



Baambrugge

Energie- en waterverbruik 2040



Titelblad

Titel: Baambrugge energie- en waterverbruik 2040
Ondertitel: Baambrugge, klaar voor de toekomst.
Kernwoorden: Energieneutraal, Duurzaam, Circulair, Elektriciteit, Gas, Wind, Zon, Hemelwater, Drinkwater en Afvalwater.
Aantal woorden: 20467

Auteurs &

Studentennummers:	Kevin Offermans	1683451
	Arno Vinke	1705230
	Gemma Drillenburger	1704430
	Tim Friso Lodewijk	1721015
	Martijn van Leusen	1713604
	Ruben van der Veen	1718884

School: Hogeschool Utrecht
Opleiding: Built Environment
Specialisatie: Circulaire Stad
Cursuscode: 2019_TBBE-VSCIST-18_1_V

Project Team Begeleider: Annemiek van der Meijden

Opdrachtgever: Paul van Tongeren
Bedrijf opdrachtgever: Gemeente de Ronde Venen
Samenwerkende partij: Energiek Baambrugge
Contactpersoon: Paul van Tongeren
Mailadres contactpersoon: p.vantongeren@rondevenen.nl

Datum: 28 Oktober 2019



Managementsamenvatting

Inleiding

De komende jaren staat Nederland voor een grote transitie. In Parijs is in 2015 door 195 landen een afspraak gemaakt om in 2050 klimaatneutraal te zijn. Gemeente De Ronde Venen, gelegen in het noordwesten van de provincie Utrecht, heeft voor zichzelf de ambitie gesteld om in 2040 geheel klimaatneutraal te zijn. De gemeente wil in 2040 geen bijdrage meer leveren aan de wereldwijde klimaatverandering in de vorm van CO₂-uitstoot. Binnen deze gemeente ligt het kleine dorp Baambrugge. Deze gemeenschap is met behulp van een groep actieve burgers, Energiek Baambrugge, bezig om met duurzame initiatieven het dorp klimaatneutraal te maken. Hieronder vallen diverse maatregelen, zoals collectieve PV-panelen, spouwisolatie en warmtepompen. Energiek Baambrugge wil duurzame energie concreet en bereikbaar maken voor de inwoners van Baambrugge. Duurzaamheid en circulariteit zijn belangrijke onderwerpen. Een van de belangrijkste en schaarse middelen op aarde is zoet water. Het is dus belangrijk deze zo min mogelijk te verspillen.

Dit rapport zal ondersteunend en inspirerend zijn voor de gemeente De Ronde Venen en Energiek Baambrugge. In dit onderzoek is een analyse gemaakt van twee verschillende stromen binnen Baambrugge: energie en water. In kaart is gebracht wat de huidige energie- en waterstromen zijn. Aan de hand van deze resultaten zijn voor zowel energie als water meerdere mogelijke scenario's opgesteld. Tot slot is een gezamenlijk scenario opgesteld waarbij de verschillende stromen en maatregelen zijn samengevoegd.

Methode

Het onderzoek begint met een algemene analyse van Baambrugge en haar omgeving. Hierdoor is een duidelijk beeld geschetst van het onderzoeksterrein. Dit wordt gedaan door veld- en literatuuronderzoek. Vervolgens is voor zowel energie als water een stromenanalyse gemaakt. Deze geven het energie- en waterverbruik weer. De gegevens die nodig zijn voor deze analyses komen van de opdrachtgever, Energiek Baambrugge, benadering bedrijven en literatuuronderzoek. Nadat de energie- en waterstromen helder in kaart zijn gebracht, zijn mogelijke maatregelen voorgesteld, ondersteund door literatuur. Aan de hand van deze maatregelen zijn twee scenario's opgesteld. De analyses van deze scenario's zijn gevisualiseerd door middel van een Sankey-diagram. Hier is een gezamenlijk scenario uit voortgekomen.

Resultaat

Bij de analyse van energie komt één algemene maatregel naar voren: isoleren. Ondanks deze besparende maatregel zal er in 2040 toch meer energie gevraagd gaan worden. Bij scenario 1 is ingegaan op collectieve maatregelen waarbij veel is ingezet op het opvangen van warmte. Scenario 2 toont juist individuele maatregelen en een all-electric verwarmingssysteem. Windmolens zijn in beide gevallen onmisbaar om aan de totale energievraag te voldoen.

Bij de analyse van water is in scenario 1 de Rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI) ontzien van hemelwater. Het hemelwater wordt lokaal gezuiverd en hergebruikt. Zo kan dit als vervanging dienen voor activiteiten waar nu nog drinkwater voor gebruikt wordt. Bij scenario 2 is onderzocht hoeveel energie er gewonnen kan worden uit afvalwater. Uit de berekeningen blijkt dit jaarlijks om 14.226 m³ Biogas, 6.677 kg NH₄ en 1.199 kg Fosfaat te gaan.

Conclusie

In dit onderzoek zijn voor zowel energie als voor water meerdere mogelijke maatregelen naar voren gekomen. Voor energie geldt dat alle woningen die voor 1992 gebouwd zijn, geïsoleerd moeten worden. In het dorp komt een Warmte Koude Opslag (WKO) voor collectieve warmte. In het buitengebied komen warmtepompen als individuele maatregel. Tenslotte zijn windmolens onmisbaar bij de energietransitie van Baambrugge. Voor de waterhuishouding is de belangrijkste maatregel het aanleggen van een gescheiden riolering. Hiermee worden het hemelwater en afvalwater gescheiden. Het hemelwater wordt deels gebruikt voor bewustwording en deels gezuiverd om te dienen als drinkwater voor de veehouderij.

Inhoudsopgave

Managementsamenvatting	4
Inleiding	4
Methode	4
Resultaat	4
Conclusie	5
Inhoudsopgave	6
Inleiding	10
Leeswijzer	10
1 Context analyse	11
1.1 Ligging	11
1.2 Geschiedenis	11
1.3 Wateren	12
1.4 Grondsoort	13
1.5 Kerncijfers	14
1.5.1 Bewoners	14
1.5.2 Woningen	14
1.5.3 Bedrijven en voorzieningen	15
1.5.4 Voertuigbezit	15
1.6 Genomen maatregelen	15
1.6.1 Zonnepanelen	16
1.6.2 Isolatie	16
1.6.3 Overig	16
1.7 Toekomstige situatie	16
1.7.1 Dorpsvisie Baambrugge	16
1.7.2 Woonvisie 2025	17
1.7.3 Groenbeleidsplan 2017-2040	17
1.7.4 Toekomstige demografie	17
2 Energie	18
2.1 Inleiding	18
2.2 Methode	18
2.3 Energieverbruik huidige situatie	19
2.3.1 Aardgas	19
2.3.2 Elektriciteit	20
2.3.3 PV-panelen	20

2.3.4	Huidig energiesysteem	21
2.3.5	Stromenanalyse huidige situatie (Sankey-diagram)	21
2.4	Maatregelen	22
2.4.1	Na-isoleren	22
2.4.2	Warmtepomp	23
2.4.3	PV-panelen	23
2.4.4	Zonnecollectoren op het dak	23
2.4.5	Windenergie op land	23
2.4.6	Windenergie op zee	24
2.4.7	Zonneveld	25
2.4.8	Biogas (Methaangas)	25
2.4.9	Riothermie	26
2.4.10	Aanleggen van een warmtenet	26
2.4.11	WKO-installatie	26
2.4.12	Geothermie	26
2.4.13	Waterstof	26
2.4.14	Energie uit de Angstel	27
2.4.15	Conclusie maatregelen	27
2.5	Scenario 1	29
2.5.1	Nagele in balans	29
2.5.2	De zonnecollectoren	30
2.5.3	Warmte Koude Opslag	30
2.5.4	Transport van warmte	31
2.5.5	Kosten en exploitatie	31
2.5.6	Warmte in het buitengebied	32
2.5.7	Biogas voor het buitengebied	32
2.5.8	Transport	33
2.5.9	Kosten en exploitatie	33
2.5.10	Windenergie in Baambrugge	33
2.5.11	Locatie	33
2.5.12	Kosten	33
2.5.13	Stromendiagram	34
2.6	Scenario 2	35
2.6.1	Elektrische auto	35
2.6.2	Elektrisch koken	36
2.6.3	LTV met warmtepomp	36

2.6.4	Riothermie	36
2.6.5	Biogas (methaangas)	37
2.6.6	PV-panelen	37
2.6.7	Windenergie	37
2.6.8	Stedin	38
2.6.9	Verbruik aan de hand van Spoorboekje gemeente De Ronde Venen	38
2.6.10	Stroomdiagram	39
3	Water	40
3.1	Inleiding	40
3.2	Rioolsysteem	40
3.2.1	Inleiding	40
3.2.2	Oppervlaktewater	41
3.3	Drink- en afvalwatersysteem	42
3.3.1	Inleiding	42
3.3.2	Samenstelling afvalwater	42
3.3.3	Huishoudelijk water	43
3.3.4	Bedrijfs- en industrieel water	44
3.3.5	Agrarische sector	45
3.3.6	Overzicht drinkwater en afvalwater	47
3.4	Hemelwatersysteem	49
3.4.1	Neerslag Baambrugge	49
3.4.2	Waterhuishouding Baambrugge	50
3.4.3	Infiltratie/verdamping	51
3.4.4	Afvoer via riool	52
3.4.5	Hemelwater overzicht	52
3.5	Stromenanalyse huidige situatie (Sankey-diagram)	54
3.6	Scenario's Water	55
3.6.1	Inleiding	55
3.6.2	Mogelijke maatregelen	55
3.6.3	Scenario 1	58
3.6.4	Stromenanalyse scenario 1 (Sankey-diagram)	60
3.6.5	Scenario 2	61
3.6.6	Stromenanalyse scenario 2 (Sankey-diagram)	64
3.7	Conclusie Water	65
3.7.1	Samenvatting	65
1.7.1	Aanbevolen scenario	65

4 Conclusie en aanbevelingen	67
4.1 Inleiding	67
4.2 Gezamenlijk scenario	67
4.3 Vervolgonderzoek	69
4.3.1 Energie	69
4.3.2 Water	69
Literatuurlijst	70
Bijlagen	74
Bijlage 1. Kaart locatie in Nederland	75
Bijlage 2. Bevolkingsontwikkeling per gemeente	76
Bijlage 3. Bouwjaren gebouwen Baambrugge	77
Bijlage 4. Berekeningen Energie	78
Bijlage 5. Data Drinkwater en afvalwater berekeningen	80
Bijlage 6. Berekeningen opbrengsten nieuwe sanitatie-systeem Waterschoon	82
Bijlage 7. Overzicht Riolering Baambrugge	87
Bijlage 8. Sankey-diagrammen	88

Inleiding

In Parijs is in 2015 door 195 landen de afspraak gemaakt om in 2050 klimaatneutraal te zijn. Gemeente De Ronde Venen, gelegen in het noordwesten van de provincie Utrecht, heeft voor zichzelf de ambitie gesteld om in 2040 algeheel klimaatneutraal te zijn. De gemeente wil in 2040 geen bijdrage meer leveren aan de wereldwijde klimaatverandering in de vorm van CO₂-uitstoot. Binnen de gemeente De Ronde Venen ligt Baambrugge, een dorpje met een kleine 1.400 inwoners (Allecijfers.nl, 2019)). Deze gemeenschap is met meerdere duurzame initiatieven hard bezig om het dorp klimaatneutraal te maken. Hieronder vallen diverse maatregelen, zoals collectieve zonnepanelen, spouwisolatie en warmtepompen. De initiatiefnemer is een groep actieve burgers, genaamd Energiek Baambrugge, die zich onder andere bezighoudt met duurzame energie. De groep wil duurzame energie concreet en bereikbaar maken voor de inwoners van Baambrugge.

Voor dit onderzoek is één hoofdvraag opgesteld. Deze luidt als volgt:

Hoe kan Baambrugge in 2040 CO₂-neutraal worden op het gebied van energie en een toekomstbestendige waterhuishouding hebben?

Deze hoofdvraag is te complex om in één keer te kunnen beantwoorden. Vandaar dat de hoofdvraag in zes deelvragen is verdeeld.

- Deelvraag 1: Welke relevante data voor het onderzoek naar energie- en waterstromen is er te verzamelen over Baambrugge?
- Deelvraag 2: Hoe zien de huidige energiestromen van Baambrugge eruit?
- Deelvraag 3: Hoe ziet de huidige waterhuishouding van Baambrugge eruit?
- Deelvraag 4: Wat zijn mogelijke maatregelen om Baambrugge energieneutraal te maken?
- Deelvraag 5: Wat zijn mogelijke maatregelen voor een slimme waterhuishouding van Baambrugge?
- Deelvraag 6: Wat is de optimale combinatie van maatregelen voor Baambrugge, die voor 2040 getroffen kunnen worden, op het gebied van energie en water?

Leeswijzer

In dit onderzoeksrapport zijn de stromenanalyses van Baambrugge weergegeven. Aan de hand van deze analyses zijn aanbevelingen gedaan. Deze aanbevelingen geven een advies met betrekking tot een klimaatneutraal en toekomstbestendig Baambrugge in 2040.

Na de inleiding is in hoofdstuk 1 een **context analyse** beschreven. Hierin wordt algemene data van het dorp beschreven. Onderwerpen die naar voren komen zijn: de historie, een geologische analyse, de bewonersgegevens en de toekomstvisies van verschillende partijen.

In hoofdstuk 2 is het **energieverbruik** geïnventariseerd. Aan de hand van de Trias Energetica zijn meerdere maatregelen opgesteld. Hier zijn twee scenario's uit voortgekomen.

Hoofdstuk 3 gaat over het **waterv**bruik. Ook hier is geïnventariseerd hoeveel drink- en hemelwater Baambrugge instroomt en hoeveel afval- en oppervlaktewater er uitstroomt. Er zijn voor zowel het drink- en afvalwater als het hemelwater een waterbalans gemaakt.

Het laatste hoofdstuk geeft de **conclusie** van dit rapport. Hierin is een gezamenlijk scenario beschreven en zijn aanbevelingen gedaan voor eventueel vervolgonderzoek.

Aan het einde van dit rapport zijn de **literatuurlijst** en **bijlagen** te vinden.

1 Context analyse

1.1 Ligging

Baambrugge is een klein dorpje van 941 hectare (Drimble, 2019), gelegen in het oosten van de Utrechtse gemeente De Ronde Venen. Baambrugge ligt tussen Abcoude en de N201 en bevindt zich zowel in de randstad als het Groene Hart. Zie bijlage 1 voor een weergave hiervan.

Breder gezien ligt Baambrugge tussen Amsterdam en Utrecht. Ten westen van Baambrugge liggen de A2 en de Vinkeveense Plassen en ten oosten liggen de treinverbinding Amsterdam-Utrecht en het Amsterdam Rijnkanaal.

Baambrugge is goed bereikbaar en heeft ondanks het ontbreken van een eigen afslag een goede verbinding met de A2. Ook voor het treinnetwerk is geen rechtstreekse verbinding met Baambrugge. Het meest nabijgelegen treinstation bevindt zich in Abcoude. Prominente locaties in de buurt van Baambrugge zijn Amsterdam Airport Schiphol, Hilversum, Utrecht en Woerden, zoals te zien in figuur 1.

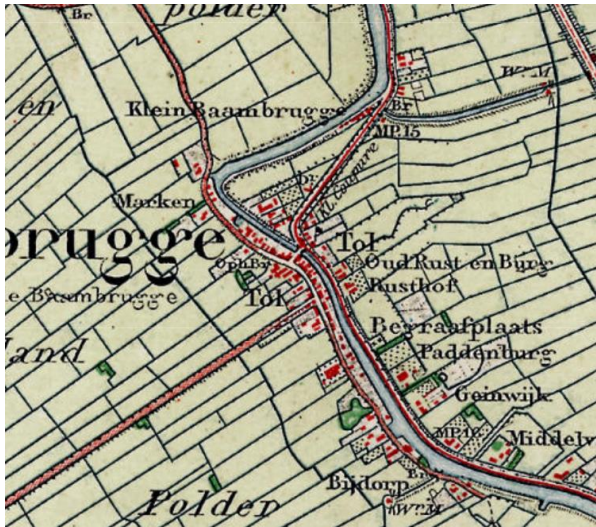


Figuur 1, Kaart omgeving Baambrugge, Bron: (Vinkeveen, 2019)

1.2 Geschiedenis

De oorsprong van het huidige Baambrugge dateert uit 1085. Gedurende deze tijd werd het land vaak geteisterd door overstromingen. Mede hierdoor zijn een aantal molens gebouwd om het water uit de polder te krijgen. Drie van deze historische molens staan er vandaag de dag nog steeds (Plaatsengids, 2019).

Baambrugge begon te groeien rond het jaar 1850, gestimuleerd door de nieuwe rijksweg die langs het dorp loopt. Dit was de weg die Amsterdam verbond met het zuiden van het land. De echte groei begint pas rond het jaar 1980. Rond deze tijd is er een wijk aan de westkant bijgebouwd. In de jaren rond 2000 wordt alleen nog bijgebouwd in het noordwesten en het oosten van Baambrugge. Voor de kaarten van Baambrugge door de jaren heen, zie figuur 2 (Topotijdreis, 2019).



1900



1950



1985



2019

Figuur 2, Baambrugge door de jaren heen, Bron: (Topotijdreis, 2019)

1.3 Wateren

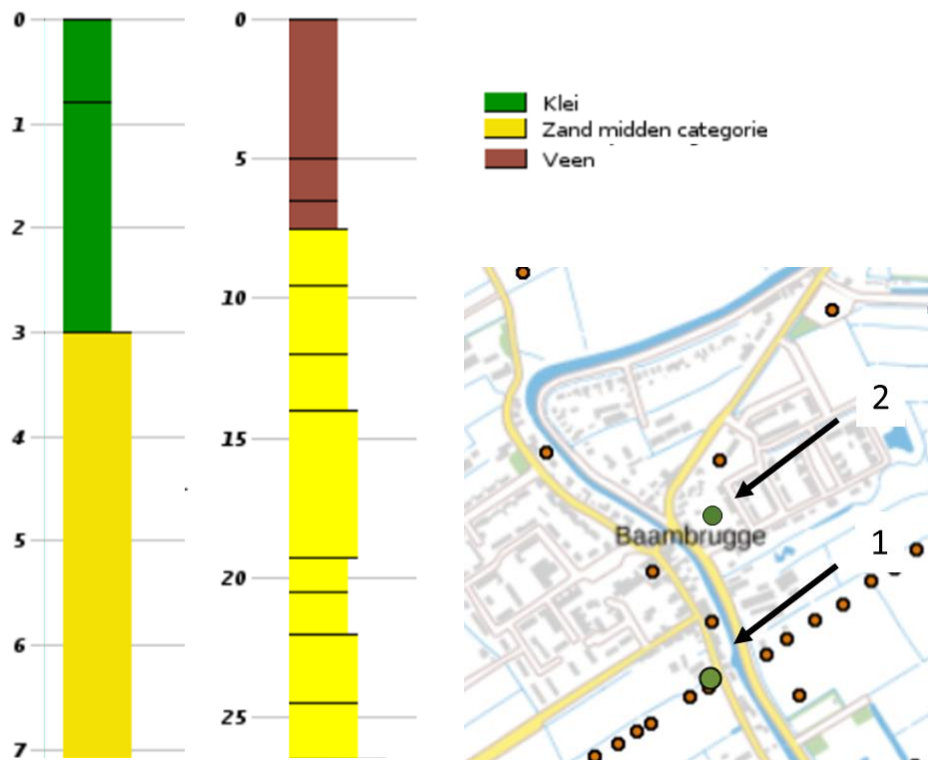
Baambrugge ligt in een gebied wat bekend staat om haar wateren. Het meest aanwezig waterlichaam in het gebied is de Angstel. De Angstel takt ter hoogte van Mijnden af van het Amsterdam Rijnkanaal. Het Amsterdam Rijnkanaal, dat sinds 1952 in gebruik is genomen, is een gedeelte van de belangrijkste waterverbinding tussen de Amsterdamse haven en het Ruhrgebied in Duitsland (Rijkswaterstaat, 2019). De Angstel is niet groot genoeg voor de grote scheepvaart. Daarom wordt de scheepvaart in de Angstel beperkt tot recreatievaart. Voor recreatie is de rivier een belangrijke verbinding met de Vinkeveense Plassen, die ten westen van Baambrugge gelegen zijn. Een overzicht van de Baambrugse wateren is weergegeven in figuur 3.



Figuur 3, Overzicht waterlichamen relevant voor Baambrugge, Bron: (ArcGIS, 2019)

1.4 Grondsoort

In dit gedeelte van Nederland zijn veel voorkomende grondsoorten klei en veen (Dinoloket, 2019). Meerdere boringen in Baambrugge geven beide grondsoorten weer (zie figuur 4). Deze grondsoorten gaan tot een diepte van 5 tot 6 meter onder het maaiveld. Daaronder bevindt zich zandgrond. Het nadeel van klei en veen is dat deze grondsoorten als bovenlaag niet stevig zijn. Het risico is at bestaande bebouwing kan verzakken. De zettingen kunnen ook gevolgen hebben voor de riolering. Een ander nadeel is dat deze grondsoorten het infiltreren van hemelwater bemoeilijken.



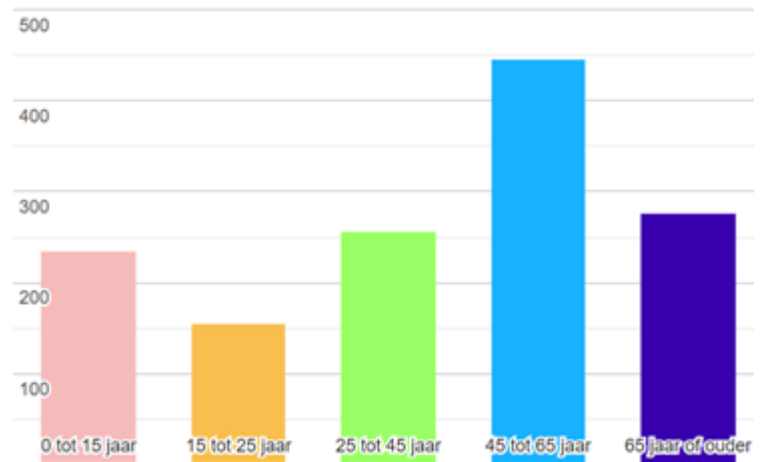
Figuur 4, Grondmonster 2 locaties Baambrugge, Bron: (Dinoloket, 2019)

1.5 Kerncijfers

1.5.1 Bewoners

Baambrugge had tijdens de laatste telling in 2018 een inwoneraantal van 1.360, waarbij de verdeling mannen en vrouwen bijna gelijk is (man: 49,3% en vrouw: 50,7%) (Allecijfers, 2017a). Het aantal inwoners daalt al sinds 2013 elk jaar met 1%. In 2013 woonde namelijk nog 1.445 inwoners in Baambrugge, een daling van bijna 5% ten opzichte van 2018.

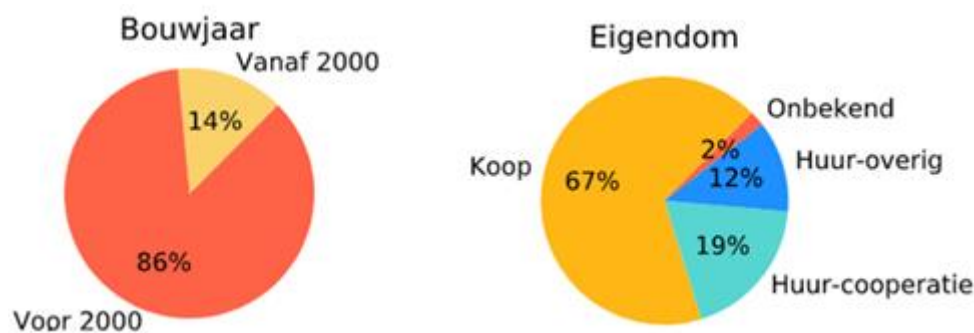
Er is in Baambrugge dus sprake van een leegloop. Jongeren trekken naar de steden, zoals Amsterdam, en keren niet meer terug. Door de leegloop ontstaat ook vergrijzing. Daardoor is te zien dat de gemiddelde leeftijd in het dorp hoog is. Meer dan de helft van de inwoners is 45+ (zie figuur 5).



Figuur 5, Inwoners leeftijd Baambrugge, Bron: (Allecijfers, 2017a)

1.5.2 Woningen

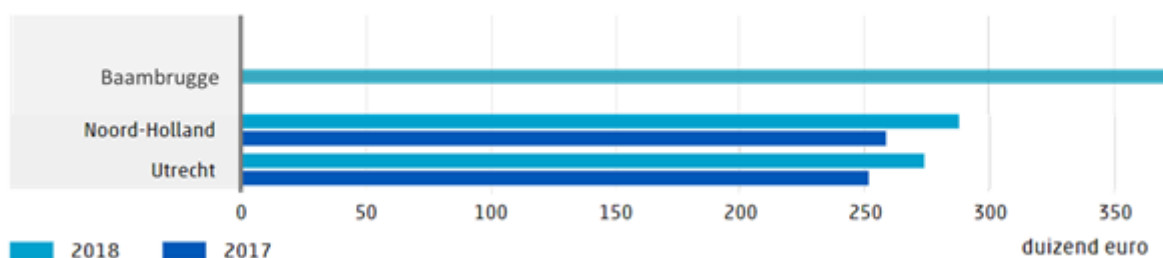
Het dorp heeft 595 (CBS, 2018) woningen waarvan 86% voor het jaar 2000 gebouwd is (zie figuur 6). Een groot deel van de woningen en boerderijen die langs de Angstel liggen, zijn gebouwd voor WOII. De andere woningen, waarvan een groot gedeelte ten westen van de Angstel ligt, is na 1980 gebouwd. De laatste 10 jaar zijn er ook nog eens 75 woningen in Baambrugge-dorp bij gekomen, waarvan het grootste deel ook ten westen van de Angstel ligt (Bagviewer.kadaster, 2019). In bijlage 3 is een kaart opgenomen met de bouwjaar van de bebouwing in Baambrugge-dorp. Baambrugge bezit 51 Rijksmonumenten (Rijksmonumenten, 2019).



Figuur 6, Gegevens woningen Baambrugge, Bron: (Allecijfers, 2017a)

Gemiddeld is het inkomen van de bewoners 11% hoger dan het Nederlands gemiddelde (Allecijfers, 2017a). Meerdere woningen in Baambrugge hebben een relatief hoge vraagprijs. De gemiddelde WOZ-waarde (zie Figuur 7) van de woningen ligt aanzienlijk hoger dan het gemiddelde van de provincies Utrecht en Noord-Holland. De gemiddelde woningwaarde ligt in Nederland op €230.000,-. Dat is dus ruim 36% lager dan de waarde in Baambrugge (CBS, 2018).

Gemiddelde WOZ-waarde woningen



Figuur 7, Gemiddelde WOZ-waarde woningen, Bron: (CBS, 2018)

1.5.3 Bedrijven en voorzieningen

De lintbebouwing langs de verschillende verbindingswegen rond Baambrugge, alsmede Baambrugge zelf, bevat enkele voorzieningen, bedrijven en recreatie. In tabel 1 zijn de meest prominente weergegeven.

Tabel 1, Meeste prominente voorzieningen, bedrijven en recreatie Baambrugge

Bedrijf	Voorziening	Recreatievoorziening
Rijpma Equipment	Basisschool Ichthus	Tennisvereniging Baambrugge
Avia Baambrugge	Huisartsenpraktijk Baambrugge	IJclub Baambrugge
Cafetaria 't Bruggetje		Sportvereniging BEO Baambrugge
Café-Restaurant de Punt		
Dagwinkel van der Wilt		
Poel Amsterdam		
Pino Pizza		

Voor het inslaan van boodschappen kan men terecht bij Dagwinkel van der Wilt. Voor supermarkten moeten de inwoners van Baambrugge afreizen naar Abcoude, Vinkeveen, Loenen aan de Vecht of Breukelen. Specifiekere voorzieningen zoals een ziekenhuis, een bioscoop, een theater, een middelbare school en dergelijke, vindt men vooral in Amsterdam. Veel inwoners van Baambrugge werken ook in bovengenoemde steden (CBS, 2015).

1.5.4 Voertuigbezit

Het dorp heeft met het gemiddeld hogere inkomen ook een hoger autobezit dan het gemiddelde van Nederland. Waar het autobezit gemiddeld 1,1 per huishouden is in Nederland, bedraagt dit in Baambrugge 1,7 per huishouden (Allecijfers, 2017a). Dit kan gevolgen hebben voor het energieverbruik bij een overstap op volledige elektrische voertuigen. In dat geval zullen meer dan 900 auto's wel van elektriciteit voorzien moeten worden. Dit zorgt voor een toename van de vraag naar energie.

1.6 Genomen maatregelen

Baambrugge, de pionier van haar omgeving. Er zijn al vele projecten gestart en maatregelen genomen, zowel tastbaar als niet tastbaar. Maatregelen die energie besparen, maar ook opleveren. En zo zijn de twee belangrijkste stappen van de Trias Energetica ook in beeld.

1.6.1 Zonnepanelen

In Baambrugge liggen zowel in het dorp als het buitengebied al enkele honderden panelen. Sterker nog, dit zijn er zelfs al meer dan duizend. In dit rapport zal aan de hand van berekeningen naar voren komen wat het aantal zonnepanelen op dit moment is. Deze maatregel is tevens de meest zichtbare maatregel die is getroffen op gebied van duurzaamheid. Het is al op diverse manieren gedaan. Er zijn acties geweest waarbij men de mogelijkheid had om de zonnepanelen collectief in te kopen. Hierbij was zelfs de mogelijkheid mee te doen volgens de postcoderegeling als er te weinig dakoppervlakte beschikbaar was. De postcoderegeling houdt in dat iedereen die mee heeft gedaan aan het financieren van de panelen, een deel van de panelen ook beheerd. De winst van deze panelen wordt vervolgens afgetrokken van de energierekening van de beheerder. Het zijn dus panelen die wel van jou zijn maar niet op je eigen dak liggen (Zonopderondevenen, 2018). Ook hebben particulieren ervoor gekozen het zelf op te pakken en niet te wachten op een collectieve actie. Zo zijn er enkelen in het dorp, maar ook een aantal boeren die het initiatief hebben genomen om zonnepanelen te nemen (Energiewonen, 2019). Ook de woningcorporatie GroenWest heeft actie ondernomen om haar huizen te verduurzamen. Ze heeft al tientallen huizen verduurzaamd door de isolatiewaarde in daken te verhogen naar 8, toekomstbestendig maken door mogelijkheid tot voorzetgevel, en natuurlijk het plaatsen van PV-panelen (Weijerseikhout, 2019).

1.6.2 Isolatie

GroenWest heeft zoals benoemd al een aantal woningblokken laten isoleren. Maar ze zijn niet de enige! Allereerst hebben mensen in de gemeente de ronde venen, dus ook in Baambrugge, heel goedkoop de mogelijkheid een warmtescan te laten maken (Energieke-rondeveners, 2019).

Hiermee kan in kaart worden gebracht waar kieren zitten en welke delen beter geïsoleerd kunnen worden. Ongeveer 170 inwoners hebben warmtescan gedaan, kost slechts 15 euro! Betekent dat er nog heel veel geen scan gemaakt hebben, daarbij zitten nog niet eens de bedrijfspanden.

Ook grotere gebouwen in het buitengebied worden aangepakt. Sandwichpanelen kunnen geplaatst worden ter vervanging huidige dak. Dit resulteert in een dak met relatief zeer hoge isolatiewaarde wat zorgt voor een goed binnenklimaat. Daarnaast is het ook een uitermate geschikte fundering voor PV-panelen (Energieplusedak, 2015).

1.6.3 Overig

In Baambrugge is men zich zeer bewust over duurzaamheid, de huidige situatie en de plannen. Baambrugge en ook haar omgeving, heeft het voordeel dat er initiatiefnemers zijn die ideeën concreet kunnen maken en zo de rest van de inwoners erg goed kan helpen.

1.7 Toekomstige situatie

Om een maatregelenpakket op te kunnen stellen voor de opdrachtgever moet gekeken worden naar reeds uitgevoerde maatregelen met betrekking tot de thema's water en energie en wat er nog op de planning staat. Enkele beleidsstukken zijn bekeken waarbij relevante informatie is gefilterd.

1.7.1 Dorpsvisie Baambrugge

De Dorpsvisie van Baambrugge is in 2014 opgesteld onder het motto 'Groot genoeg om klein te blijven'. Dit gaat met name over het dorpse karakter dat beschermd moet worden en waar mogelijk te versterken. Daarnaast is het bij ruimtelijke ontwikkelingen van belang dat het buitengebied beschermd wordt en dat er gefocust moet worden op inbreiden. Hierbij wordt gekeken naar herontwikkeling van bestaande bebouwde ruimte of invulling van open ruimte in de bebouwde kom.

In Baambrugge zijn slechts twee recente nieuwbouwprojecten gerealiseerd. Project Kromwijck is in 2017 opgeleverd met 13 woningen en 5 appartementen (*Bébouw Midreth, z.d.*). Dit is op een weiland gerealiseerd tussen bestaande bouwblokken. Daarnaast is in 2009 het project IJsvogel opgeleverd. Dit is een uitbreidingswijk, wat Baambrugge met 44 woningen heeft verrijkt (*JoustraReid architecten, z.d.*).

Met betrekking tot de waterhuishouding is er een slechte waterkwaliteit door veel dammen met kleine duikers. Er is onvoldoende waterberging waardoor de kans op wateroverlast groot is. Een veilig en schoon watersysteem is dan ook een belangrijk thema bij toekomstige ontwikkelingen.

1.7.2 Woonvisie 2025

Om in 2040 klimaatneutraal te zijn moeten bestaande woningen aangepakt worden. Het beleid is wijkgericht en zet in op het bereiken van particuliere huiseigenaren. De gemeente wil afspraken maken met woningbouwcorporaties om hun succesvolle beleidsuitvoering voort te zetten. Er zal worden ingezet op o. a. energiebesparing, gas-loos en duurzame energie met o. a. zonnepanelen. Het is nu beleid om te bouwen met EPC-norm min 10%. De ambitie is alleen nog duurzaam te gaan bouwen. Om investeringen in duurzaamheid beter bereikbaar te maken wil de gemeente De Ronde Venen onderzoeken of een duurzaamheidslening mogelijk is bij het Stimuleringsfonds Volkshuisvesting (SVN). (*Joynes, 2017*)

De gemeente De Ronde Venen wil klimaatadaptief worden. Denk hierbij aan regenwater opvangen in een regenton, het laten infiltreren van regenwater in de grond, het planten van bomen en struiken en het spaarzaam sproeien van de tuin. In de bebouwde kom wil men een goede groenstructuur waar wateropvang en infiltratie kan plaatsvinden.

1.7.3 Groenbeleidsplan 2017-2040

De gemeente Baambrugge heeft een groenbeleidsplan van 2017 tot 2040. Dit alles wordt bereikt door groenadoptie te stimuleren en samen te werken met agrariërs op het gebied van bermbeheer. Verder wil daarnaast bij het renoveren en herinrichten van plantenvakken meer bij-beminnende planten toebrengen. (*Pikkemaat & Hulst & Muller, 2017*)

Men wil boombeheer verduurzamen. De bomen moeten voor langere tijd kunnen staan, dus er wordt gekeken naar plekken waar de bomen veel ruimte hebben om te groeien zonder overlast te veroorzaken. De gemeente wil ook streekeigen soorten behouden, zoals de knotwilg, geschikt voor langs het water.

Baambrugge wil de natuur ook meer binnen de bebouwde omgeving krijgen. Dit wil het doen door houttrillen aan te leggen, meer diversiteit aan te brengen in de beplanting in de steden, het stimuleren om stenige tuinen te vergroenen en het ontwikkelen van kruidenrijke bermen in het dorp. Verder moeten verbindingen van de natuur in de bebouwde kom en het buitengebied die al aanwezig zijn gewaarborgd worden.

Er zijn veel stukken land die in bezit zijn van particulieren. Door met deze particulieren samen te werken kan de natuur tussen dorp en land verbonden worden.

1.7.4 Toekomstige demografie

De Nederlandse bevolking zal naar verwachting stijgen tot 18 miljoen inwoners in 2040. In de provincie Utrecht zullen er ruim 100.000 inwoners bijkomen, dat is een stijging van 9,4%. Het is echter de vraag of dit ook voor Baambrugge zal gelden. Daar is enkele jaren al een daling van 1% per jaar waar te nemen. Uit onderzoek van het CBS blijkt dan ook dat het inwoneraantal redelijk stabiel zal blijven. Op de kaart in bijlage 2 is te zien dat de gemeente De Ronde Venen, anders dan de omliggende gemeenten, niet veel zal groeien. (Planbureau voor de Leefomgeving, 2010)

2 Energie

2.1 Inleiding

Naast het thema water is ook het thema energie uitgebreid onderzocht. Hierbij is gekeken naar elektrische energie en energie uit gas. De gemeente De Ronde Venen geeft in de structuurvisie aan dat zij de doelstellingen met betrekking tot duurzame energie overnemen van het Rijk (DeRondeVenen, 2013). Daarnaast ambieert de gemeente klimaatneutraliteit, waarbij het opwekken en het verbruik van energie gelijk is. Het gebruik van fossiele brandstoffen komt op lange termijn te vervallen. Dit is immers funest voor een duurzame toekomst.

Voor het dorp Baambrugge is het verminderen van het energieverbruik een essentiële opgave. Het gemiddelde van dit energieverbruik is aanzienlijk hoger dan het Nederlandse gemiddelde. Dit is mede te verklaren door de grote hoeveelheid vrijstaande woningen. Vrijstaande woningen scoren namelijk het hoogste qua gemiddeld verbruik van de verschillende woningtypen (Nibud, 2018). Dit is te zien in Figuur 8.

Woningtype	Gemiddeld verbruik per jaar in m ³
Flat	1000 m ³
Tussenwoning	1.350 m ³
Hoekwoning	1.580 m ³
2 onder 1 kap	1.800 m ³
Vrijstaand	2.410 m ³
Gemiddeld alle woningen	1.470 m ³

Figuur 8, Jaarlijks verbruik per woningtype, Bron: (Nibud, 2018)

In Baambrugge is al veel nagedacht over het gebruik van duurzame energiebronnen. Dit heeft er dan ook in geresulteerd dat er ongeveer evenveel zonnepanelen dan inwoners zijn in Baambrugge. Baambrugge onderscheidt een dorp- en buitengebied. Dit biedt veel ruimtelijke mogelijkheden voor toekomstige ontwikkelingen.

Het doel is om geleidelijk aan een energieneutraal Baambrugge te creëren, waarbij het jaar 2040 als uitgangspunt is genomen. Naast de inventarisatie van het huidige energieverbruik zijn maatregelen opgesteld die een bijdrage kunnen leveren aan het bereiken van dit doel. Aan de hand van deze maatregelen zijn twee scenario's opgesteld, waarbij gebruik is gemaakt van Sankey-diagrammen.

2.2 Methode

Met behulp van de Trias Energetica zijn mogelijkheden voor maatregelen aan het licht gekomen. De Trias Energetica bestaat uit drie stappen, waarbij de eerste stap het meest duurzaam is. Hier worden maatregelen opgesteld die de energievraag zullen verminderen. Denk hierbij aan bouwkundige aanpassingen, zoals bijvoorbeeld het isoleren van gebouwen. Hoe lager de energievraag, hoe minder maatregelen er genomen hoeven te worden om deze vraag op te vangen (Rijkdienst voor Ondernemend Nederland, 2019).

Bij de tweede stap wordt gekeken naar het gebruik van energie uit hernieuwbare bronnen, om zo de energievraag te compenseren. Voorbeelden hiervan zijn het gebruik van groene stroom, collectieve warmte, etc.

De laatste stap wordt ingezet wanneer het gebruik van fossiele brandstoffen onvermijdelijk is. Op de korte termijn is dit vaak het geval. Hierbij wordt gekeken naar een efficiënte omgang met de fossiele brandstoffen. Voor dit onderzoek moet er op de korte termijn efficiënt gebruik gemaakt worden van fossiele brandstoffen. Na 2040 is het streven om deze stap buiten beschouwing te laten.

In dit onderzoek is gekeken naar mogelijkheden om de vraag te verminderen. Er is vanuit gegaan dat de energie in de toekomst efficiënter gebruikt gaat worden. De vraag wordt echter groter, omdat er

geen aansluitingen op het aardgas meer worden gerealiseerd in de toekomst. Dit zal vervangen worden door alternatieven die veelal bestaan uit elektrische energie.

2.3 Energieverbruik huidige situatie

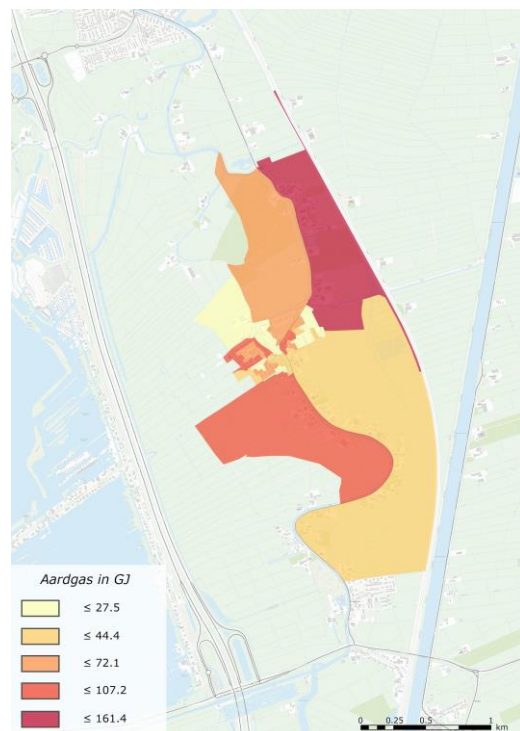
In dit hoofdstuk is het energieverbruik beschreven van de huidige situatie van Baambrugge. Hierbij is gekeken naar de bronnen die energie opleveren en de gebieden waar het verbruikt wordt. Baambrugge kent op dit moment drie bronnen waar zij haar energie vandaan haalt. Het grootste deel is afkomstig uit het elektriciteits- en gasnet wat beheerd wordt door Stedin netbeheer B.V. (Stedin, 2019). Daarnaast wekt Baambrugge ook zelf energie op door middel van PV-panelen (CBSStatline, 2017).

2.3.1 Aardgas

Op dit moment is aardgas de meest benutte energiebron van Baambrugge. Zowel in het dorp- als het buitengebied wordt veel van dit gas gebruikt om woningen en andere gebouwen te verwarmen. Daarnaast wordt aardgas nu nog veel gebruikt binnen huishoudens om te koken.

Stedin levert open data met betrekking tot het verbruik per postcode-6 gebied. Deze data is vrij nauwkeurig in kaart te brengen, met name hoe het gasverbruik zich tot elkaar verhoudt (zie figuur 9). Hier kunnen dan ook de toekomstige maatregelen op aangepast worden.

Er is een weergave gemaakt van het verbruik van de verschillende soorten energie. Dit is te zien in tabel 2. De gegevens zijn tot stand gekomen op basis van gemiddelden per postcode-6 gebied. Tevens is op basis van de postcode-6 gebieden een onderscheid gemaakt tussen het dorp- en buitengebied. Vervolgens zijn ze omgerekend naar de eenheid TJ, zodat de verschillende grootheden op een gelijkwaardige manier met elkaar vergeleken kunnen worden.



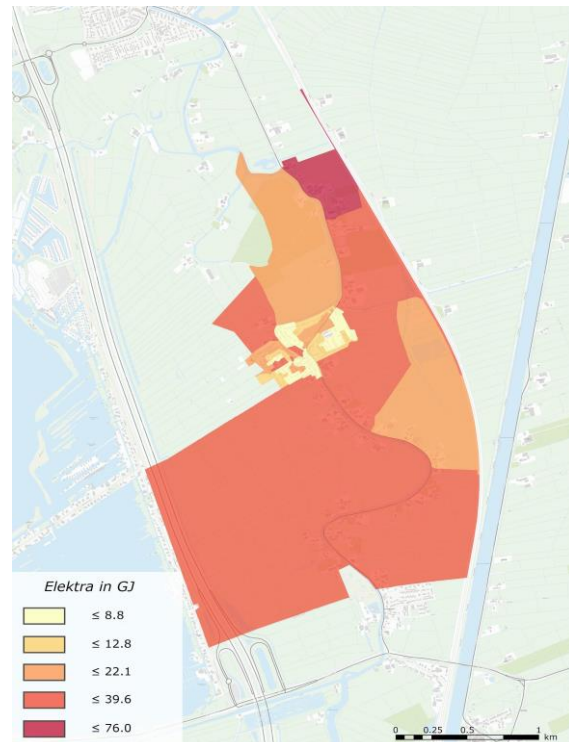
Figuur 9, Kaart met het aardgas verbruik in Baambrugge, Bron: (ArcGIS, 2019)

2.3.2 Elektriciteit

Overige vraag naar energie wordt voor het grootste deel opgevuld door elektriciteit, wat tevens via Stedin geleverd wordt. In figuur 10 is te zien hoe het elektriciteitsverbruik zich tot elkaar verhoudt.

Voor Baambrugge geldt dat de elektriciteitscentrale hoogstwaarschijnlijk afkomstig is van de Centrale Lage Weide/Centrale Merwedekanaal. Dit is niet echter duurzaam opgewekt en levert een bijdrage aan de CO₂-problematiek.

Ook deze data is tot stand gekomen op basis van gemiddelden per postcode-6 gebied. De gemiddelden van gas en elektriciteit zijn nagetrokken bij het CBS (CBSStatline, 2019) en daarna is de keuze gemaakt om met de hoogste waardes te rekenen. Zo kunnen verrassingen voorkomen worden.



Figuur 10, Elektriciteitsverbruik Baambrugge, Bron: (CBSStatline, 2019)

Tabel 2, Aardgas- en elektriciteitsverbruik Baambrugge, Bron: (CBSStatline, 2019)

2018	Baambrugge Dorp	Buitengebied	Totaal
Aardgas in TJ	29,0	11,3	40,3
Elektriciteit in TJ	7,0	6,1	13,1
Totaal in TJ	36,0	17,4	53,4

2.3.3 PV-panelen

PV is de afkorting voor Photo Voltaic-panelen, beter bekend als zonnepanelen. De panelen bevatten zonnecellen die zonlicht opvangen en omzetten naar stroom (Zonnepanelen Weetjes, 2019). In Baambrugge leverde een collectieve actie om op een goedkope manier PV-panelen in te kopen circa 600 PV-panelen op. Daarnaast hebben ook veel bewoners op individuele wijze een bijdrage geleverd aan verduurzaming of aan het verduurzamen door middel van PV-panelen.

Op basis van data van het CBS (CBSStatline, 2017) en onderzoek naar referentieprojecten binnen de woonplaats Baambrugge (zie tabel 3) is een zeer reële schatting gemaakt van het aantal PV-panelen. Hierbij is er gerekend met een correctiefactor van 0,85 in verband met de niet ideale ligging van de panelen en het aantal vollasturen. De data van het CBS is afkomstig uit 2017. Echter profileren Baambruggers zich als ware pioniers wanneer het gaat om duurzame innovaties. Dientengevolge zijn de ontwikkelingen in de periode na 2017 geen halt toegeroepen. Zo zijn er onder andere op het Dorpshuis PV-panelen gelegd (Zonopderondevenen, 2018) en heeft de woningcorporatie GroenWestWonen gekozen voor het verduurzamen van een drietal woonblokken (Weijerseikhout, 2018).

Tabel 3, Vermogen PV-panelen, Bron: (CBSStatline, 2017)

2018	PV-panelen			
	Opgesteld Ver. kW	Vermogen in Wp	Aantal panelen	Energie Jaarlijks in TJ
Tot. opgesteld P 2017	256	250	1024	0,8
Dorpshuis	57,8	278	208	0,2
GroenWestWonen	25,8	230	112	0,1
Totaal	339,6		1.344	1,1

2.3.4 Huidig energiesysteem

Met behulp van een Sankey-diagram (figuur 11) is het huidige energiesysteem weergegeven. De waarden hierin zijn gegeven in de eenheid TJ. De totale energievraag is 53.4 TJ, wat wordt onderverdeeld in de energiebronnen aardgas en elektriciteit. Aardgas is op dit moment de bron waar de meeste energie uitgehaald kan worden. De meeste maatregelen zullen hierop gebaseerd moeten worden. De maatregelen die op dit moment al getroffen zijn, de PV-panelen, zijn halverwege het diagram te zien. Echter heeft dit nog weinig invloed op de verduurzaming van het energiesysteem. Het vermogen van de PV-panelen wordt gelijk verdeeld over Baambrugge-Dorp en het buitengebied, omdat het op dit moment niet mogelijk is de exacte verdeling te bepalen.

Het grootste deel van de energie wordt in Baambrugge-Dorp gebruikt. Hier ligt dan ook de focus bij het opstellen van maatregelen.

2.3.5 Stromenanalyse huidige situatie (Sankey-diagram)



Figuur 11, Sankey-diagram Energie huidige situatie, Bron: (Sankeymatic, 2019)

Voor de grote versie zie bijlage 8

2.4 Maatregelen

De scenario's bevatten een aantal verschillende maatregelen om Baambrugge energieneutraal te maken. De gekozen maatregelen zijn geselecteerd uit een 14-tal maatregelen. Eerst is uitgezocht welke maatregelen het meest geschikt zijn voor Baambrugge. Dit is gedaan door Baambrugge te analyseren en op basis van die kennis een keuze te maken. Sommige maatregelen sluiten beter aan op de behoefte van Baambrugge dan andere. Belangrijke factoren zijn:

- De huidige isolatiewaarde van de woningen
- De afstand tussen de woningen, met name belangrijk voor het buitengebied
- De beschikbare hoeveelheid dakoppervlak
- De al genomen maatregelen
- Het doel in 2040

Dit is een greep uit de factoren. Stap voor stap is beschreven of een maatregel geschikt is. Ook is er een nadere toelichting per maatregel gegeven.

De geïnventariseerde maatregelen zijn een verzameling van de meest populaire middelen om energieneutraal te worden. Dit betreft maatregelen op systeem- en woningniveau. De gekozen maatregelen zijn:

- Na-isoleren
- Warmtepomp
- PV-panelen op de daken
- Zonnecollectoren op de daken
- Windenergie op land
- Windenergie op zee
- Zonnevelden
- Biogas (Methaangas)
- Riothermie
- Aanleggen van een warmtenet
- Warmte Koude Opslag (WKO)
- Geothermie
- Waterstof
- Energie uit de Angstel

Naar deze maatregelen is verder onderzoek gedaan. Het doel van dat onderzoek is het bepalen van de juiste maatregelen voor Baambrugge. De daaropvolgende scenario's bevatten dan ook alleen maatregelen die positief bevonden worden voor Baambrugge. Wanneer dit niet het geval is, is de maatregel niet opgenomen in de scenario's.

Mocht er een overschot aan maatregelen geschikt zijn voor Baambrugge, dan wordt er geselecteerd op de inpasbaarheid van de maatregel.

2.4.1 Na-isoleren

Na-isoleren is niks meer dan het toepassen van de eerste stap van de Trias Energetica, namelijk vraagbeperking. De huidige isolatiewaarde van de woningen in Baambrugge is bepaald door middel van het bouwjaar. Deze bouwjaar zijn verkregen vanuit de Basisregister Adressen en Gebouwen (BAG) (Kadaster, 2019). Het bouwjaar is in de meeste gevallen maatgevend voor de isolatiewaarde van de woning.

Gezien het huidige verbruik van Baambrugge is vraagbeperking een belangrijk component van de strategie. Zoals eerder vermeld, verbruikt Baambrugge 53,4 TJ aan energie per jaar. De opbrengst van PV-panelen is maar 1,1 TJ per jaar. Om ervoor te zorgen dat het gat zo klein mogelijk wordt, is vraagbeperking in de vorm van na-isoleren erg belangrijk en wordt daarom geadviseerd.

2.4.2 Warmtepomp

In Baambrugge zijn al meerdere warmtepompen geplaatst. Waar en hoeveel is lastig te zeggen, maar dat de mogelijkheid er is hebben deze bewoners dus al bewezen. Geadviseerd wordt een warmtepomp pas te installeren als er voldoende isolatie is aangebracht (TakkenKamp Isolatie, 2018). Voldoende isolatie houdt in dit geval in dat de warmtepomp het energieverlies van de woning bij kan houden. Een warmtepomp werkt het best als de isolatiewaarde voldoen aan de eisen van 1992 of later. (GreenHome, 2017)

De meeste woningen zijn gebouwd in de periode 1966-1995. Deze bouwperiode vereist na-isolatie als er een warmtepomp geplaatst moet worden. Dit betekent dat naast de kosten van de warmtepomp, de kosten van het isoleren er ook nog bijkomen. Voor een woning ouder dan 1925 is het prijziger. Deze woningen beschikken vaak niet over een spouw en er zal dus een isolatie aan de binnenkant van de woning gemaakt moeten worden. Dit is een dure en tijdsintensieve klus.

2.4.3 PV-panelen

Baambrugge beschikt over bijna 1350 PV-panelen (CBSStatline, 2018). Een aantal jaar geleden zijn er met de hulp van de initiatiefgroep Energiek Baambrugge 600 PV-panelen op de daken in Baambrugge gelegd. Het dorpshuis huisvest ook nog eens 208 PV-panelen. PV-panelen zijn daarmee niet zeldzaam in Baambrugge.

PV-panelen zijn een prima investering. Echter leveren ze niet genoeg energie op om echt het verschil te maken op systeemniveau. Alle PV-panelen bij elkaar opgeteld leveren maar 1 TJ op. Ook leveren deze PV-panelen stroom op de momenten wanneer er het minste vraag is naar stroom.

Op dit moment leveren de eigenaren van PV-panelen de opgewekte energie direct terug aan het net. Dit wordt vervolgens verrekend met de energierekening, kWh voor kWh. Deze salderingsregeling wordt na 1 januari 2023 afgebouwd (Rijksoverheid, 2019). Dit betekent dat de eigenaar van PV-panelen het overschot energie niet meer kWh voor kWh terug kan leveren. Dit maakt de businesscase voor PV-panelen een vraagteken voor de toekomst.

2.4.4 Zonnecollectoren op het dak

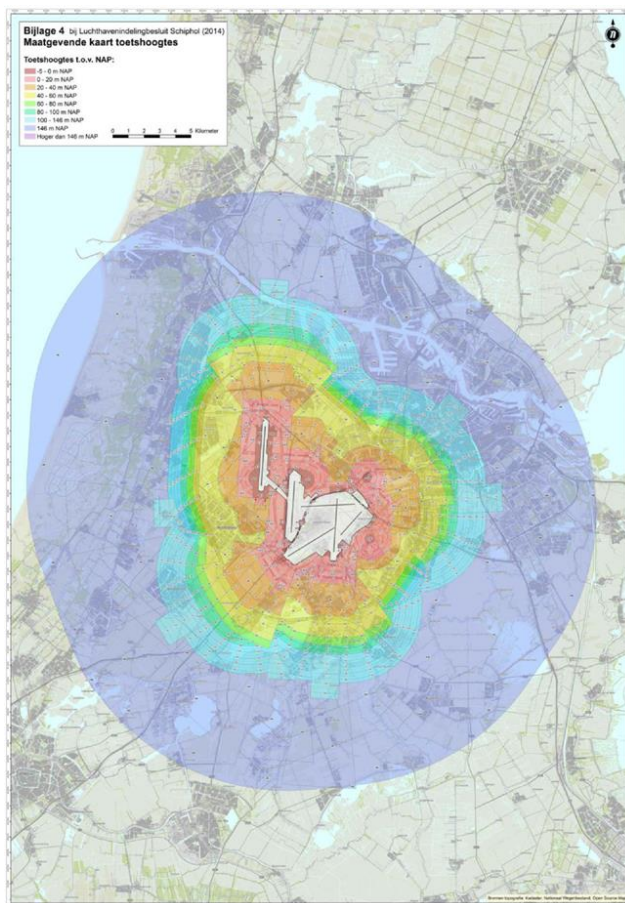
Zonnecollectoren zijn duurder dan PV-panelen, maar leveren warmte in plaats van elektriciteit. Dit betekent dat de energie uit zonnecollectoren bijvoorbeeld opgeslagen kan worden in een WKO. Zonnecollectoren kunnen ook de taken van een warmtepomp en boiler overnemen. Dit alles als de zon maar schijnt. Mocht de zon niet schijnen dan zijn deze apparaten wel nodig om het over te nemen.

In de basis zijn zonnecollectoren duurder dan PV-panelen (Zonnepanelen Weetjes, 2019). Echter kunnen zonnecollectoren in combinatie met een WKO de taken van een warmtepomp en boiler overnemen. Om deze redenen zijn zonnecollectoren een serieuze optie voor Baambrugge.

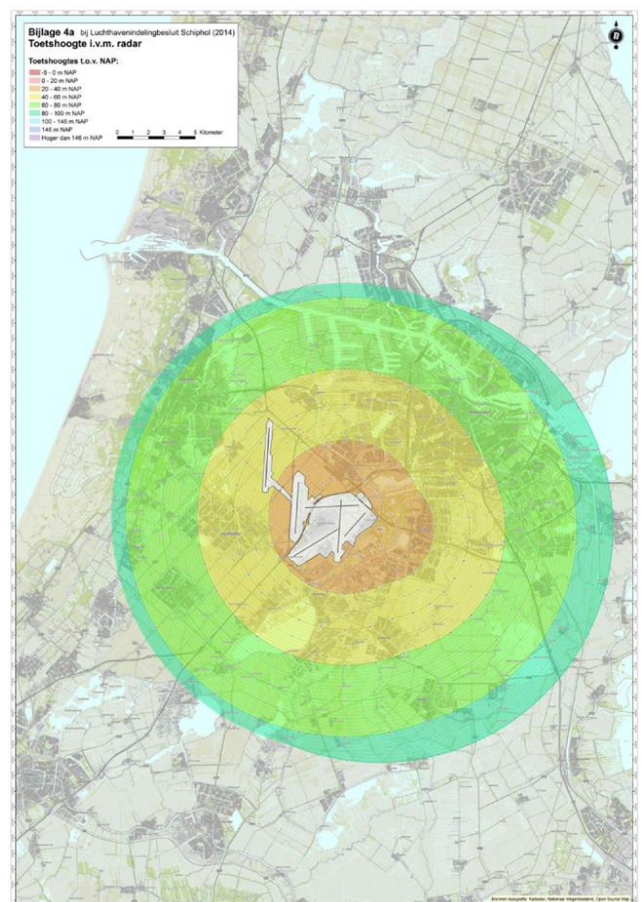
2.4.5 Windenergie op land

Windturbines bouwen in de omgeving van Baambrugge is ook een mogelijkheid. Het voordeel van windmolens is dat ze snel veel energie op kunnen wekken. Een windmolen van 3 MW wekt met 2075 vollasturen jaarlijks 22,4 TJ op (CBSStatline, 2018).

In figuur 13 zijn de bouwrestricties te zien met betrekking tot de radarhoogte van Schiphol. Figuur 12 laat hetzelfde zien, maar dan met betrekking tot de vlieghoogtes. Baambrugge valt op de rand van de restricties tot radarhoogte. Dit beperkt de bouw van een windmolen tot een hoogte van 100 meter NAP. In het noordwesten is dit zelfs 80 meter NAP. Er is voor een groot deel van Baambrugge geen hoogterestrictie met betrekking tot aanvliegroutes.



Figuur 13, Bouwrestrictiekaart



Figuur 12, Radarhoogtekaart

De maximale hoogte voor een windmolen in Baambrugge ligt dus op 100 meter NAP. Een 3 MW-windturbine heeft een as-hoogte van 80 tot 120 meter en een rotordiameter van 90 tot 120 meter. Dit betekent dat de grote van een 3 MW-windturbine ligt tussen de 125 en 180 meter (Windenergie gemeente Hardewijk, 2019).

Dit is niet mogelijk in verband met de radar hoogte van Schiphol. Hier zal dus uitvoerig over gesproken moeten worden. Realistisch gezien is energie uit wind snel en makkelijk te verdienen. Daarom zal de dialoog open moeten blijven voor windmolens in Baambrugge. Baambrugge ligt als enige in de gemeente De Ronde Venen op het randje van de restricties. Als er dus windmolens in de gemeente geplaatst moeten worden, is Baambrugge de meest geschikte plek. Omdat Baambrugge op de rand van de radarzone ligt, wordt een windmolen in de omgeving van Baambrugge wel meegenomen in de scenario's.

2.4.6 Windenergie op zee

Gezien de beperkte ruimte in Baambrugge en het draagvlak onder de bewoners kan wind op zee een uitkomst bieden. In het spoorboekje van de gemeente De Ronde Venen (Gemeente De Ronde Venen, 2018) wordt hier al op ingegaan. Het bouwen van windmolens op zee zal niet direct worden gedaan door de gemeente, maar er zal wel in geïnvesteerd moeten worden. Wind op zee kan wel degelijk een grote rol spelen bij het energieneutraal maken van Baambrugge.

Het bouwen van windturbines op zee heeft ook een keerzijde. Omdat de turbines op zee staan zal de energietransitie minder gedragen worden door de inwoners van Baambrugge. Een zichtbare

energietransitie zal het draagvlak vergroten. Dit beïnvloedt de bereidheid van inwoners om wel te investeren in duurzame maatregelen (Gemeente De Ronde Venen, 2018).

Omdat het bouwen van windturbines op land, omwille van het draagvlak en regelgeving, misschien niet mogelijk is, blijkt windenergie op zee wellicht een uitkomst. De huidige energievraag is te hoog om zonder windenergie op te vangen. Om die reden zal windenergie opgenomen worden in de scenario's.

2.4.7 Zonneveld

Op grote schaal zonnestroom opwekken kan door middel van een zonneveld of zonneweide. Omdat zonnevelden de horizon niet vervuilen maar wel op een duurzame manier energie opwekken lijkt dit een uitkomst. In de huidige situatie is alle grond in de omgeving Baambrugge in particulier of zakelijk bezit. Voordat er een zonneveld aangelegd kan worden, zal er dus eerst grond verkregen moeten worden.

De opbrengst van een eventueel zonneveld is 20 MW per 30 hectare. Hier is uitgegaan van 900 vollasturen per jaar (RES, 2019). Het is dus mogelijk om een zonneveld aan te leggen in de omgeving van Baambrugge. Hier zal wel grond voor beschikbaar gemaakt moeten worden. Om deze redenen zal het aanleggen van een zonneveld geen primaire maatregel zijn in de scenario's.

2.4.8 Biogas (Methaangas)

Als er wordt gesproken over biogas, gaat het over gas dat verkregen wordt uit het vergisten van biomassa. Dit biogas bestaat voor 60% uit methaan. Dit methaan kan verbrand worden om energie op te wekken. Biogas kan als vervanging voor aardgas gebruikt worden. Aardgas in Nederland bevat circa 90% methaan, dus de energiedichtheid van biogas is wel lager dan aardgas.

Naast methaan zitten in onverwerkt biogas ook andere stoffen, met name CO₂. Er kan ook stikstof vrijkomen. Als de juiste bacteriën aanwezig zijn, kan de stikstof in de vorm van ammoniak en stikstofoxides worden omgezet naar stikstofgas (N₂).

Er is berekend dat er uit de organische verbindingen in het rioolwater 15.560 m³ methaangas geproduceerd kan worden (Bijlage 6). In de waterzuivering worden organische verbindingen met aerobe en anaerobe bacteriën afgebroken om biogas te maken. Tijdens dat proces wordt er ook uit zwart water struviet gewonnen. Het bevat fosfaat en stikstof en is geschikt als meststof.

In Baambrugge zijn in totaal 1130 koeien (Edepot.wur, 2014). Deze koeien produceren mest wat gebruikt kan worden voor het produceren van biogas. Elke koe produceert 26 m³/jaar aan mest (Lans, 2019). 1 m³ mest is goed voor 25 m³ aan biogas. Dit geeft 734532,5 m³/jaar aan biogas. Met een methaanfractie van 60% geeft dit 440719,5 m³/jaar aan methaan. De energetische waarde van biogas is 35,9 MJ/m³ (Vreuls, 2006). Met het geproduceerde biogas kan 15,8 TJ per jaar geproduceerd worden. Dit is genoeg om 20% van de energievraag van Baambrugge te beantwoorden in 2040. Dit is echter alleen uit de mest van koeien. Koeienmest is door het hoge vochtgehalte goed om het vergistingsproces op gang te brengen, maar vergeleken met andere organische stoffen geeft het weinig methaan. Als andere organische stoffen, zoals kippenmest en plantaardig materiaal, worden toegevoegd kan er veel meer methaan geproduceerd worden. Kort gezegd: Door de koeienmest gaat de vergisting beter, terwijl andere organische stoffen voor een hoge methaanproductie zorgen.

Biogas kent ook nadelen. De omgeving die wordt aangesloten op methaangas is sterk afhankelijk van de boeren en hun koeien. Er zal dus ook een bepaalde hoeveelheid weiland beschikbaar moeten blijven voor de koeien. De omgeving rond Baambrugge wordt hierdoor niet gelijk in beton gegoten, maar veel weilanden vrijmaken voor woningen of andere vormen van bebouwing kunnen mogelijk niet meer vanwege de afhankelijkheid van biogas. Er zullen dan te weinig koeien zijn om de bio-vergister draaiende te houden.

2.4.9 Riothermie

Riothermie is een minder bekende manier van warmteproductie. Het principe is gefundeerd op het feit dat het riool warm is. In het geval van Baambrugge kan dit bij de waterzuivering toegepast worden. Door middel van Riothermie is het mogelijk 180.320 kWh/jaar op te wekken (Edepot.wur, 2014). Dit staat gelijk aan 0,6 TJ per jaar. Het aanleggen van een Riothermie-systeem is een kostbare investering. Er zullen meerdere buizen langs de riolering aangelegd moeten worden. Ook de straat zal dus opgebroken moeten worden (Arné Boswinkel (Agentschap NL), 2012). Gezien het lage rendement en de verwachte hoge kosten wordt riothermie als een niet-primaire maatregel bevonden voor Baambrugge.

2.4.10 Aanleggen van een warmtenet

Het aanleggen van een warmtenet in Baambrugge lijkt een goede oplossing om veel huizen zonder al te veel na isolatie te verwarmen in de toekomst. Net als bij riothermie zijn de kosten hoog. Dit heeft wederom te maken met het aanleggen van nieuwe leidingen en het openbreken van de wegen. Echter is er een groter obstakel voor het aanleggen van een warmtenet dan de kosten. Na een grondige inventarisatie is er geen geschikte bron in de omgeving gevonden om het net te verwarmen (Gemeente De Ronde Venen, 2018). Er zijn een aantal mogelijkheden zoals het gebruiken van biomassa, maar deze brandstof heeft ook nadelen. Biomassa is in principe snoeihout, maar gezien de schaarste van bomen in het gebied is de kans dat er genoeg biomassa beschikbaar is gering.

Omdat er in het gebied geen geschikte warmtebron te vinden is, is het aanleggen van een warmtenet geen ideale maatregel. Het aanleggen van een warmtenet zal dus niet opgenomen worden in de scenario's.

2.4.11 WKO-installatie

Een Warmte Koude Opslag functioneert als een batterij voor warmte. In de zomer kan er warmte in de opslag gestopt worden, om die er in de winter weer uit te halen. Op deze manier is het mogelijk de vraag en het aanbod in balans te krijgen. Dit vermindert de verspilling en optimaliseert de besparing van energie.

Een goede referentie voor wat mogelijk is met een WKO is het plan 'Nagele in balans'. Het ontwerp voor Nagele zet in op zonnecollectoren die het overschot aan warmte in de zomer in de WKO stoppen. In de winter wordt er gebruik gemaakt van dit opgeslagen warme water om de woningen te voorzien van warmte en tapwater. Het dorp Nagele bestaat uit 497 woningen. Dit is ongeveer even groot als Baambrugge. Op deze schaal is het dus mogelijk een WKO toe te passen om de warmtevraag op te lossen (Ad Hoogers [BOOM], 2018). Om deze redenen lijkt een WKO parallel te lopen met de wensen en behoeften van Baambrugge. Het installeren van een WKO zal om die reden opgenomen worden in de scenario's.

2.4.12 Geothermie

Geothermie wordt al op verschillende plekken in het kassengebied met succes toegepast. Echter zijn er nog geen dergelijke boringen gedaan in de omgeving van Baambrugge. Dit zorgt ervoor dat de kansen van geothermie nog lastig in te schatten zijn. Er wordt vanuit gegaan dat de mogelijkheden voor geothermie in de omgeving klein zijn (Gemeente De Ronde Venen, 2018). Staatstoezicht op de mijnen adviseert om voorzichtig om te gaan met geothermie. Er is nog weinig bekend over geothermie, dit betekent dat er risico's aan aardwarmte kunnen zitten waar nog weinig over bekend is. Dit zou in de toekomst voor problemen kunnen zorgen (Staatsoverzicht op de mijnen, 2019). De verwachting dat geothermie weinig kans heeft in Baambrugge en de voorzichtige houding van Staatstoezicht op de mijnen, maakt dat geothermie niet opgenomen is in de scenario's voor Baambrugge.

2.4.13 Waterstof

Er zal niet genoeg biogas zijn in Baambrugge om al het aardgas over te nemen. Er ligt dan ook een mogelijkheid voor waterstof. Waterstof komt niet zoals aardgas uit de grond, maar moet eerst

geproduceerd worden. Dit kan door middel van aardgas of elektrolyse (Egear, 2019). De tweede methode maakt gebruik van elektriciteit om waterstof te produceren. Er zijn verschillende pilots bezig in Nederland om waterstof te produceren door elektrolyse. Dit gas zal dan vervolgens gebruikt worden in de gebouwde omgeving. Deze pilots zijn nog klein en nog lang niet uit de ontwikkelfase (Dagblad Noorden). Waterstof kan naar verwachting een belangrijke rol spelen in de energietransitie. De vraag is wel of die plaats er vandaag al is of over 10 jaar, wanneer de ontwikkelfase is afgerond en het opschalen kan beginnen.

Wanneer waterstof in perspectief gezet wordt, schijnt waterstof niet zo geweldig te zijn als het wel eens wordt voorgehouden. Al het aardgas vervangen voor waterstof zorgt ervoor dat er 3.432.225 m³ waterstof nodig is voor Baambrugge. Dit heeft te maken met de energiewaarde van waterstof ten opzichte van aardgas. 1 m³ aardgas bevat 35,17 MJ aan energie terwijl 1 m³ waterstof maar 10,8 MJ bevat (Agentschap NL, 2012).

Verder komt waterstof zoals eerder gezegd niet uit de grond. Het maken van waterstof door middel van elektriciteit zorgt ervoor dat het rendement daalt. Het produceren van waterstof met behulp van elektrolyse gebeurt met een rendement van ongeveer 70%. Dit houdt in dat wanneer er 1 kWh aan elektrische energie in gaat, er 0,7 kWh aan waterstof uitkomt (Egear, 2019).

Baambrugge gebruikt jaarlijks 1.144.075 m³ aardgas, dit staat gelijk aan 40,3 TJ. Als aardgas overgenomen wordt door waterstof, komt er 17,3 TJ per jaar bij. Dit komt door het rendement voor de productie van waterstof. Het totaal komt dan uit op 57,6 TJ aan elektriciteit per jaar. Het opwekken van zoveel elektrische energie kan met windmolens. Er zullen minimaal 2 en een halve 3 MW windmolens nodig zijn om de benodigde energie op te wekken. Er is hierbij alleen rekening gehouden met het vervangen van aardgas en nog geen rekening gehouden met de elektriciteitsvraag van Baambrugge (CBSStatline, 2018). De volledige berekening staat in bijlage 4.

Vandaag de dag is de technologie nog erg kostbaar en nog niet op te schalen (Egear, 2019). Dit betekent dat andere maatregelen op het moment geschikter zijn voor Baambrugge dan waterstof. Waterstof is om die reden niet opgenomen in de scenario's.

2.4.14 Energie uit de Angstel

De Angstel stroomt en dit betekent dat er energie in zit. De vraag is alleen hoeveel dit is. Het bedrijf EQA-projects heeft een stuwdam ontwikkeld dat werkt bij een klein hoogteverschil (Middelweerd, 2018). 30 Centimeter is al genoeg om de dam te laten werken. Het vermogen van de dam zal dan uitkomen op 20 kW. Jaarlijks zal de gewonnen energie 0.17 MWh bedragen. Dit staat gelijk aan 0,6 TJ per jaar. Er zal in de toekomst 78,54 TJ geproduceerd moeten worden om Baambrugge van energie te voorzien. De 4,6 TJ van de dam zullen dan geen zoden aan de dijk zetten. Omdat het vermogen te wensen overlaat is deze maatregel niet in de beschreven scenario's opgenomen.

2.4.15 Conclusie maatregelen

Niet elke maatregel is geschikt voor Baambrugge. Dit heeft te maken met de geografie van Baambrugge, beschikbaarheid van de maatregelen, investeringen die nodig zijn om maatregelen te realiseren en de beschikbare ruimte in Baambrugge. Er zijn ook maatregelen die als geschikt uit de bus komen. Deze maatregelen zullen opgenomen worden in de twee te schrijven scenario's.

Tabel 4, Maatregelen Energie

Maatregel	Bruikbaarheid	Reden/motivatie
Na-isoleren	Zeer goed	Vraagbeperking is energie die niet geproduceerd hoeft te worden. Dit maakt het een goede investering
Warmtepomp	Goed	Is klimaatneutraal maar vereist veel elektrische energie
PV-panelen op de daken	Goed	Is geen dure investering maar levert in het totaalplaatje weinig op
Zonnecollectoren op de daken	Goed	Samen met een WKO is het mogelijk Baambrugge van warmte te voorzien
Windenergie op land	Matig	Levert veel energie op, echter stuit het bouwen van een windmolen vaak op veel weerstand
Windenergie op zee	Matig	Levert veel energie op. Mensen beleven de transitie niet omdat de windmolen ver weg staat
Zonnevelden	Matig	Levert weinig op voor het grote plaatje. Er is geen ruimte beschikbaar voor dergelijke velden
Biogas (Methaangas)	Goed	Er is veel methaangas in Baambrugge en het kan veel energie opleveren.
Riothermie	Slecht	Levert te weinig energie voor het werk wat er gedaan moet worden om het te realiseren
Aanleggen van een warmtenet	Zeer slecht	Is een goede oplossing, echter is er geen warmtebron in de buurt
WKO-installatie	Goed	Gaat geen warmte meer verloren, geen netverzwaring nodig. Vereist veel investering
Geothermie	Slecht	Is waarschijnlijk niet mogelijk in Baambrugge, SODM waarschuwt voor risico's
Waterstof	Slecht	Nog niet beschikbaar, veel energie nodig voor het produceren van waterstof
Energie uit de Angstel	Zeer slecht	Weinig energie te halen uit de Angstel, wat het insignificant maakt voor de transitie

2.5 Scenario 1

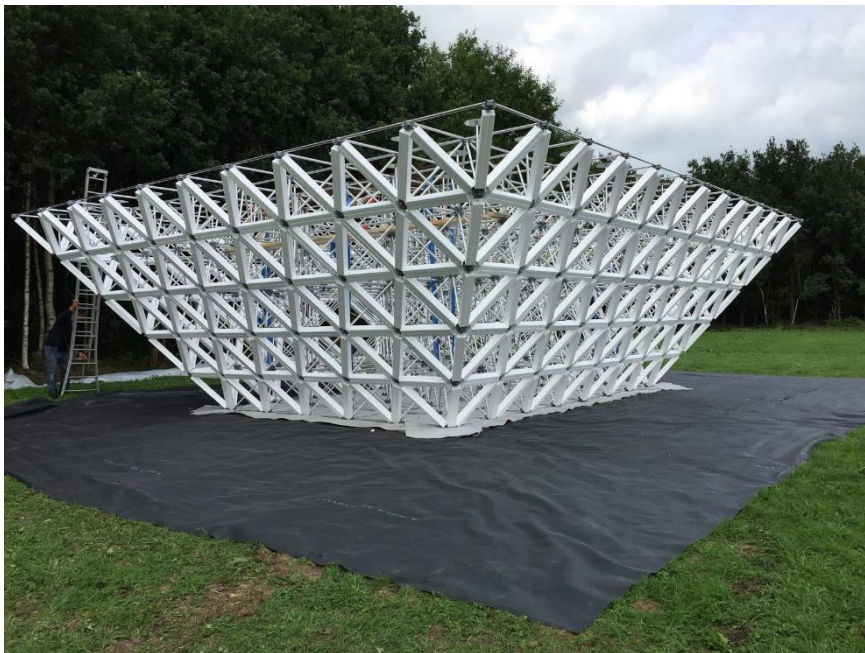
Scenario 1 is gebaseerd op het dorp Nagele. Dit dorp in de Noordoostpolder was in de jaren '50 het modernste dorp van Europa. Echter is er sinds die tijd weinig meer aan gedaan. Bekende architecten zoals: Gerrit en Jan Rietveld (nagele, 2019) hebben het Nagele van de jaren 50 ontworpen. Het dorp staat bekend om haar hofjes en platte daken. Het inwoneraantal en aantal huishoudens is vergelijkbaar met Baambrugge, waardoor de dorpen goed met elkaar te vergelijken zijn.

Eind 2017 schreef lokale Coöperatieve Vereniging Energiek Nagele een prijsvraag uit. De vraag had betrekking tot het energieplan van de toekomst. De winnaar van deze prijsvraag was het plan 'Nagele in Balans'. Gebaseerd op dit plan is het volgende scenario voor Baambrugge geschreven.

De warmtevraag van het dorp wordt dus opgelost aan de hand van een WKO-systeem en zonnecollectoren. Voor het buitengebied is een andere oplossing gekozen, namelijk biogas. Biogas is te produceren door middel van afvalwater en koeienmest. In dit scenario's zal het biogas geproduceerd worden met behulp van koeienmest. De elektriciteitsvraag voor het dorp en buitengebied zal opgelost worden met een windturbine van 3 MW, aan de rand van het gebied.

2.5.1 Nagele in balans

Het plan Nagele in balans lost de warmtevraag in Nagele op zonder netverzwaring, maar met een balanssysteem. Er is een systeem gevonden om de warmte gewonnen in de zomer, over te hevelen naar de winter wanneer het nodig is (Ad Hoogers [BOOM], 2018). Dit is gedaan door middel van een WKO-installatie. Deze installatie, bedacht door HoCoSto (HoCoSto, 2019) is de ruggengraat van het plan. HoCoSto staat voor Hot-Cold-Storage, letterlijk: warmte-koude-opslag. Deze WKO is uniek in zijn soort, omdat naar een gewenste maat gedimensioneerd kan worden. In figuur 14 is te zien hoe de WKO eruitziet.



Figuur 14, WKO, Bron: (HoCoSto, 2019)

Het skelet zal worden ingepakt en vervolgens worden ingegraven. Dit inpakken gebeurt met isolatiemateriaal, zodat de warmte overgedragen kan worden over langere periodes. Het ingraven van deze skeletten heeft wel ruimte nodig. Nagele is daar helemaal geschikt voor. De hofjes bestaan uit een groot groen grasveld met woningen eromheen. In deze grasvelden worden de skeletten ingegraven (HoCoSto, 2019).

2.5.2 De zonnecollectoren

De woningen in Nagele hebben allemaal een plat dak. Dit maakt het ideaal voor een WKO met zonnecollectoren. De collectoren zullen op de platte daken gelegd worden. Ze zullen in de zomer veel energie opwekken en het overschot hiervan afgeven aan de WKO. Het water in de WKO wordt verwarmd, zodat dit afgegeven kan worden aan de woningen wanneer hier vraag naar is. Om de WKO op temperatuur te houden is berekend dat er ten minste 20 m² aan zonnecollectoren per dak gelegd moet worden (Ad Hoogers [BOOM], 2018).

Het systeem in Nagele werkt zo goed omdat er genoeg ruimte op de daken is voor zonnecollectoren en genoeg groen is om de WKO in te graven. In Baambrugge is er voldoende ruimte om de WKO's in te graven. De weilanden aan de randen van het dorp zijn hier geschikt voor. Dakoppervlakte om genoeg zonnecollectoren kwijt te kunnen is er echter niet. De meeste woningen beschikken over 35 tot 40 m² dakoppervlak. De daken zijn schuin met dakkapellen en schoorstenen. Wanneer een woning een noord-zuid oriëntatie heeft, kan de helft van het dak gebruikt worden voor collectoren. De noordkant zal gezien de ligging bijna geen energie opleveren. Dit betekent dat niet altijd 20 m² gehaald zal worden. Om er toch voor te zorgen dat iedereen warmte heeft, is het mogelijk om collectoren op openbare gebouwen te leggen. Dit kan bijvoorbeeld op het dak van de school. Dit dak is plat wat betekent dat er veel panelen op gelegd kunnen worden.

2.5.3 Warmte Koude Opslag

In totaal beschikt de dorpskern van Baambrugge over ongeveer 500 woningen. Er zal naar alle waarschijnlijkheid meer dan één WKO nodig zijn om het dorp te verwarmen. Het is mogelijk dit te doen met één grote WKO, echter is dit niet wenselijk omdat er dan meerdere leidingen gelegd moeten worden. Voor een aansluiting van 50 woningen zijn de dimensionering van de WKO: 28x38x4. Er zal 4.256 m³ water in de WKO opgeslagen kunnen worden. Dit is voldoende om 50 woningen van warmte en tapwater te voorzien (Ad Hoogers [BOOM], 2018). Wanneer er meer woningen aangesloten worden op de WKO zal de maat van de WKO aangepast moeten worden. Het is daarnaast niet mogelijk na de aanleg van de WKO nieuwe woningen aan te sluiten. De capaciteit van de opslag is precies berekend naar het aantal woningen. Nieuwe woningen aansluiten betekent te weinig vermogen in de winter. Aan het einde van de winter zal de WKO dan leeg zijn.

De combinatie van WKO en zonnecollectoren zorgt ervoor dat het systeem in balans is. Er zal dus geen overschot aan warmte zijn in de zomer om in de winter te weinig te hebben. Er zal dus optimaal omgegaan worden met warmte. De WKO in de grond is een gesloten systeem. Dit betekent dat er geen grondwater in de WKO kan stromen.

Om ervoor te zorgen dat de woningen, die aangesloten zijn op de WKO, de installatie niet uitputten, is het van belang dat woningen geïsoleerd worden. De isolatiewaarde zal tenminste 80 kWh/m² moeten bedragen (Ad Hoogers [BOOM], 2018). Het gemiddelde woonoppervlak van een woning in Baambrugge is 150 m² (Buurtkompas, 2019). De gemiddelde isolatiewaarde voor een woning in Baambrugge is 100,9 kWh/m². Er zal dus nog na-geïsoleerd moeten worden bij meerdere woningen. De volledige berekening staat in bijlage 4.

Omdat op warm water niet gekookt kan worden zullen de fornuizen vervangen moeten worden door inductie platen. Het benodigde hoeveelheid extra elektriciteit is berekend in bijlage 4.

De woningen gebruiken in totaal 21,6 TJ voor warmte na het isoleren van de woningen en het er gekookt wordt op elektriciteit. In het dorp staan ongeveer 500 woningen, met ieder 150 m² woonoppervlak ² (Buurtkompas, 2019). De isolatiewaarde is 80 kWh/m². Dit houdt in dat er jaarlijks 21,6 TJ aan warmte uit de WKO zal komen. 20 m² aan zonnecollectoren per dak zorgen ervoor dat dit aan de vraag voldaan kan worden (Ad Hoogers [BOOM], 2018).

2.5.4 Transport van warmte

Het transport van de warmte zal gaan door middel van vacuümbuizen. Deze isolatiewaarde van vacuümbuizen is erg hoog door de vacuüm buitenlaag. De warmte geproduceerd door de collectoren is gemakkelijk en zonder veel verlies te verplaatsen naar de WKO en vervolgens weer naar de woningen. Er zullen dus twee stelsels nodig zijn, een systeem van de woningen naar de opslag en een systeem van de opslag naar de woningen. Het aanleggen van dit systeem is in de meeste gevallen te combineren met het aanleggen van de nieuwe riolering. Dit zal op termijn ook moeten gebeuren. (Ad Hoogers [BOOM], 2018)

2.5.5 Kosten en exploitatie

De kosten voor het aanleggen van de WKO, leidingen en zonnecollectoren worden geschat op € 19.750.000 voor 500 woningen exclusief BTW. Deze data komt uit het rapport Nagele in balans (Ad Hoogers [BOOM], 2018). De verdeling van de kosten staan aangeven in tabel 5.

Tabel 5, Investerings project Nagele, Bron: (Ad Hoogers [BOOM], 2018)

Investering	Per woning	Totaal
Bouwkundig	€ 8.000	€ 4.000.000
Warmtebuffer & installaties	€ 28.000	€ 14.000.000
Engineeringskosten	€ 500	€ 250.000
Bijkomende bouwkosten	€ 2.000	€ 1.000.000
Advies & begeleiding	€ 1.000	€ 500.000
Totaal indicatie investering en kosten	€39.500	€ 19.750.000

De keuze betekent wel dat er op sommige plaatsen niet geïnvesteerd hoeft te worden. Het verzwaren van het elektriciteitsnet is niet nodig en de bouwkundige kosten lopen, zoals bij een lage-temperatuur oplossing, niet de spuigaten uit.

Voor de gemeente kunnen er ook kansen liggen in het exploiteren van de WKO. Omdat de inwoners van Baambrugge aangesloten zijn op een collectief systeem komen ze binnen de warmtewet terecht. Deze wet is er om ervoor te zorgen dat de prijzen voor warmte binnen de perken blijven in een monopolypositie. Omdat de bewoners aangesloten zijn op een gesloten systeem is er geen concurrentie van andere energiemaatschappijen. De exploitant van de WKO en het warmtenet zou onredelijke prijzen kunnen vragen. Voor deze situatie is in 2013 de warmtewet in het leven geroepen (Overheid.nl, 2019).

De prijsbepaling van warmte gaat volgens het 'niet meer dan anders' principe. Consumenten van warmte betalen met een aansluiting op het warmtenet niet meer dan met een cv-ketel. Het ACM (Autoriteit Consument & Markt) bepaalt aan de hand van de huidige gasprijs, de prijs per GJ-warmte uit een collectieve warmtebron. De prijsbepaling voor 2019 is € 28,47 per GJ met de vaste kosten van €318,95 (Autoriteit mensen & markt, 2019)

Rekenvoorbeeld:

Een gemiddeld huishouden in Baambrugge dorp gebruikt 1.834 m³ aardgas per jaar (Stedin, 2019) (Vreuls, 2006). Dit staat gelijk aan 64.501,8 MJ.

64.501,8 MJ staat gelijk aan 64,5018 GJ.

De consument betaalt hiervoor € 1.836,37. Als de vaste bijdrage mee worden gerekend komt het totaal uit op: €2.155,32 per jaar inclusief BTW. Inclusief afschrijvingskosten.

1.834 m³ aardgas kost in 2019 ongeveer € 0,76 per m³ (Goedkoop energie en gas, 2019). Jaarlijks is dat dus € 1.393,84.

Het vastrecht is gemiddeld € 21,59 (Nibud, 2019).

Het totaal is dus €1.415,43 inclusief BTW. De afschrijvingskosten zijn nog niet meegerekend.

Onderaan de streep zullen de kosten voor de consument nauwelijks verschillen. Wanneer heel Baambrugge aangesloten wordt op de WKO gaat dat € 1.077.660 jaarlijks opleveren. Door de warmtewet wordt de exploitant verplicht nieuwe installaties te plaatsen als deze aan vervanging toe zijn. Deze kosten zijn daarmee niet voor de consument maar voor de exploitant (Overheid.nl, 2019).

2.5.6 Warmte in het buitengebied

Het gebruik van een WKO om energie op te slaan en te gebruiken als het nodig is, lijkt geschikt voor het dorp. Het buitengebied is minder geschikt voor een collectieve oplossing, omdat de bebouwing te ver van elkaar af staat. Om die reden is er gekozen voor een individuele oplossing voor de warmtevraag. Gezien de uitfasering van aardgas zal er gekozen moeten worden voor een andere verwarmers. Dit zou kunnen met elektriciteit en een warmtepomp, maar ook een ander soort gas is een oplossing.

2.5.7 Biogas voor het buitengebied

Het buitengebied staat zoals eerder gezegd voor een unieke uitdaging. De grote afstanden tussen de woningen en veehouderijen maken het lastig een collectieve oplossing te vinden. Echter lijkt biogas een uitkomst. Baambrugge huisvest ongeveer 1130 koeien (Edepot.wur, 2014). Deze koeien kunnen zorgen voor haar veehouders en bewoners van het buitengebied. Dit kan door middel van het vergisten van mest. Er ontstaat methaan bij de vergisting van mest, ook wel biogas in de volksmond.

In Baambrugge zijn er in totaal 1130 koeien (Edepot.wur, 2014). Deze koeien produceren mest en daar zit energie in. Elke koe produceert 26 m³/jaar aan mest (Lans, 2019). 1 m³ mest is goed voor 25 m³ aan biogas. Dit geeft 734532,5 m³/jaar aan biogas. Met een methaan fractie van 60% geeft dit 440719,5 m³/jaar aan methaan. De energetische waarde van biogas is 35,9 MJ/m³ (Vreuls, 2006). Met het geproduceerde biogas kan 15,8 TJ/jaar geproduceerd worden. Dit is behoorlijk significant voor Baambrugge. Het is mogelijk om ¼ van de energie gebruikt in Baambrugge te halen uit biogas. Aangezien het verbruik in het buitengebied gelijk zal blijven, is 11,3 TJ voldoende voor het buitengebied. Is er voldoende energie om door te blijven gaan op een vorm van gas.

De verhouding mest en organische reststoffen 85% om 15%. In Woudenberg is een dergelijke installatie gebouwd in 2016. Bij het opstarten van de installatie is er gekozen voor een verhouding waarin minder mest zat en meer organisch restafval. Omdat de het vergistingsproces snel onder controle was is de verhouding gewijzigd naar 85% om 15%. Ook in deze situatie bleek de installatie stabiel te functioneren (Rijksdienst voor ondernemend Nederland, 2017)

Voor het produceren van methaangas is ook organisch restafval nodig. Dit kan in de vorm van GFT afval en ander plantaardig afval. Dit afval kan gehaald worden uit Baambrugge en eventueel de omliggende dorpen van Baambrugge.

2.5.8 Transport

Het transporteren van dit methaangas kan door middel van het huidige aardgasnetwerk. Methaan is het hoofdbestanddeel van aardgas. Echter is het nog niet precies hetzelfde, methaan moet bewerkt worden voor het 'groengas' genoemd mag worden. Het bewerken van het methaan houdt in dat het gas gedroogd en gezuiverd moet worden. Dit verkregen groene gas mag het aardgasnetwerk in. De samenstelling van groengas is dan precies dezelfde als die van aardgas (Groen gas Nederland, 2019).

2.5.9 Kosten en exploitatie

Het centrale opslagpunt zal gebouwd moeten worden op het erf van een boer. Er zal dus gezocht moeten worden naar een veehouderij die mee zou willen werken aan dit project. Cruciaal is dat er bij deze veehouder draagvlak is om een bio-vergister te gaan bouwen.

In Woudenberg is een installatie gebouwd met een vermogen van 0,9769 MW. De kosten hiervan waren begroot op € 4.600.000. De werkelijke uitgaven bedroegen € 4.555.176 (Groen gas Nederland, 2019) paragraaf 3.3 van de link. De installatie van Baambrugge zal niet zo groot hoeven zijn. Een installatie met een vermogen van 0,392 MW volstaat voor het buitengebied van Baambrugge. In deze berekening is er uitgegaan van 8000 vollasturen (Rijksoverheid voor ondernemend Nederland, 2014). De berekening staat in bijlage 4. De verwachting is dus dat de kosten ook lager uit zullen vallen dan in Woudenberg. Omdat de installatie 60% kleiner is, wordt verwacht dat de kosten ook 60% lager uit zullen vallen. De kosten zullen dan uitkomen op € 1.822.070,4. Naar verwachting zullen de kosten uiteindelijk toch hoger dan € 1.822.070,4 uitvallen. Dit is te verklaren omdat van elementen uit de begroting van de vergister in Woudenberg niet 60% genomen kan worden. Elementen als 'vergunningen', 'procesanalyse', 'besturing en bekabeling', etc. zullen ook in de volledige vorm in de vergister van Baambrugge moeten komen. Om die reden is 60% een aanname en verder onderzoek zal nodig zijn naar de precieze kosten.

Er zijn mogelijkheden voor subsidie. De bio-vergister in Woudenberg heeft in totaal € 2.700.000 aan subsidie gekregen. De vergister in Woudenberg maakte aanspraak op SDE-subsidie en TKI- subsidie.

2.5.10 Windenergie in Baambrugge

De elektriciteitsvraag zal opgelost worden aan de hand van een windturbine van 3 MW. Omdat Baambrugge op de rand van het radargebied van Schiphol ligt zou dit echter net niet mogen. De radar hoogte staat een turbine van maximaal 100 meter toe. Maar omdat er in de gemeente De Ronde Venen verder geen betere plek is voor windenergie is gekozen voor een windturbine. Eén turbine is voldoende om de omgeving van Baambrugge van energie te voorzien, inclusief marge van 0,3 TJ.

Volgens het CBS heeft een windmolen op land gemiddeld 2075 vollasturen per jaar (CBSStatline, 2018). Dit resulteert in een jaarlijkse opbrengst van 6.225 MWh of 22,4 TJ. Dit is voldoende om de groei en het gebruik van elektriciteit tot 2040 op te vangen.

Bij het plaatsen van windmolens zal het elektriciteitsnet waarschijnlijk verzwakt moeten worden. Hier dient rekening mee gehouden te worden.

2.5.11 Locatie

Het plaatsen van een windmolen zal waarschijnlijk in het zuidoosten van de omgeving Baambrugge moeten. Dit zal zijn in verband met de radar hoogte van Schiphol. De maximale bouwhoogte in dit gebied is 100 meter. Een windmolen in het noordwesten van Baambrugge betekent een maximale bouwhoogte van 80 meter.

2.5.12 Kosten

De kosten van het bouwen van een 3 MW windmolen worden door verschillende bronnen geraamd tussen de € 2.500.000 en € 3.000.000 (Mondiaal nieuws, 2019), (Consult, 2009), (Vastelandsbond, 2019). Verder is het mogelijk aanspraak te maken op een SDE-subsidie.

2.5.13 Stromendiagram

Het stromendiagram is opgebouwd uit de verkregen data, dit is gecombineerd met huidige data van Stedin. Er is vanuit gegaan dat de elektriciteitsvraag groeit, dit komt door de extra elektrische auto's en inductie koken. De groei van elektrische auto's is beschreven in scenario 2. Het inductie koken in het dorp is ook afkomstig van deze data. Er is vanuit gegaan dat inductie koken 220 kWh per jaar kost. Dit resulteert in 0,4 TJ aan elektrische groei in het dorp (Milieu Centraal, 2019). De elektriciteitsvraag wordt opgevangen door een windmolen en PV-panelen die voldoende energie opwekken om het dorp en buitengebied te voorzien, ook in 2040. De elektriciteitsvraag is 23,2 TJ, de windmolen produceert 22,4 TJ per jaar en de PV-panelen 1,1 TJ. Samen is dit 23,5 TJ en dus precies genoeg.

In het buitengebied verandert er weinig, behalve de elektrische auto's zal de elektriciteitsvraag daar niet groeien. Het koken op biogas kost 0,3 TJ per jaar, dit komt voort uit de energetische waarde van methaan en de 150 huizen in het buitengebied (Vreuls, 2006). De volledige berekening in bijlage 4.



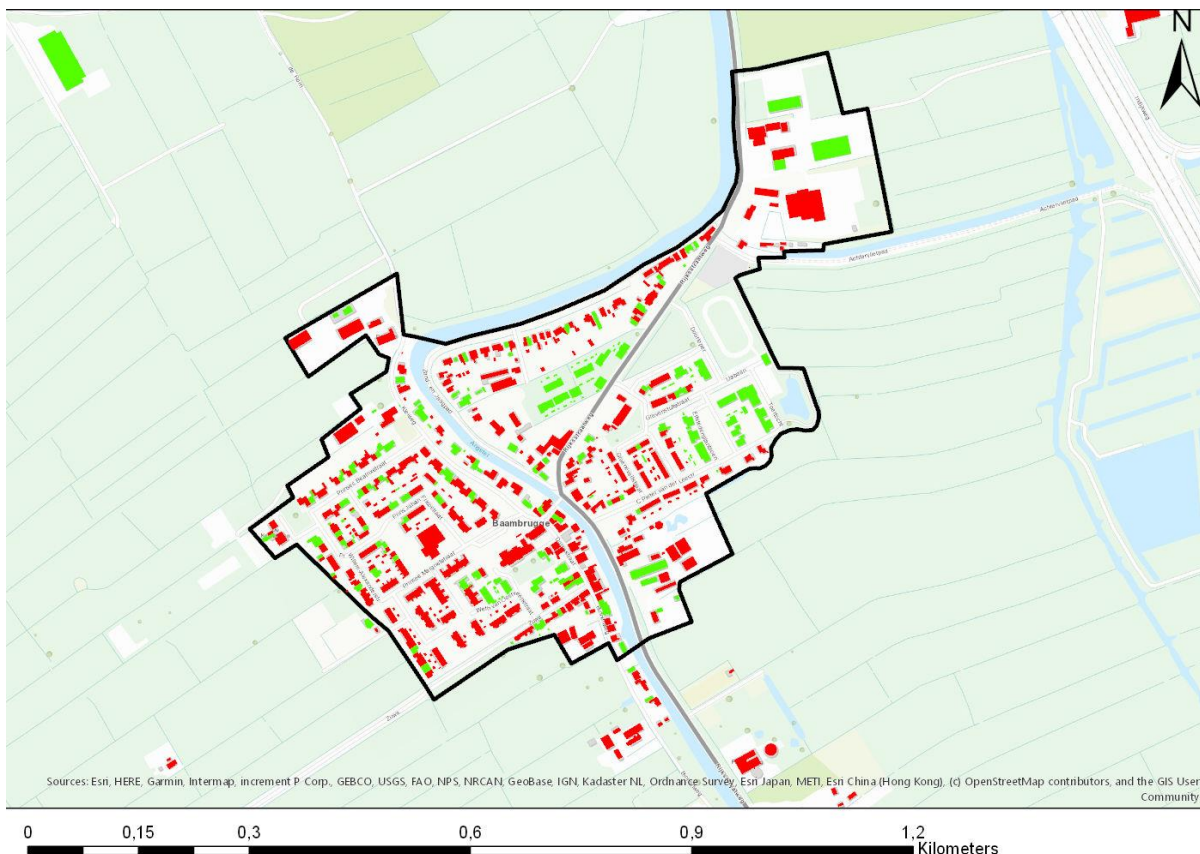
Figuur 15, Sankey-diagram Energie scenario 1

Voor de grote versie zie bijlage 8.

2.6 Scenario 2

In dit scenario is een tegenhanger van scenario 1 beschreven. Hier is door middel van uiteenlopende perspectieven een beeld geschetst van een energieneutraal Baambrugge. Waar in scenario 1 met name gebruik wordt gemaakt van collectieve maatregelen, ligt bij dit scenario vooral de focus op de individuele inzet.

Het isoleren van woningen is de fundamentele maatregel die getroffen moet worden, wanneer gekeken wordt naar de trias energetica. Dit is namelijk een manier om het energieverbruik te verlagen. Alle woningen die gebouwd zijn vóór 1992 moeten geïsoleerd worden als dat niet al gedaan is. Bij de woningen die in de kaart rood aangegeven staan (figuur 16), is isolatie waarschijnlijk noodzakelijk. De woningen in het groen zijn na 1992 gebouwd en voldoen al aan de eisen.



Figuur 16, Kaart bouwjaar woningen

2.6.1 Elektrische auto

De gemiddelde reisafstand die een bewoner uit Baambrugge aflegt, is vanuit twee verschillende perspectieven bepaald. Het (CBSStatline, 2017) geeft aan dat de gemiddelde reisafstand van een bewoner uit de gemeente De Ronde Venen 18.3 km is. Per jaar is dit ongeveer 6700 km. Echter is dit de afstand van woon-werkverkeer. Hier zit dus nog niet de overige reisafstand, zoals boodschappen en winkelen bij.

Daarom is gekeken naar provinciale data van autobezit en -gebruik. Op dit moment rijden er bijna 696.000 auto's rond in de provincie. Volgens de meest recente data van de provincie Utrecht wordt er per jaar ongeveer 7,3 miljard kilometer met de auto gereisd (CBSStatline, 2018) (13,1% van heel Nederland). Verdeel het aantal kilometers over het aantal auto's en dan blijkt dat er ruim 10.000

kilometer per auto wordt afgelegd. Dit wordt bevestigd door de data van het aantal afgelegde kilometers per persoon per jaar (CBS.Statline) (CBSStatline, 2017).

In 2040 zullen er naar schatting 900 elektrische auto's rondrijden in Baambrugge (Allecijfers, 2017a). Deze zullen gezamenlijk een afstand van 9 000 000 kilometer afleggen. Momenteel is het gemiddelde verbruik van een elektrische auto circa 0.3 tot 0.8 kWh/km (Bovag, 2019). Door toekomstige ontwikkelingen zal dit echter efficiënter zijn. Daarom is een verbruik van 0.3 kWh/km aangehouden, wat resulteert in een verbruik van 2 700 000 kWh per jaar = 9.7 TJ.

2.6.2 Elektrisch koken

Elektrisch koken is de voornaamste maatregel om van het aardgas af te komen. Dit is mede een individuele maatregel tot verduurzaming. Elektrisch koken wordt onderverdeeld in 3 verschillende typen (Milieu Centraal, 2019), namelijk inductie (175 kWh/jaar), keramisch (225 kWh/jaar) en elektrisch (260 kWh/jaar). Het gemiddelde hiervan is 220 kWh/jaar. Wanneer het totale aantal huishoudens van Baambrugge dit zou toepassen, geeft dit een berekening van 220×595 (CBSStatline, 2019) = 130 900 kWh/jaar. Omgerekend geeft dit een energieverbruik van 0.47 TJ.

2.6.3 LTV met warmtepomp

Wanneer huizen beter geïsoleerd worden, is het makkelijker om over te stappen op Lage Temperatuur Verwarming (LTV). De temperatuur van het aanvoerwater bij het gebruik van LTV ligt tussen de 35-55 graden. Bij een Hoge Temperatuur Verwarming ligt dit tussen de 75-85 graden. Bij een LTV treedt er dus minder warmteverlies op. Het kost immers minder energie om een woning op lage temperatuur te houden. Bij het toepassen van LTV is een minimale Rc-waarde van 2,5 nodig. In de praktijk wordt dit uitgevoerd in de vorm van vloerverwarming (Verwarminginfo, 2019).

Een LTV-systeem in combinatie met een warmtepomp is all-electric en sluit het beste aan bij de ambities van Baambrugge. Warmtepompen kunnen werken op basis van lucht- of bodemwarmte. Warmtepompen op basis van buitenlucht hebben een lager rendement dan warmtepompen die hun warmte uit de bodem halen. Dit verschil is dan ook terug te zien in het jaarlijkse energieverbruik, zoals te zien in tabel 6. (Warmtepomplein, 2019).

Tabel 6, Jaarverbruik warmtepompen, Bron: (Warmtepomplein, 2019)

Type Warmtepomp	Jaarverbruik
Warmtepomp o.b.v. buitenlucht	2500 kWh
Warmtepomp o.b.v. bodem	1800 kWh

Stel dat er geen warmtepompen aanwezig zijn in Baambrugge en alle huishoudens de keuze krijgen uit een van de hierboven weergegeven systemen. Bij de berekening wordt er ervanuit gegaan dat de verdeling dan circa 50/50 zal zijn. Daardoor kan met een gemiddelde van 2150 kWh/jaar gerekend worden. Voor alle 595 huishoudens (CBSStatline, 2018) zal dit op een verbruik uitkomen van ruim 1.3 miljoen kWh/jaar, omgerekend 4.6 TJ.

2.6.4 Riothermie

Baambrugge zal zelf energie moeten opwekken om aan de ambities te kunnen voldoen. Een van die bronnen op eigen gebied kan het riool zijn. Door middel van riothermie kan warmte gewonnen worden uit het afvalwater. Hiervoor is wel een gescheiden systeem van belang. In het hoofdstuk water zal de berekening uitgewerkt worden.

Uit de berekening komt naar voren dat het afvalwater als energiebron goed is voor ruim 180.000 kWh, 0,65 TJ. Deze energie is afkomstig uit het gescheiden rioolsysteem van Baambrugge-Dorp. De energie wordt terug geleverd binnen dezelfde grenzen.

2.6.5 Biogas (methaangas)

Daarnaast is biogas ook een energiebron die uit de riolering van Baambrugge gehaald kan worden. Wat er al bekend is, is dat er 15454 m³ biogas vrijkomt bij dit proces. Biogas kent een andere stookwaarde dan aardgas. Aan de hand van de omrekening van de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO), is berekend dat dit 0,36 TJ oplevert (Vreuls, 2006). Deze energie kan ingezet worden om utiliteitsgebouwen en gebouwen in het buitengebied te verwarmen.

2.6.6 PV-panelen

De huidige opbrengst van de ruim 1300 PV-panelen is 1.1 TJ. Naar schatting ligt het grootste deel hiervan op de daken in Baambrugge-Dorp, wat betekent dat de PV-panelen zo'n 15% van de daken bedekt.

Dit resulteert in een schatting van 500 woningen die zonder PV-panelen zitten, wanneer ervan uit wordt gegaan dat er geen zonnecollectoren op de daken liggen. Gemiddeld liggen er 8 panelen op een woning. In totaal zijn dit $8 \times 500 = 4000$ PV-panelen. In vergelijking met de huidige 1300 PV-panelen is dit een toename van bijna 300 %. In de nieuwe situatie resulteert dat dus in een opbrengst van 3.3 TJ per jaar.

2.6.7 Windenergie

De belangrijkste energiebron in dit scenario wordt gehaald uit windmolens. Een voor de hand liggende individuele maatregel is het plaatsen van een mini turbine bij elke woning. Aangezien de resterende energievraag erg hoog ligt, namelijk 57.4 TJ, is het uitvoeren van deze individuele maatregel niet voldoende.

Daarom is gekeken naar grotere windturbines. Er zijn veel verschillende soorten en maten beschikbaar. Een realistische grootte van een windturbine voor Baambrugge heeft een grootte van maximaal 25 meter, zoals te zien in figuur 17. Het vermogen wat deze vorm windturbine levert is 100 kW (windturbine-models, 2019). Het aantal vollasturen van windturbines is 2000 uur. Op jaarbasis levert dit dus 200.000 kWh op. Wanneer dit omgerekend wordt is dit $200\,000 \times (3.6 \times 10^{-6}) = 0.72$ TJ.

Dit betekent dat er in totaal $57.4 / 0.72 = 80$ windturbines van maximaal 25 meter nodig zijn om de energievraag van Baambrugge in 2040 te volbrengen. In de praktijk zal dit toegepast moeten worden in de vorm van een windmolenpark, waar het buitengebied van Baambrugge ruimte aan zou kunnen verlenen.

Bij scenario 1 is de opbrengst van een middelgrote windturbine van 3 MW beschreven, die een hoogte van 100 meter bereikt. Volgens het CBS draait een windturbine 2075 vollasturen per jaar (CBS, 2018). Dit geeft een jaarlijkse opbrengst van 6225 MWh = 22.4 TJ. Om bij dit scenario aan de toekomstige energievraag te voldoen, moeten er 3 windturbines geplaatst worden. Dit neemt aanzienlijk minder ruimte in beslag dan een windmolenpark met kleinere windturbines. De 3 windturbines wekken in totaal $22.4 \times 3 = 67.2$ TJ op. Dit betekent dat er $67.2 - 57.4 = 9.81$ TJ terug geleverd kan worden aan het net, maar kan ook omgezet worden in bijvoorbeeld waterstof. Dit kan meegenomen worden bij eventueel vervolgonderzoek.

Een laatste mogelijkheid is het plaatsen van een 8 MW-windturbine op externe locatie, bijvoorbeeld in een polder of op zee. Een vermogen van 8 MW en 2075 vollasturen geeft een totale opbrengst van 59.8 TJ per jaar. Wanneer voldaan moet worden aan de energievraag in 2040 is het plaatsen van één windturbine van 8 MW op externe locatie genoeg.



Figuur 17, Model windturbine (wind-turbine-models, 2019)

2.6.8 Stedin

In dit scenario wordt Baambrugge erg zelfvoorzienend. Dat betekent dat er onderaan de streep voldoende energie opgewekt wordt, maar dat er situaties met overschotten en tekorten kunnen ontstaan. Dit zou opgelost kunnen worden door de energie op eigen locatie op te slaan, bijvoorbeeld Power to Gas, stadsaccu's of zelfs elektrische auto's als stadsaccu. De andere mogelijkheid is het terug leveren van de energie, hier is echter wel een verzwaring van het net voor nodig.

2.6.9 Verbruik aan de hand van Spoorboekje gemeente De Ronde Venen

De basis van het energieverbruik in 2040 is het huidige energieverbruik, minus de afgesproken energiebesparing van 35%. Echter komen hier nog nieuwe verbruikers bij die als vervanging voor het fossiele brandstof dienen. De belangrijkste verbruikers die zijn berekend zijn de elektrische auto, het elektrisch koken en het verwarmen door middel van een warmtepomp.

Naast de al dan niet nieuwe verbruikers zijn er ook nieuwe energiebronnen. In 2040 kan er gebruik gemaakt worden van riothermie, biogas en meer PV-panelen. Deze zullen de energievraag echter niet volledig kunnen invullen en zullen er dus ook windmolens ingezet moeten worden. In tabel 7 is een opsomming weergegeven van de toekomstige situatie.

Tabel 7, Toekomstige situatie energie verbruik en productie

Verbruikers	Energie (in TJ)	Producenten	Energie (in TJ)
Algemeen	34.7	Riothermie	0.65
Auto	9.7	Biogas	0.36
Koken	0.5	Panelen	3.3
Warmtepomp	4.6	Windmolen	n.t.b.
Totaal	49.5	Totaal	≥ 49.5

Om deze data te verifiëren is ook gekeken naar de data die de gemeente De Ronde Venen geeft in het spoorboekje (Gemeente De Ronde Venen, 2018). Aan de hand van een percentage van de warmte- en elektriciteitsvraag is er een verwacht verbruik van 61,7 TJ vastgesteld. Dit is in tabel 8 weergegeven.

Tabel 8, Energiebalans Baambrugge, Bron: (Gemeente De Ronde Venen, 2018)

Energie Balans	Energie per jaar
Warmtevraag	807 TJ
Elektriciteitsvraag	1251 TJ
Totaal Gemeente De Ronde Venen	2058 TJ
Baambrugge (3% van totaal)	61.7 TJ

Zoals eerder benoemd is rekening gehouden met de hoogste getallen. Daarom zullen de berekende waarden van de gemeente De Ronde Venen nageleefd worden bij het opstellen van het Sankey-diagram.

2.6.10 Stroomdiagram



Figuur 18, Sankey-diagram Energie scenario 2

Voor de grote versie zie bijlage 8

3 Water

3.1 Inleiding

Een van de meest belangrijke grondstoffen voor leven op aarde is water. De wereld bestaat voor 70% uit wateroppervlakte en om precies te zijn is er op aarde 1400 miljoen km³ water. Toch zijn er tekorten aan bruikbare waterbronnen. Van al het water op aarde is slechts 2,59% zoet water. Daarvan is een groot gedeelte (2%) opgeslagen in ijskappen en gletsjers. De rest van de zoetwatervoorraad op aarde is grondwater (0,592%) of direct beschikbaar als water in meren en rivieren dit bedraagt maar 0,014%. Daaruit blijkt dat er maar een heel klein gedeelte water op aarde gebruikte kan worden voor het gebruik als drinkwater. Om de komende jaren dus geen tekorten te krijgen op het gebied van drinkwater moeten de watersystemen meer toekomstbestendig gemaakt worden. (Lenntech, 2019)

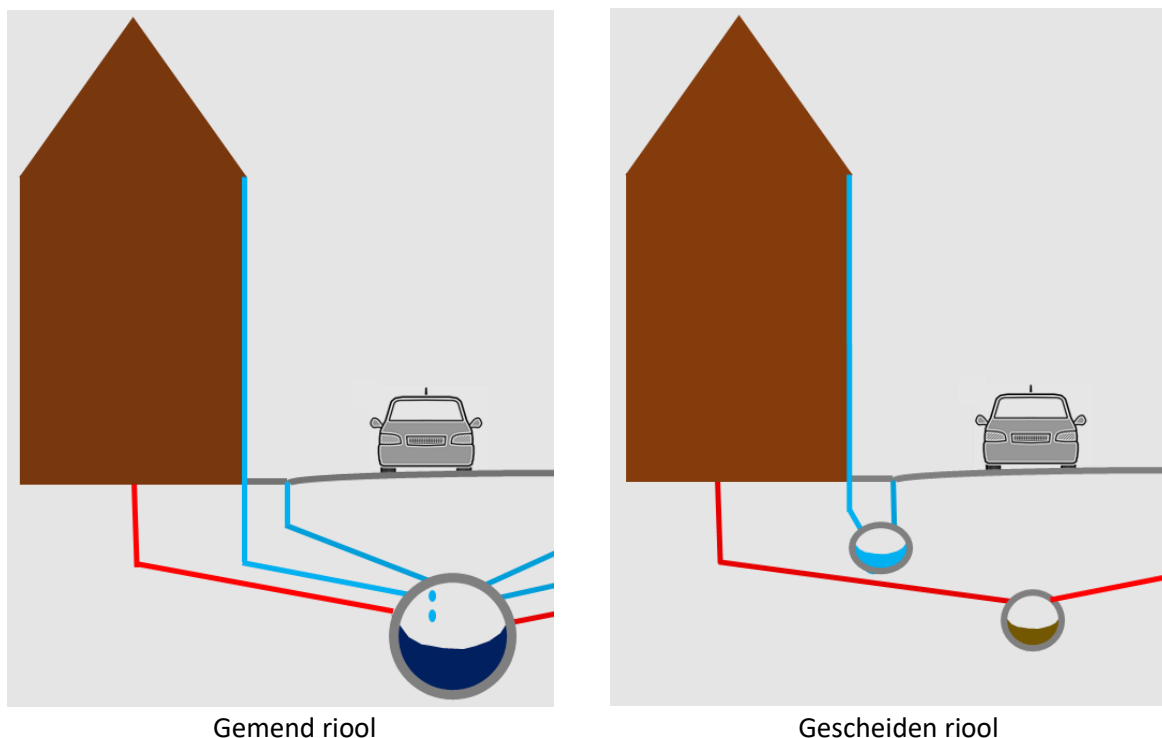
Voor Baambrugge zijn de huidige watersystemen en waterstromen geanalyseerd en in kaart gebracht in dit hoofdstuk.

3.2 Rioolsysteem

3.2.1 Inleiding

In Nederland zijn er twee soorten rioolsystemen die het meest worden toegepast. In het grootste gedeelte van Nederland ligt een gemengd systeem onder het straatoppervlak. Dit is de oudste van de twee vormen met het nadeel dat het schone hemelwater van zowel de grondverhardingen als van daken via kolken en buizen in het rioolsysteem terecht komt. Ondergronds lozen deze buizen allemaal op één grote (betonnen) buis waar ook het vuile afvalwater uit de woningen in terecht komt. Het schone en vuile water worden gemengd en dit mengsel van water wordt vervolgens naar de rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI) geleid en gezuiverd.

Dit betekent dat al het relatief schone hemelwater eigenlijk onnodig wordt gezuiverd. Het gevolg is dat de zuiveringsinstallatie overuren maakt en dus meer energie verbruikt, tijdens een hevige regenbui. Als hemelwater niet gemengd en vervuild wordt met afvalwater, maar gescheiden van afvalwater wordt verwerkt, kan het relatief schone hemelwater hergebruikt worden of gewoon naar het oppervlaktewater stromen. Een ander nadeel is dat bij een korte maar zeer intense regenbui, die de komende jaren steeds vaker voor gaan komen, het rioolsysteem dit water niet snel genoeg naar de zuivering kan leiden. Hierdoor blijft het water op straat staan met alle gevolgen van dien. Terwijl wanneer al het water wegstroomt naar een nabijgelegen oppervlaktewater in de buurt, dit zorgt voor een mindere belasting op het riool en staat de straat niet blank. Om die reden wordt de laatste jaren bij nieuwbouw en reconstructieprojecten automatisch een gescheiden riolering geplaatst. Deze vorm van riolering is veel minder belastend voor het RWZI en is ook klimaat adaptief. Voor een schematische weergave van de twee rioleringssystemen, zie figuur 19.



Figuur 19, Schematische weergave riolsystemen, Bron: (Linkedin, 2019)

Baambrugge heeft grotendeels (77%) een gemengd riolsysteem het resterende gedeelte (23%) is gescheiden. Het gescheiden systeem ligt zoals verwacht in de straten die de laatste jaren zijn bijgebouwd. Het vuile afvalwater wordt vervoerd naar het RWZI Loenen ten zuiden van Baambrugge. In Baambrugge ligt ook een enkele drukverbinding, dit zijn buizen met een kleinere doorsnede waar de vloeistof onder druk door wordt vervoerd (Kikker, 2019). Een overzicht van het rioolstelsel is te vinden in bijlage 7.

3.2.2 Oppervlaktewater

In hoofdstuk 1.3 zijn alle vormen van waterlichamen om Baambrugge al weergegeven zoals te zien in figuur 3. Van de nabijgelegen stromende waterlichamen zijn de volgende gegevens bekend (tabel 9).

Tabel 9, Gegevens Rivieren nabij Baambrugge, Bron: (Waterinfo, 2019)

Waterlichaam	Gemiddelde verlaagde afvoer	Gemiddelde afvoer	Gemiddelde verhoogde afvoer
Amsterdam-Rijnkanaal	< 800 m ³ per seconde	800-3.500 m ³ per seconde	3.500 > m ³ per seconde
Angstel	< 3 m ³ per seconde	3-5 m ³ per seconde	5 > m ³ per seconde

Deze waardes kunnen mogelijk helpen bij het zoeken naar oplossingen op het gebied van water, maar ook mogelijk bij het kijken naar een vorm van energie opwekken.

3.3 Drink- en afvalwatersysteem

3.3.1 Inleiding

Exacte data van drinkwaterverbruik en afvalwaterproductie is gebruikelijk niet openbaar. Opvragen van data bij drink- en afvalwater-bedrijven is niet in redelijke termijn te regelen. Daarom wordt er met kengetallen gewerkt om het drinkwaterverbruik en afvalwaterproductie te bepalen. Om een goede inschatting te maken voor de toekomstige drinkwatervraag is onderzoek gedaan naar hoeveel deze zal groeien tussen nu en 2040. In een onderzoek van het RIVM komt naar voren dat er 3 scenario's zijn voor de ontwikkeling van de drinkwatervraag (RIVM, 2015).

Het trendscenario, waar de vraag naar drinkwater zich ontwikkelt op een vergelijkbare manier als nu, en een maximaal en minimaal groei scenario voor de vraag naar drinkwater. In het trendscenario groeit de vraag met ca. 3%. In het maximale scenario groeit deze met 30% en in de minimale situatie daalt de drinkwatervraag tot ca. 15%. Naar verwachting zal de vraag ca. 3% stijgen. Deze stijging wordt gezien als verwaarloosbaar klein. Daarom wordt dit niet meegenomen in de berekeningen voor de toekomstige drinkwatervraag en blijft de drinkwatervraag in principe gelijk. Afwijkingen kunnen plaatsvinden als er een bevolkingsgroei of krimp plaatsvindt in Baambrugge. In dit onderzoek wordt er van het trendscenario uitgegaan. Omdat ca. 3% een laag en onzeker getal is, wordt deze niet meegenomen in de berekeningen.

Voor het bepalen van drinkwater worden een aantal aannames gedaan:

- 1 Liter drinkwater = 1 liter afvalwater. In het verslag wordt een schema voor de afvalwaterproductie gebruikt. Men gaat ervan uit dat 1 liter afvalwater door 1 liter drinkwater wordt veroorzaakt.
- Er is 1 uitzondering op de eerste aanname, namelijk boerenbedrijven. Het drinkwater dat koeien consumeren wordt namelijk geen afvalwater.
- Er wordt geen rekening gehouden met al getroffen maatregelen om water te besparen.
- Het drinkwater verbruik tussen 2019 en 2040 verandert niet.

3.3.2 Samenstelling afvalwater

Grijs en zwart water

Bij het onderzoek wordt er onderscheid gemaakt tussen grijs en zwart water. Grijs water ontstaat in de keuken, wastafel, bad/douche en wasmachine. Zwart water komt van toiletgebruik. Grijs water bevat vaak resten van wasmiddelen en is minder vervuild dan zwart water. Zwart water bevat meer stikstof, fosfaat en vaak medicijn resten. De verschillende type vervuilingen zijn van belang in het zuiveringsproces. Er zijn ook bepaalde duurzame maatregelen die specifiek werken voor één van de twee stromen. Het is daarom belangrijk om onderscheid te maken tussen grijs en zwart water. Bij het berekenen van de samenstelling van het afvalwater worden de volgende aannames gedaan op basis van literatuur van Riool (2019) en Waternet (2019). Bij huishoudens komt zwart water uit toiletspoelen (tabel 10). Bij boerenbedrijven komt dit van het schoonspoelen van de stal (tabel 11). Er kunnen namelijk resten van feces van koeien op de grond liggen. Het spoelwater van de melktank en melkwinninginstallatie wordt gezien als grijs water vanwege de vervuiling van schoonmaakmiddelen en etensresten (melk). Dit geeft de volgende uitgangspunten:

- Afvalwater is voor ca. 31% zwart water en 69% grijs water voor huishoudens en bedrijven.
- Afvalwater van melkveehouderijen is voor 25% zwart water en 75% grijs water.

Functie	Verbruik[l/dag]	Deel [%]
Douche	44,2	41%
Toilet	32,7	31%
Wasmachine	12,9	12%
Wastafel	4,9	5%
Afwassen met de hand	3	3%
Afwasmachine	2	2%
In bad gaan	1,6	1%
Kleding wassen hand	1	1%
Drinken	0,8	1%
Eten koken	0,8	1%
Overig	3	3%
Totaal	107	100%

Tabel 10, Waterverbruik verschillende huishoudensactiviteiten, Bron: (Waternet, 2016)

Afvalwater melkveehouderij	m ³ /jaar	(Rund)veehouderij
Melkwinning installatie	284,5	67%
Melktank	34,5	8%
Melkstal	107,5	25%

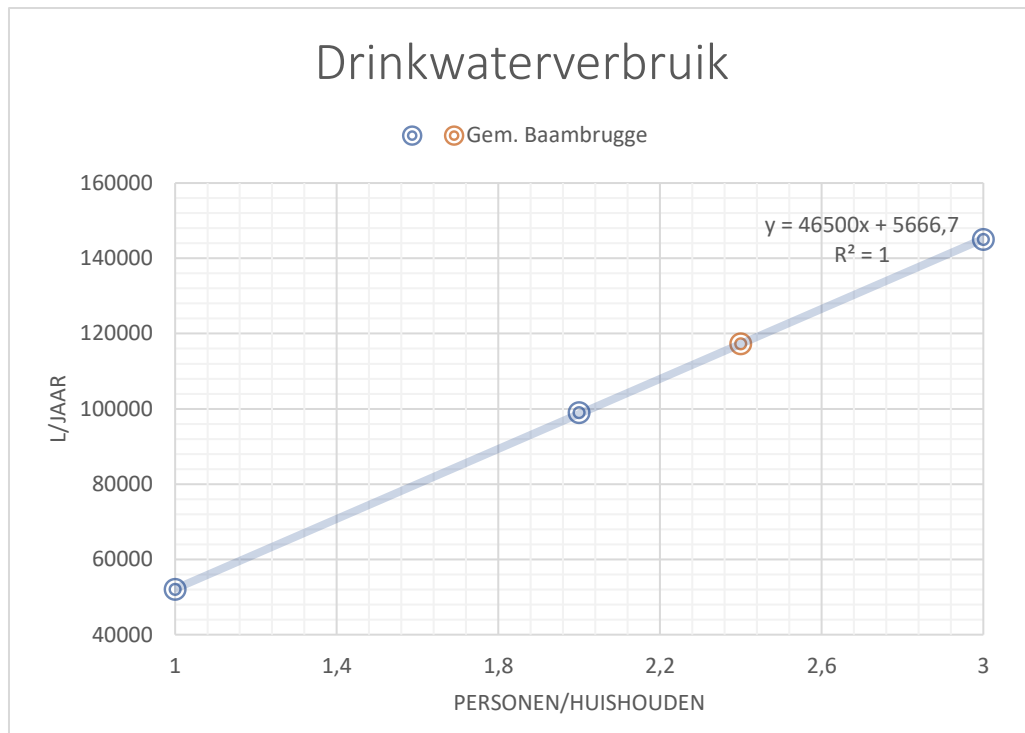
Tabel 11, Afvalwater van veehouderijen, Bron: (Waternet, 2019)

3.3.3 Huishoudelijk water

Voor de berekeningen van het huishoudelijk water zijn een aantal aannames gedaan. De gebruikte data zijn afkomstig van Allecijfers (2017) en Waternet (2019).

- Er zijn 2,4 personen per huishouden.
- Een huishouden van 2,4 personen heeft een drinkwaterverbruik van 118.000 liter/jaar.

Voor het bepalen van het drinkwaterverbruik van huishoudens zijn gegevens van de databank "Allecijfers" over het aantal huishoudens in Baambrugge en het gemiddeld aantal mensen per huishouden. Hieruit is vastgesteld dat er in Baambrugge 560 huishoudens zijn en 2,4 personen per huishouden (Allecijfers, 2017a). Daarna is met data van waternet vastgesteld dat een huishouden van 2,4 personen gemiddeld 118.000 l/jaar verbruiken (Waternet, 2019) (figuur 20). Door het aantal huishoudens te vermenigvuldigen met het drinkwaterverbruik van een huishouden van 2,4 personen wordt het totale drinkwaterverbruik vastgesteld. In totaal wordt er rond de 65.700 m³/jaar geproduceerd door alle huishoudens in Baambrugge.



Figuur 20, Grafiek drinkwaterverbruik, Bron: (Waternet, 2016)

3.3.4 Bedrijfs- en industrieel water

Bedrijfsafvalwater is afkomstig van bijzondere bebouwing zoals winkels, eetgelegenheden, scholen enz. Er wordt niet met het totaal aantal bedrijven gewerkt omdat veel bedrijven vanuit huis werken en dus al in het huishoudelijk water zijn meegenomen. Bij drink- en afvalwater van bedrijven maakt men onderscheid tussen landbouw en andere bedrijven omdat de maatregelen voor het besparen van drinkwater verschillen met die van andere (Lv.vlaanderen, 2019).

Bedrijfspanden

- Er zijn 25 bedrijfspanden in Baambrugge dorp en buitengebied.
- Gemiddeld heeft elk bedrijfspand 4 werknemers.

Om in kaart te brengen hoeveel water bedrijven gebruiken, wordt een schema gebruikt afkomstig van riool.net (Tabel 12). Het is belangrijk om te benoemen dat het drinkwaterverbruik bij landbouw hoger is dan de afvalwaterproductie. Als iemand thuis werkt wordt dit niet meegenomen in het waterverbruik van bedrijven maar in die van huishouden. De beladingsgrondslag in tabel 12 is de voornaamste factor in het waterverbruik. Daarom wordt aan de hand van de hoeveelheid van deze factor het totale waterverbruik bepaald. Het waterverbruik per aantal beladingsgrondslagen staat in de derde kolom in liter per uur.

Na berekeningen viel op dat in verhouding melkveehouderijen samen een veel groter aandeel hadden in de afvalwaterproductie dan andere bijzondere bebouwing. In de 4^{de} kolom staat aangegeven welke aantallen er voor ieder type bijzondere bebouwing is gebruikt. In de 5^{de} kolom staat de totale afvalwaterproductie per jaar. Bij elkaar produceren de bedrijven in bijzondere bebouwingen 15.603 m³/jaar.

Type bijzondere bebouwing	Beladingsgrondslag	l/h	Aantal	m ³ /jaar
Hotels	Bed	10 tot 40	0	0
Restaurants	Werknemers	50	15	6575
Cafés	Werknemers	25	0	0
Bejaardencentrum	Bewoners + personeel	15	0	0
Scholen	Leerlingen	2 tot 3	108	2367
Droge bedrijven en industrieën	Werknemers	6	100	5260
Recreatieparken of vakantiebungalows	Bewoners	10	0	0
Camping	Kampeerders	5	4	175

Tabel 12, Watergebruik bedrijven en overige, Bron: (CUWVO, 1995)

Restaurants

Er zijn bij de berekeningen 3 eetgelegenheden meegenomen. Café-restaurant de Punt, Pino Pizza en cafeteria 't bruggetje zijn eetgelegenheden. De verwachting is dat deze eetgelegenheden rond de 5 werknemers hebben per bedrijf.

Scholen

Er is in Baambrugge 1 grote basisschool gevonden, Basisschool Ichthus. Via (Allecijfers, 2017) is vastgesteld dat er 108 leerlingen op deze school zitten.

Werknemers

Het aantal werknemers is geschat. Er zijn rond de 21 bedrijven met bedrijfspanden gevonden via Google Maps. Er wordt vanuit gegaan dat een aantal bedrijfspanden gemist worden, dus wordt een schatting gemaakt dat er 25 bedrijfspanden zijn. Er is onderzocht hoeveel werknemers de bedrijfspanden hebben, maar dit kon vaak alleen geschat worden. Gemiddeld waren er rond de 4 werknemers per bedrijfspand. Met 25 panden geeft dit 100 werknemers.

Camping

Er is een camping aan de grens van Baambrugge genaamd 'Camping 't Riviertje'. Er zijn 15 plaatsen beschikbaar. Het wordt vooral bezocht door 50+ en jonge gezinnen. De camping is rond de 165 dagen op van half april tot september. Met cijfers van CBS van vorig jaar 2018 en dit jaar 2019 is de bezettingsgraad gemiddeld 57% (CBSStatline, 2018). Dit is gemiddeld 8,5 gast op iedere open dag. Met 165 dagen open geeft dit rond de 1.400 gasten per jaar. Dit staat gelijk aan circa 4 gasten die het hele jaar door drinkwater verbruiken.

3.3.5 Agrarische sector

In Baambrugge zijn een aantal boeren actief. Het gaat specifiek over melkveehouderijen. De melkveehouderijen gebruiken drinkwater voor het drinkwater van koeien en als spoelwater van melkmachines en stallen. Vaststellen hoeveel water boeren verbruiken is lastig, omdat elke boerderij anders is. Het uiteindelijke resultaat voor het drinkwaterverbruik en de afvalwaterproductie zal daarom een grove schatting worden. Om de schatting zo goed mogelijk te kunnen maken worden de volgende uitgangspunten gebruikt:

- Er zijn 24 boeren. Er wordt vanuit gegaan dat dit allemaal melkveehouderijen zijn.
- 1 melkveehouderij verbruikt 2.200 m³/jaar drinkwater en produceert 750 m³/jaar aan afvalwater (Zie methode).
- Gemiddeld aantal hectare per melkveehouderij is 29 ha grasland met gemiddeld 47 koeien (Met 24 boeren 1.130 koeien) (PDOK, 2019) en (Dierenwelzijnslessen.groenkennisnet, 2015).
- Een koe drinkt 100 liter per dag (Dierenwelzijnslessen.groenkennisnet, 2015).
- Spoelwater van melkmachines en stallen wordt uitsluitend geloosd op het riool.

Bij veel van de bijzondere bebouwing zijn er genoeg vormen van data om het drinkwaterverbruik vast te stellen. Dit werkt echter niet voor de 24 melkveehouderijen in het buitengebied van Baambrugge. De afvalwaterstroom alleen is niet genoeg, die moet met andere bronnen berekend worden. De uitkomst voor het drinkwaterverbruik en de afvalwaterproductie verschilt echter per bron. Daarom wordt data verzameld uit 4 verschillende onderzoeken om met meer zekerheid de totale hoeveelheid drinkwaterverbruik vast te stellen. De berekeningen staan hieronder uitgelegd per onderzoek.

Feiten en cijfers over de Nederlandse Veehouderijsectoren

Een gemiddeld melkveebedrijf heeft 97 koeien en 60 hectare grond. Dit geeft circa 1,3 koeien per hectare. Als men ervan uit gaat dat de koeien dezelfde hoeveelheid ruimte hebben als bij dit gemiddelde, kan het aantal koeien in het buitengebied van Baambrugge geschat worden. Hiervoor wordt het aantal hectare grasland gebruikt. Van de 703,3 ha landbouwgrond is 699 ha grasland. Uitgerekend kom dit uit op circa 1130 koeien. Iedere koe drinkt gebruikelijk 100 liter water per dag. 1130 koeien drinken samen rond de 41275 m³/jaar. (Melkveebedrijf, 2019)

Afvalwaterproblematiek melk (rund)veehouderij

In Werkgroep VI is onder andere beschreven hoeveel afvalwater een melkveehouderij gemiddeld produceert. Een melkveehouderij produceert per jaar tussen de 146 tot 822 m³/jaar per bedrijf. Voor berekeningen wordt gebruik gemaakt van een waarde in het midden, 630 m³/jaar per bedrijf. Met 24 boerenbedrijven geeft dit 15.120 m³/jaar aan afvalwater. (CUWVO, 1995)

Water besparen in kleine stappen

In het magazine staat beschreven dat een melkveehouderij van 100 koeien 5.000 m³/jaar drinkwater verbruikt. 67% is drinkwater voor koeien en 33% is spoelwater voor stallen. Met 24 bedrijven geeft dit 12.000 m³/jaar met 80.400 m³/jaar aan drinkwater voor koeien en 39.600 m³/jaar spoelwater. (Cappellen, 2014)

Ontwerpgrondslagen

Volgens een schema van het CUWVO produceert een melkveehouderij 72 tot 100 liter per uur aan afvalwater, spoelwater. Als men voor de berekening de waarde in het midden nemen, geeft dit een afvalwaterproductie van 86 l/h. Omgerekend is dit 754 m³/jaar per bedrijf. Met 24 bedrijven geeft 18.093 m³/jaar aan afvalwater. (CUWVO, 1995)

Vergelijken waardes

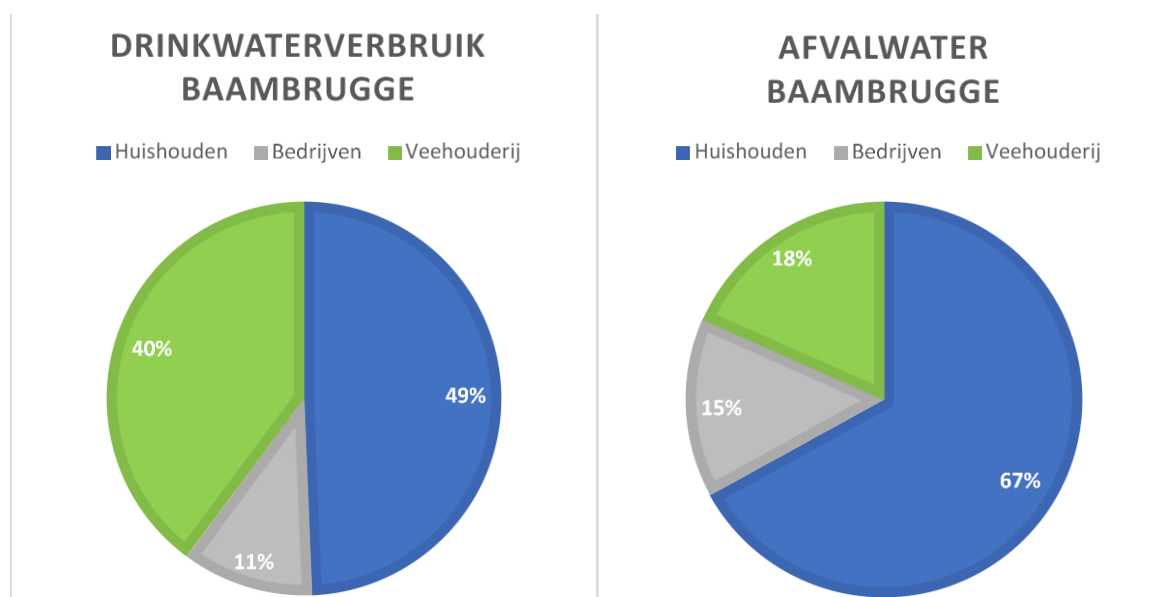
Veel van de onderzoeken geven informatie over drinkwater voor koeien of afvalwater door spoelen. Dit maakt het vergelijk van de waardes lastig. Daarom wordt gekeken of de ontbrekende waardes geschat kunnen worden aan de hand van de verhouding tussen het drinkwater van de koeien en het spoelwater. Aan de hand van gegevens van (Lv.vlaanderen, 2019) uit Vlaanderen is vastgesteld dat rond de 69% van het drinkwaterverbruik voor veehouderijen opgaat aan drinkwater voor koeien en 31 % aan spoelen van stal en melkinstallaties. Uit het onderzoek van 'Water besparen in kleine stappen' (Cappellen, 2014) komt 67% van de drinkwatervraag door drinkwater voor koeien en 33% van spoelwater van melk installaties en stallen. Aan de hand van deze cijfers is besloten dat 1/3 van het drinkwaterverbruik spoelwater is en 2/3 drinkwater voor koeien. Als hier mee gerekend wordt komt er voor ieder onderzoek de vogelende hoeveelheden (tabel 13). 'Water besparen in kleine stappen 2014' lijkt een uitschieter. Deze is 2 keer zo hoog als de rest. Als de data van de 3 andere onderzoeken met elkaar wordt vergeleken De waardes liggen rond ca. **35.000 m³/jaar voor het drinkwater van de koeien en 18.000 m³/jaar voor spoelwater**, samen **53.000 m³/jaar totaal**. Omdat de spreiding vrij hoog is wordt niet met exacte waardes gewerkt en met deze afgeronde waardes.

Tabel 13, Drinkwater koeien, Bron: (Cappellen, 2014), (CUWVO, 1995) en (Melkveebedrijf, 2019)

	Drinkwater koeien [m ³ /jaar]	Spoelwater [m ³ /jaar]
Feiten en cijfers over de Nederlandse veehouderijsectoren 2018	41.275	20.638
Afvalwaterproblematiek melk (rond)veehouderij 1995	30.240	15.120
Water besparen in kleine stappen 2014	80.400	39.600
Ontwerpgrondslagen riool.net	36.186	18.093

3.3.6 Overzicht drinkwater en afvalwater

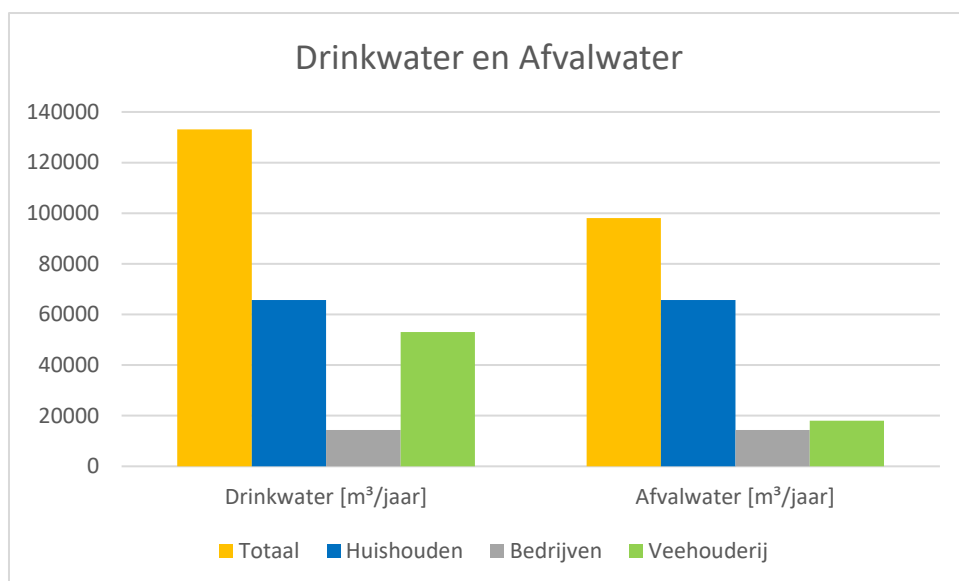
Het drinkwaterverbruik in Baambrugge is in totaal 133.046 m³/jaar en de afvalwaterproductie is 100.000 m³/jaar (Tabel 14 en figuur 21 en 22). De agrarische sector is verantwoordelijk voor het grootste aandeel van het drinkwaterverbruik met 53 000 m³/jaar. Een groot deel van het drinkwaterverbruik komt door drinkende dieren. Dit water wordt geen afvalwater. Dit zorgt ervoor dat het aandeel aan afvalwaterproductie voor de agrarische sector in verhouding juist laag is. Hier zijn de huishoudens verantwoordelijk voor 2/3 van het afvalwater.



Figuur 21, Drink- en afvalwaterverbruik Baambrugge

Tabel 14, Drink- en afvalwaterverbruik Baambrugge

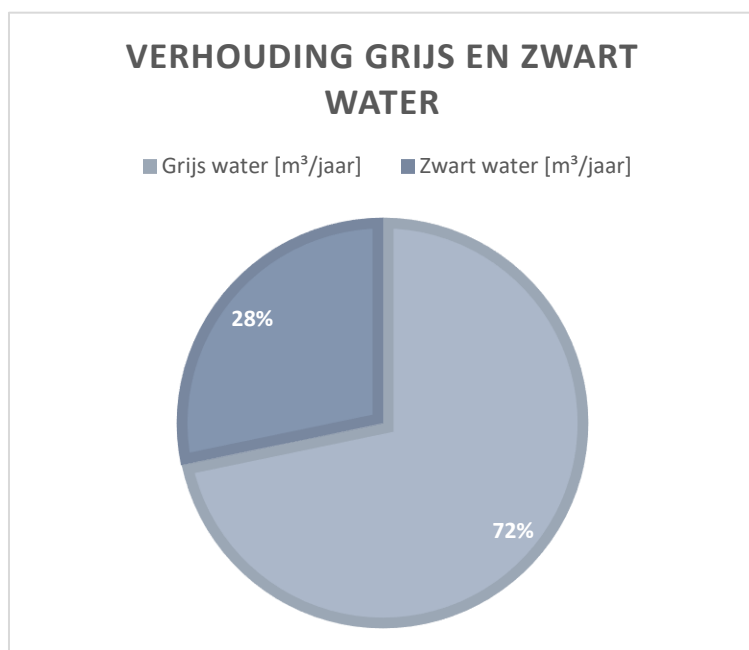
	Drinkwater [m ³ /jaar]	Afvalwater [m ³ /jaar]
Huishouden	65.669	65.669
Bedrijven	14.376	14.376
Veehouderij	53.000	18.000
Totaal	133.046	98.046



Figuur 22, Drink- en Afvalwaterverbruik Baambrugge

Verdeling afvalwater

Het afvalwater van Baambrugge is onder te verdelen in grijs en zwart afvalwater (zie figuur 23). Al het afvalwater bestaat voor 28% uit zwart water en voor 72% uit grijs water. Het afvalwater van de huishoudens en bedrijven voor 31% uit grijs water en 69% zwart water. Het afvalwater van boeren bevat 25% zwart water en 75% grijs water. Gemengd geeft dit een percentage zwartwater tussen de 31% van de huishoudens en de 25% van de melkveehouderijen (Uitleg: afvalwaterproductie, grijs & zwart afvalwater).



Figuur 23, Verhoudingen grijs en zwart water

3.4 Hemelwatersysteem

Water stroomt op verschillende manieren het dorp binnen: oppervlaktewater, drinkwater, grondwater en als hemelwater. Het hemelwater is een belangrijke schakel in de watercyclus van een stedelijk gebied. Hemelwater komt in alle vormen voor: sneeuw, hagel en regen of terwijl; neerslag. Als deze neerslag in de buitengebieden eenmaal op de bodem valt zal dit nagenoeg direct in de grond infiltreren of via het oppervlaktewater wegstromen. In de verharde gebieden is dit echter een stuk lastiger. Door de verharding is het moeilijk voor de neerslag om in de grond te infiltreren, zeker bij grote buien in een korte tijdspanne kan dit bijvoorbeeld waterschade veroorzaken.

Het huidige hemelwatersysteem is in bijna heel Nederland nu vooral gericht op het zo goed mogelijk afvoeren van hemelwater. Op die manier kunnen hevige regenbuien zo min mogelijk overlast voor bewoners veroorzaken. Het afvoeren van hemelwater gebeurt op verschillende manieren, namelijk: 'infiltreren (eventueel vertraagd), afvoeren (riool, watergangen en groenvoorzieningen), verdamping en hergebruik'. De laatste, hergebruiken, wordt nog maar minimaal toegepast. Het meeste hemelwater wordt afgevoerd wat zonde is omdat het relatieve schone water uit de lucht goed gebruikt kan worden voor andere doeleinden. Daarnaast veroorzaakt dit in verouderde wijken met een gemengd rioolstelsel een extra belasting van het riool en de RWZI.

Om het watergebruik in Baambrugge toekomstbestendig te maken is eerst in beeld gebracht hoeveel de totale bijdrage van het hemelwater in het gehele watersysteem is. Daarom is in dit hoofdstuk zoveel mogelijk gekeken naar wat er gebeurt met het hemelwater.

3.4.1 Neerslag Baambrugge

Om te zien hoeveel hemelwater er in Baambrugge binnenkomt is er met behulp van het KNMI (2015) de gemiddelde neerslag gevonden. Deze hoeveelheden zijn de maandelijkse gemiddeldes gemeten over 29 jaar (tot 2015). De hoeveelheid neerslag in Baambrugge is in mm te zien in tabel 15. Daaronder staan de hoeveelheden van Nederland (KNMI, 2015)

Tabel 15, Neerslagcijfers Nederland tegenover Baambrugge, Bron: (KNMI, 2015)

Maand	Jan	Feb	Mrt	Apr	Mei	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
Neerslag Baambrugge Totaal: 884 mm	75	58	73	46	59	70	80	84	83	87	85	84
Neerslag Nederland Totaal: 790 mm	67	59	55	43	58	65	80	81	70	72	67	73

Het regent dus gemiddeld 10,6% meer in Baambrugge dan gemiddeld in Nederland. De gemiddelde neerslag per jaar in Baambrugge bedraagt namelijk 884 mm. Voor 2040 wordt verwacht dat deze hoeveelheid alleen maar stijgt. Niemand weet precies wat er gaat gebeuren op het gebied van neerslag. Wat wel duidelijk is dat de hoeveelheid zal stijgen dit wordt veroorzaakt door de temperatuur. Het verwachte scenario voor 2040 is dat de algehele temperatuur met 2°C zal stijgen (Cassandraclub, 2013). Volgens (KNMI) zorgt deze temperatuurstijging ervoor dat de neerslag hoeveelheid in 2040 met zo'n 7% zal stijgen (KNMI, 2011). Daardoor zou de neerslaghoeveelheid in Baambrugge in 2040 jaarlijks 946 mm bedragen (zie tabel 16).

Tabel 16, Jaarlijkse neerslag Nederland en Baambrugge

Jaar	Jaarlijkse neerslag in mm
1986 tot 2015	884
2040 (voorspelling)	946

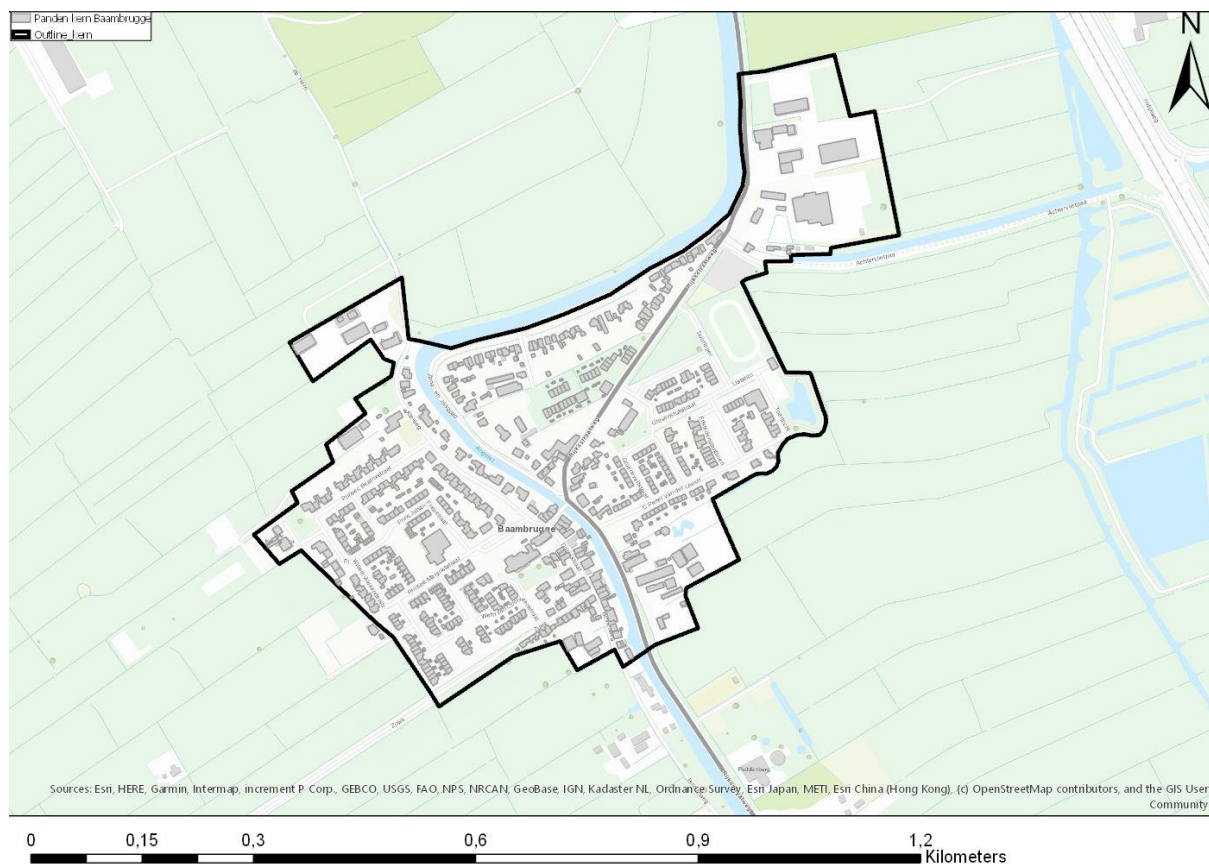
Aangezien de maatregelen voor 2040 gemaakt zijn worden de voorspelling van 946 mm per jaar gebruikt in de berekeningen die volgen.

3.4.2 Waterhuishouding Baambrugge

Als hemelwater uiteindelijk in contact komt met het landoppervlak zijn er vier verschillende manieren dat het hemelwater verwerkt kan worden:

1. Infiltratie
2. Verdamping
3. Afvoer naar het oppervlaktewater
4. Afvoer naar het Rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI)

Om dit te kunnen berekenen zal eerst in kaart gebracht moeten worden hoeveel m³ op welk terrein valt. Bij het berekenen en in kaart brengen van de waterhuishouding van Baambrugge is het belangrijk dat dit wordt gedaan voor het dorp. Dit is omdat bijna het hele buitengebied onverhard is. Bij een percentage verhard/onverhard zou het verhardingspercentage richting de 1% gaan. Dit geeft een vertekend beeld, daarom is de waterhuishouding gespecificeerd tot het gebied zoals het in figuur 24 te zien is.



Figuur 24, Berekende gebied hemelwater, Bron: (ArcGIS, 2019)

Het buitengebied wordt in de waterhuishouding niet meegerekend dit is ook groot en deels overbodig, omdat al het hemelwater wat in het buitengebied valt, door infiltratie en verdamping verdwijnt. Het infiltreren wordt echter wel bemoeilijkt zoals eerdergenoemd vanwege de klei/veen grond. Het gedeelte dat niet infiltreert/verdampst zal door het oppervlaktewater afgevoerd worden.

Voor het gebied zoals in figuur 24 is hieronder een schema (tabel 17) te zien waarin verschillende oppervlaktes duidelijk gemaakt worden. Dit schema is met behulp van ArcGIS Pro, BAG en BGT opgesteld.

Tabel 17, Verhard en onverhard Terrein Baambrugge (drop), Bron:(KNMI, 2015)

Terrein	Oppervlakte in m ²	Hoeveelheid water in 2040 in m ³	Percentage van het totaal in %
Daken & bebouwing	55.020	52.049	17,1
Overig verhard (Verkeer/tuinen)	134.308	127.055	41,6
Totaal verhard oppervlak	189.328	179.104	58,7
(Groen/tuinen/plantsoen)	119.930	113.454	37,0
Oppervlaktewater	12.935	12.237	4,3
Totaal onverhard	132.865	125.691	41,3
Totaal	322.193	304.795	100

Aan de hand van tabel 17 hierboven kan berekend worden hoeveel m³ hemelwater op welke van de vier wegen wordt verwerkt.

3.4.3 Infiltratie/verdamping

De eerste manier van het hemelwater verwerken is het infiltreren in de grond en het verdampen in de lucht. Deze processen zijn een onderdeel van het natuurlijke watersysteem op de aarde. Om te kunnen berekenen hoeveel water er infiltreert en verdampst is het belangrijk om het onverharde oppervlakte te weten.

Onverharde oppervlaktes hebben namelijk een vrije manier van infiltratie zonder dat deze wordt belemmerd door verharding. Al het water dat op onverharde oppervlaktes valt infiltreert en verdampst volledig (100%). Er zijn ook stukken onverhard gebied die op het oppervlaktewater afwateren. In Baambrugge gaat het om 10% van het onverharde oppervlak dat afwaterend op een nabijgelegen waterlichaam. Dit houdt in dat van de totale hoeveelheid gevallen hemelwater op onverharde oppervlaktes 90% infiltreert of verdampst.

Voor verharde oppervlaktes is dit echter een ander verhaal, want deze zijn op het riool aangesloten. Het regenwater dat terecht komt op deze verharde oppervlakte stroomt niet allemaal naar het riool. Een gedeelte hiervan verdampst of infiltreert. Dit is het gedeelte dat op de verharde oppervlaktes blijft liggen. Er zit wel een verschil in de infiltratie- en verdampingshoeveelheid op de verschillende verhardingen. Zo hebben asfaltverharding en wegen een verlies van 15% hemelwater (door infiltratie en verdamping). Daken hebben zelfs een dubbele hoeveelheid verlies van de hoeveelheid water en dat is maar liefst 30% (door verdamping) (Canvas, 2019).

Met deze gegevens is vervolgens de onderstaande berekening gemaakt om inzicht te krijgen in hoeveel m³ hemelwater er infiltreert of verdampst.

Tabel 18, Gegevens infiltratie en verdamping

	Percentage dat infiltratie en verdamping	m ³ die vallen op de oppervlakte	m ³ die infiltreren & verdampen
Onverhard oppervlakte	90%	113.453	102.107,7
Verhard oppervlakte (wegen/paden)	15%	127.055	19.058,3
Verhard oppervlakte (Bebouwing)	30%	5.204,9	1.561,5
Totaal			122.727,5

Hieruit is te zien (tabel 18) dat van het totaal gevallen hemelwater (304.795 m³) zo'n 40% infiltreert of verdampt.

3.4.4 Afvoer via riool

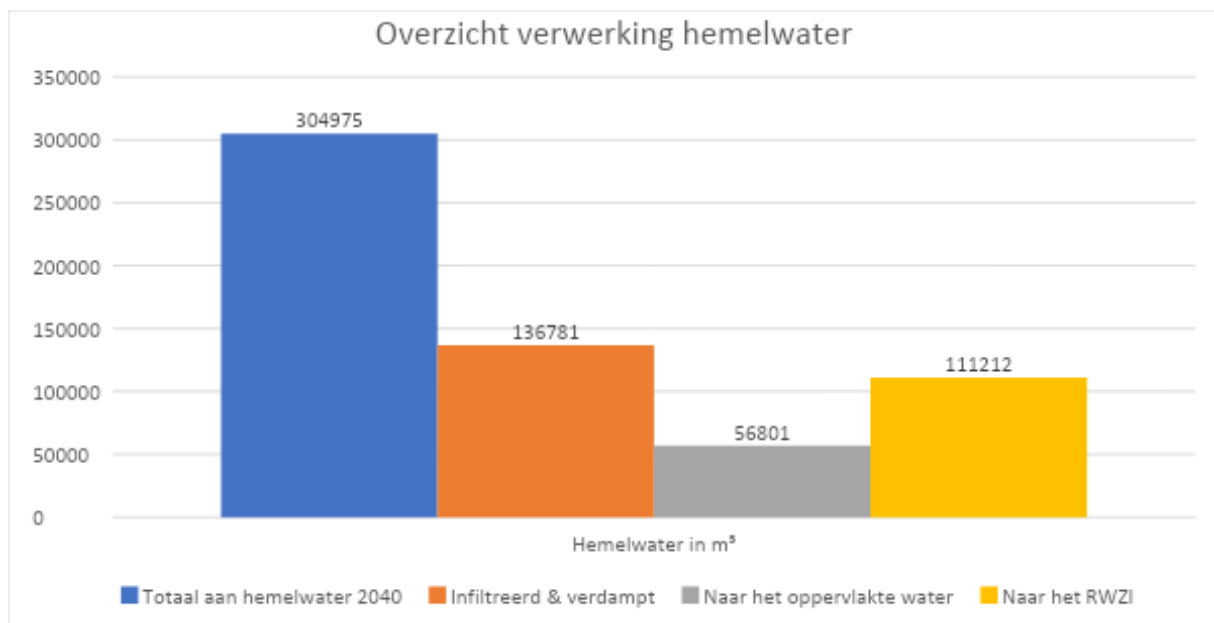
Het overige aantal kubieke meters (+/-60%), van de jaarlijkse hoeveelheid hemelwater, zal met behulp van de rioolbuizen naar het oppervlaktewater of het RWZI geleid worden. Dit hangt grotendeels af van het ondergronds riolsysteem. Zoals eerder benoemd is er maar een klein gedeelte (23%) van Baambrugge voorzien van een gescheiden riolsysteem. Dit lost direct op het nabijgelegen oppervlaktewater. Dit terwijl voor de rest van het dorp het relatieve schone hemelwater naar het RWZI wordt geloosd. De hoeveelheden staan in tabel 19.

Tabel 19, Gegevens rioolafvoer

	Hoeveelheid vervoerd water in m ³	Hoeveelheid vervoerd water naar oppervlaktewater in m ³	Hoeveelheid vervoerd water naar RWZI in m ³
Onverhard oppervlakte afstroomt in oppervlaktewater	11.345,3	11.345,3	
Afvoer gescheiden riool	41.875,5	41.875,5	
Afvoer gemengd riool	128.846,7		128.846,7
Totaal	182.067,5	53.220,8	128.846,7

3.4.5 Hemelwater overzicht

Door de berekeningen is te zien hoe het huidige Baambrugge een jaarlijkse hoeveelheid hemelwater voor het jaar 2040 zou verwerken. Voor een duidelijk overzicht zie figuur 25 en tabel 20.



Figuur 25, Hoeveelheden hemelwater

Tabel 20, Hoeveelheden hemelwater

Terrein	Hemelwater in 2040 in m³	Percentage van het totaal in %
Infiltréert & verdampt	111.212	36,5
Oppervlaktewater	56.801	18,6
RWZI	136.781	44,9
Totaal (neerslag 2040)	304.794	100

3.5 Stromenanalyse huidige situatie (Sankey-diagram)

Stromenanalyse Drinkwater & Afvalwater



Figuur 26, Sankey-diagram drink- en afvalwater huidige situatie, Bron: (Sankeymatic, 2019)

Stromenanalyse Hemelwater



Figuur 27, Sankey-diagram hemelwater huidige situatie, Bron: (Sankeymatic, 2019)

Voor de grote versie zie bijlage 8

3.6 Scenario's Water

3.6.1 Inleiding

In dit hoofdstuk is beschreven welke maatregelen wel en niet genomen kunnen worden. Het effect ervan wordt in een Sankey-diagram weergegeven. Vervolgens worden er twee scenario's voorgesteld beide met bevatten meerdere maatregelen. Deze maatregelen worden bedacht aan de hand van het Trias Aqua principe (zie figuur 28). Dit is een model dat symboliseert hoe men water zo efficiënt en duurzaam mogelijk kan gebruiken en/of besparen. Volgens het principe zijn er 3 stappen op weg naar een duurzaam watergebruik.



Stap 1. Het besparen van water, door geen/minder water te gebruiken.

Stap 2. Het gevallen hemelwater hergebruiken, om het gebruik van behandeld water, zoals drinkwater, te verminderen.

Stap 3. Hergebruiken afvalwater, hetzelfde geldt hier als voor stap 2. Zo kan het gebruik van behandeld water, zoals drinkwater, verminderd worden.

Aan de hand van deze stappen zullen maatregelen voorgesteld worden. Om zo via de Trias Aqua twee goede scenario's te vinden.

Figuur 28, Trias Aqua, Bron: (Mijnwaterfabriek, 2019)

3.6.2 Mogelijke maatregelen

Eerst zijn maatregelen uitgedacht die (stap 1) water besparen. Of een maatregel goed of slecht toepasbaar is licht aan een aantal factoren. Hoe hoog zijn de kosten, is de maatregel goed uitvoerbaar en is het toepassen van deze maatregel interessant voor Baambrugge.

Tabel 21, Maatregelen gerelateerd aan stap 1 Trias Aqua

Maatregel	Toepasbaar	Toelichting
Gedragswijziging bewoners	Zeer goed	Waterbesparende maatregelen en de voordelen onder de aandacht brengen. Hierdoor wordt men bewust van hun watergebruik om zo meer waterbesparende maatregelen te nemen. Belangrijk als bewoners of bedrijven de maatregel moeten uitvoeren of als het beter informeren van bewoners het draagvlak voor de uitvoering van een maatregel kan verbeteren.
Waterbesparend sanitair	Goed	Bijvoorbeeld waterbesparende toiletten of douchekoppen. Deze producten besparen ook kosten en zijn veel toepasbaar, dus een goede aankoop.
Druppelirrigatie in de landbouw	Matig	Het installeren van druppelinstallaties ten behoeve van de landbouw. Hierbij verdampt er minder water tijdens besproeiing.

Vervolgens zijn er maatregelen hoe hemel- en oppervlaktewater gebruikt kan worden.

Tabel 22, Maatregelen gerelateerd aan stap 2 Trias Aqua

Maatregel	Toepasbaar	Toelichting
Regentonnen	Zeer goed	Regentonnen vangen water op dat hergebruikt kan worden voor het sproeien van de tuin en schoonmaken van de auto. Regentonnen vergen geen grote investering, zijn in verschillende groottes beschikbaar en toepasbaar bij veel verschillende type gebouwen.
Wadi's en greppels	Goed	Er komt ruimte vrij voor water. Hierdoor kan water beter in de grond infiltreren en veilig worden afgevoerd naar oppervlaktewater. Wadi's en greppels hebben wel voldoende ruimte nodig.
Gescheiden rioolsysteem i.p.v. gemengd.	Goed	Het rioolsysteem scheiden de totale afvoer van water naar de RWZI verlagen. Hierdoor wordt de druk op het riool en de RWZI verlaagd en verlaagd de kosten van afvalwaterzuivering. Dit geeft ook mogelijkheden voor het hergebruik van hemelwater. Bij de aanleg wordt de weg opengebroken. Om kosten te verlagen kan de aanleg gecombineerd worden met andere activiteiten waar de weg opengebroken moet worden.

Ook worden hier de maatregelen gegeven die aangeven hoe (stap 3) afvalwater gebruikt kan worden.

Tabel 23, Maatregelen gerelateerd aan stap 3 Trias Aqua

Maatregel	Toepasbaar	Toelichting
Gescheiden rioolsysteem i.p.v. gemengd.	Goed	Het rioolsysteem scheiden zou voor een veel minder hoge afvalwater toevoer zorgen voor het RWZI Loenen. Hemelwater verdund de zuivering niet meer en zuivering kan hierdoor effectiever. Energie besparen of zelfs energie halen uit afvalwater is beter toepasbaar. Bij het scheiden van zwart en grijs afvalwater zijn deze voordelen hoger. Bij de aanleg wordt de weg opengebroken. Om kosten te verlagen kan de aanleg gecombineerd worden met andere activiteiten waar de weg opengebroken moet worden.
Energie opwekken uit afvalwater	Matig	Organische stoffen in afvalwater kunnen vergist worden voor biogas en met een WKO-systeem kan afvalwater. Hierdoor wordt de afvalwaterzuivering duurzamer om uit te voeren en kan het zelfs energie leveren. Grootste winst is dat afvalwaterzuiveringen geen energie meer kosten en zo minder schadelijk voor het milieu. Gescheiden rioolsysteem voor grijs en zwart water wordt geadviseerd.
Hergebruik koelwater in stallen	Goed	Tijdens de productie van melk wordt deze melk gekoeld zodat het opgeslagen kan worden om uiteindelijk verkocht te worden. Tijdens dit koelproces wordt gebruik gemaakt van koelwater, waar meestal drinkwater voor gebruikt wordt. Dit water is nog steeds van prima kwaliteit, alleen wat warmer dan normaal leidingwater. Dit kleine temperatuurverschil vinden de koeien erg fijn om te drinken.
Private zuivering afvalwater	Matig	Het zelfstandig zuiveren van het eigen afvalwater, bijvoorbeeld in een melkveehouderij.

Tot slot de maatregelen die buiten alle drie de stappen van de Trias Aqua vallen.

Tabel 24, Maatregelen niet gerelateerd aan de Trias Aqua

Maatregel	Toepasbaar	Toelichting
Aanbrengen van zandpalen in kleigrond	Matig	Het aanbrengen van zandpalen in kleigrond zorgt voor een verbeterde infiltratie in de normaal slecht infiltrerende grond. Hierdoor zal er minder afgevoerd worden naar het oppervlaktewater of het riool.
Eigen waterbron (grondwater)	Goed	Het oppompen van grondwater ten behoeve van toepassingen waarvoor geen drinkwaterkwaliteit nodig is. Dit kan toegepast worden in bijvoorbeeld de veeteelt, als koelwater, spoelwater of om gezuiverd te worden voor gebruik als drinkwater. Belangrijk om verantwoordelijk met grondwater om te gaan om het grondwater op peil te houden. Bij grote schade kan herstel lang duren.

3.6.3 Scenario 1

Voor scenario 1 worden 3 van de mogelijke maatregelen van het hoofdstuk hiervoor gebruikt. Het gaat om de volgende maatregelen:

- Aanbrengen van gescheiden riolering
- Het grootste gedeelte van het hemelwater uit de HWA-leidingen lokaal zuiveren om deze vervolgens te kunnen hergebruiken als drinkwater. De veehouderijen voorzien van dit (gezuiverde) hemelwater i.p.v. van het gebruiken van nieuw drinkwater.
- Met het andere veel kleinere gedeelte van het hemelwater uit de HWA-leidingen bewustwording creëren bij mensen. Door het toepassen van wadi's en greppels worden mensen dagelijks geconfronteerd.

Al deze maatregelen worden hieronder verder toegelicht.

Bewustwording creëren

Zoals in de trias aqua staat beschreven is stap 1 het besparen van drinkwater. Oplossingen hiervoor zijn beperkt, maar met bewustwordingen kan er mogelijk winst geboekt worden. Deze maatregel is meer een experiment, het is ook niet duidelijk of en hoeveel effect het zou kunnen hebben. Hieronder de toelichting waarom deze maatregel toch is opgenomen in scenario 1.

De waterkringlopen zijn minder aanwezig en dit komt mede door dat halverwege de vorige eeuw het riool is gekomen. Het afvoeren van hemelwater via het riool, het ver transporteren van drinkwater, het verwerken van afvalwater buiten bereik van de bewoners en lage drinkwaterprijzen hebben er mede voor gezorgd dat het drinkwaterbewust zijn van mensen veel minder is geworden. Dit heeft als nadeel minder betrokkenheid en vooral verspilling van (drink)water. Om dit tegen te gaan moeten bewoners weer dagelijks met de watercyclus geconfronteerd worden. Dit kan alleen door water en de natuur weer een centrale plek in de bebouwde omgeving te geven. Het resterende gedeelte van het opgevangen hemelwater 55.562 m³ wordt daarom hiervoor gebruikt.

Dit moet gebeuren met behulp van wadi's. Of dit mogelijk is, is voor een groot gedeelte afhankelijk van de doorlatendheid van de ondergrond, bestaande uit klei/veen. Deze grondsoorten zullen ervoor zorgen dat het doorlatendheid van de grond laag zal zijn. Juist dit is een belangrijke eigenschap van een wadi (Boogaard, Bruins, & Wentink, 2006). Naast wadi's zouden deze gecombineerd worden met greppels. Mochten wadi's na vervolgonderzoek toch te ambitieus zijn kunnen deze vervangen worden voor greppels. Door het toepassen hiervan in Baambrugge worden bewoners dagelijks geconfronteerd met het hemelwater. Doordat ze het effect zien van een grootte regenbui (of de wadi of greppel vol water staat) zou dit een positief effect kunnen hebben op het watergebruik. De hoop is dat het verspillen van (drink)water zoveel mogelijk beperkt wordt met behulp van deze maatregel (Pötz, 2016). Het is echter een onzekere factor op het gebied van resultaat. Daarom zou het kunnen zijn dat deze maatregel niet het gewenste effect heeft op het drinkwater gebruik. Dan heeft deze maatregel alsnog een positief effect op het toekomstbestendig maken van de openbare ruimte van Baambrugge. Mocht het effect helemaal tegen vallen of toch gekozen worden om dit experiment niet aan te gaan is er ook nog een mogelijkheid het resterende gedeelte ook lokaal te zuiveren en ook dit gedeelte te gebruiken voor de veehouderij.

Gescheiden riolering

In de stromenanalyse-diagram (figuur 26) is te zien dat ruim 36% van het gevallen hemelwater onnodig gezuiverd wordt in het RWZI. Om een toekomstbestendige waterhuishouding te krijgen zal dit aantal naar 0% moeten. Dit is eigenlijk alleen mogelijke door ingrijpende maatregelen aan het riool, aangezien het overgrote gedeelte van Baambrugge een gemengd rioolsysteem heeft. Daarom wordt in scenario 1 als eerste de maatregel toegepast om heel Baambrugge van een gescheiden riolering te voorzien. Door te kijken naar wanneer het riool neergelegd is en het feit dat Baambrugge in een zetting gevoelig gebied ligt is het aannemelijk dat de komende 20 jaar (tot 2040) het riool vervangen zal moeten

worden. In Nederland worden bij alle reconstructie projecten gescheiden rioleringsstelsel aangelegd vandaar dat deze maatregel waarschijnlijk toch al gedaan zal worden komende jaren. Een bijbehorende maatregel is vervolgens het opvangen hemelwater lokaal zuiveren in een nieuwe lokale waterzuivering. Er gaat 74% (82.193m^3) naar de lokale zuivering, dit kan vervolgens weer voor een andere activiteit gebruikt worden. Het resterende gedeelte (26%) van het opvangen hemelwater kan voor de maatregel bewustwording gebruikt worden (verderop toegelicht).

Lokale zuivering

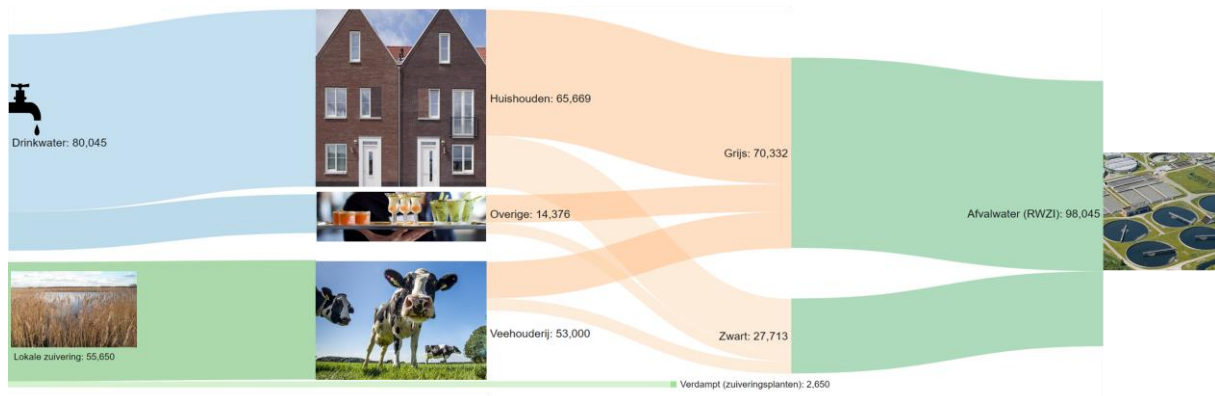
Het opvangen hemelwater wordt via het HWA-systeem naar de lokale zuivering gebracht. Voor het zuiveren van het regenwater kan gekozen worden voor zuiveringstuinen. Deze zuiveringstuinen worden helofytenfilters genoemd. Er zijn meerdere varianten hiervan met verschillende eigenschappen (Wetlantic, 2019) (H2O, 2019). Hier is gekozen voor een helofytenfilter met rietplanten. De plantenwortels van het riet zijn een thuis van vele bacteriën en schimmels geschikt voor zuurstof vragende bacteriën en schimmels. Bacteriën die geen zuurstof nodig hebben zijn op andere locaties in het systeem aanwezig. De tuinen kunnen maar liefst 95% van het regenwater zuiveren. Tenslotte wordt met een ozon machine (Turbin, 2019) een laatste behandeling uitgevoerd om het water te desinfecteren. (Voordewereldvanmorgen, 2019). Dit water kan vervolgens naar de veehouderijen. Die kunnen dit gebruiken voor hun vee en het schoonmaken van de stallen. Hiermee besparen zij 53.000 m^3 aan drinkwater. Doordat er 53.000 m^3 gebruikt gaat worden door veehouderijen moet er 55.650 m^3 naar de zuiveringstuin gaan. Dit is omdat er nog 5% van dit water wordt verdampt door de planten in de zuiveringstuin.

Effect

Het meetbare effect (zonder het effect van bewustwording creëren) van de maatregelen is dat in totaal 55.650 m^3 naar de lokale zuivering gaat hiervan blijft 53.000 m^3 over en dit gaat naar veehouderijen waarmee dus de oorspronkelijke hoeveelheid drinkwater wordt vervangen. Het resterende gedeelte 55.562 m^3 wordt gebruikt voor het creëren van bewustwordingen bij mensen met als gewenst effect het water zo efficiënt mogelijk te maken. Als deze maatregel toegepast wordt kan het ook voor het onderwerp klimaatadaptatie een toegevoegde waarde hebben.

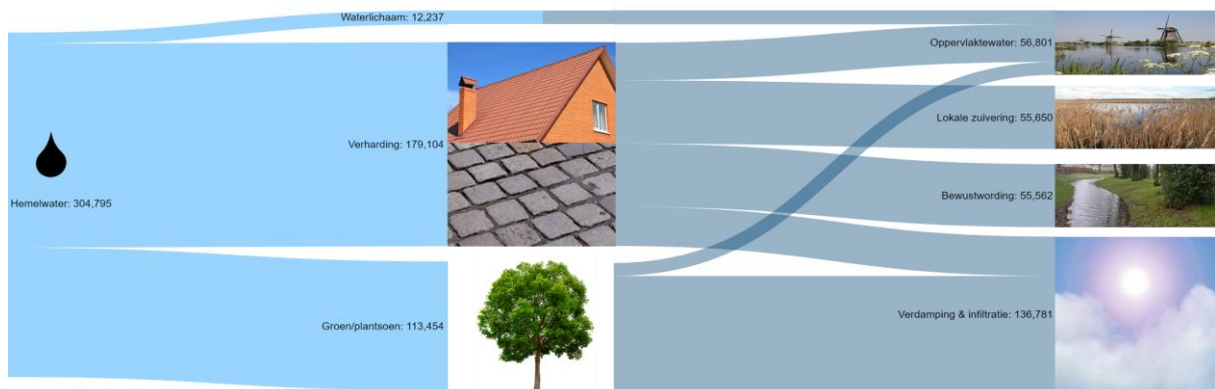
3.6.4 Stroomanalyse scenario 1 (Sankey-diagram)

Stroomanalyse Drinkwater & Afvalwater



Figuur 29, Sankey-diagram drink- en afvalwater huidige situatie scenario 1, Bron: (Sankeymatic, 2019)

Stroomanalyse Hemelwater



Figuur 30, Sankey-diagram hemelwater huidige situatie, Bron: (Sankeymatic, 2019)

Voor de grote versie zie bijlage 8

3.6.5 Scenario 2

Voor scenario 2 worden ook 3 van de mogelijke maatregelen van het hoofdstuk hiervoor gebruikt. Het gaat om de volgende maatregelen:

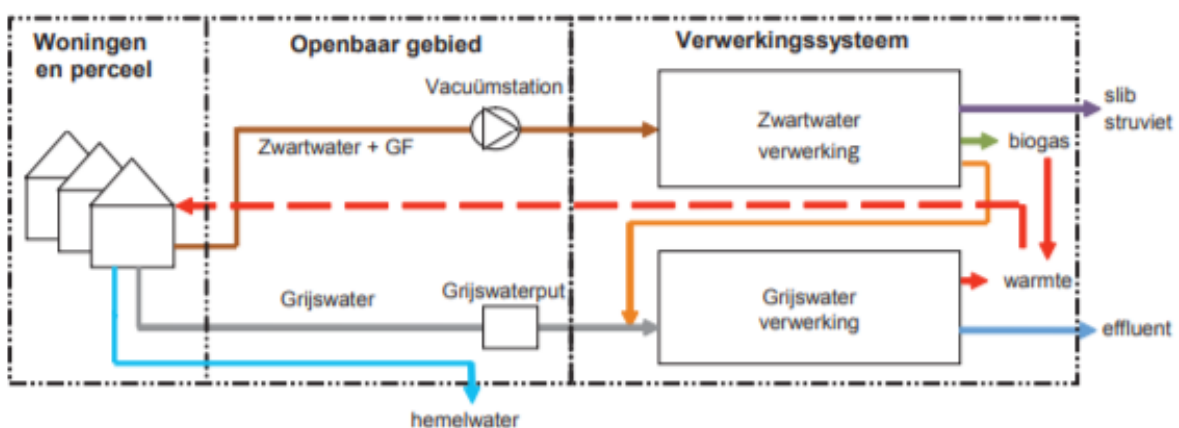
- Leg een gescheiden riool aan in het dorp wat hemelwater, grijs water en zwartwater apart afvoert. Het zwart water riool werkt op vacuüm. Er worden vacuüm toiletten aangelegd in alle huishoudens en bedrijven in het dorp. Er wordt ook een voedselvermaler aangesloten aan het zwart water vacuüm riool voor GF-afval (groente en fruit) om het GF-afval om te zetten in biogas.
- Bouw een decentrale afvalwaterzuivering die zwart water en grijs water verwerkt in Baambrugge.
- Leg een warmtenet aan waar de gewonnen warmte uit het afvalwater kan opnemen.
- Hemelwater opslaan en hergebruiken.

Alle maatregelen worden hieronder toegelicht:

Gescheiden Riool

Voor de toekomst is een gescheiden rioolsysteem noodzakelijk om schade door wateroverlast in de te voorkomen. Waterafvoer kan echter in meer stromen dan alleen hemelwater en afvalwater worden gescheiden. Het afvalwater kan ook gescheiden worden in zwart en grijs water. (Gidsduurzamegebouwen.brussels, 2016), (Eva-lanxmeer, 2019) en (Waternet, 2019). Een reden om dit te doen kan zijn om de zuivering van het afvalwater te optimaliseren. Een zuivering specifiek gericht op zwart water en een andere zuivering specifiek voor grijs water. Zwart water kan bijvoorbeeld worden omgezet in biogas. Grijs water wordt minder vervuild, waardoor de zuivering met mildere middelen kan worden uitgevoerd en gezuiverd (Eautarcie, 2019). Het aanleggen van meerdere leidingen neemt kosten met zich mee, maar de mogelijkheden voor het verwerken van het afval worden groter, waardoor de mogelijkheid voor verduurzamen dichterbij komt.

Een nieuwe ontwikkeling voor het optimaal hergebruiken van afvalwater is een sanitatie-systeem van Waterschoon (Edepot.wur, 2014) (Figuur 31). Het is een onderzoek dat veel aandacht heeft en wordt gesteund door de Europese unie (Europaomdehoek, 2019). In dit systeem wordt hemelwater, grijs water en zwart water afzonderlijk afgevoerd. Het zwarte water wordt met een vacuümsysteem verzameld. Dit vacuüm systeem bespaart tot op 25% van het totale drinkwaterverbruik. Dit vacuüm systeem wordt ook gebruikt om GF-afval (groente en fruit) te verzamelen. Hemelwater wordt in het waterschoon-systeem direct op het oppervlaktewater geloosd.

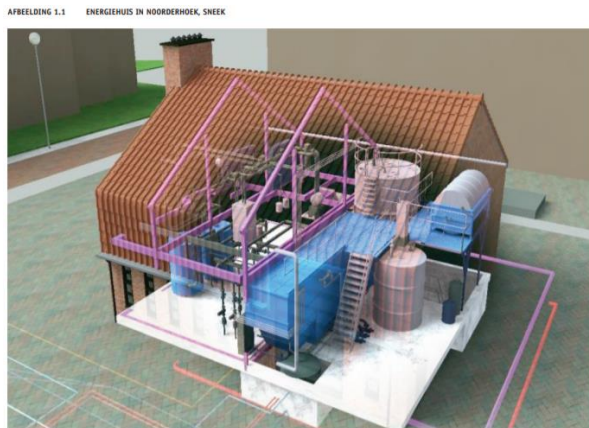


Figuur 31, Schematische weergave nieuw sanitatie-systeem waterschoon, Bron: (Edepot.wur, 2014)

Het sanitatie-systeem van waterschoon is niet het enige systeem dat grijs en zwart water scheidt en apart zuivert. Het is echter wel een systeem dat zoveel mogelijk energie haalt uit het afvalwater. Het doel van Baambrugge is om CO₂-neutraal te zijn in 2040. Het Waterschoon systeem kan hier mee helpen door energie te leveren en kan één van de duurzame energiebronnen zijn die helpen om Baambrugge duurzamer te maken. Tegenover andere duurzame energiebronnen heeft deze het voordeel dat de waterhuishouding ook verduurzaamd.

Zuivering

De zuivering van heet afvalwater wordt lokaal uitgevoerd met een decentrale afvalwaterzuivering (figuur 32). De grijs water en zwart waterzuivering staan beiden in hetzelfde gebouw. De zuivering zal voor Baambrugge in een energiehuis komen van 150 m². Het water wordt in twee delen opgedeeld, zwart water en grijs water. Hoe dit wordt gedaan is in de volgende twee alinea's beschreven.



Figuur 32, Waterzuivering, Bron: (Edepot.wur, 2014)

Zwart water verwerking

In de afvalwaterzuivering worden zwart water en grijs water apart gezuiverd (figuur 31). Eerst wordt zwart water voor 97% biologische afgebroken door anaerobe vergisting. Tijdens het biologische afbreken wordt biogas geproduceerd dat vervolgens verbrand kan worden om warmte op te wekken. Naast biogas wordt struviet en slib aangemaakt. Ammoniak, een stikstofbron, wordt zoveel mogelijk omgezet naar ongevaarlijk stikstofgas of teruggewonnen als struviet, een stof die als meststof gebruikt kan worden. Fosfaat wordt ook teruggewonnen in de vorm van struviet.

Grijs water verwerking

De grijswaterzuivering zuivert het grijze water en het afvalwater dat overblijft uit de zwartwater verwerking (figuur 31). Grijs water wordt in twee stappen gezuiverd met een biologisch aerob proces. Eerst worden vervuilingen geadsorbeerd door slibvlokken. Daarna worden organische stoffen afgebroken door het inblazen van lucht(zuurstof) door het afvalwater.

Uit grijs water wordt warmte gewonnen met een warmtepomp, een vorm van riothermie, dat gebruikt kan worden voor een warmtenet.

- Het sanitatie-systeem heeft een aantal voordelen;
- Nutriënten zoals fosfor en stikstof worden teruggewonnen.
- Tuinafval en GF-afval worden gescheiden.
- Met het geproduceerde biogas kan energie opgewekt worden.
- Er wordt warmte gecreëerd voor een warmtenet.

Opgeteld is de energiebalans positief. In plaats van energiekosten wordt er dus energie gewonnen bij het zuiveren van afvalwater.

Opbrengst zuivering

De opbrengst van de zuivering zijn in bijlage 6 berekend. De totale energieopbrengst van de Waterschoon zuivering is **Bruto 490.200 kWh/jaar**. Met het energieverbruik van de rioolwaterzuivering en vacuümpomp voor het zwart water riool **Netto 299.000 kWh/jaar**. De brekende hoeveelheid fosfaat en stikstof verwijderd uit het afvalwater is weergegeven in tabel 25. De fosfaat en stikstof blijven achter als struviet en een deel van de stikstof wordt omgezet naar N₂-gas.

Tabel 25, Totale verwijdering meststoffen

Verwijderde meststoffen	Baambrugge [kg/jaar]
Stikstof	5.243
Fosfaat	941

Het effect

Het waterschoon systeem heeft verschillende effecten. Eerst, er wordt **netto 299.000 kWh/jaar** geproduceerd in de vorm van warmte. Dit is afkomstig van het verbranden van aardgas en een warmwaterpomp in de grijswaterzuivering. Er wordt **25% minder drinkwater verbruikt** door bedrijven en inwoners in het dorp door het vacuüm toilet. Daarnaast wordt er **5.200 kg/jaar aan stikstof** en **950 kg aan fosfaat** verwijderd uit het afvalwater. Het fosfaat en een deel van de stikstof vormen struviet wat gebruikt kan worden voor meststoffen. De zuiveringsinstallatie kan in een energiehuis met een oppervlakte van 150 m². (Ruimtebeslag (Edepot.wur, 2014))

De afvalwaterzuivering is in dit geval een energieleverancier voor het warmtenet geworden, bespaart een kwart van het drinkwaterverbruik in het dorp en produceert meststoffen als struviet om verlies van deze meststoffen tegen te gaan.

Wateropvang bij de boeren en in de huizen van de kern.

Naast energie uit afvalwater wordt er ook hemelwater opgevangen. Bij dit scenario zullen de boeren zelf hun schuren en verharde oppervlakken gebruiken om hemelwater op te vangen, zodat dit gebruikt kan worden voor dingen waar mindere kwaliteit water voor geschikt is. Een voorbeeld van deze toepassing is het schoonspuiten van stallen of het bewateren van akkerlanden of weilanden. Door middel van een verzamelsysteem bij de daken zal het regenwater verzameld worden in een centraal opslagpunt. Dit opslagpunt zal enkele honderden kubieke meters aan water op kunnen slaan, bijvoorbeeld voor de drogere periodes in het jaar waarin boeren niet uit het oppervlaktewater mogen tappen zoals normaal.

Een meer radicale methode van het opvangen van regenwater is door middel van infiltratiekragen (Mijnwaterfabriek, 2019) of andere soortgelijke product. Deze systemen worden onder een grasveld geplaatst waar het een gedeelte van het water opvangt dat normaal in de grond zou infiltreren. Deze methode is minder effectief dan water regelrecht van verharde oppervlakken opvangen, maar is veel wijder te gebruiken in een omgeving met een laag percentage verharding, zoals het buitengebied van Baambrugge. Hoewel deze methode duurder en het opgeleverde water van lagere kwaliteit is, kan deze methode dus wel grootschalig ingezet worden.

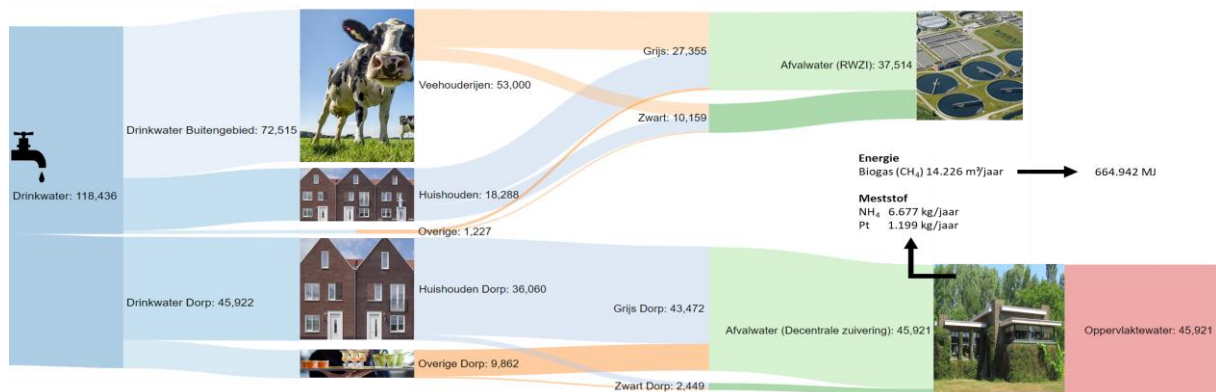
Het volume opgevangen water is redelijk variabel, afhankelijk van de vraag. Het opvangen van hemelwater dient gebruikt te worden als buffer voor droge tijden, waarin niet uit oppervlaktewater getapt mag worden. De oppervlakteberekening is in een factor van 1,052 van de vraag in het geval van verhard oppervlak en een factor 1,157 in het geval van grasland.

Beide scenario's bevatten maatregelen voor zowel de kern als het buitengebied. Scenario twee omvat het aanbrengen van regentonnen bij elk huishouden in Baambrugge. Deze maatregel is vergeleken met andere maatregelen goedkoop, een huishouden heeft al een regenton en alle nodige aansluitingen

voor 150 euro. Het water dat deze regentonnen van 200 liter opvangen, kan gebruikt worden voor het besproeien en bewateren van de tuin en van kamerplanten. Volgens milieucentraal.nl gebruikt een gemiddeld Nederlands huishouden 1.300 liter drinkwater per jaar voor het besproeien van de tuin (Milieu centraal, 2018). Met de nieuw te installeren regentonnen bespaart men dus per huishouden 1.300 liter drinkwater per jaar, wat voor de 560 huishoudens van Baambrugge uitkomt op een jaarlijkse besparing van 728.000 liter water per jaar. Dat staat gelijk aan het jaarlijkse verbruik van meer dan zeven 2-persoonshuishoudens aan drinkwater. Dit valt te bereiken voor een kostenplaatje van 84.000 euro, verdeeld over 560 huishoudens.

3.6.6 Stromenanalyse scenario 2 (Sankey-diagram)

Stromenanalyse Drinkwater & Afvalwater



Figuur 33, Sankey-diagram drink- en afvalwater huidige situatie scenario 2, Bron: (Sankeymatic, 2019)

Stromenanalyse Hemelwater



Figuur 34, Sankey-diagram hemelwater huidige situatie scenario 2, Bron: (Sankeymatic, 2019)

Voor de grote versie zie bijlage 8

3.7 Conclusie Water

3.7.1 Samenvatting

Het verduurzamen van de waterhuishouding verschilt in scenario 1 en 2 (tabel 26), maar er zijn een paar overeenkomsten. Met een gescheiden riool wordt hemelwater altijd afzonderlijk afgevoerd van afvalwater. Daarnaast wordt in beide scenario's hemelwater opgevangen. Er is ook een vorm van lokale zuivering. Waar de twee scenario's verschillen is op welke afvoerstroam gefocust wordt. In scenario 1 wordt de focus gelegd op de opvang van hemelwater dit gebeurt op alle verharde oppervlaktes (straten, daken, enz.). In scenario 2 daarentegen wordt de focus gelegd op daken, dit water wordt gebufferd met behulp van regentonnen. In scenario 1 wordt het hemelwater daarna gezuiverd met een helofytenfilter van rietplanten en een ozonbehandeling (Voordewereldvanmorgen, 2019). Daarna kan het gebruikt worden als drinkwater voor de koeien van de melkveehouderij. Het gezuiverde hemelwater wordt ook gebruikt voor het aanleggen van wadi's om meer bewustwording te creëren bij de inwoners. Als dit ervoor zorgt dat de vraag naar drinkwater omlaaggaat kan het drinkwater besparen. Scenario 2 richt zich meer op afvalwater, specifiek energie en grondstoffen winnen uit dit afvalwater. Hiervoor moeten 3 rioolssystemen geïnstalleerd worden. Het zwart water (toilet) wordt op een vacuüm riool afgevoerd, waardoor er tot 25% minder drinkwater verbruikt wordt. De extra leiding en de vacuümpomp brengen wel extra kosten met zich mee, maar hierdoor kan biogas gemaakt worden en kunnen stikstof en fosfaat effectiever verwijderd worden. Met een warmtepomp wordt ook energie gewonnen uit het warmtenet.

Tabel 26, Voor- en nadelen scenario's 1 en 2

Scenario 1	Voordelen	Nadelen
	Hemelwater hergebruiken voor drinkwater koeien. (OZON-filter toevoegen.	
	Hemelwater wordt gebruikt voor bewustwording.	
Scenario 2		
	Warmteproductie voor warmtenet	Er moeten 3 verschillende rioleringen geïnstalleerd worden.
	GF-afval inzameling gaat via vacuüm, dus minder groenafval via containers	Het vacuüm systeem maakt lawaai.
	Effectievere zuivering door zwart en grijs water te zuiveren	Hemelwater wordt niet optimaal opgevangen. Alleen de daken worden gebruikt voor opvang. Water dat op straat valt wordt niet benut.
	Winning van struviet	
	Verwijdering van stikstof en fosfaat in water	

1.7.1 Aanbevolen scenario

Het verduurzamen van de waterhuishouding verschilt in scenario 1 en 2, maar er zijn een paar overeenkomsten. Met een gescheiden riool wordt hemelwater altijd afzonderlijk afgevoerd van afvalwater. Daarnaast wordt in beide scenario's hemelwater opgevangen. Er is ook een vorm van

lokale zuivering. Waar de twee scenario's verschillen is op welke afvoerstroom gefocust wordt. In scenario 1 wordt een focus gelegd op de opvang van hemelwater. Terwijl in scenario 2 met regentonnen hemelwater opgevangen wordt, wat afkomstig is van daken van gebouwen. Scenario 1 daarentegen vangt ook hemelwater op dat op straat beland. In scenario 1 wordt het hemelwater daarna gezuiverd met een helofytenfilter van rietplanten en een ozonbehandeling (Voordewereldvanmorgen, 2019). Daarna kan het gebruikt worden als drinkwater voor de koeien van de melkveehouderij. Het gezuiverde hemelwater wordt ook gebruikt voor het aanleggen van wadi's om meer bewustwording te creëren bij de inwoners. Als dit ervoor zorgt dat de vraag naar drinkwater omlaaggaat kan het drinkwater besparen.

Scenario 2 richt zich meer op afvalwater, specifiek energie en grondstoffen winnen uit dit afvalwater. Hiervoor moeten 3 rioolsystemen geïnstalleerd worden. Het zwart water (toilet) wordt op een vacuüm riool afgevoerd, waardoor er tot 25% minder drinkwater verbruikt wordt. De extra leiding en de vacuümpomp brengen wel extra kosten met zich mee, maar hierdoor kan biogas gemaakt worden en kunnen stikstof en fosfaat effectiever verwijderd worden. Met een warmtepomp wordt ook energie gewonnen voor een warmtenet.

De afweging die gemaakt moet worden hangt van een paar dingen af. Beide scenario's besparen direct water en voeren het hemelwater apart af. Bij scenario 1 is er een mogelijkheid dat de bewustwording de besparing verhoogt.

Scenario 2 heeft een effectieve zuivering en produceert energie. De vraag is of dit genoeg energie oplevert om de investering te rechtvaardigen. Er is ook een warmtenet nodig, maar een warmtenet is functioneel voor meerdere duurzame maatregelen. De infrastructuur van een warmtenet is daardoor al heel waardevol en wordt niet als een groot struikelblok gecategoriseerd.

Het advies is om scenario 1 te kiezen. Het is een overzichtelijk systeem en de aanpassingen aan het riool zijn minder ingrijpend. De hoeveelheid opgevangen water is ruim een derde van de drinkwatervraag in geheel Baambrugge, dus het effect is groot. De rede om niet scenario 2 uit te voeren is vooral omdat de opgewekte energie uit het afvalwater nog geen procent is van de energievraag verwacht in 2040. Om energie te produceren zal daarom in andere duurzame bronnen geïnvesteerd moeten worden.

4 Conclusie en aanbevelingen

4.1 Inleiding

Voor zowel het onderwerp energie als voor water zijn nu twee scenario's voorgesteld met daarin meerdere maatregelen. Om tot een optimaal Baambrugge te komen zijn alle van alle twee de onderwerpen de meest effectieve maatregelen samengevoegd om zo één optimaal scenario te krijgen. Om inzichtelijk te maken welke maatregelen hoe en waar worden toegepast is er overzichtskaart gemaakt die dit in beeld brengt.

Daarnaast zijn voor verschillende onderwerpen binnen energie en water een verdiepend onderzoek nodig. Vandaar worden deze onderwerpen in '4.3 Vervolgonderzoek' beschreven.

4.2 Gezamenlijk scenario

Hieronder wordt aangegeven welke van de eerdergenoemde maatregelen aanbevolen worden voor Baambrugge. Daarnaast wordt er een korte toelichting gegeven waarom er voor deze maatregel is gekozen en het bijbehorende onderwerp energie en water.

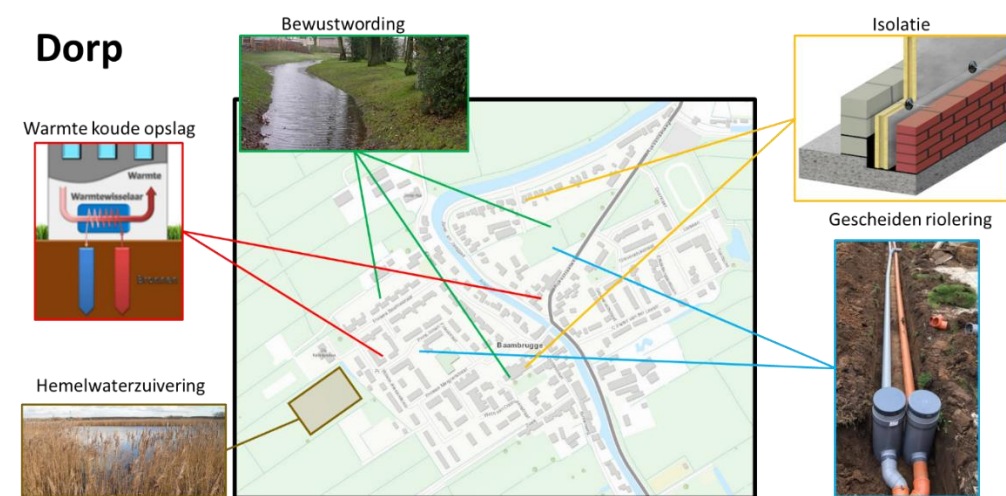
Tabel 27 Maatregelen gezamenlijk scenario

Maatregel	Toelichting	Onderwerp
Bewustwording	Deze maatregel wordt aanbevolen vanwege het feit dat het mogelijk een effect kan hebben op het drinkwater besparen binnen Baambrugge.	Water
Gescheiden riolering	Door een gescheiden systeem te hebben kan er gericht met geconcentreerder water gewerkt worden. Daarnaast wordt het RWZI ontzien van veel extra zuiveringswerk en dus wordt er energie bespaard. Tot slot wordt Baambrugge meteen klimaatadaptief gemaakt tegen hevige regenbuien van de toekomst.	Water
Hemelwaterzuivering	Deze vorm van zuiveren is financieel haalbaarder dan de zuivering die ook energie opwekt. Daarnaast wordt met deze zuivering een aanzienlijke hoeveelheid minder drinkwater verbruikt dan in het huidige systeem (maar liefst 41%).	Water
Na-isoleren	Stap 1 van de trias energetica is de vraag verminderen. Deze maatregel is noodzakelijk om de andere maatregelen tot hun recht te laten komen.	Energie
WKO voor het Dorp	In Baambrugge Dorp is het efficiënt en voordelig om gezamenlijk gebruik te maken van een WKO. Door daken van woningen en de school te voorzien van zonnecollectoren kan de WKO van voldoende warmte voorzien worden.	Energie

De tabel gaat verder op de volgende pagina

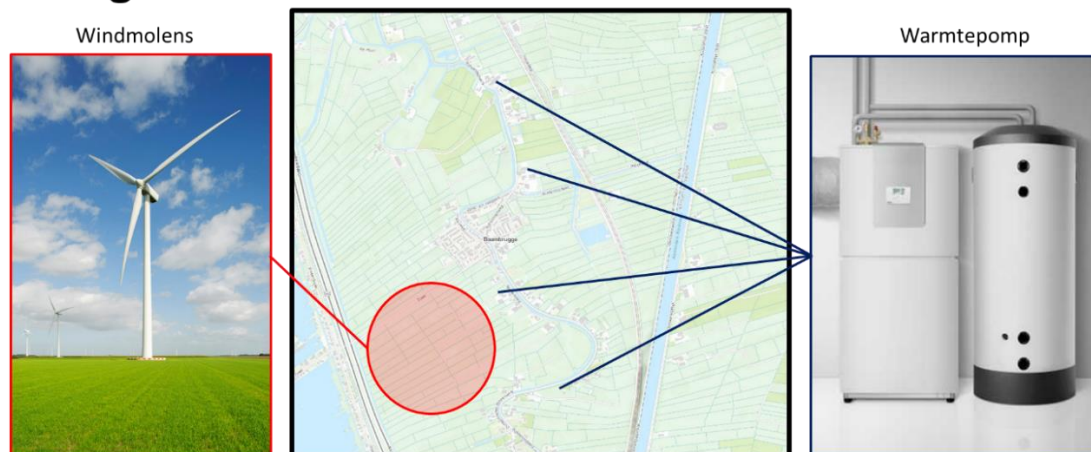
Warmtepopen voor het Buitengebied	Het buitengebied kan niet efficiënt gebruik maken van een WKO en zal dus individuele maatregelen moeten treffen. Het installeren van warmtepompen en PV-panelen zorgen voor voldoende warmte in de woningen in het buitengebied.	Energie
Middelgrote windmolens op eigen grond	Om aan de totale energievraag in 2040 te kunnen voldoen zijn er 3 MW-windturbines nodig. Ook hierbij is vanuit het oogpunt van bewustwording gekozen om deze op het grondgebied van Baambrugge te plaatsen.	Energie

Waar de hier boven genoemde maatregelen toegepast kunnen worden staat hieronder weergegeven in een plattegrond van Baambrugge (figuur 35 en 36).



Figuur 35 Overzicht maatregelen dorp

Buitengebied



Figuur 36, Overzicht maatregelen buitengebied

Alle maatregelen die hierboven genoemd zijn kunnen worden aanbevolen om Baambrugge in 2040 energieneutraal te maken en een toekomstbestendige waterhuishouding te laten hebben.

4.3 Vervolgonderzoek

4.3.1 Energie

Uit het onderzoek is gekomen dat er naar meerdere onderwerpen vervolgonderzoek gedaan kan worden.

Opslaan van energie

Bij vervolgonderzoek zal ingegaan moeten worden op het opslaan van energie. Bij het beschrijven van de mogelijkheden voor het gebruik van windenergie, blijkt dat hier meer stroom wordt opgewekt dan in eerste instantie nodig is. Eerder werd genoemd dat waterstof hier een oplossing voor is. Buiten dat de technologieën nog niet optimaal zijn voor waterstofopslag en er veel energie verloren gaat tijdens het elektrolyse-proces, is dit wel een innovatie waar in de toekomst naar gekeken moet worden.

Daarnaast kunnen elektrische auto's een rol spelen bij het opslaan van energie. Door middel van de beschikbare Vehicle-to-Grid technologie functioneert de batterij als buffercapaciteit, waardoor deze benut kan worden om een overschot aan energie op te slaan (Nederlandelektisch, 2019).

Energie uit water

Een diepgaand onderzoek naar het opwekken van energie uit water is ook een vervolgstap. De Vinkeveense Plassen bijvoorbeeld, biedt kansen bij het opwekken van energie. Doordat hier een diepte van wel 40 meter wordt bereikt, is er een constante lage temperatuur op de bodem. Het oppervlaktewater is warmer, waardoor er een temperatuurverschil ontstaat. Een onderzoek naar thermische energie uit water is een hernieuwbare oplossing, waar in de toekomst veel winst uitgehaald kan worden (regiohollandbovenamsterdam, 2019).

4.3.2 Water

Bewustwording

In één van de maatregelen wordt duidelijk beschreven dat er met bewustwording van bewoners gewerkt wil worden. Deze maatregel is wel opgenomen in het stromendiagram van de input (er gaat namelijk wel water naar toe) echter is de output opzettelijk niet meegerekend in de stromendiagram. Dat komt omdat het effect van deze maatregel hoogst onwaarschijnlijk is. Een vervolgonderzoek naar het feit of deze maatregel effect heeft, en zo ja, hoeveel effect dit (in cijfers) is op het drinkwater gebruik van Baambrugge is dus wenselijk.

Wateropvang voor akkerbouw

Het water in Baambrugge wat gebruikt wordt voor de akkerbouw komt nu voornamelijk uit omliggende oppervlaktewateren. Dit kan voor problemen zorgen in de toekomst. De komende jaren zullen droge periodes in de zomer/lente aanzienlijk vaker voor komen. De afgelopen jaren is meermaals een gebruiksverbod opgelegd door de waterschappen op het gebruik van oppervlaktewater. Een zeer toepasselijke maatregel zou daarom kunnen wezen dat er een eigen reservoir komt (eventueel op eigen terrein) waarin het hemelwater opgeslagen kan worden. Op de droge momenten en sproei verboden zou dit water gebruikt kunnen worden om zo het gewas te beschermen tegen uitdroging en dus een mislukte oogst. Om te kijken of dit mogelijk is en hoe is een extra aanvullend vervolgonderzoek nodig.

Infiltratie

In de context analyse is al een korte studie van de bodem opbouw gedaan. Hieruit kwam al snel dat de bodem meer dan waarschijnlijk een matige tot lage doorlatendheid heeft. Om te weten wat de doorlatendheid van de bodem is kan een vervolgonderzoek uitkomst bieden. Aan de hand daarvan kan beter gekeken worden naar eventuele infiltratie mogelijkheden.

Literatuurlijst

- Allecijfers*. (2017). Opgehaald van <https://allecijfers.nl/wijk/baambrugge-de-ronde-venen/>
- Allecijfers*. (2017). Opgehaald van <https://allecijfers.nl/basisschool/ichthus-baambrugge/>
- ArcGIS. (2019). Baambrugge waterlichamen. Utrecht.
- Bagviewer.kadaster*. (2019). Opgehaald van <https://bagviewer.kadaster.nl/lvbag/bag-viewer/index.html#?searchQuery=baambrugge&resultOffset=0&objectId=1333&geometry.x=127809.13237182&geometry.y=473350.87426957&zoomlevel=4&detailsObjectId=1333>
- BAGviewer.kadaster*. (2019). Opgehaald van <https://bagviewer.kadaster.nl/lvbag/bag-viewer/index.html#?searchQuery=baambrugge&resultOffset=0&objectId=1333&geometry.x=127809.13237182&geometry.y=473350.87426957&zoomlevel=4&detailsObjectId=1333>.
- Bébouw Midreth. (z.d.). Kromwijck. Geraadpleegd op 1 oktober 2019, van <https://www.bebouw.nl/nl/projecten/detail/kromwijck-baambrugge>
- Boogaard, F., Bruins, G., & Wentink, R. (2006). *Aanbevelingen voor het ontwerp, aanleg en beheer*. Ede: Stichting Rioned.
- Canvas*. (2019). Opgehaald van [file:///C:/Users/Tim%20Friso/Downloads/20180330_Eindrapportage_Werkspoorkwartier_de_finitief%20\(13\).pdf](file:///C:/Users/Tim%20Friso/Downloads/20180330_Eindrapportage_Werkspoorkwartier_de_finitief%20(13).pdf)
- Cassandraclub*. (2013). Opgehaald van <https://cassandraclub.wordpress.com/2013/07/28/bereiken-we-in-2035-al-2-graden-opwarming/>
- CBS*. (2015). Opgehaald van <https://www.cbs.nl/nl-nl/reeksen/geografische-data>
- CBS*. (2018, Augustus 25). Opgehaald van <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2018/34/woningwaarde-in-2018-gemiddeld-6-5-procent-omhoog>
- CBSStatline*. (2017). Opgehaald van <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/84517NED/table?ts=1570441997503>
- CBSStatline*. (2018). Opgehaald van <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/82058NED/table?fromstatweb>.
- CBSStatline*. (2019). Opgehaald van <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/84585NED/table?ts=1571133136925>
- DeRondeVenen*. (2013, Oktober). Opgehaald van https://www.derondevenen.nl/data/publicatie-website/visies/Structuurvisie%20De%20Ronde%20Venen%20tot%202030.pdf?_dc=1484821364533&_dc=1484821364597
- Dierenwelzijnslessen*. (2015). Opgehaald van <https://dierenwelzijnslessen.groenkennisnet.nl/display/KOE/Eten+en+drinken>
- Dierenwelzijnslessen.groenkennisnet*. (2015, Februari 11). Opgehaald van <https://dierenwelzijnslessen.groenkennisnet.nl/display/KOE/Eten+en+drinken>
- Dinoloket*. (2019). Opgehaald van <https://www.dinoloket.nl/>

Dinoloket. (2019). Opgehaald van <https://www.dinoloket.nl/appelboor>

Drimble. (2019). Opgehaald van <https://drimble.nl/wijken/73608/baambrugge.html>

Eautarcie. (2019). Opgehaald van <https://www.eautarcie.org/nl/04a.html>

Edepot. (2014). Opgehaald van <https://edepot.wur.nl/308426>

Edepot.wur. (2014). Opgehaald van <https://edepot.wur.nl/339641>

Energieke-rondeveners. (2019). Opgehaald van <https://energieke-rondeveners.nl/aan-de-slag/>

Energieplusdak. (2015). Opgehaald van <https://www.energieplusdak.nl/sandwichpanelen-baambrugge-utrecht>

Energiewonen. (2019). Opgehaald van <https://www.energiewonen.nl/provincie/utrecht/zonnepanelen-baambrugge/>

Europaomdehoek. (2019). Opgehaald van <https://www.europaomdehoek.nl/projecten/duurzame-afvalwaterzuivering-op-wijkniveau>.

Eva-lanxmeer. (2019). Opgehaald van <http://www.eva-lanxmeer.nl/over/nu/water/grijs-en-zwartwater-riool>

Gemeente De Ronde Venen. (2014). Dorpsvisie Baambrugge. Geraadpleegd van https://www.derondevenen.nl/data/publicatie-website/visies/Dorpsvisie%20Baambrugge.pdf?_dc=1473074338347&_dc=1473074338369

Gidsduurzamegebouwen.brussels. (2016, November 23). Opgehaald van <https://www.gidsduurzamegebouwen.brussels/nl/5-toepassing-van-gescheiden-rioolstelsels.html?IDC=8049>

JoustraReid architecten. (z.d.). De IJsvogel 44 Woningen in Baambrugge. Geraadpleegd op 1 oktober 2019, van <https://www.joustrareid.nl/portfolio/de-ijsvogel-44-woningen-in-baambrugge>

Joynes, E. (2017). Woonvisie 2025. Geraadpleegd van [derondevenen.nl/data/publicatie-website/visies/Woonvisie%202025.pdf?_dc=1505376534768&_dc=1505376534781](https://www.derondevenen.nl/data/publicatie-website/visies/Woonvisie%202025.pdf?_dc=1505376534768&_dc=1505376534781)

Kikker. (2019).

KNMI. (2011). Opgehaald van <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/achtergrond/intensiteit-van-extreme-neerslag-in-een-veranderend-klimaat>

KNMI. (2015). Opgehaald van <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/geografische-overzichten/archief/maand/rd>

Lenntech. (2019). Opgehaald van <https://www.lenntech.nl/water-kwantiteit-faq.htm>

Linkedin. (2019, September). Opgehaald van <https://www.linkedin.com/pulse/klimaatadaptatie-water-tim-friso-lodewijk/>

Lv.vlaanderen. (2019). Opgehaald van https://lv.vlaanderen.be/nl/voorlichting-info/publicaties/praktijkguiden/water/tegengaan-van-waterverontreiniging-veroorzaakt-1,https://www.wur.nl/upload_mm/f/3/3/22e2583f-1646-444f-9647-d2b324412bb9_Handboek%20Melkveehouderij%202018%20-%20H10.pdf

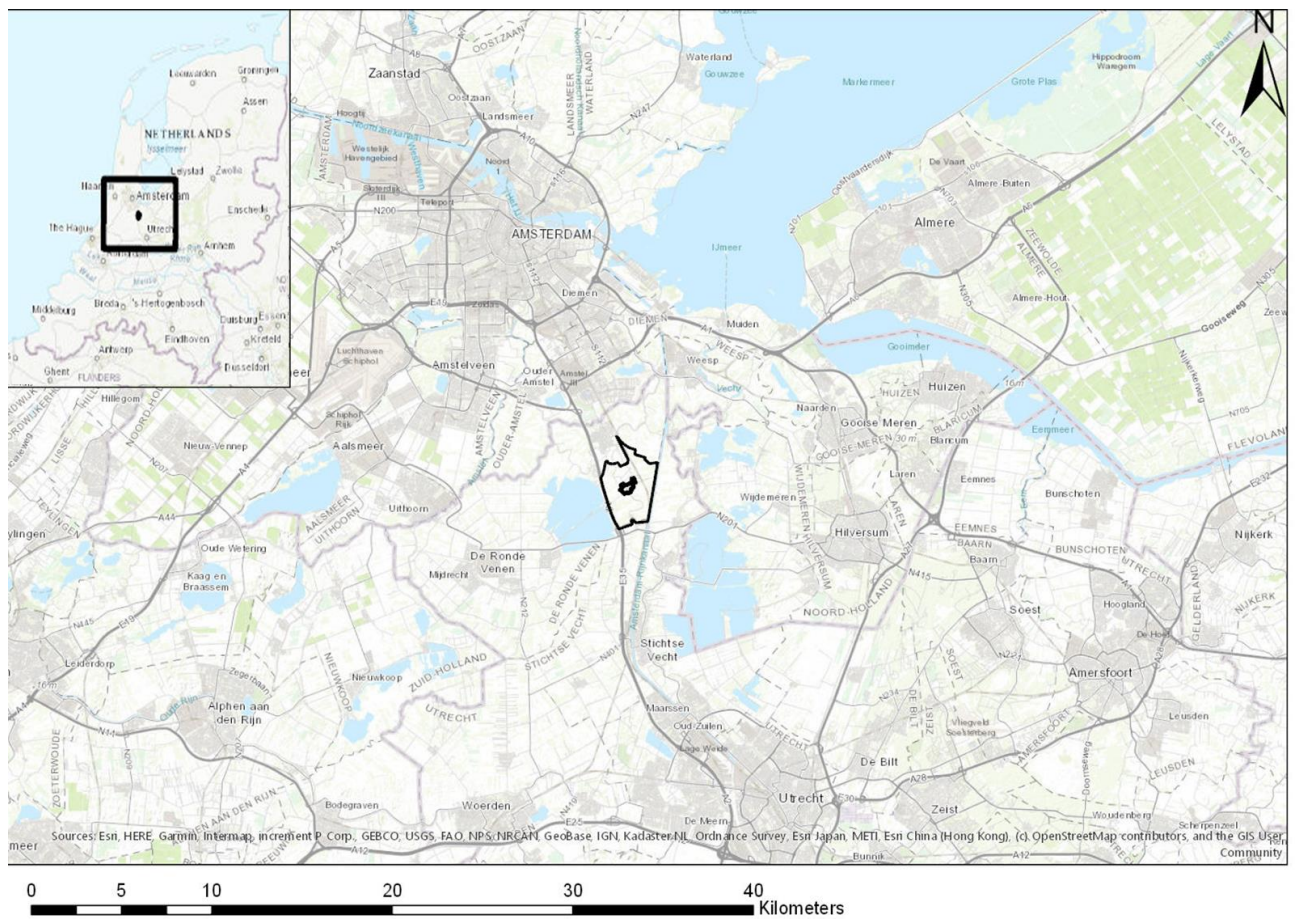
- Melkveebedrijf*. (2019). Opgehaald van <https://www.melkveebedrijf.nl/nieuwsartikel/2019/feiten-en-cijfers-nederlandse-veehouderij/b24g4c50o4514/>
- Mijnwaterfabriek*. (2019). Opgehaald van <https://www.mijnwaterfabriek.nl/kennisbank/wat-is-de-trias-aqua>
- Nibud*. (2018). Opgehaald van <https://www.nibud.nl/consumenten/energie-en-water/>
- PDOK*. (2019). Opgehaald van <https://www.pdok.nl/introductie/-/article/basisregistratie-gewaspercelen-brp->,
- Pikkemaat, M., Hulst, L., & Muller, A. (2017). Groenbeleidsplan 2017-2040. Geraadpleegd van https://www.derondevenen.nl/data/publicatie-website/beleidsnotas/Groenbeleidsplan.pdf?_dc=1519207659755
- Plaatsengids*. (2019). Opgehaald van <https://www.plaatsengids.nl/>
- Plaatsengids*. (2019). Opgehaald van <https://www.plaatsengids.nl/groene-hart>
- Planbureau voor de Leefomgeving. (2010 januari). *Regionale prognose 2009-2040: Vergrijzing en omslag van groei naar krimp*. Geraadpleegd van https://www.pbl.nl/sites/default/files/rest/cms/publicaties/regionale_prognose_2009-2040.pdf
- Pötz, H. (2016). *Groenblauwe netwerken*. Nederland: Atelier Groenblauw.
- Rijkdienst voor Ondernemend Nederland*. (2019). Opgehaald van <https://www.rvo.nl/sites/default/files/Infoblad%20Trias%20Energetica%20en%20energieneutraal%20bouwen-juni%202013.pdf>.
- Rijksmonumenten*. (2019). Opgehaald van <http://www.rijksmonumenten.nl/monumenten/gebouwen/baambrugge/woonplaats=baambrugge/pagina3/>
- Rijkswaterstaat*. (2019). Opgehaald van <https://www.rijkswaterstaat.nl/water/vaarwegenoverzicht/amsterdam-rijnkanaal/index.aspx>
- Riool*. (2019). Opgehaald van https://www.riool.net/documents/20182/1053903/ciw41995-02afvalwaterproblematiek_van_melkrundveehouderijen.pdf/e749c6e2-a47c-45b7-a250-1c41acad646e & <https://www.waternet.nl/ons-water/drinkwater/gemiddeld-waterverbruik/>
- RIVM*. (2015). Opgehaald van <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2015-0068.pdf>
- Sankeymatic*. (2019). Opgehaald van <http://sankeymatic.com/build/>.
- Topotijdreis*. (2019). Opgehaald van <https://www.topotijdreis.nl/>
- Vinkeveen*. (2019). Opgehaald van <https://www.vinkeveen.nl/vinkeveen/de-ronde-venen/>
- Voordewereldvanmorgen*. (2019). Opgehaald van <https://www.voordewereldvanmorgen.nl/duurzame-blogs/deze-installatie-tovert-regenwater-om-tot-drinkwater>
- Voordewereldvanmorgen*. (2019). Opgehaald van <https://www.voordewereldvanmorgen.nl/duurzame-blogs/deze-installatie-tovert-regenwater-om-tot-drinkwater>

- Waterinfo*. (2019, Oktober 10). Opgehaald van <https://waterinfo.rws.nl/#!/details/publiek/waterafvoer/169/>
- Waternet*. (2016). Opgehaald van <https://www.waternet.nl/ons-water/drinkwater/gemiddeld-waterverbruik/>
- Waternet*. (2019). Opgehaald van <https://www.waternet.nl/>
- Weijerseikhout*. (2018). Opgehaald van <https://www.weijerseikhout.nl/projecten/project-baambrugge/>
- Weijerseikhout*. (2019). Opgehaald van <https://www.weijerseikhout.nl/projecten/project-baambrugge/>
- Zonnepanelen-weetjes*. (2016, Juni 3). Opgehaald van <https://www.zonnepanelen-weetjes.nl/blog/pv-panelen/>
- Zonopderondevenen*. (2018). Opgehaald van <https://www.zonopderondevenen.nl/projecten/dorpshuis-baambrugge/>

Bijlagen

Bijlage	Titel	Blz.
1	Kaart locatie in Nederland	
2	Locatie Baambrugge binnen het Groene Hart	
3	Bouwjaren gebouwen Baambrugge	
4	Berekeningen Energie	
5	Data Drinkwater en afvalwater berekeningen	
6	Berekeningen opbrengsten nieuwe sanitatie-systeem Waterschoon Zuivering	
7	Overzicht Riolering Baambrugge	
8	Sankey-diagrammen	

Bijlage 1. Kaart locatie in Nederland

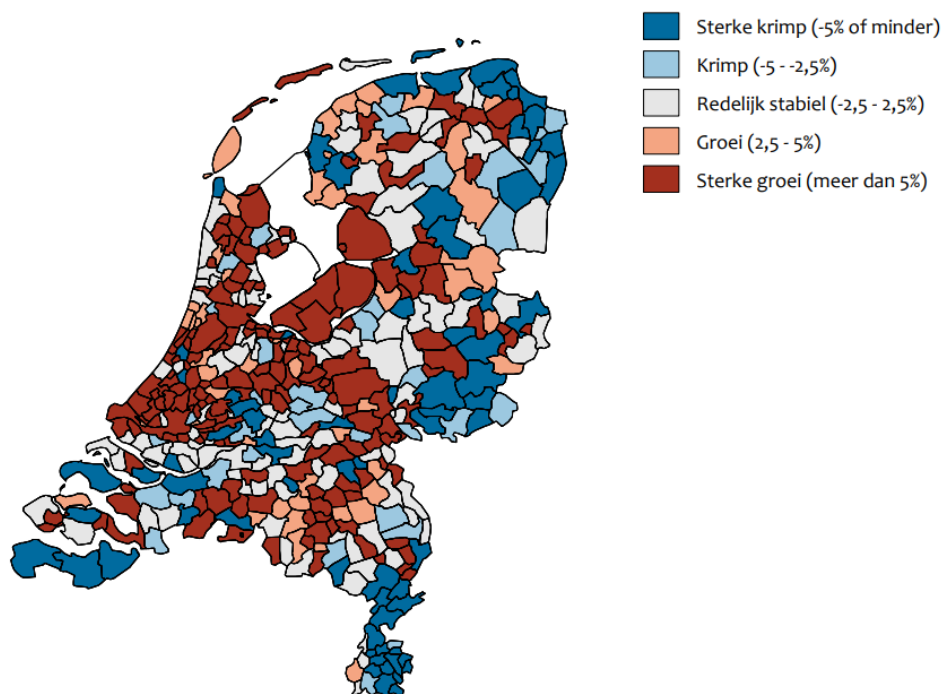


Figuur 37, Bijlage, Bron: (ArcGIS, 2019)

Bijlage 2. Bevolkingsontwikkeling per gemeente

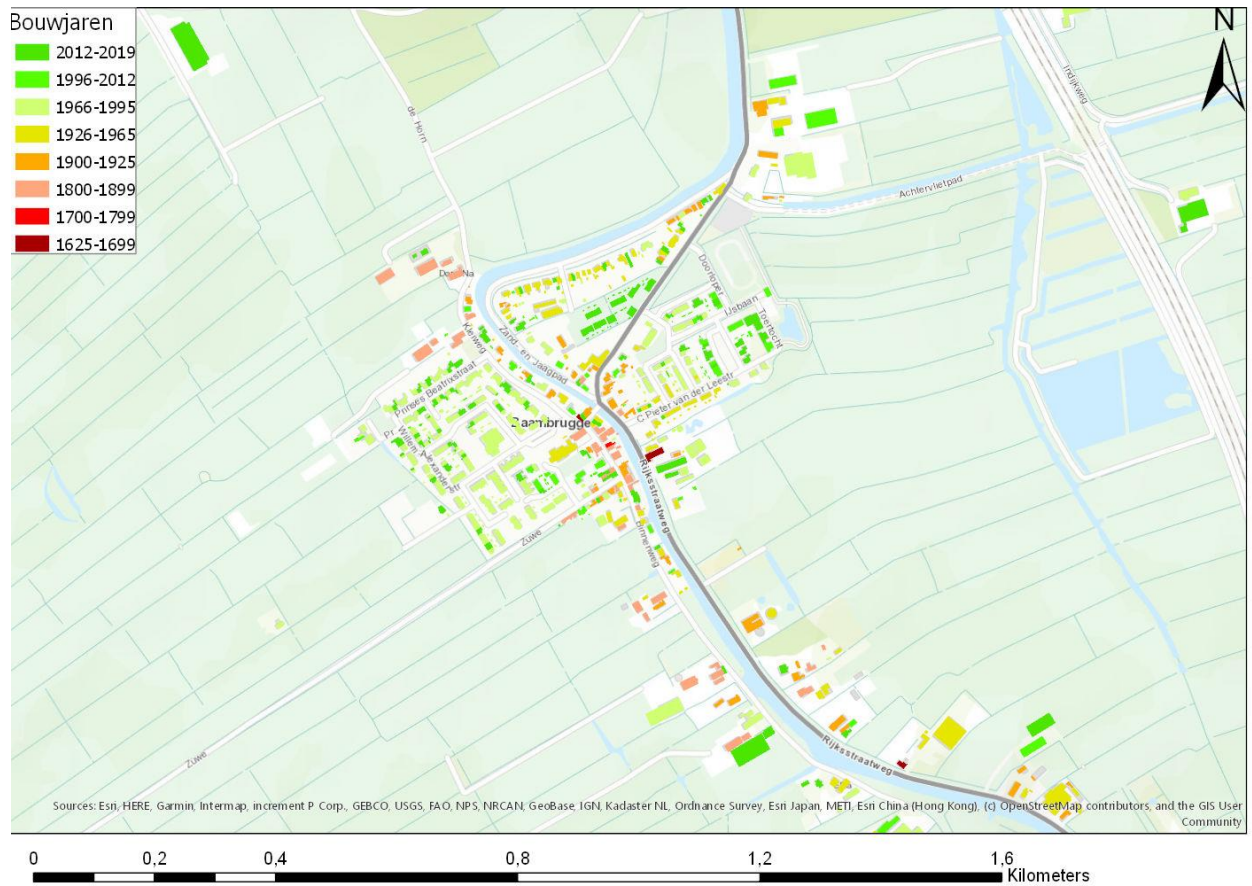
Bevolkingsontwikkeling per gemeente

2008 - 2040



Figuur 38, Bijlage 2, Bron: (Planbureau voor de Leefomgeving, 2010)

Bijlage 3. Bouwjaren gebouwen Baambrugge



Figuur 39, Bijlage 3, Bron: (BAGviewer.kadaster, 2019)

Bijlage 4. Berekeningen Energie

Afkomstig uit 'energie, maatregelen, waterstof'

In Baambrugge en omgeving wordt jaarlijks 40,3 TJ aan aardgas verstoekt. Het rendement voor de productie van waterstof is 70% (Egear, 2019).

$40,3 / 70\% = 57,6$ TJ benodigd elektrisch vermogen.

TJ naar kWh geeft $57.600.000 \text{ MJ} / 3,6 = 16.000.000 \text{ kWh}$

kWh naar MWh geeft $16.000.000 / 1000 = 16.000 \text{ MWh} / \text{jaar}$ (Energie aardgas in MWh/jaar)

Een windmolen maakt 2075 vollasturen per jaar (CBS, 2018).

Het opgesteld vermogen zal dus $16.000 \text{ MWh} / 2075 = \underline{7,7 \text{ MW}}$ moeten zijn

Afkomstig uit 'energie, scenario 1, WKO'

In het dorp van Baambrugge ongeveer 500 woningen. De woningen in Baambrugge hebben een gemiddeld woonoppervlak van 150 m^2 (Buurtkompas, 2019). Er is vanuit gegaan dat iedereen zijn woning met aardgas verwarmt. Er is niet duidelijk hoeveel warmtepompen er zijn in het gebied. Dit is 29 TJ per jaar (Stedin, 2019).

$29 \text{ TJ} / 500 \text{ woningen} = 58.000 \text{ MJ per woning}$

MJ naar kWh: $58.000 / 3,6 = 16.111,1 \text{ kWh} / \text{woning}$

Per m^2 woonoppervlak is dit dus: $16.111,1 \text{ kWh} / 150 = \underline{107 \text{ kWh/m}^2}$

Er is bij deze berekening geen rekening gehouden met het koken op inductie en het rendement van de Cv-ketel.

Afkomstig uit 'energie, scenario1, WKO

Het koken op inductie laat de elektriciteitsvraag per toestel met 220 kWh per jaar groeien (Milieu Centraal, 2019). De 500 woningen in het dorp zullen dit krijgen. De rekensom wordt dus:

$500 \times 220 = 110.000 \text{ kWh/jaar}$

kWh naar joule: $110.000 \times 3,6 = 0,4 \text{ TJ}$

Afkomstig uit 'energie, scenario1, biogas

De vergister in Woudenberg beschikt over een vermogen van 0,9769 MW, met 8000 vollasturen. Het buitengebied verbruikt 11,3 TJ aardgas per jaar (Stedin, 2019).

TJ naar kWh betekent: $11.300.000 \text{ MJ} / 3,6 = 3.138.889 \text{ kWh}$

Het opgesteld vermogen zal dus $3.139 \text{ MWh} / 8000 = 0,392 \text{ MW}$

Afkomstig uit 'energie, scenario 1.

De 150 woningen in het buitengebied van Baambrugge gaan op biogas koken. Een gemiddelde woning gebruikt 60 m^3 aardgas per jaar (Energie vergelijken, 2019). De energetisch waarde van methaan is $35,9 \text{ MJ/ m}^3$ (Vreuls, 2006).

$$150 \text{ woningen} \times 60 \text{ m}^3 \times 35,9 = \underline{0,3 \text{ TJ}}$$

Bijlage 5. Data Drinkwater en afvalwater berekeningen

De volgende tabellen zijn data die gebruikt bij de berekeningen voor de hoeveelheid afvalwater en de samenstelling hiervan (tabel 28 tot 31)

Tabel 28 Grijs en zwart water per sector

	Afvalwater[m ³ /jaar]
Huishoudens grijs	46625
Huishoudens zwart	19044
Bedrijven grijs	10207
Bedrijven zwart	4169
Agrarische grijs	13500
Agrarische zwart	4500

Tabel 29 Afvalwater huishoudens dorp en buitengebied

Huishoudens	Afvalwater [m ³ /jaar]	Zwart water[m ³ /jaar]	Grijs water [m ³ /jaar]
Dorp	48079	13943	34136
Buitengebied	18288	5303	12984
Totaal	65669	19044	46625

Tabel 30 Bedrijfspannen gevonden via Google Maps

Bedrijven met bijzondere bebouwing	Werknemers	
Booij Hoveniers	10	Geschat
Hoveniers bedrijf Galjaard	10	Geschat
Ivo Bruns Bouw coördinatie	10	Geschat
Lindehoff Marche	5	Geschat
Rank	5	Geschat
Klusbedrijf Rik Tober	1	Geschat
Henk van Schaik Metselwerken	1	Eenmanszaak
Bouw en aannemersbedrijf van Walbeek	5	Geschat
A3scannen	1	Geschat
Reparatie en onderhoudsbedrijf F. Hazevoet	3	2 tot 4
Interieurarchitect Y-ben	5	Geschat
Vayne music B.V.	5	Geschat
Bruns Terrein en groenvoorziening	3	2 tot 4
Stukadoorsbedrijf J.C. Griffioen	3	Geschat
Beer schilderwerken	3	Geschat
Agrarisch Loon en grondverzetbedrijf	10	Geschat
Piet Jonker Abcoude BV (licht in Baambrugge)	3	Geschat
Autofirst garage petrogas	5	Geschat
VJR&MORE	2	Geschat
Dagwinkel Van de Wilt	3	2018 in persbericht: Een stel met hulp van hen zoon beheren de winkel
IJzer en metaalhandel Van Zon	1	Eenmanszaak op website

Tabel 31 Eetgelegenheden

Restaurants	Werknemers	
Café de punt (ook een restaurant)	5	Geschat
Pino pizza	5	Geschat
Cafetaria Bruggetje	5	Geschat

Informatie

Er waren vaak geen gegevens over het aantal werknemers beschikbaar voor bedrijven en restaurants. Daarom is het vaak geschat.

Bijlage 6. Berekeningen opbrengsten nieuwe sanitatie-systeem Waterschoon

Zuivering

Opbrengst Huishoudens

Het nieuwe sanitatie-systeem van Waterschoon (Edepot.wur, 2014) (produceert energie en grondstoffen. In de volgende stukken wordt de opbrengst van het waterschoon systeem berekend met de 980 inwoners in het dorp van Baambrugge.

Uitgangspunten

In het onderzoek van Waterschoon wordt gewerkt met verschillende scenario's. Er wordt onderzoek gedaan naar de huidige situatie met circa 79 aangesloten inwoners. Het systeem is echter zo gemaakt dat het de afvalwaterverwerking van 232 inwoners kan verwerken. Met de huidige 79 aangesloten inwoners is het systeem daardoor niet optimaal belast. Om een beeld te krijgen hoe het systeem werkt als het optimaal belast wordt is in het onderzoek berekend wat de opbrengsten zijn als 1.200 mensen zijn aangesloten op een optimaal belast systeem. De opbrengst van het systeem is gebaseerd op een groep wijken in een binnen gebied. Baambrugge heeft echter een buitengebied waar de dichtheid van huishoudens veel lager is en de lengtes van leiding zullen langer moeten zijn. Om een eerlijke vergelijking te maken is daarom gekozen om het Waterschoon systeem te implementeren in alleen het dorp. Bij de berekeningen is de doorslaggevende factor het aantal aangesloten inwoners. Hoe meer mensen, hoe meer afvalwaterproductie. In het voorbeeld van 1.200 inwoners is het systeem optimaal in gebruik. Als het systeem in Baambrugge wordt toegepast is het aannemelijk dat het gemaakt wordt voor het aantal inwoners in het dorp Baambrugge. In de context analyse is vastgesteld dat het aantal inwoners in Baambrugge redelijk stabiel blijft tussen nu en 2040. Er wordt daarom vanuit gegaan dat de huidige situatie van 980 inwoners in het dorp niet veranderd. Bij het toepassen van dit systeem is het aannemelijk dat het systeem optimaal gemaakt wordt voor 980 inwoners. Bij de berekeningen gaan men ervan uit dat een inwoner in Baambrugge dezelfde afvalwaterproductie heeft als de inwoners in het onderzoek van Waterschoon. Verder moeten bedrijven (die vallen onder bijzondere bebouwing) in het dorp worden meegenomen. Hierbij valt de Camping weg, maar ook 4 tot 5 bedrijfspanden. Dat is ongeveer 80% van de geschatte bedrijfspanden.

- Men gaat ervan uit dat 1 inwoner uit het Waterschoon onderzoek dezelfde hoeveelheid afvalwater produceert als 1 inwoner in Baambrugge.
- Het Waterschoon systeem voor Baambrugge zal gemaakt worden enkel het dorp. Er zijn dan 980 inwoners en de bedrijven in het dorp.

Biogas

De opbrengst van het Waterschoon systeem wordt vaak weergegeven per jaar per inwoner. Bij het 1.200 situatie is de biogasproductie 12,2 m³/jaar/ie(inwoner). Met 1.200 inwoners is dat in totaal 14.640 m³/jaar aan biogas. Als het Waterschoon systeem in Baambrugge dezelfde opbrengst heeft per inwoners, geven 980 inwoners een biogasopbrengst van 11.956 m³/jaar aan Methaan. Dit wordt gehaald uit 1.923 m³/jaar aan zwart afvalwater van het vacuüm toilet en verzameld GF-afval. Dit methaan wordt in het Waterschoon systeem verbrand naar warmte-energie. Bij het waterschoon systeem is dit 148 kWh/jaar per inwoner. Dit geeft een opbrengst 145.040 kWh/jaar voor de huishoudens in het dorp. De opbrengst staat weergegeven in tabel 32.

Tabel 32 Opbrengst biogas huishoudens, Bron: (Edepot.wur, 2014)

Methaan Baambrugge	Opbrengst
Methaan [m ³ /jaar]	11.956
Warmtelevering uit methaan [kWh/jaar]	145.040

Terugwinning grondstoffen

Naast de productie van biogas wordt er grondstoffen uit het zwart afvalwater gewonnen. Het gaat hier met name over stikstof en fosfaat. Een overzicht van hoeveel fosfaat en stikstof worden is verwijderd staat weergegeven in tabel 33. In de eerste kolom staat hoeveel stikstof en Fosfaat uit het afvalwater verwijderd zijn als de afvalwaterzuivering in optimale situaties werkt, 96% voor het verwijderen van stikstof en 95% voor het verwijderen van fosfaat. Hierna is berekend hoeveel fosfaat en stikstof er verwijderd wordt per persoon en hoeveel er verwijderd wordt met 980 inwoners van Baambrugge in kg/jaar.

Tabel 33 Verwijdering van meststoffen huishoudens, Bron: (Edepot.wur, 2014)

	79 ie [gr/dag]	Per persoon [gr/dag]	Baambrugge [kg/jaar]
Stikstof	1.157,16	14,65	5.243
Fosfaat	184,09	2,63	941

Warmtepomp

Bij het Waterschoon-systeem wordt er warmte gewonnen uit grijs water in de grijs-waterzuiveringsinstallatie. Deze warmte kan toegevoegd worden aan een warmte-net. In de situatie met 1.200 inwoners is de opbrengst van de warmtepomp 477 kWh/jaar. De warmtepomp vraagt zelf ook energie, maar netto wordt er 213 kWh/jaar/persoon aan warmte geproduceerd. Als inwoners in Baambrugge gelijk staan aan inwoners in Waterschoon met de situatie van 1.200 inwoners, is de som 980 inwoners maal de opbrengst per inwoner. Het resultaat staat in tabel 34.

Tabel 34, Energieopbrengst warmtepomp, Bron: (Edepot.wur, 2014)

	Waterschoon [kWh/jaar/ie]	Baambrugge [kWh/jaar]
Warmteproductie warmtepomp	477	467.460
Elektriciteitsbehoefte warmtepomp	-264	-258.720
Totaal	213	208.740

Opbrengst bedrijven

In het onderzoek van Waterschoon wordt niet gesproken over afvalwater van bedrijven. Er is daardoor geen direct vergelijkingsmateriaal. De opbrengst voor bedrijven moet daarom op een andere manier bepaald worden. Dit kan door de afvalwaterstromen van huishoudens en bedrijven te vergelijken. In tabel 35 staat de resultaten. De berekening wordt uitgevoerd door te kijken naar hoeveel zwart water de huishoudens en de bedrijven produceren. Alle huishoudens bij elkaar

produceren 3,65 keer de hoeveelheid afvalwater die bedrijven produceren. Als ervan uitgegaan wordt dat de samenstelling van dit afvalwater vergelijkbaar is, kunnen de resultaten van de huishoudens gedeeld worden door de factor 3,65 en dat kan de opbrengst van het Waterschoon systeem berekenen worden. Daarna kan de opbrengst van bedrijven en huishoudens bij elkaar worden opgeteld. Als de afvalwaterproductie van de huishoudens en bedrijven met elkaar vergeleken wordt, produceren de bedrijven net zoveel afvalwater als 268 inwoners van Baambrugge. In totaal moet de afvalwaterzuivering dan voor 1248 inwoners afvalwater zuiveren, wat vergelijkbaar is met de situatie in het waterschoon systeem met 1200 inwoners. Dit maakt de vergelijkbaarheid tussen de twee situaties betrouwbaarder.

Tabel 35, Opbrengst methaan en verwijdering meststoffen drop, Bron: (Edepot.wur, 2014)

	Zwartwater [m ³ /jaar]	Methaan [m ³ /jaar]	Stikstof [kg/jaar]	Fosfaat [kg/jaar]
Huishoudens	1.923	11.956	5.243	941
Bedrijven	526	3.270	1.434	257
Totaal	2.449	15.226	6.677	1.199

Hetzelfde kan met de warmte van de warmtepomp en de energie biogas (tabel 36). Als het afvalwater van bedrijven evenveel energie bevat per m³ als het afvalwater van de huishoudens, kan het direct met elkaar vergeleken worden. Huishoudens produceren 3,65 keer meer grijs afvalwater als bedrijven.

Tabel 36, Energieopbrengst drop, Bron: (Edepot.wur, 2014)

	Grijs water [m ³ /jaar]	Opbrengst Warmtepomp [kWh/jaar]	Warmte biogas [kWh/jaar]
Huishoudens	34.136	208.740	145.040
Bedrijven	9.336	96.754	39.666
Totaal	43.472	305.494	184.706

Uiteindelijk geeft dit een energieopbrengst van 490 000 kWh/jaar (tabel 37) Bij het Waterschoon systeem blijft 61% van de energie over. De energiekosten van het zuiveringssysteem en de vacuümpomp hoeven niet allemaal afhankelijk te zijn van het aantal aangesloten inwoners. Hierdoor is het lastig te zeggen wat de Netto energieopbrengst is van de rioolwaterzuivering. De hoeveelheid afvalwater van de huishoudens en bedrijven staat echter gelijk aan 1.248 inwoners, bijna gelijk aan de situatie met 1.200 inwoners in het waterschoon systeem. De afvalwaterzuivering zal dus vergelijkbaar zijn in grote en de energieproductie van de waterzuivering zal vergelijkbaar zijn. Als er ook in Baambrugge **Netto 61%** van de energieopbrengst overblijft, betekent dit dat er rond de **299.000 kWh/jaar netto** aan energie wordt geleverd door de rioolwaterzuivering.

Tabel 37, Bruto energieopbrengst waterschoon zuivering, Bron:(Edepot.wur, 2014)

	Warmte [kWh/jaar]
Warmtepomp	305.494
Verbranding biogas	184.706

Totaal	490.200
---------------	----------------

Aanvullende data Waterschoon systeem

In de onderstaande tabel 38 staat wat er exact is gebeurd in de afvalwaterzuivering in de testopstelling. Omdat de circa 79 inwoners te weinig inwoners waren om het sanitatie-systeem in optimaal te laten werken werkte de fosfaat verwijdering beperkt (53%). Een bepaald mechanische in de zuivering kon niet plaatsvinden waardoor veel fosfaat verloren ging. Omdat er verwacht wordt dat Bij Baambrugge de optimale situatie plaatsvindt waar 95% fosfaat verwijderd wordt, is berekend hoeveel fosfaat in het effluent voorkomt als 95% fosfaat is verwijderd. Met deze waarde is vervolgens verder gewerkt. In tabel 39 staat welke gegevens er gebruikt zijn voor het bepalen van de productie van methaan, stikstof en fosfaat. In tabel 40 staat de omrekentabel voor energie aangegeven.

Tabel 38, In- en uitstroom van afvalwater zuivering circa 79 inwoners, Bron: (Edepot.wur, 2014)

Circa 79 inwoners		Influent	Effluent	Fosfaat effluent optimaal (95% verwijderd)
CODt	gr/dag	12808	339	
CODf	gr/dag	7335,83	400,83	
COD _{0,45}	gr/dag	2005,36	454,03	
Nt	gr/dag	1205,37	45,25	
NH ₄	gr/dag	728,67	5,4	
NO ₃	gr/dag	0,02	15,26	
NO ₂	gr/dag	0,11	0,42	
Pt	gr/dag	193,78	91,57	9,689
PO ₄	gr/dag	148,13	85,66	7,4065

Tabel 39, Omrekentabel van Waterschoon naar Baambrugge (kruiselings vermenigvuldigen), Bron: (Edepot.wur, 2014)

Opbrengst waterzuivering	Waterschoon (79 ie)	Waterschoon (1200 ie)	Baambrugge dorp (980)
Methaan [m ³ /jaar]		14640	11956
Nt (stikstof)	1157,16		5243
Pt (fosfaat)	184,09		941

Tabel 40, Omrekentabel energiebalans Waterschoon naar Baambrugge (kruiselings vermenigvuldigen, Bron: (Edepot.wur, 2014)

Energiebalans		Waterschoon (1200) [kWh/jaar/ie]	Baambrugge (980) [kWh/jaar]
Warmtebehoefte zuivering	kWh/jaar	-50	-49000
Dieselgebruik WKK	kWh/jaar	0	0
Warmteproductie warmtepomp	kWh/jaar	477	467460
Elektriciteitsbehoefte warmtepomp	kWh/jaar	-264	-258720

Warmtelevering uit biogas	kWh/jaar	148	145040
Elektriciteit zuivering	kWh/jaar	-52	-50960
Elektriciteitsproductie (WKK)	kWh/jaar	0	0
Energie transport afvalwater	kWh/jaar	-40	-39200
Totaal	kWh/jaar	219	214620

In deze tabel staat beschreven hoe de afvalwaterproductie in het dorp berekend is in de huidige situatie. Verder staat er hoeveel effect van de waterbesparing onderaan in tabel 41. De 25% drinkwater besparing komt doordat er minder spoelwater nodig met een vacuümtoilet.

Tabel 41, Afvalwater dorp en drinkwaterbesparing vacuümtoilet, Bron: (Edepot.wur, 2014), (CUWVO, 1995)

Bijzondere bebouwing	Aantal	Beladingsgrondslag	Hoeveelheid per aantal [l/h]	l/h	m ³ /jaar
Hotels	0	Bed	10 tot 40		
Restaurants	15	Werknemers	50	750	6575
Cafés	0	Werknemers	25		
Laboratoria	0	Werknemers	25		
Internaten	0	Bed	15		
Ziekenhuizen	0	Patiënten	30		
		Bewoners +			
Bejaardencentrum	0	personeel	15		
Kazernes en gevangenen	0	Bewoners	15		
Scholen	108	Leerlingen	2 tot 3	270	2367
Droge bedrijven en industrie	80	Werknemers	6	480	4208
Recreatieparken of vakantiebungalows	0	Bewoners	10		
				Totaal	13149
Na besparing drinkwater door vacuümtoilet					9862

Bijlage 7. Overzicht Riolering Baambrugge

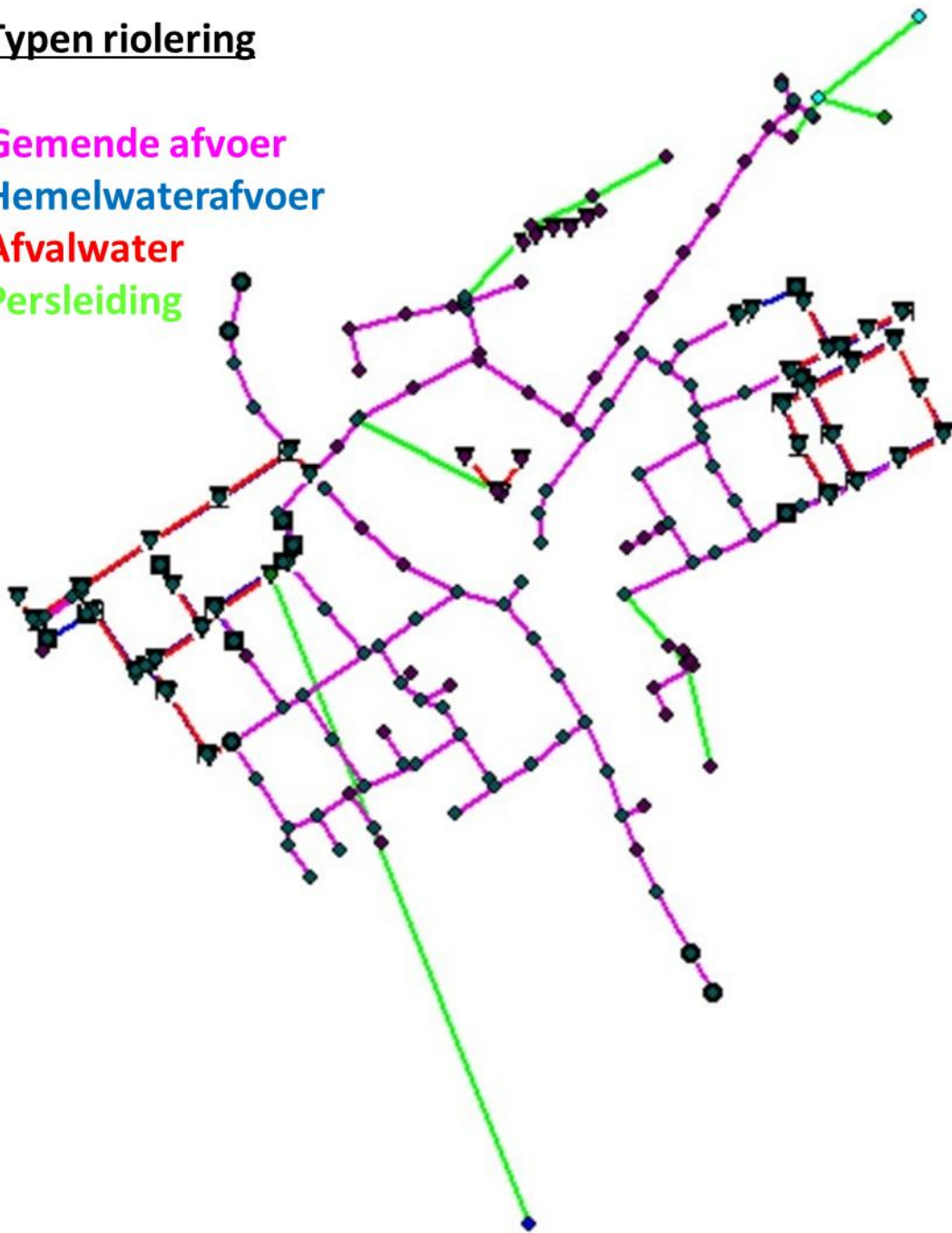
Typen riolering

Gemeente afvoer

Hemelwaterafvoer

Afvalwater

Persleiding



Figuur 40, Bijlage x, Bron: (Kikker, 2019)

Bijlage 8. Sankey-diagrammen

Huidige Situatie



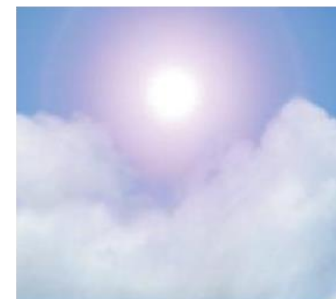
Scenario 1



Scenario 2



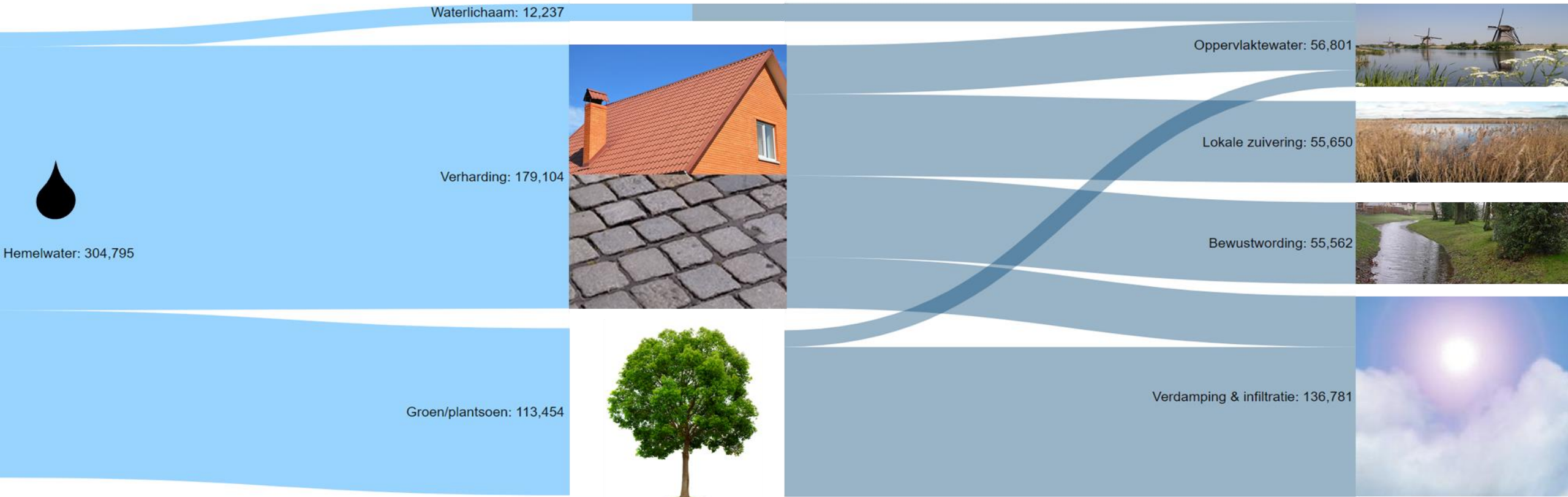
Huidig Hemelwater



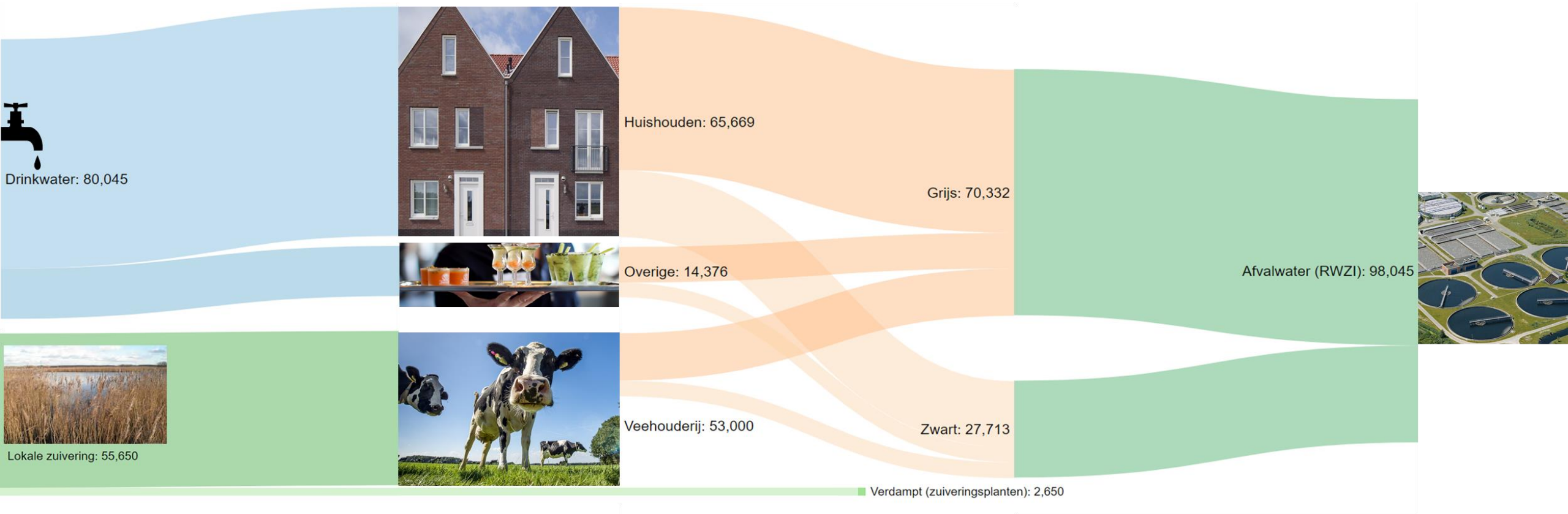
Huidig Drinkwater



Scenario 1



Scenario 1



Scenario 2

Waterlichaam: 12,237



Hemelwater: 304,795

Verharding: 179,832



Oppervlaktewater: 168,013



Regentonnen: 728

Groen/plantsoen: 113,454



Verdamping & infiltratie: 136,781



Scenario 2

