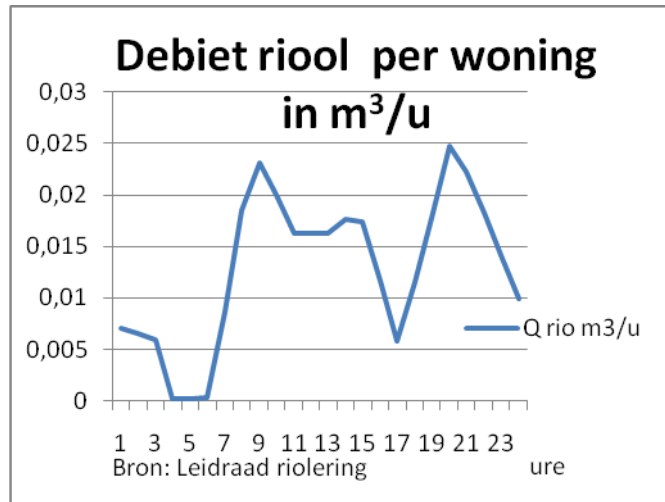
Werking

Het rekenmodel berekent per uur hoeveel energie kan worden teruggewonnen en houdt beperkt rekening met externe factoren zoals bijvoorbeeld de invloed van grondwater op de afvalwaterstromen in het riool. De werking van het model wordt in de volgende subparagrafen uitgelegd.

Input gegevens:

Afwaterprofiel

Als input wordt een afwaterprofiel van een woning genomen. Hierbij zijn de afvalwaterprofielen van de NEN 5128 en van de Leidraad Riolering van Rioned vergeleken. Uit deze vergelijking blijkt dat het profiel van Rioned het meest geschikt is, omdat in dit profiel externe factoren meegenomen worden zoals vertraging van de afvoer en meerdere huisaansluitingen.



Grafiek 1: Debiet riool per woning

Temperatuur

Om de invloed van de seizoenen in het rekenmodel duidelijk te maken is er gebruik gemaakt van temperatuur meetdata van de Universiteit van Graz. Deze universiteit registreert de eigenschappen van afvalwater. Deze meetdata zijn gecomprimeerd van seconden naar uren en toegevoegd aan het model.

Energievraag

Voor de berekening van de energievraag zijn output gegevens van de energievraagmodule van BB ingevoerd. Deze module is in ontwikkeling maar is vergevorderd en kan als redelijk betrouwbaar worden gezien.

Rekenstappen

Rekenstappen in het rekenmodel zijn onderverdeeld in verschillende submodules: leidingkarakteristieken van het riool, warmtewisseling, leidingkarakteristieken van de warmtewisselaar, pomp voor warmtewisselaar, warmtepomp, warmteopslag en een warmtekrachtkoppeling. Deze gegevens leiden tot gevraagde output. Met behulp van de Leidraad Riolering, Handboek rioleringstechniek voor het HBO, Techniek inventarisatie warmteterugwinning en het Rekenhandboek van Essent zijn de modules gevuld met relevante formules.

$$\Phi_{th} = k \cdot A \cdot \frac{(T_{aan,prim} - T_{aan,sec}) - (T_{ret,prim} - T_{ret,sec})}{L_n \left(\frac{T_{aan,prim} - T_{aan,sec}}{T_{ret,prim} - T_{ret,sec}} \right)} [kW]$$

Waarin:

- Φ_{th} = warmtestroom [kW_{th}]
- k = warmtEDOORgangSCOEFFICIENT [kW/(m².K)]
- A = uitwisselend oppervlak [m²]
- L_n = natuurlijke logaritme
- $T_{aan,prim}$ = aanvoertemperatuur primair [°C]
- $T_{ret,prim}$ = retourtemperatuur primair [°C]
- $T_{aan,sec}$ = uitredetemperatuur secundair [°C]
- $T_{ret,sec}$ = intredetemperatuur secundair [°C]

Formule 1: Warmtewissel formule

Output:

De relevante output is energie in GJ, besparing in m³ gas, CO₂ besparing, investering en financiële besparing. Deze output wordt voor de energiemodule van BB gebruikt. Ook worden de uitkomsten visueel gepresenteerd met grafieken en plaatjes.

Building Brains Energiemodule:

De gehele bovenstaande rekenmodule wordt gebruikt voor de BB energiemodule. Deze berekent hoe verschillende technieken in de totale energievraag van een woonwijk kunnen voorzien. Zoals eerder in dit rapport is genoemd, hebben duurzame energietechnieken te maken met ongelijktijdigheid. Dat wil zeggen dat de energieproductie vaak niet aansluit bij de energievraag. Om dit inzichtelijk te maken en om verschillende technieken te koppelen wordt de energiemodule ontwikkeld. Bij koppeling van verschillende technieken kan de energieproductie worden afgevlakt en zijn er geen conventionele systemen nodig om in de energiepieken te voldoen.

4.4 Uitkomsten rekenmodel

Na invulling van de gegevens zijn de in deze paragraaf beschreven resultaten berekend. In de eerste subparagraaf worden de input waarden verklaard en in de tweede subparagraaf worden de uitkomsten beschreven.

Inputgegevens

Temperatuur afvalwater

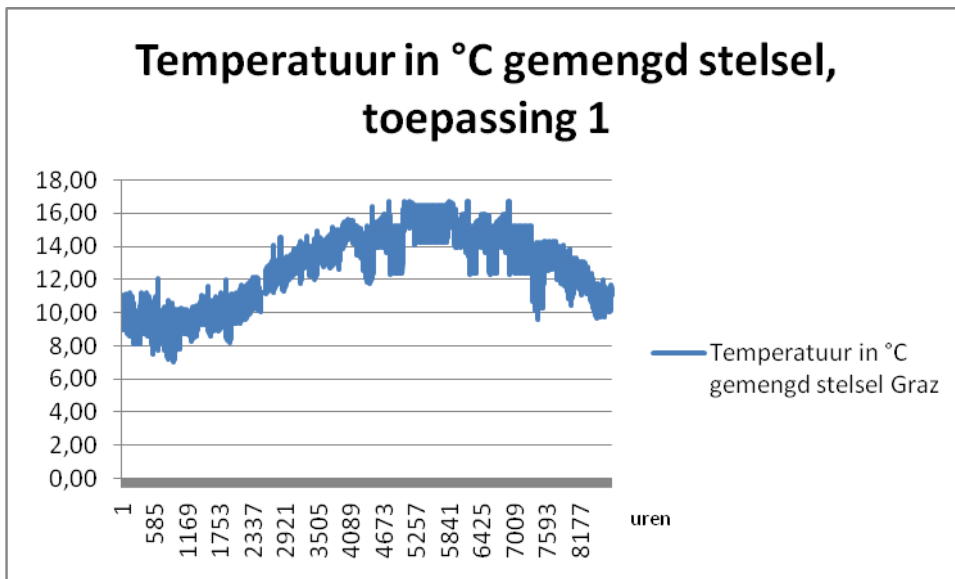
Om duidelijk te maken dat seizoenen invloed hebben op de temperatuur van rioolwater zijn er meetgegevens opgevraagd. De Graz University of Technology heeft een meetinstallatie in Oostenrijk en houdt verschillende eigenschappen van het rioolwater per seconde bij. De installatie is geplaatst in een verzamelleiding van een wijk van ongeveer 13.000 personen en een afvoerend oppervlak van ongeveer 350 hectare. Dit betekent dus dat er sprake is van een gemengd rioolstelsel. Het is duidelijk te zien dat de seizoenen invloed hebben op de temperatuur van het afvalwater. Voor de berekening met het model zijn er twee toepassingen gebruikt.



Figuur 12: Riool meetinstallatie in Graz, Zwitserland

Toepassing 1: Gemengd rioleringsstelsel

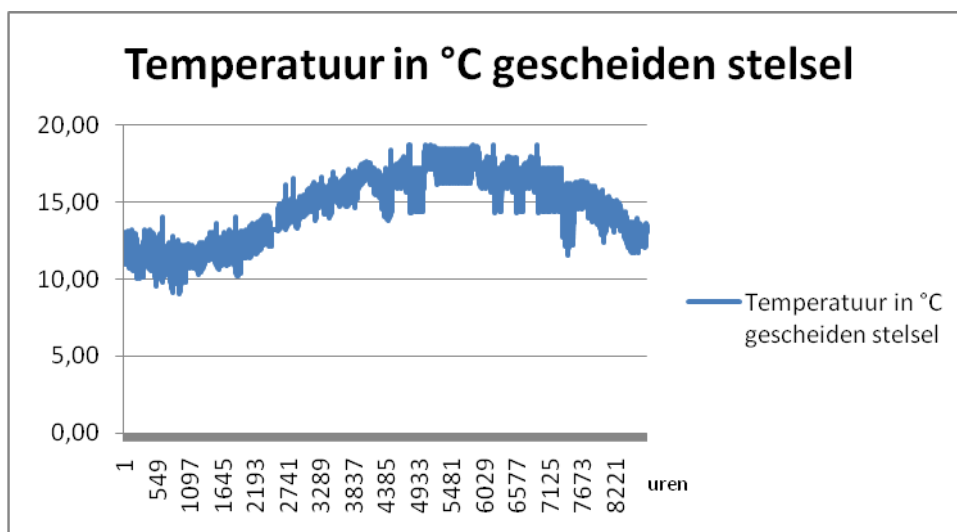
Toepassing 1 is een gemengd rioleringsstelsel. De temperatuur van toepassing 1 fluctueert over het jaar tussen de 7°C in februari en 17°C in augustus en heeft een gemiddelde van 12,77°C. In onderstaande grafiek is de trend te zien.



Grafiek 2: Temperatuur gemengd rioolstelsel

Toepassing 2: (Verbeterd) gescheiden rioleringsstelsel (riool – neerslag)

Wanneer in de wijk een (verbeterd) gescheiden stelsel ligt zal er sprake zijn van een hogere temperatuur van het afvalwater. De gemiddelde temperatuur van het afvalwater op de erfscheiding is 26°C¹⁴. Regenwater heeft een gemiddelde temperatuur van 8°C. Dit heeft dus een aanzienlijke invloed op de temperatuur van het water omdat, in het geval van Graz, de neerslag van 350 hectare op riool wordt geloosd. Bij een gescheiden stelsel is er vanuit gegaan dat de temperatuur van het afvalwater ongeveer 2°C hoger is. De temperatuur fluctueert dan over het jaar tussen de 9°C in februari en 19°C in augustus en heeft een gemiddelde van 14,77°C. In onderstaand grafiek is de trend te zien.



Grafiek 3: Temperatuur gescheiden rioolstelsel

Debiet per woning:

Om te kunnen berekenen hoeveel afvalwater een wijk per uur afvoert is een afvalwaterpatroon gebruikt uit de Leidraad Riolering van Rioned. Bij opschaling wordt het debiet vermenigvuldigd met het aantal aansluitingen. Voor de berekening is uitgegaan van de woonwijk Lombardijen. De wijk heeft 6.200 woningen.

¹⁴ Bron: Herwinbare warmte uit afvalwater, Tauw 2010

Energievraag:

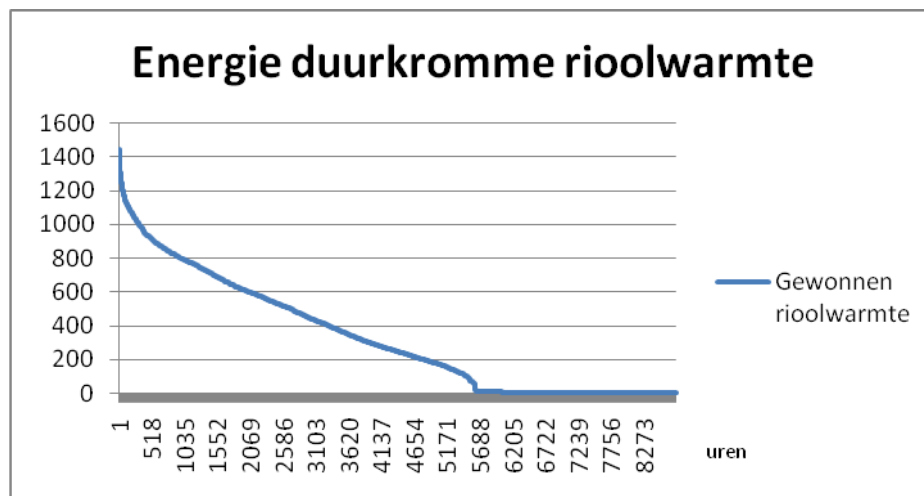
De energievraag is berekend door middel van de BB energiemodule. De woonwijk Lombardijen heeft een warmtevraag van 24.406.076 kWh.

Beperkingen:

De energiewinning is bij een temperatuur lager dan 10°C niet mogelijk omdat dan de warmtepomp niet goed werkt. Dit is in het model als beperking opgegeven. Door deze beperking is er sprake van uren wanneer de warmtewisselaar aan en uit is. De 'aan'-uren worden vollasturen genoemd. De vollasturen moeten tussen de 2.000-4.500 uren per jaar liggen. Wanneer het model de vollasturen negatief overschrijdt betekent dat er een te groot vermogen is geplaatst. Een groter vermogen kost meer en bij negatieve overschrijding wordt dit niet gebruikt en kan de investering minder snel worden terugverdiend. Als de vollasturen positief worden overschreden betekent dat er een te klein vermogen is geplaatst. Wanneer dit het geval is is er een grote kans dat de energiepotentie van het afvalwater niet goed wordt gebruikt.

Bepalen van vermogen

Om inzichtelijk te maken hoeveel energie de techniek levert en hoeveel vermogen er moet worden opgesteld van de warmtepomp en warmtewisselaar, is de volgende energie durkromme weergegeven (zie onderstaande grafiek). Hieruit valt af te leiden welk vermogen er moet worden opgesteld.



Grafiek 4: Energie durkromme rioolwarmte

Er is gekeken naar hoeveel uur een bepaald vermogen gehaald wordt. Het heeft geen zin om een opstelling neer te zetten met een vermogen van rond de 1.400 kW, dit wordt een paar uur per jaar gehaald. De rest van het jaar is dit vermogen niet in gebruik, dus kan er beter een minder grote installatie worden genomen. Er wordt gestreefd naar een vollast gebruik tussen de 2.000-4.500 uur. Uit bovenstaande grafiek blijkt dat 1.000 kW een goed vermogen is, dit komt neer op 2.839 vollasturen per jaar. Dit betekent dat met dit vermogen ook warmtepieken of een structurele warmere huishoudelijk afvalwaterstroom kan worden gebruikt.

Lengte: Bij 1.000 kW vermogen hoort een 500 meter lange warmtewisselaar. Elke meter levert de wisselaar 2 kW. Dit is een vuistregel voor huishoudelijk afvalwater. Bij een 'schone' waterstroom ligt dit rond de 3 kW.¹⁵

¹⁵ Bron: Geveke Klimatechniek, 2010

Output

De volgende output na invullen van de temperatuurreeks inclusief neerslag (1) en de temperatuurreeks met een gescheiden rioolstelsel (2) staan beschreven in de tabel.

	Energie productie (GJ)	Energie productie (kWh)	Deel van de warmte vraag (%):	Vollast uren:	Aardgas besparing (m3):	CO2 besparing (kg):	Besparing (gas):
1	10.219	2.838.578	11,6	2.839	292.373	526.272	€ 87.712
2	15.985	4.440.146	18,2	4.440	457.335	823.203	€137.200

Tabel 6: Energieproductie per toepassing

Hieruit kan geconcludeerd worden dat het mogelijk interessant is om rioolwarmte terug te winnen. De output van het model geeft een realistischer beeld dan het 100% scenario. De beperkende factoren voor de energieleverantie van deze techniek zijn invloeden van buitenaf, zoals regenwater, grondwater, koud huishoudelijk afvalwater en temperatuur van de ondergrond. Om deze invloeden te beperken moet er een optimaal scenario worden ontwikkeld. In de volgende paragraaf staan twee optimale scenario's beschreven.

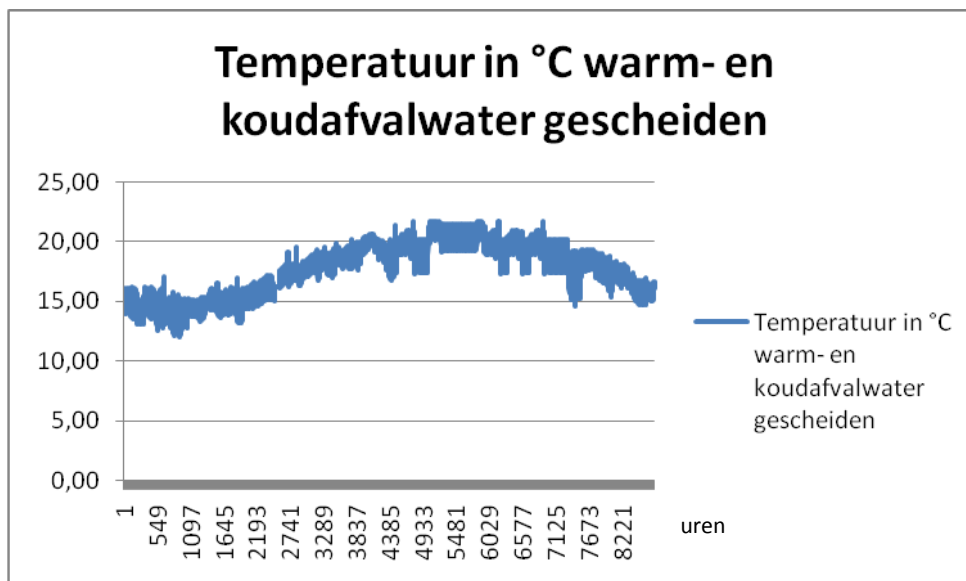
4.5 Optimaliseren

Toepassing 3: Warmte uit een koud/warm gescheiden huishoudelijk afvalwaterstelsel

Uit bovenstaande resultaten blijkt dat de rioolwarmtewisselaar een beperkte hoeveelheid energie opwekt. Dit komt onder andere door de menging van koud afvalwater en de invloed van de bodem op de temperatuur.

Het eerste probleem kan worden opgelost door alleen het warme afvalwater langs de warmtewisselaar te laten stromen. Hiervoor moet een gescheiden rioolstelsel worden aangelegd. Dit rioolsysteem moet alle afvalwater boven de 20°C afvoeren. Hieronder valt het afvalwater van de apparaten: (af-)wasmachine en douche. Dit is goed voor ongeveer 60% van het totale afvalwater.¹⁶ De overige afvalwaterstromen worden afgevoerd via een andere leiding. Na de warmtewisselaar komen de warme en koudeleidingen samen en worden verder afgevoerd naar een RWZI. De temperatuur van het gescheiden water is naar verwachting 5°C hoger dan de meetgegevens. De temperatuur fluctueert over het jaar tussen de 12°C in februari en 21°C in augustus en heeft een gemiddelde van 17,77°C. In onderstaand grafiek is de trend te zien.

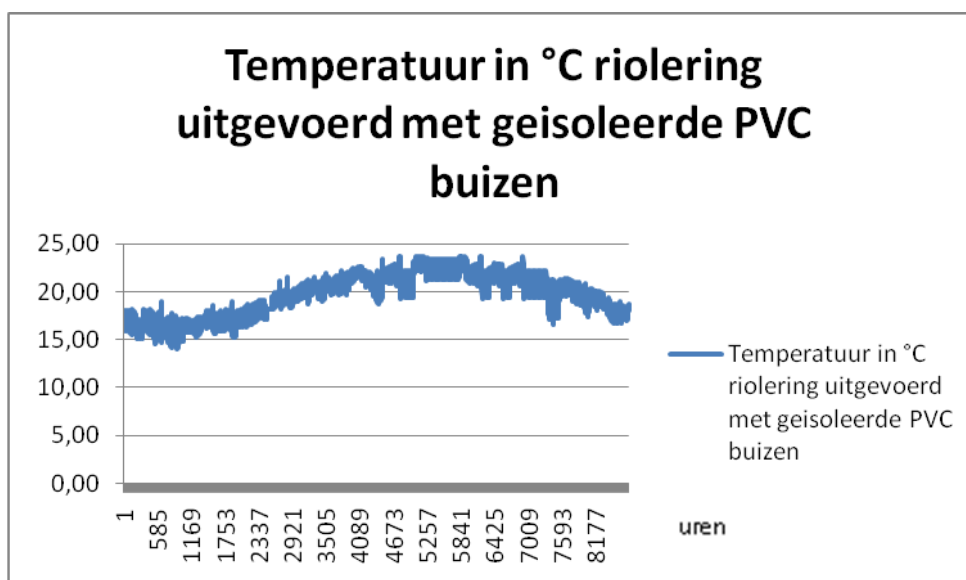
¹⁶ Bron: Rapportage Watergebruik thuis 2007, TNS NIPO



Grafiek 5: Temperatuur warm- en koudafvalwater gescheiden

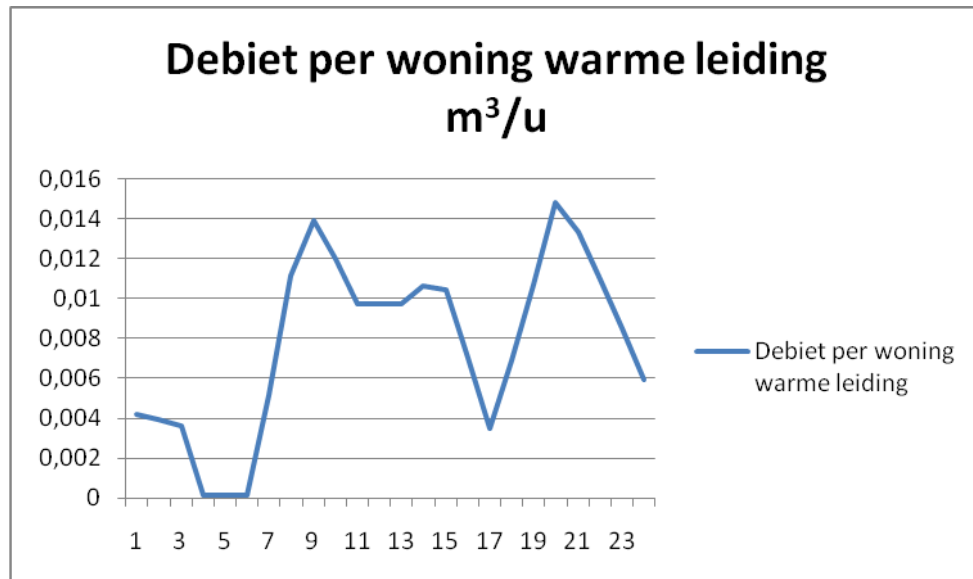
Toepassing 4: Warmte uit een koud/warm gescheiden huishoudelijk afvalwaterstelsel, inclusief geïsoleerde rioolbuizen

De tweede beperkende invloed is van de bodem. Deze heeft een negatieve invloed op de temperatuur van het afvalwater. Dit komt doordat er veelal betonnen rioolbuizen worden gebruikt. Hierdoor kan relatief makkelijk warmte en vocht de buis binnendringen. De gemiddelde temperatuur van de bodem in Nederland is ongeveer 10°C. Deze invloeden kunnen beperkt worden door, ter aanvulling van de gescheiden leidingen, de betonnen leidingen te vervangen door geïsoleerde PVC leidingen. Aangenomen wordt dat de temperatuur 7°C hoger is. De temperatuur fluctueert over het jaar tussen de 14°C in februari en 24°C in augustus en heeft een gemiddelde van 19,77°C. In onderstaand grafiek is de trend te zien.



Grafiek 6: Temperatuur in warm- koudgescheiden en geïsoleerde buizen

Het debiet gaat bij deze twee verbeteringen 40% omlaag omdat alleen de warmwaterstroom wordt afgevoerd via de warmtewisselaar. Hierbij is 60% van het afvalwaterpatroon per woning van de Leidraad Riolering genomen. De 60% is uit watergebruik gegevens gehaald van TNS NIPO. Zie onderstaande grafiek:



Grafiek 7: Debiet per woning van warmwaterleiding

Door bovenstaande optimalisatieslagen in het model te vullen zijn de volgende gegevens berekend:

	GJ productie	kWh productie	% van het totale energie verbruik	Vollasturen:	Aardgas besparing (m3):	Elektriciteit vraag warmte pomp (kWh):	CO2 besparing:	Kosten besparing gas:
1	10.219	2.838.578	11,6	2.839	292.373	35.592	526.272	€ 87.712
2	15.985	4.440.146	18,2	4.440	457.335	76.234	823.203	€ 137.200
3	16.330	4.535.992	19	4.536	467.207	73.145	840.973	€ 140.162
4	19.482	5.411.549	22	5.412	557.389	68.863	1.003.301	€ 167.217

Tabel 7: Energieproductie van de 4 toepassingen

Hieruit blijkt dat, op basis van de energieproductie en CO2-reductie, de toepassing waarbij het koude- en warmafvalwater gescheiden wordt afgevoerd via geïsoleerde leidingen, het best uit deze analyse komt. Hierin mist een financiële berekening. Bij een groter vermogen hoort een grotere investering. De vraag is of de baten hoger zijn bij de verbeterde technieken, zodat de investering snel wordt terugverdiend en er mogelijk winst wordt gemaakt. In de volgende paragraaf wordt vanuit de financiële analyse bekeken welk scenario het meest optimaal is.

4.6 Financiën

Om tot een financiële analyse te komen zijn er bepaalde kengetallen vereist. Deze kengetallen zijn via leveranciers en adviesbureaus verkregen. Onderstaande financiële gegevens van de investering per strekkende meter bij een toepassing in een gemengd stelsel, zijn in een interview met Geveke Klimaattechniek besproken.

De volgende gegevens worden gebruikt voor de financiële analyse:

	Gemengd rioleringsstelsel	Verbeterde gescheiden rioleringsstelsel	Warmte uit een koud/warm gescheiden huishoudelijk afvalwaterstelsel	Warmte uit een koud/warm gescheiden huishoudelijk afvalwaterstelsel, inclusief geïsoleerde rioolbuizen
Investering per strekkende meter warmtewisselaar	€ 2.000	€ 2.000	€ 2.250	€ 2.500
Investering warmtepomp	€ 150.000	€ 150.000	€ 150.000	€ 150.000
Operationele kosten	1%	1%	1%	1%

Tabel 8: Investerings

Deze inputgegevens zijn vervolgens doorgerekend en hieruit komt de volgende financiële analyse:

	Investering	Operationele kosten	Baten	Terugverdientijd (jaar)	ROI (20 jaar)
1	€ 1.250.000	€ 16.059,16	€ 87.712	17,4	€ 183.058
2	€ 1.250.000	€ 20.123,40	€ 137.200	10,7	€ 1.091.542
3	€ 1.375.000	€ 21.064,46	€ 140.162	11,5	€ 1.006.954
4	€ 1.500.000	€ 21.886,32	€ 167.217	10,3	€ 1.406.610

Tabel 9: Financiële analyse

Hieruit kan geconcludeerd worden dat toepassing 2 (warmte uit een gescheiden rioolstelsel) en toepassing 4 (warmte uit een koud/warm gescheiden stelsel inc. geïsoleerde rioolbuizen) de beste terugverdientijden en de hoogste ROI's hebben. Uit de model- en financiële analyse blijkt dat toepassing 4 het best is. 22% van de warmtevraag wordt voorzien en deze toepassing heeft een terugverdientijd van 10,3 jaar.

4.7 Haalbaarheid

De haalbaarheid van het systeem is bepaald voor toepassing 2 en toepassing 4. Deze toepassingen zijn het meest interessant op energetisch en financieel gebied. Bij toepassing 2 wordt er relatief weinig veranderd aan het rioleringsstelsel. Hoogstens moet er een gemengd rioleringsstelsel worden aangelegd. Dit wordt door de gemeenten zoveel als mogelijk toegepast.

Voor toepassing 4 is een systeemverandering vereist. Het systeem moet worden voorzien van dubbele afvalwaterleidingen. Dit betekent ook dat huizen twee aansluitingen moeten hebben. Dit brengt een grote infrastructurele ingrepen met zich mee. Daarbij komt dat de beslisser, in dit geval de gemeenten, een toepassing in het bestaande systeem waarschijnlijk meer ziet zitten dan een gehele systeem aanpassing. Het financiële voordeel weegt ook niet op tegen de aanpassingen die moeten worden doorgevoerd. Toepassing 2 is hierdoor het meest haalbaar.

Gemeenten hebben een riool zorgplicht. Dit houdt in dat de gemeente verantwoordelijk is voor het afvoeren van huishoudelijk afvalwater. Het hele rioleringsstelsel is daardoor in beheer van de gemeente. Om rioolwarmte te winnen moet er dus in overleg of in samenwerking met de gemeente worden bepaald of er een warmtewisselaar mag worden geplaatst. Gemeenten en waterschappen zijn echter huiverig voor deze techniek. Ze zijn bang dat hierdoor de capaciteit en de temperatuur van afvalwater worden beïnvloed.¹⁷ De capaciteit kan mogelijk beïnvloed worden door de warmtewisselaar, dit is echter miniem. Bij een nieuw aan te leggen riolering kan hier rekening mee worden gehouden. De minimale temperatuur voor een RWZI is 10 °C. Echter uit onderzoek is gebleken dat de temperatuur na warmtewisseling maar 0,5 °C daalt. Dit moet geen probleem zijn voor het zuiveringsproces¹⁸.

Juridisch en economisch zou het optimaal zijn dat het afvalwater in beheer komt van een andere (private) partij. Een gemeente heeft niet de noodzaak om het afvalwatersysteem goedkoop of zo rendabel mogelijk te maken. Wanneer er meer geld nodig is voor rioleringsvervangning wordt er gekeken of het mogelijk is uit de huidige rioolheffing of, als dit niet het geval is, de heffing kan worden verhoogd. Daardoor wordt er niet gekeken naar de economische effecten van het huidige systeem. Dit zou een reden kunnen zijn waarom innovaties en veranderingen moeizaam worden doorgevoerd. Wanneer dit in beheer is van een private partij kan de ontwikkeling van warmte terugwinnen een vlucht nemen.

¹⁷ Bron: Tauw, 2010

¹⁸ Bron: Energiek milieu advies, 2009

H 5. Biogas uit rioolafval

5.1 Conceptbeschrijving voor toepassing in een woonwijk

Uit hoofdstuk 3 is gebleken dat biogas uit afvalwater een geschikte oplossing zou kunnen zijn om een deel van de energievraag van een woonwijk te voorzien van warmte en elektriciteit. Daarbij is niet ingegaan op hoe de vergistingstechniek exact werkt. Er zijn 3 mogelijkheden om de techniek toe te passen. Dit zijn toepassingen op basis van combinaties van technieken en verschillende schaalgrootten. Hierbij wordt in eerste instantie gekeken naar de technische haalbaarheid en later naar de financiële haalbaarheid.

Toepassing 1: Organisch materiaal direct scheiden uit een afvalwaterverzamelleiding

Biogas wordt geproduceerd uit organisch materiaal (slib) dat wordt gescheiden uit een afvalwaterverzamelleiding van een woonwijk. Het overgebleven afvalwater, zonder slib, wordt gezuiverd. Het opgevangen slib wordt direct in een vergistingstank gepompt. Het geproduceerde biogas wordt gebruikt om een warmtekrachtkoppeling (WKK) te laten draaien. De elektriciteit wordt gebruikt voor het zuiveren van het afvalwater en voor de pompen in het proces. De warmte wordt gebruikt om bijvoorbeeld woningen te voorzien van vloerverwarming.

Toepassing 2: Organisch materiaal gescheiden afvoeren

In toepassing 1 wordt de slib in een rioolleiding gescheiden. In toepassing 2 wordt de slib apart afgevoerd door middel van een zwartwaterleiding. Vanaf het (vacuüm)toilet wordt met één liter in plaats van zes liter¹⁹, de faeces afgevoerd. De biomassa gaat via een persleiding naar de biovergister, waarbij het biogas wordt gebruikt voor een WKK.

Toepassing 3: Zuiveringslib vergisten bij een RWZI

Bij rioolwaterzuiveringinstallaties (RWZI) wordt van het residu van het zuiveringsproces door middel van een vergister biogas geproduceerd. Deze techniek wordt niet meegenomen in dit onderzoek omdat de RWZI's een regionale functie hebben en geen wijkfunctie. Een RWZI is economisch haalbaar vanaf 100.000 inwoner equivalent (i.e.). Deze techniek wordt bij meerdere RWZI's in Nederland toegepast.

5.2 100% scenario

Om inzicht te krijgen in de hoeveelheid energie die de biomassa afkomstig uit afvalwater, kan produceren is een 100% berekening gemaakt. Hierin wordt berekend wat er vereist is om in 100% van de energievraag van een woonwijk te voorzien. De woonwijk Lombardijen is gebruikt als input voor deze berekening. Dit scenario is gebruikt als input voor BB.

Energievraag:

De energievraag van Lombardijen is berekend door BB en wordt als input gebruikt voor dit onderzoek (zie bijlage 2). Voor het berekenen van het 100% scenario is uitgegaan van 6.200 woningen. De totale elektriciteitsvraag is 72.184 GJ oftewel 20.051.111 kWh en de warmtevraag is 224.907 GJ oftewel 62.474.166 kWh.

¹⁹ Bron: Rapportage watergebruik, TNS NIPO, 2007 en Energy and nutrient recovery and removal of micro-pollutants from black water, Marthe de Graaf WUR, 2010

Energieproductie:

De energieproductie is op basis van ervaringsgetallen berekend. De ervaringsgetallen zijn bepaald aan de hand van gegevens van bestaande of vergelijkbare projecten. Dit betekent dat er een aantal aannames zijn gedaan:

Aanname:	Hoeveelheid:	Bron:
Faeces p.p.p.d.	0,15 kg	Aichbichler, 1998
Biogasproductie uit mest	22 Nm ³⁽²⁰⁾ uit 1 m ³ mest	BN IPM, 2010
Energetische inhoud biogas	21,8 MJ/ Nm ³	SenterNovem,2009
Inwoners Lombardijen	16.500	Building Brains, 2010
Elektriciteitsvraag Lombardijen	72.184 GJ	Building Brains, 2010
Warmtevraag	224.907 GJ	Building Brains, 2010
Er is geen rekening gehouden met rendementsverliezen en andere externe factoren tijdens de energieproductie.		
GFT afval p.p.p.d.	0,2 kg	CBS Statline, 2008
Biogasproductie uit mest en GFT	50 Nm ³ uit 1 m ³ mest/GFT	BN IPM, 2010
Rendement WKK	60%	Building Brains, 2010
Verdeling Elektriciteit en warmte in WKK	40% elektrisch 60% thermisch	Building Brains, 2010

Tabel 10: Aannames 100% scenario biogas uit afvalwater

Hieronder zijn 2 scenario's doorgerekend. Één met alleen rioolafval en één met riool- en GFT-afval.

Scenario 1:

Om in 100% van de elektriciteitsvraag te voorzien met alleen rioolafval is er 3.311.193 Nm³ biogas nodig. Dit kan worden geproduceerd uit 150.509 m³ rioolafval oftewel 2.749.018 personen. Voor de warmtevraag is er 10.316.835 Nm³ biogas nodig. Dit is 468947m³ rioolafval oftewel 8.565.243 personen

Scenario 2:

Om 100% van de elektriciteitsvraag te leveren biogas van de combinatie rioolafval en een co-vergister (bijv. GFT of bermmaaisel) is de verhouding van 1 op 1 gewenst. Om het biogas te produceren is 33.112 m³ faeces en 33.112 m³ co-vergister nodig. Dit komt overeen met rioolafval van 604.784 inwoners en GFT van 453.588.

De bovenstaande berekening is op basis van de energievraag gemaakt. Vanuit de aanbodzijde betekent dit dat de 16.500 inwoners 903 m³ aan faeces produceren. Dit komt overeen met een biogasproductie van 19.874 Nm³. Na verbranding in een WKK levert dit 173 GJ_{elektrisch} en 260 GJ_{thermisch}. Dit is 0,24% van de elektriciteitsvraag en 0,12% van de warmtevraag.

Een persoon produceert 0,2 kg GFT per dag.²¹ In Lombardijen komt dit neer op 2.409 m³ GFT per jaar. Hiervan kan 903 m³ worden gebruikt omdat de verhouding 1 op 1 moet zijn. De combinatie GFT/faeces levert 90.319 Nm³ biogas. Na verbranding in een WKK komt dit neer op 787 GJ_{elektrisch} (1,1 % van de vraag) en 1.181 GJ_{thermisch} (0,5% van de vraag).

²⁰ Normaal kubieke meter is eenheid waarin volume van gassen worden uitgedrukt. De Nm³ is een hoeveelheid gas bij 0°C en 1 atmosfeer (1,01325 bar).

²¹ Bron: CBS Statline, 2008

5.3 Energiemodel

Doordat het onzeker is of er biogas kan worden geproduceerd uit ongezuiverd rioolafval wordt er, in overleg met BN en BB, geen rekenmodel opgezet. Het heeft geen zin om met grote nauwkeurigheid te zeggen hoeveel afval een woonwijk aanlevert en hoe snel dit wordt verwerkt. Mocht er in de toekomst tot andere inzichten gekomen worden kan alsnog een rekenmodel worden gemaakt voor deze techniek.

5.4 Optimaal scenario

Het optimale scenario om biogas te produceren is het separaat afvoeren van zwartwater met aanvulling van GFT. In de woningen moet een vacuümtoilet en gootsteen shredder worden geplaatst met een aparte persleiding richting de vergister. De vergister zelf zal een bepaalde schaalgrootte moeten hebben om het proces zo optimaal mogelijk te laten verlopen en op dit moment is dat 100.000 inwoners. Het meest optimaal vanuit de gedachte om een woonwijk energieneutraal te maken is een biovergister met een omvang van rond 500 en 10.000 woningen. Voor deze omvang zijn de infrastructurele veranderingen beperkt en zou er in een deel van de energievraag kunnen worden voorzien, al is het maar om een duurzaam imago te krijgen.

5.5 Financiën

Over de vergistingstechniek zijn niet veel getallen bekend. Dit komt doordat het nog relatief onbekend is en nog weinig wordt toegepast. In Sneek is 2,5 miljoen euro geïnvesteerd voor een vergister van 232 woningen. Bij een installatie van een wijk zoals Lombardijen met 6.200 woningen zou dit veel hoger liggen. Bij opschaling voor deze wijk wordt er vanuit gegaan dat de vergroting van de installatie niet betekent dat de investering gelijk mee loopt. Voor een vergister en WKK voor een wijk als Lombardijen komt de investering op € 5.000.000,-. Uit het 100% scenario blijkt dat er 787 GJ_{elektrisch} (€ 52.469,-) en 1.181 GJ_{thermisch} (€ 7.725,-) wordt geproduceerd. De kosten voor het opwekken van de energie zijn berekend volgens de huidige energieprijzen. Om alleen de vergistingsinstallatie en WKK terug te verdienen, dus niet de gehele infrastructuur, is 83 jaar nodig.

5.6 Haalbaarheid

Tijdens het onderzoek is er gesproken met verschillende bedrijven (zie bijlage 1) die bezig zijn met biogasproductie. Deze bedrijven richten zich vooral op varkens- en koeienmest. De bedrijven geven aan dat afvalwatervergisting niet kan als de biomassa uit het water wordt gescheiden voor de zuivering in de RWZI. De biomassa is te verdund en heeft een te beperkt volume, daardoor kunnen de vergistingbacteriën niet goed hun werk doen. Er is volgens de bedrijven potentie om energie op te wekken maar hiervan wordt te weinig geleverd waardoor het waarschijnlijk zonder subsidie niet financieel haalbaar is. De techniek vereist op dit moment een te hoge investering, de operationele kosten zijn te hoog en de energieprijzen is relatief laag.

Ondanks de sceptische reacties van geïnterviewden zijn er proefprojecten die direct het organische deel van het afvalwater vergisten. Een voorbeeld is een decentrale zuivering in Sneek van het Wetterskip Fyslan. In eerste instantie hadden ze een proefopstelling voor 32 woningen. Dit werkt goed, nu gaat het waterschap het project uitbreiden naar 232 woningen. Bij dit project wordt de biomassa via een vacuümtoilet afgevoerd en wordt er met shredders GFT bijgemengd. Deze combinatie blijkt volgens Wetterskip Fryslan een goede combinatie te zijn. Echter het waterschap wil geen gegevens over de productie publiceren. Wel geven ze

aan dat het proces constant moet worden begeleid door een monteur. De investering bedraagt 2,5 miljoen euro waarvan 1 miljoen subsidie van Agentschap NL is.²²

Om deze energiebron te gebruiken in een woonwijk moet er aan systeemverandering worden gedaan, zoals het proefproject in Sneek. Hierbij moeten alle woningen worden voorzien van vacuümtoiletten, GFT-shredders in de gootsteen en worden aangesloten op een persleiding. Deze leiding perst het afvalwater naar een verzamelleiding die het transporteert naar een centrale plek waar het wordt vergist. Doordat het onder druk wordt getransporteerd is er veel minder water nodig en blijft het geconcentreerder. Dit zou een mogelijkheid kunnen bieden om het vergistingsproces te verbeteren en daardoor haalbaar te maken.

De bepalende factor of het haalbaar wordt is de microbiologie. Voor biovergisting wordt er gebruik gemaakt van bacteriën. Deze bacteriën werken in een bepaalde omgeving het best. Belangrijke factoren zijn temperatuur, zuurstof (het zijn anaerobe bacteriën) en druk. Hiernaar wordt veel onderzoek gedaan. Wanneer de ideale 'cocktail' is gevonden kan mogelijk deze techniek veelvuldig worden toegepast. Onder andere is de WUR (Wageningen Universiteit) bezig dit te onderzoeken. De bacteriën, die onder andere gebruikt zijn in Sneek, moeten constant gecontroleerd worden op temperatuur en samenstelling van biomassa en biogas. Het vergistingproces kan dus nog niet 'stand-alone' draaien. Hierdoor gaan er veel kosten naar de monitoring en bijsturing.

Voor biovergisting uit huishoudelijk afvalwater geldt hetzelfde als voor warmte uit riolering. De gemeenten hebben geen (financiële) druk om dit concept toe te passen of te ontwikkelen. Ze zien daardoor een systeemverandering ook niet zitten. Hierbij komt ook dat waterschappen een zuiveringsplicht hebben. Zij zijn verantwoordelijk voor het zuiveren van het huishoudelijk afvalwater. Dit betekent dat er niet zonder overleg met het betreffende waterschap afvalwater mag worden gebruikt voor biovergisting. Om deze techniek toe te passen is er een samenwerking nodig tussen gemeente en waterschap. Waterschappen zullen niet blij zijn dat een deel van het afvalwater wordt gebruikt voor vergisting voor de zuivering in een RWZI. Voor een RWZI geldt: hoe vuiler het afvalwater des te beter de zuivering werkt.

Het is dus onzeker of de biovergisting ooit in meerdere woonwijken wordt toegepast zodat een deel van de energie wordt voorzien met energie uit afvalwater.

²² Bron: Waterforum, mei 2010

H 6. Toepassing in een woonwijk

In de hoofdstukken 4 en 5 zijn er optimale concepten per techniek beschreven, met onderscheid tussen toepassing in het huidige afvalwatersysteem en toepassing in een optimaal systeem. De Rotterdamse woonwijk Lombardijen wordt gebruikt als onderzoekslocatie voor Building Brains. Van de woonwijk zijn veel gegevens beschikbaar, de gehele gemeente Rotterdam is ingevoerd in het TNO-product 'Urban Strategy' waar BB in de toekomst aangekoppeld wil worden. Doordat van deze wijk veel bekend is, wordt het gebruikt om de technieken theoretisch toe te passen.

6.1 Beschrijving Lombardijen

Lombardijen is een wijk van 6.200 woningen in de zogenaamde zuidelijke tuinsteden en is een projectmatig gebouwde wijk die in de jaren '60 en '70 van de vorige eeuw tot stand is gekomen. De wijk bevat voornamelijk portiekflats in 4 tot 5 lagen en kleine 2-laagse eengezinswoningen. Een klein aantal van deze woningen is vrij recent gesloopt om plaats te maken voor nieuwe woningen. Ook is er in de afgelopen decennia op kleine schaal nieuwbouw ontwikkeld. De wijk bevat een klein aantal plinten met voorzieningen, een tiental scholen, vijf complexen met zorgwoningen, een aantal kerken, sportvelden en een volkstuintencomplex. Al met al een typische naoorlogse uitbreidingswijk zoals die in de grote steden veel te vinden is.²³

6.2 Energievraag

De energievraag is het zelfde als eerder beschreven in het rapport. Zie bijlage 2 voor onderbouwing. In onderstaande tabel staat per woningtype hoeveel energie er verbruikt wordt.

WONINGEN LOMBARDIEN					
Woningen Bouwtypes	Afgeronde getallen			gemiddeld	
	Totaal verbruik per bouwtype	Gasverbruik bouwtype/periode	Aantal Bouwtype	elektra verbr.	gas verbruik
Vrijstaand	1.194 10 ³ kWh	614 10 ³ m ³	217 st	5.500 kWh	2.831 m ³
2 onder 1 kap	296 10 ³ kWh	106 10 ³ m ³	74 st	4.000 kWh	1.439 m ³
Rijtjeshuizen	4.589 10 ³ kWh	2.108 10 ³ m ³	1311 st	3.500 kWh	1.608 m ³
Flats <=4 etages	10.824 10 ³ kWh	3.446 10 ³ m ³	3608 st	3.000 kWh	955 m ³
Flats > 4 etages	2.133 10 ³ kWh	594 10 ³ m ³	711 st	3.000 kWh	836 m ³
Etagewoningen	348 10 ³ kWh	80 10 ³ m ³	116 st	3.000 kWh	691 m ³
Zelf. Seniorenwon.	668 10 ³ kWh	157 10 ³ m ³	167 st	4.000 kWh	938 m ³
Totalen	20.051 10³ kWh	7.106 10³ m³	6.200 st	3.232 kWh	1.145 m³
Bron: Laborelec HERMES DG 3, 3 februari 2009					

Tabel 11: Energievraag Lombardijen

6.3 Inpassing van energietechnieken

Het uitgangspunt van de inpassing van de technieken is dat de infrastructuur op een zo optimaal mogelijke manier wordt ingericht en dat de technieken optimaal kunnen functioneren in één systeem. Hierbij worden de optimale scenario's van hoofdstuk 4 en 5 gebruikt. Uit hoofdstuk 4 is gekomen dat een warmtewisselaar in de huishoudelijke afvalwaterleiding van een gemengd stelsel moet worden geplaatst. Regenwater is in deze

²³ Bron: Building Brains, 2010

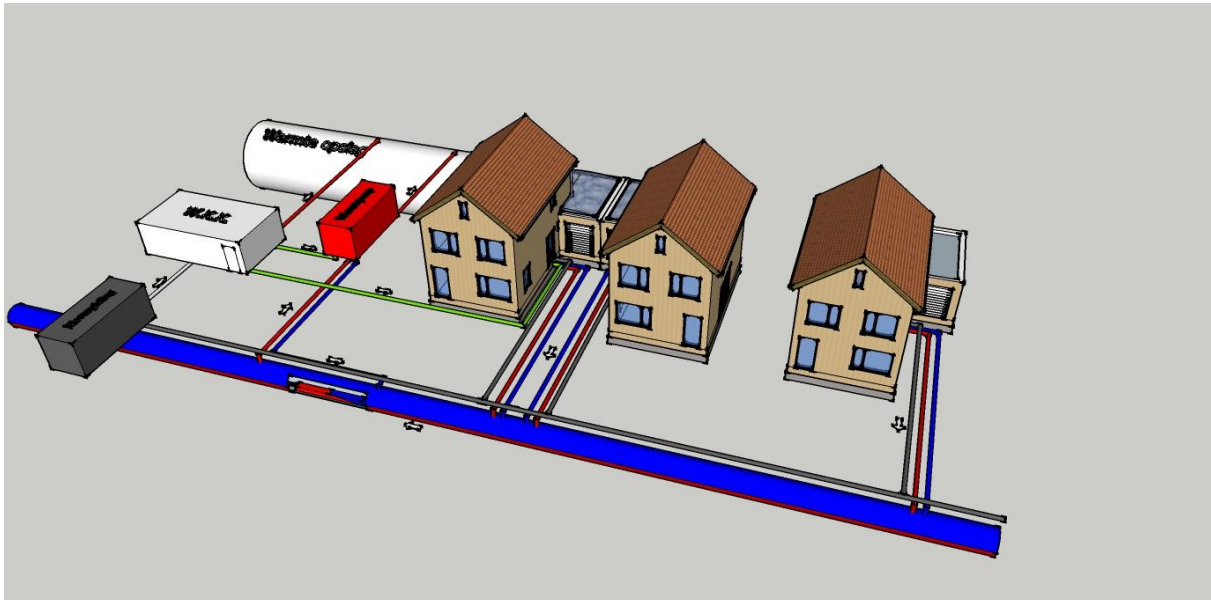
toepassing afgekoppeld. In hoofdstuk 5 is bepaald dat biogasvergisting mogelijk in de toekomst kan worden toegepast en als het zover is dat de faeces direct via een vacuümtoilet worden afgevoerd naar een biovergister. Bij deze afvalwaterstroom moet GFT worden toegevoegd om de energieproductie te verhogen.

Voor Lombardijen moet er bij een combinatie van de technieken een systeemverandering van het riool worden uitgevoerd. Het afvalwatersysteem moet worden uitgevoerd met 3 leidingen, één voor grijswater, één voor zwartwater en één voor neerslag. De grijswaterleiding transporteert alle afvalwater van de woning zoals van de (af)wasmachine, douche, gootsteen (zonder shredder) etc. Uit dit water wordt warmte teruggewonnen. De zwartwaterleiding transporteert de faeces en GFT. De faeces worden opgevangen in een vacuümtoilet en het GFT wordt via een shredder afgevoerd. Dit moet een persleiding zijn zodat er weinig water nodig is om het te transporteren. Doordat er weinig vocht in zit is dit beter voor het vergistingproces. De neerslag leiding moet de neerslag infiltreren of bergen in het gebied.

De warmte uit grijswaterleiding wordt getransporteerd naar een warmtepomp. De warmte pomp wordt aangedreven door de elektriciteit dat wordt opgewekt uit de WKK, die wordt gevoed met biogas uit de vergisting installatie. Zo hoeft er nergens fossiele energie worden toegevoegd. De geproduceerde warmte wordt gebruikt om 18% van de woningen te verwarmen. Dit komt neer op 1.116 woningen.

Impressie:

Dit overzichtsplaatje is gemaakt met behulp van Sketchup. Zie bijlage 3 voor een groter overzicht en detailtekeningen.



Figuur 13: Totaal concept

Gemaakt door: Martijn van Berkom en Bastian Coes

Locatie

De locatie van de warmtewisselaar wordt bepaald aan de hand van het rioolstelsel. Voor de inpassing in Lombardijen is ervan uit gegaan dat alle rioolwater via één leiding het gebied uit gaat. De locatie is bepaald aan de hand van een riolerings-shapefile van Lombardijen. De warmtewisselaar is op het laagste punt in het systeem geplaatst omdat via dat puntal het afwater van de wijk wordt afgevoerd.

Voor de biovergister is het niet van groot belang waar deze wordt geplaatst omdat de persleiding overal in het gebied kan worden geplaatst. Het zou kunnen zijn dat er stankvorming plaatsvindt bij biovergisting. Daarom is het wenselijk om het zo ver mogelijk van de gebouwen te plaatsen. Op de plattegrond hiernaast zijn de rioolwarmte en vergistinglocatie weergegeven.



Figuur 14: Locatie bepaling technieken

6.4 Energieproductie

Deze twee technieken samen kunnen voorzien in 22,5% van de warmtevraag en in 1,1% van de elektriciteitsvraag. Deze percentages zijn berekend aan de hand van de optimale situatie uit het riool warmtemodel en de 100% scenario van het afvalwatervergisting. Een totale investering is lastig te bepalen omdat er sprake is van een totale systeemverandering, waarbij ook op perceelsniveau moet worden gewerkt (vacuümtoilet, GFT-shredder). De investering in de energietechnieken bedraagt €11.500.000,-. Deze is bepaald aan de hand van de financiële analyses uit hoofdstuk 4 en 5. De afvalwatercombinatie kan op dit moment nog niet financieel haalbaar worden gemaakt. De terugverdientijd is ongeveer 80 jaar en de levensduur ligt rond de 40 jaar waardoor het niet interessant is om hierin te investeren.

Conclusies en aanbevelingen

Er zijn verschillende manieren om energie te produceren met water. Deze technieken zijn toepasbaar op verschillende schaalniveaus. Geothermie, stromend water en overgang van zoet naar zout zijn verschillende energiebronnen waaraan op grote schaal energie kan worden onttrokken. Dit onderzoek heeft zich gericht voor Ballast Nedam en Building Brains en richt zich op energie uit water in een woonwijk. Uit dit onderzoek is gebleken dat warmte in huishoudelijk afvalwater potentie heeft om toegepast te worden als alternatieve energiebron. Biogas winnen uit afvalwater heeft potentie maar niet op het schaalniveau van een woonwijk. Om tot deze twee concepten te komen is er een selectie gemaakt aan de hand van de volgende criteria waaraan ze voldoen: de techniek moet toegepast kunnen worden in een woonwijk, duurzame energie produceren, technisch en financieel haalbaar zijn en moet passen binnen de visie van de opdrachtgevers.

Bij het toepassen van de rioolwarmtewisselaar kan bij toepassing in een verbeterd gescheiden stelsel in ongeveer 18% (4.440.146 kWh) van de warmtevraag van een woonwijk worden voorzien. De warmtelevering is afhankelijk van de temperatuur en het debiet van het afvalwater. De gemiddelde temperatuur ligt rond de 14,7 °C en fluctueert van 9°C in de winter tot 19°C in de zomer. De temperatuur wordt beïnvloed door de seizoenen, door de bodem temperatuur en door koud afvalwater. De gemiddelde temperatuur dat een woning loost is 26°C. Deze warmte gaat deels verloren aan bodem en lucht. De terugverdientijd voor dit concept is 10,7 jaar bij een investering van € 1,25 miljoen.

Bij het winnen van biogas uit huishoudelijk afvalwater kan in ongeveer 0,12% van de warmtevraag en 0,24% van de elektriciteitsvraag worden voorzien. Dit is erg weinig en wordt vooral beïnvloed doordat de winning op wijkniveau een te kleine schaal heeft. Ook is het vochtgehalte van invloed op de productie. Wanneer biomassa te vochtig is kan er geen biogas worden geproduceerd. Het concept heeft een investering van € 5 miljoen en heeft een terugverdientijd van meer dan 100 jaar.

Het optimale concept voor riool warmtewisseling, energetisch gezien, is het separaat afvoeren van warm- en koud afvalwater door geïsoleerde leidingen, zo kunnen de externe factoren worden beperkt. Hierbij kan in ongeveer 22% van de totale warmtevraag van een woonwijk worden voorzien. Echter is dit concept niet makkelijk haalbaar en toepasbaar maar heeft een iets kortere terugverdientijd (10,3 jaar) dan de toepassing in een verbeterd gescheiden stelsel. Toch is de het niet geoptimaliseerde concept geschikter omdat er geen infrastructurele aanpassingen moeten worden gedaan en geen dubbele aansluiting in de woningen moet worden gemaakt.

Het optimale concept voor biogaswinning is door een separate zwartwater(pers)leiding aan te leggen. Deze leiding transporteert alleen het afvalwater uit het toilet. Met aanvulling van een co-vergister (GFT), dat via een gootsteen-shredder in de zwartwater(pers)leiding wordt getransporteerd, kan in 0,5% van de warmtevraag en 0,5% in de warmtevraag worden voorzien. De co-vergister zorgt dat de gasproductie omhoog gaat. De terugverdientijd van dit optimale concept is 83 jaar.

Aanbevelingen:

De beide technieken zijn kansrijk om in de toekomst toegepast te worden. Hiervoor moet nog verder onderzoek worden verricht. In dit onderzoek is een gedetailleerd model gemaakt met veel aannames. Om exact te weten hoeveel energie er kan worden geproduceerd moet er een meetonderzoek plaatsvinden naar de eigenschappen in het afvalwater in een bepaalde wijk. Met deze gegevens kan een nauwkeuriger model worden gemaakt.

Bijlagen

Bijlage 1: Geïnterviewde bedrijven/personen

In onderstaand tabel de geïnterviewde personen. Sommige van deze mensen zijn meerdere keren geïnterviewd of er is regelmatig contact geweest.

Persoon:	Bedrijf:	Onderwerp:
Raoul Loeffen	Ballast Nedam IPM	Energie uit water; WKO en biogas
Marjorie Thilliez	Ballast Nedam IPM	Energie uit water; WKO en biogas
Ron van Wijk	Ballast Nedam Suse	Introductie onderwerp en contacten leggen voor informatie
Quicy meurs	Ballast Nedam Suse	Autarc, de selfsupporting woonboot van BN
Ronald Damen	Ballast Nedam Engineering	Interview over energie en water
Jaap de Vos	Ballast Nedam Engineering	Interview over energie en water
Rada Sukkar	Tauw	Interview over warmte winnen uit afvalwater
Wouter van der Laak	Ballast Nedam IPM	Interview over kleinschalige waterzuiveringen en biovergisting installaties
Netwerkbijeenkomst	AIMsterdam Water	Bijeenkomst over energie en water in de stad
Rob Huntjes	Ballast Nedam Milieutechniek	Interview over de kansen van biovergisting in een woonwijk
Wouter Sysmans	Ballast Nedam Milieutechniek	Interview over de kansen van biovergisting in een woonwijk
Sigurd Wevers	Geveke industriebouw	Interview over rioolwarmte, informatie ontvangen over warmtewisselaar en bijpassende techniek en kentallen.
Ronald-Jan Post	DLV glas en energie	Interview over warmtepompen en WKK
Alexander van Leersum	Volker Wessels DEC	Interview over WKO
Sander Akerboom	Yacht	Interview over Geothermie
Informatie bijeenkomst WKO	Deltares/TNO	Informatie over WKO

Bijlage 2: Energievraag van de wijk Lombardijen

Bepalen van energievraag

De totale energievraag van een wijk bestaat uit de energievraag van de bebouwde omgeving en het openbaar gebied (straatlantaarns en verkeerslichten etc.). De gebruikte gegevens die voorhanden zijn volgen uit desk- en fieldresearch. Hierbij wordt onder deskresearch primair een literatuurstudie verstaan om (technische) gegevens boven water te krijgen. Daar waar invloedrijke aannames zijn gedaan, zijn deze vermeld. Onder fieldresearch valt het bepalen van wijkopbouw aan de hand van Google Maps en GIS kaarten.

De totale energievraag van de wijk is opgebouwd door de bebouwde omgeving te specificeren naar verschillende type gebouwen en functies. Het grootste deel van de bebouwde omgeving in Lombardijen bestaat uit woningbouw. Er is onderzocht welke verschillende woningen er in de wijk voorkomen (bouwjaar, rijtjes, 2-onder een kap, vrijstaand, etc.). Voor deze 'archi-typische' woningen zijn gespecificeerde 'gemiddelde' energieverbruik op jaarbasis toegekend, aan de hand van het rapport van Laborelec HERMES DG (2009). Door een analyse van de hoeveelheid van deze woningen is het mogelijk een totaal energieverbruik van de woningbouw te bepalen.

Naast de woningbouw, is er ook energieverbruik van overige voorzieningen. Hieronder vallen scholen, supermarkten, winkels en overige gebouwen (kantoren en kerken etc.). Ook voor deze gebouwtypes zijn specifieke energievragen toegekend. Zo is op vergelijkbare manier de totale energievraag van 'overige voorzieningen' in de wijk Lombardijen bepaald. (zie Bijlage B.0 voor de uitsplitsing van de specifieke energievraag van de wijk.)

Daar waar geen betrouwbare gegevens voor deze exercitie beschikbaar waren, zijn aannames gemaakt:

1. 0,8% niet gangbare bouwtypes buiten beschouwing gelaten (boerderijen, woonwagens, etc.);
2. Gemiddeld verhuurbaar vloeroppervlak (VVO) supermarkt is 950 m², uitgaande dat alle supermarkten voorzien zijn van dagafdekking;
3. Bruto vloeroppervlakte (BVO), basisscholen gebaseerd 3,5 m²/leerling. Energieverbruik 603 MJ/m²;
4. Bruto vloer oppervlakte (BVO), middelbare scholen gebaseerd 7,3 m²/leerling. Energieverbruik 700 MJ/m²;
5. Verschil koken op gas t.o.v. elektra, vlg. Gegevens Nibud, voor koken op elektra en op gas wordt aangehouden 178 kWh elektrisch is 641 MJ_e en 65 m³ gas thermisch is 2.057 MJ_{th};

Bovengenoemde leidt tot een inschatting van totaal energieverbruik van de wijk (uitgedrukt in MJ of kWh, zie onderstaand). Om de analyses toe te kunnen spitsen is het echter wenselijk om dit energieverbruik uit te drukken in toepassingsgebied gelinkt aan de energetische 'kwaliteit'. In dit onderzoek wordt een onderscheid gemaakt in 'tapwater', 'ruimteverwarming' en 'koken'. Voor een gemiddeld Nederlands huishouden/woning wordt het totale gasverbruik doorgaans voor 23% aangewend voor tapwaterverwarming, voor 73% voor ruimteverwarming en circa 4% voor koken (Nibud, 2009).

Conversie factoren

Voor omrekening van energie uitgedrukt in Mega Joules (MJ) naar kilowatt uur (kWh) wordt een standaardfactor van 3,6 aangehouden: 1 kWh = 3,6 MJ_{elektrisch} (MJ_e).

Voor het verbruik van gas wordt een conversiefactor aangehouden van 31,65. Dit betreft zowel de energetisch inhoud (calorische waarde) als de verliezen die optreden bij conversie: $1 \text{ m}^3 \text{ gas} = 31,65 \text{ MJ}_{\text{thermisch}} (\text{MJ}_t)$.

Een overzicht van de totale jaarlijkse energievraag in Lombardijen is in onderstaande tabel weergegeven. Voor basiswaarden energievraag wijk, zie bijlage 1 (tabellen wijkgegevens).

WONINGEN LOMBARDIEN					
Woningen Bouwtypes	Afgeronde getallen			gemiddeld	
	Totaal verbruik per bouwtype	Gasverbruik bouwtype/periode	Aantal Bouwtype	elektra verbr.	gas verbruik
Vrijstaand	1.194 10 ³ kWh	614 10 ³ m ³	217 st	5.500 kWh	2.831 m ³
2 onder 1 kap	296 10 ³ kWh	106 10 ³ m ³	74 st	4.000 kWh	1.439 m ³
rijtjeshuizen	4.589 10 ³ kWh	2.108 10 ³ m ³	1311 st	3.500 kWh	1.608 m ³
Flats <=4 etages	10.824 10 ³ kWh	3.446 10 ³ m ³	3608 st	3.000 kWh	955 m ³
Flats > 4 etages	2.133 10 ³ kWh	594 10 ³ m ³	711 st	3.000 kWh	836 m ³
Etagewoningen	348 10 ³ kWh	80 10 ³ m ³	116 st	3.000 kWh	691 m ³
Zelf. Seniorenwon.	668 10 ³ kWh	157 10 ³ m ³	167 st	4.000 kWh	938 m ³
	20.051 10³ kWh	7.106 10³ m³	6.200 st	3.232 kWh	1.145 m³
Totaal	72.184 GJ;e	224.907 GJ;th	Bron: Laborelec HERMES DG 3, 3 februari 2009		

OVERIGE FUNCTIES					
	Afgeronde getallen			gemiddeld	
	Energie;elektra	Energie;thermische warmte	Energie;thermische koude	elektra verbruik	gas verbruik
Supermarkten (3x)				kWh/superm.jaar	m ³ /superm.jaar
2.850 m² BVO	4.986 GJ;e	1.296 GJ;th	5.037 GJ;th	461.667 kWh	66.698 m ³
Winkels (20x)				kWh/winkel.jaar	m ³ /winkel.jaar
3.315 m² BVO	1.525 GJ;e	4.707 GJ;th	0 GJ;th	21.179 kWh	49.577 m ³
Scholen (9x)				kWh/school.jaar	m ³ /school.jaar
12.268 m² BVO	2.954 GJ;e	5.063 GJ;th	5 GJ;th	91.172 kWh	53.373 m ³
Overige functies					
78.465 m² BVO	1.773 GJ;e	3.577 GJ;th	252 GJ;th		
Overige functies (10% energievraag overige voorz.), bestaande uit: kerken, zorg- & woningen, sport & recreatie en overige					
Totaal 18.433 m² BVO	11.238 GJ;e	14.643 GJ;th	5.294 GJ;th		
Totaal	83.422 GJ;e	239.550 GJ;th	5.294 GJ;th		

Noot: waarden zijn afgerond en bedoeld als indicatie van 'orde van grootte': niet als specifieke waarden.

Het gemiddeld energieverbruik van woningen voor de wijk Lombardijen is lager dan het landelijk gemiddelde. Dit is het gevolg van het groot aantal etage woningen in de wijk.

Energievraag openbaar gebied

Voor energieleverende objecten welke als product elektriciteit leveren dient de energievraag voor gebouwde omgeving en het openbaar terrein meegenomen te worden om 100% scenario te kunnen bepalen. De volgende hoofdstukken houden geen rekening met een energievraag voor het openbaar gebied.

Onderstaande tabel geeft de verhouding aan van de energievraag openbaar gebied ten opzichte van de energievraag gebouwde omgeving.

Onderdeel		Energie [kWh]	Energie [GJ;e]
Openbare verlichting	Units	3.276.175 kWh	11.794 GJ;e
Openbare verlichting	Kasten	8.410 kWh	30 GJ;e
Verkeersregel lichten (v.z.v. gloeilampen)		5.834.504 kWh	21.004 GJ;e
Verkeersregel installaties		18.400 kWh	66 GJ;e

De totale elektriciteitsvraag voor 6.200 stuks woningen in Lombardijen is 72.184 [GJ] en de energievraag elektrisch van het openbaar gebied is 32.894 [GJ]. De energievraag van openbaar gebied is gelijk aan de elektriciteitsvraag voor 46%, dit komt neer op 2827 stuks woningen binnen de wijk.

Overige kengetallen

Voor een scenario van een wijk die aangesloten is op een warmtenet (bijv. stadsverwarming of geothermie), kan het benodigde gasverbruik voor koken op gas omgerekend worden naar de benodigde energie voor elektrisch koken.

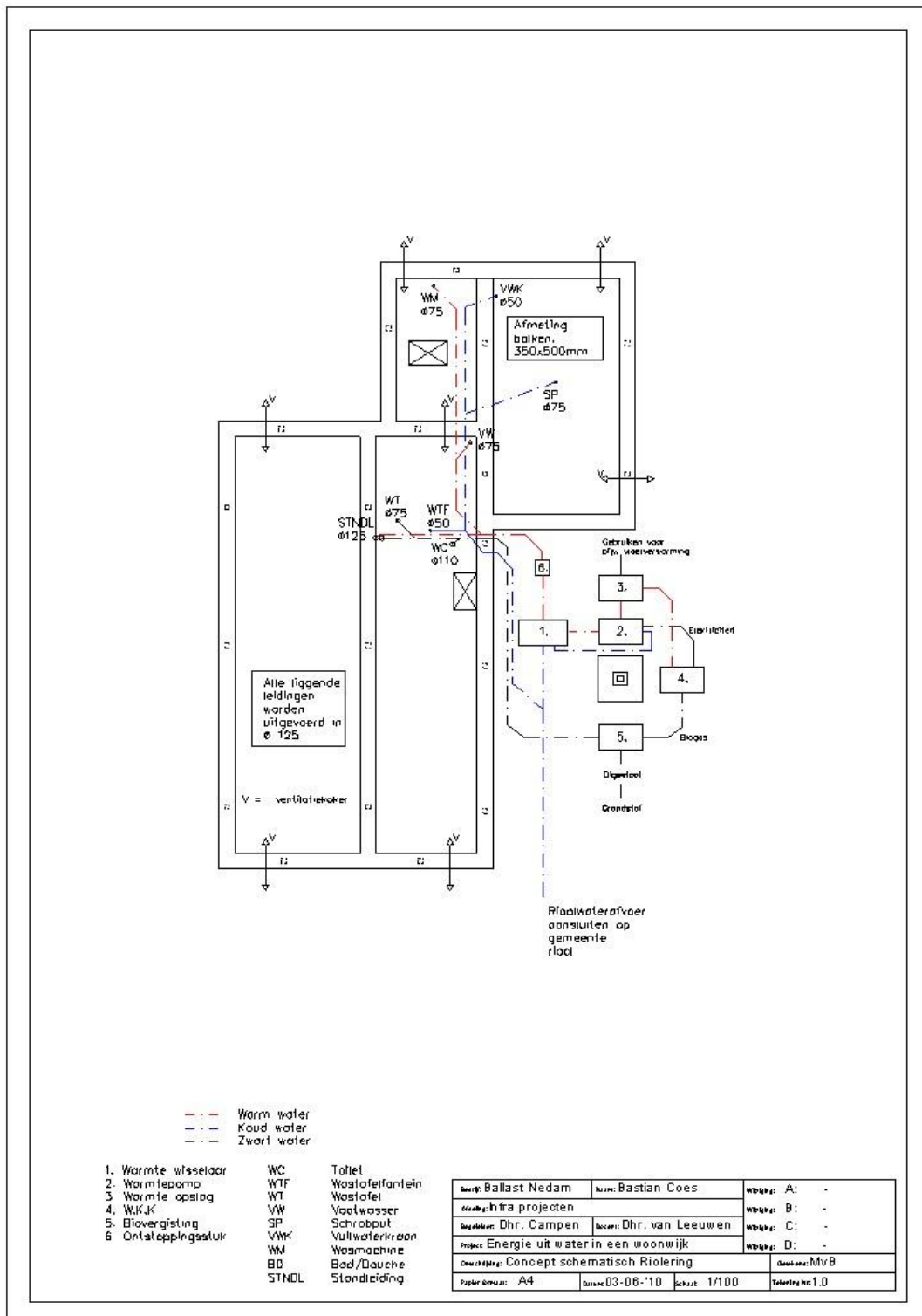
De totale elektriciteitsverbruik voor koken is 3.977 [GJ], gebaseerd op een wijk van 6.200 woningen (Lombardijen).

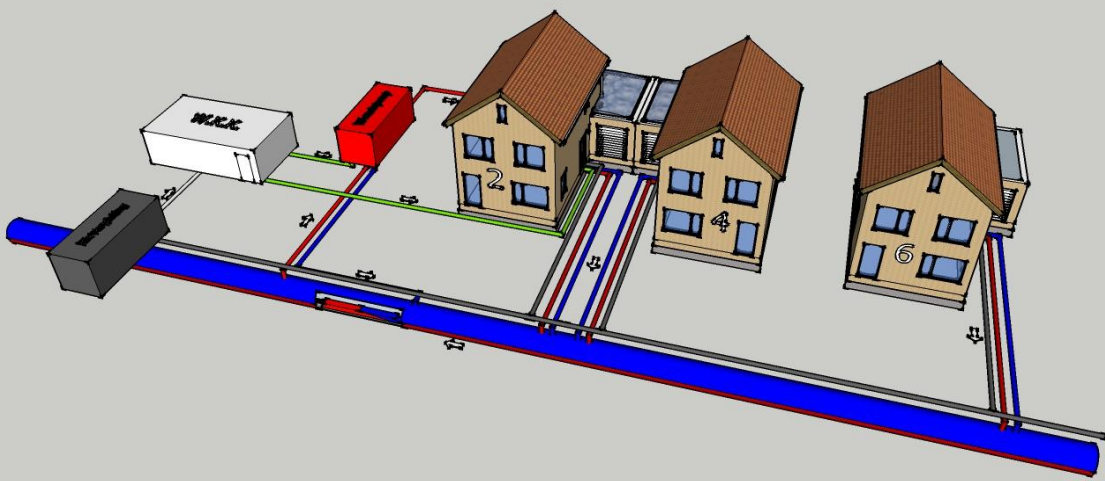
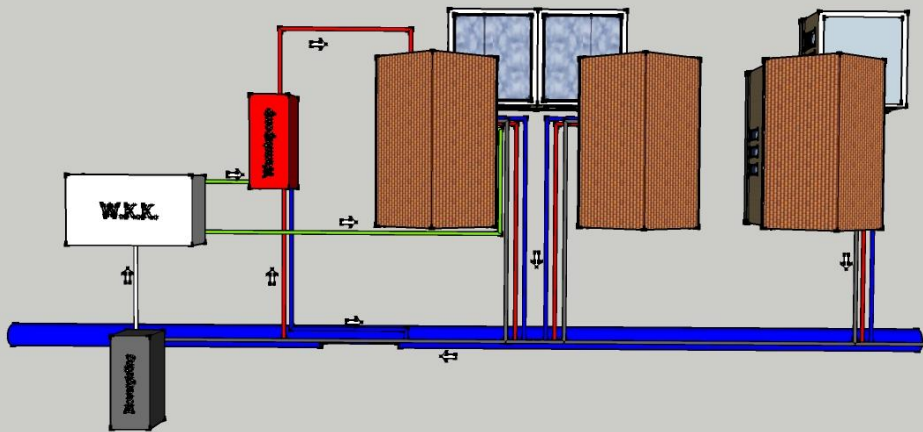
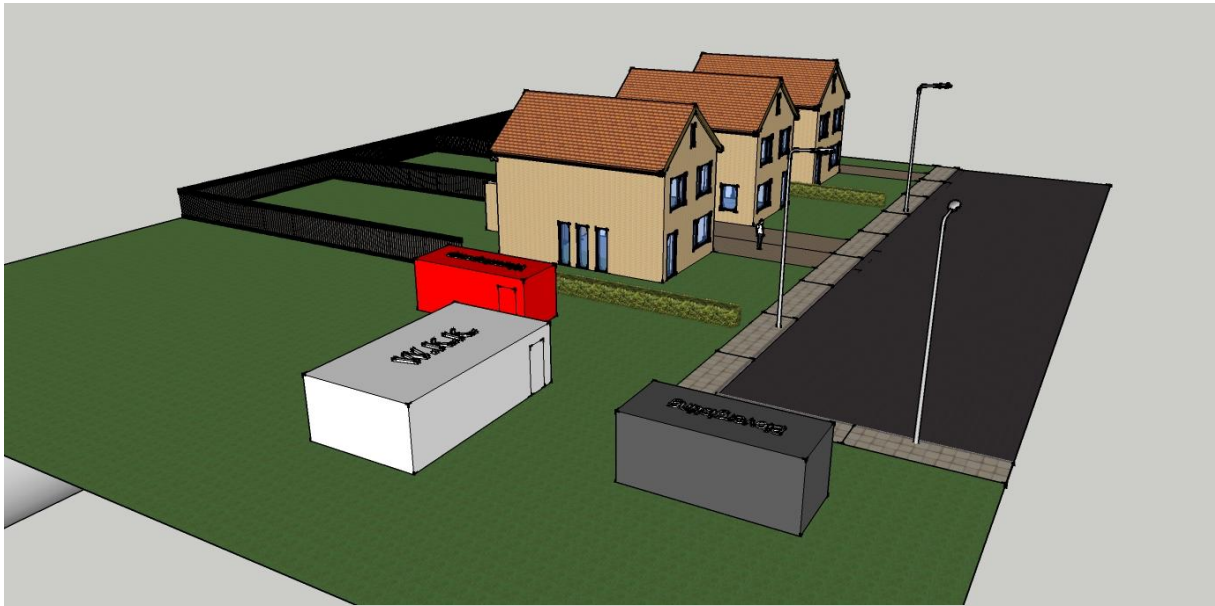
Voor het bepalen van energiewaarden (hoog temperatuur -en laag temperatuurverbruik) dienen de volgende gegevens (woningbouw) aan gehouden te worden:

Tapwater 23,00%	Ruimteverwarming 73,06%	Koken 3,93%
-----------------	-------------------------	-------------

Bijlage 3: Overzicht- en detailtekeningen

Detailtekeningen optimaal concept:





Bijlage 4: Bronnenlijst

- Nieuwe energie voor het klimaat, werkprogramma Schoon en Zuinig, VROM 2007
- De Ingenieur, 2006
- Staatscourant
- Geothermie voor Den Haag, IF technology, 2005
- Drinkwaterwet 2009
- NEN 528, tapwater
- Rapportage Watergebruik thuis 2007, TNS NIPO
- Tauw, 2009
- Stichting RIONED, 2008
- Waterforum, 2010
- Agency of Natural Resources and Energy
- Nefit, 2010
- Herwinbare warmte uit afvalwater, Tauw 2010
- Geveke Klimaattechniek, 2010
- Energiek milieu advies, 2009
- Energy and nutrient recovery and removal of micro-pollutants from black water, Marthe de Graaf WUR, 2010
- CBS Statline, 2008
- Waterforum, mei 2010
- Building Brains, 2010
- Aichbichler, 1998
- Ballast Nedam IPM, 2010
- Senter Novem, 2009