

GRIP

OP DE MAAS

Energietransitie perspectief: Water & Energie
Eindrapport fase 2

GRIP

OP DE MAAS

Energietransitie perspectief: Water & Energie Eindrapport fase 2

September 2017

Hoofdauteurs: Manon Jütte (Alliander NV) en Maarten van der Vlist (Rijkswaterstaat)
Co-auteurs: cocreatieteam leden.

COLOFON

AAN DIT RAPPORT EN HET BIJBEHORENDE COCREATIETRAJECT HEBBEN MEEGEWERKT:

Machiel Bakema	(Alliander NV)
Michiel Bakker	(Rijkswaterstaat)
Albert Barneveld	(Rijkswaterstaat)
Jos Blom	(Alliander NV)
Jan Bozelie	(Alliander NV)
Ronald Folbert	(Heijmans Infra)
Marcel Hertogh	(TU Delft en Rijkswaterstaat)
Manon Jütte	(Perspectieftrekker en Alliander NV)
Simon Kamerbeek	(Alliander NV)
Leo Klatter	(Rijkswaterstaat)
Peter Laagland	(Alliander NV)
Thijs Turèl	(Alliander NV)
Maarten van der Vlist	(Rijkswaterstaat en WUR)
Anke Wetser	(Rijkswaterstaat)



INHOUDSOPGAVE

COLOFON

INHOUDSOPGAVE

MANAGEMENTSAMENVATTING

1 INLEIDING

- 1.1 Aanleiding vervangingsopgave Natte Kunstwerken
- 1.2 Bouwcampus en cocreatietraject Grip op de Maas
- 1.3 Perspectieven van Grip op de Maas
- 1.4 De onderzoeksvraag
- 1.5 Leeswijzer

2 DE MAATSCHAPPELIJKE WAARDE VAN DE MAAS

- 2.1 Stroomgebied van de Maas
- 2.2 Klimaatverandering en rivierafvoer
- 2.3 Vervanging geeft aanleiding tot nieuwe vragen
- 2.4 Conclusie

3 ENERGIETRANSITIE

- 3.1 De Energietransitie
- 3.2 Conclusie

4 ONTWERPVRAAG EN OPLOSSINGSSCENARIO'S

- 4.1 De ontwerpvrage
- 4.2 Oplossingsscenario 'Gescheiden werelden': het dorp onttrekt geen warmte en elektriciteit aan de Maas
- 4.3 Conclusie oplossingsscenario 'Gescheiden werelden'
- 4.4 Oplossingsscenario 'Semi-geïntegreerde werelden'
- 4.5 Conclusie oplossingsscenario 'Semi-geïntegreerde werelden'

2

3

5

8

8

9

10

11

11

13

13

14

15

16

17

17

19

20

20

22

26

27

30

4.6 Oplossingsscenario 'Volledig geïntegreerde werelden'; warmte en elektriciteit opgewekt door stuw in de Maas 30

4.7 Conclusie oplossingsscenario 'Volledig geïntegreerde werelden' 34

5 DE DRIE OPLOSSINGSSCENARIO'S AFGEWOGEN 35

5.1 Afweging op basis eisen 35

5.2 Afweging op financiële criteria 35

5.3 Conclusie 36

6 AFWEGING OP ADDITIONELE AFWEGINGSFACTOREN 37

6.1 Additionele afwegingsfactoren 37

6.2 Conclusie 42

7 CONCLUSIE 44

8 HOE NU VERDER? 46

Bijlage A: Functieboom 3 oplossingsscenario's 47

Bijlage B: Vijzelturbine 48

Bijlage C: Algemene uitgangspunten voor vervanging stuwen zonder energieopwek 49

Bijlage D: Houtskoolschets van de kostenraming van oplossingsscenario 'semi-geïntegreerde werelden' 51

Bijlage E: Houtskoolschets van de kostenraming van oplossingsscenario 'volledig geïntegreerde werelden' 52

Bijlage F: Compensatie van CO₂-uitstoot stuw 55

Bijlage G: Investeringskosten energiesysteem Oplossingsscenario 1 (CE Delft) 56

Bijlage H: Zonnepanelen en windmolens voor de elektriciteitsvraag van de warmtevoorziening 58

REFERENTIES 59

MANAGEMENT SAMENVATTING

VERVANGINGSOPGAVE STUWEN IN DE MAAS

In juni 2015 heeft de toenmalige Directeur Generaal van Rijkswaterstaat (RWS), Jan Hendrik Dronkers, de vervangingsopgave van de stuwen in de Maas op De Bouwcampus neergelegd.

RWS is verantwoordelijk voor het beheer en onderhoud van het Nederlandse hoofdwegennet, het hoofdvaarwegennet en het hoofdwatersysteem. In deze netwerken komen diverse kunstwerken voor zoals sluisen, bruggen, gemalen, stuwen en stormvloedkeringen. Een deel van deze 'natte kunstwerken', zoals de zeven stuwen in de Maas, is bijna een eeuw oud en bereikt het einde van de technische levensduur. Ze zijn toe aan vervanging en/of renovatie. Een ingrijpende uitdaging waar vele miljoenen euro's per kunstwerk mee gemoeid zijn. Bij vervanging rijst de vraag welke inrichting van de Maas en de bijbehorende publieke ruimte de meeste waarde voor de samenleving oplevert. Ruim 60 experts uit de bouwsector hebben op De Bouwcampus over deze vraag nagedacht en hebben op eigen initiatief zes perspectieven op deze vraag ontwikkeld. Eén van deze perspectieven betreft het perspectief: Water & Energie. Het cocreatieteam van dit perspectief heeft bekeken op welke wijze de vervanging van de stuw een bijdrage kan leveren aan de uitdagingen van de energietransitie in Nederland. Dit cocreatieteam bestond uit vertegenwoordigers van Alliander NV, Rijkswaterstaat en Heijmans Infra.

ONDERZOEKVRAAG EN ONDERZOEKSOPZET

Voor het onderzoek heeft het team eerst twee onderzoeksvragen vastgesteld:

1. Wat is de potentie voor de opgaven van de energietransitie bij de vervanging van de stuwen in het stuw- en sluisencomplex?
2. Wat betekent dit in relatie tot de duurzame energievraag in de omgeving rond een stuw- en sluisencomplex?

Bij de beantwoording van die onderzoeksvragen zijn gericht op de warmtevraag. Enerzijds omdat de uitdagingen daar, met de intentie van de Nederlandse

overheid om in 2030 voor de gebouwde omgeving van het aardgas af te gaan, groot zijn. Anderzijds omdat snel duidelijk werd dat de potentie van het waterbeheersysteem op het gebied van warmte het grootst was.

1. Als we ons beperken tot een uitkoeling van het water met gemiddeld 1 graden Celsius kan er per seconde 1 GJ (Giga Joule) (277kWh) warmte aan het water worden onttrokken. Jaarlijks is dit 30,3 PJ (Peta Joule) of 8398GWh. Deze energieopbrengst is toereikend voor het verwarmen van circa 1 miljoen huishoudens per jaar.
2. Over het jaar heen kan er circa 1000MW warmte uit te rivier onttrokken worden. Deze capaciteit is continue beschikbaar maar heeft een fluctuatie van een factor 10 kleiner of groter door het jaar heen.
3. Voor het verwarmen van 5000 woningen in een dorp aan de rivier is gemiddeld over het jaar heen 5 MW nodig. Om aan deze warmte capaciteit te komen hoeft het rivierwater slechts met gemiddeld 0,005 graden Celsius uitgekoeld te worden.

Om de onderzoeksvraag te beantwoorden hebben deelnemers aan het cocreatieteam kennis ontsloten en gebruikt vanuit verschillende vakgebieden en organisaties. Op basis van deze cross-sectorale verkenning zijn drie oplossingsscenario's opgesteld die laten zien wat de potentie van de vervanging van sluisen/stuwen kan zijn voor een duurzame invulling van de warmtevraag. Leidend bij het opstellen van deze oplossingsscenario's waren de eisen die vanuit het warmtesysteem en het waterbeheersysteem werden gesteld.

De basiseisen voor het warmtesysteem

- CO₂-uitstootvrij en energieneutraal of zelfs -energiepositief;
- Aardgasloos (aardgas is niet meer beschikbaar voor verwarming van gebouwen);
- Betrouwbaar, bereikbaar, betaalbaar;
- Zelfvoorzienend (over etmalen en seizoenen).

De basiseisen voor het waterbeheersysteem

- Waterveiligheid;
- Vlot, veilig en betrouwbaar vervoer over water;
- Klimaatbestendig waterbeheer;
- Duurzame en circulaire waterbouwkundige werken.

In het eerste oplossingsscenario Gescheiden werelden zijn het warmtesysteem en het waterbeheersysteem niet met elkaar verbonden. Dit oplossingsscenario is gebaseerd op het CE Delft rapport (2015) 'Op weg naar een klimaatneutrale gebouwde omgeving 2050'. In dit rapport worden diverse alternatieven voor aardgas doorgerekend. Voor een groot deel van Nederland ligt een individueel all-electric systeem het meest voor de hand: dat betekent een systeem met enkel een publieke elektriciteitsinfrastructuur, waarbij alle duurzame energie die een gebouw binnenkomt in de vorm van elektriciteit is. Dit all-electric systeem is voor de dorpen langs de Maas het meest voor de hand liggende alternatief voor verwarming op aardgas. Nadeel van dit systeem is dat het niet zelfvoorzienend is (etmaal- en seizoenafhankelijk). Hiermee zijn dorpen met dit all-electric systeem niet zelfvoorzienend terwijl dit wel één van de gestelde basiseisen is. In de andere twee oplossingsscenario's is het warmtesysteem wel verbonden met het waterbeheersysteem door er warmte en/of elektriciteit uit te winnen. Hierdoor ontstaan alternatieven voor het all-electric systeem van CE Delft.

Oplossingsscenario's:	Invulling van waterbeheer ten behoeve van scheepsvaart en watermanagement:	Invulling van de energiebehoefte:
1 Gescheiden werelden (referentie)	Stuw / sluis	Geen warmte en elektra uit rivier
2 Semi-geïntegreerde werelden	Stuw / sluis	Warmte uit rivier (los van stuw), duurzame elektriciteit ten behoeve van de warmtevoorziening van elders
3 Volledig geïntegreerde werelden	Aangepaste stuw / sluis	Warmte en elektriciteit ten behoeve van de warmtevoorziening opgewekt bij stuw

Deze drie oplossingsscenario's zijn tegen elkaar afgewogen ten aanzien van de basiseisen en de bijbehorende kostenraming (investeringskosten, exploitatiekosten en gebruikerskosten). Elk oplossingsscenario is uitgewerkt

en verduidelijkt met een ontwerpschets van het bijbehorend functionerend systeem (of systemen), een gebiedsschets en een detailschets van het stuw- en sluizencomplex. De oplossingsscenario's zijn onderbouwd met kengetallen, berekeningen en inschatting van de kosten. De berekeningen en getallen zijn inschattingen. Dat laat onverlet dat de drie oplossingsscenario's te vergelijken zijn op de aspecten: doelbereik, kostenraming en gebruik van de publieke ruimte. Als laatste zijn er additionele afwegingsfactoren geïdentificeerd. Uit de afweging komt het oplossingsscenario 'Volledige geïntegreerde werelden' als beste naar voren.

Conclusie

Op basis van dit onderzoek is de hoofdconclusie dat de vervangingsopgave van de stuwen in de stuw- en sluizencomplexen in de Maas een grote potentie heeft voor de opgaven van de energietransitie. De grootste potentie zit in de mogelijkheden om warmte te winnen uit rivierwater. Oplossingsscenario 3 is vanuit het energietransitieperspectief het meest veelbelovend, omdat dit oplossingsscenario niet alleen het warmtesysteem zelfvoorzienend maakt, maar ook een grote rol kan spelen in de zelfvoorzienendheid van de reguliere elektriciteitsvraag (licht, TV, wasmachine, etc.)

Basiseisen	1. Gescheiden werelden	2. Semi-geïntegreerd	3. Volledig geïntegreerd
Energie			
CO ₂ -uitstootvrij en energieneutraal of zelfs -positief	✓	✓	✓
Aardgasloos (Aardgas is niet meer beschikbaar voor gebouwverwarming)	✓	✓	✓
Betrouwbaar, bereikbaar, betaalbaar	✓	✓	✓
Zelfvoorzienend (over etmalen en seizoenen)	nee	✓	✓*
Waterbeheer			
Waterveiligheid	✓	✓	✓
Vlot, veilig en betrouwbaar vervoer over water	✓	✓	✓
Klimaatbestendig waterbeheer	✓	✓	✓
Duurzame en circulaire waterbouwkundige werken	✓	✓	✓

* Niet alleen is het warmtesysteem zelfvoorzienend over etmalen en seizoenen, maar ook kan deze oplossing een grote rol spelen in de zelfvoorzienendheid van de reguliere elektriciteitsvraag.

Voor de vervanging van de stuw in het stuw- en sluizencomplex vallen de bijbehorende investeringskosten, exploitatiekosten en gebruikerskosten binnen dezelfde bandbreedte. De kostenverschillen zijn te vinden bij de vervanging van het warmtesysteem. Hierover kan opgemerkt worden dat de kostenraming van oplossingsscenario 1 fors hoger lijken te liggen dan van oplossingsscenario's 2 en 3: de investeringskosten zijn een factor 2 hoger, de gebruikerskosten zijn significant hoger en de investering voor installaties en gebouwaanpassingen op € 209 miljoen in plaats van € 90 miljoen. Daarnaast is er in oplossingsscenario 1 nog een additionele kostenraming voor verzwaaring van het elektriciteitsnetwerk. Ook wordt het vraagstuk van de zelfvoorzienendheid niet opgelost en is de bijbehorende kostenraming niet bekend.

Oplossingsscenario's 2 en 3 hebben twee belangwekkende effecten op de omgeving. Ten eerste daalt door de warmtewinning uit rivierwater de watertemperatuur wat positief is voor de waterkwaliteit. Ten tweede neemt de mogelijkheid van vissterfte als gevolg van plaatsing van pompen (in oplossingsscenario 2) en vijzelturbines (in oplossingsscenario 3) mogelijk toe. Deze vissterfte moet conform de beleidsregel: Watervergunningverlening waterkrachtcentrales in rijkswateren, minder zijn dan 0,1%. Er zijn hiervoor twee oplossingsrichtingen denkbaar:

1. Zoek een alternatief voor de vijzelturbines;
2. Zoek bij herontwerp naar mogelijke andere maatregelen om de vissterfte te compenseren.

In oplossingsscenario 3 kan de milieuvergunning in verband met de vijzelturbines en het mogelijke negatieve effect op de visstand een struikelblok zijn. In oplossingsscenario's 2 en 3 worden twee bewezen technologieën toegepast: het buffervat en de warmtewisselaar. Echter, in Nederland hebben we deze technologieën nog niet op deze wijze en op deze schaalgrootte toegepast. Oplossingsscenario 3 biedt de meeste kansen op een toekomstige energie-hub van verschillende energievormen (elektriciteit en warmte) voor verschillende gebruikersgroepen (binnenvaart, pleziervaart, personenvervoer, vrachtvervoer etc.). De energie-infrastructuur is toepasbaar voor laden én lossen van energie tijdens het schutten.

Vervolgtraject

Het advies is om oplossingsscenario 3, Volledig geïntegreerde werelden van water en energie, verder uit te werken en te gaan testen in een tweetal pilots. De centrale vraag van het vervolgtraject betreft de realiseerbaarheid en uitvoerbaarheid van het voorliggende schetsontwerp. De focus ligt daarbij op de integratie van beide systemen in samenwerking met de omgeving en betrokken stakeholders. Met deze uitwerking kan de pilot ontworpen en gerealiseerd worden. De volgende aandachtsgebieden worden in ieder geval opgepakt in de verdere uitwerking:

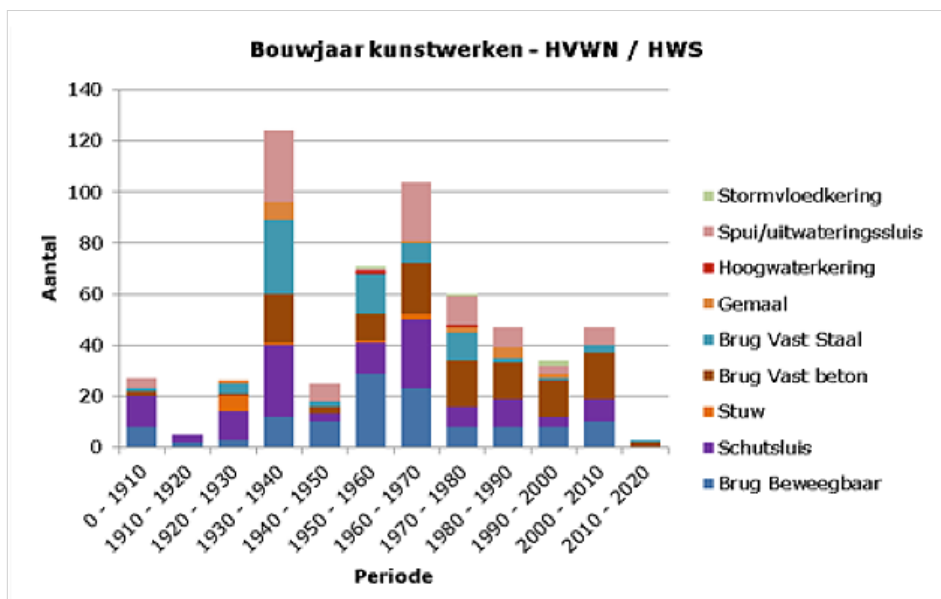
1. Het verfijnen en beter onderbouwen van de kentallen en berekeningen;
2. Drie belangrijke innovaties: de warmtewinning uit rivierwater met warmtewisselaar, het buffervat en de vijzelturbines;
3. Civieltechnische uitdagingen: de integratie van vijzelturbines en warmtewisselaars met de constructie en fundering van het stuw- en sluizencomplex;
4. Impact van het nieuwe cross-sector systeem op visstand en waterkwaliteit;
5. Samenwerking met lokale stakeholders en beoogde afnemers van energie
6. Business-cases voor de betrokken stakeholders ;
7. Identificeren welke stuw- en sluizencomplexen zich het beste lenen voor een pilot.

Deze en andere vragen zullen worden opgepakt door RWS en Alliander in samenwerking met andere kennishouders.

1 INLEIDING

1.1 AANLEIDING VERVANGINGSOPGAVE NATTE KUNSTWERKEN

RWS is verantwoordelijk voor het beheer en onderhoud van het hoofdwegennet, het hoofdvaarwegennet en het hoofdwatersysteem. In deze netwerken komen diverse kunstwerken voor, zoals sluisen, bruggen, gemalen, stuwen en stormvloedkeringen. Een deel van deze natte kunstwerken is inmiddels bijna een eeuw oud (figuur 1), bereikt einde technische levensduur en is daardoor toe aan renovatie en of vervanging.



Figuur 1: Bouwjaar natte kunstwerken in het hoofdvaarwegennet (HVWN) en hoofdwatersysteem (HWS) van RWS (bron: RWS rapportage VONK)

Dat geldt onder andere voor de zeven stuwen in de Maas. Deze stuwen zijn in combinatie met sluisen begin vorige eeuw gebouwd om onder andere de Maas tussen Den Bosch en de Belgische grens bevaarbaar te maken voor

de beroepsscheepvaart. De reden hiervoor was destijds het transport van kolen van Zuid-Limburg naar het westen van Nederland. Met behulp van de sluisen kunnen schepen beschermd worden. De stuwen reguleren het waterpeil om de gewenste diepgang voor de schepen te krijgen. Deze zeven stuw- en sluiscomplexen vormen een samenhangend geheel.

De eerste van de zeven stuwen in de Maas die einde technische levensduur bereikt is stuw Grave. Einde technische levensduur wordt hier bereikt in 2028.

Wat de functie van de stuw Grave is, werd duidelijk tijdens het incident op 29 december 2016 toen een vrachtschip dwars door de stuw heen voer (figuur 2). Niet alleen kwam het bovenstrooms gelegen stuwpannd droog te staan door de waterspiegeldaling van 2,6 meter, maar ook waterpartijen in de omgeving, zoals in Nijmegen, en grachten van kastelen kwamen droog te staan. Woonboten kwamen droog te liggen en kantelden. Ook de kaden en dijken langs dit stuwpannd dreigden instabiel te worden met als gevolg gevaar van overstroming en instortingsgevaar van los- en laadplaatsen langs de rivier.



Figuur 2: Stuw bij Sambeek (bron: beeldbank Rijkswaterstaat).

Kunstwerken, zoals stuwen en sluizen, zijn opgebouwd uit diverse onderdelen, zoals de fundering, de opbouw, de beweegbare delen en de bediening. De beweegbare delen en de bediening hebben een levenscyclus van tussen de 15 - 30 jaar. De levenscyclus van fundering en opbouw is 80 - 100 jaar. Wanneer we spreken over bereiken einde technische levensduur of vervanging en renovatie van de stuwen in de Maas dan gaat het vooral om de fundering en opbouw; een ingrijpende zaak waar vele miljoenen euro per kunstwerk mee gemoeid zijn. De stuw- en sluizencomplexen in de Maas vormen één samenwerkend systeem. Dat betekent dat wanneer er een stuw wordt vervangen, de toekomstige situatie voor de andere stuwen ook grotendeels wordt vastgelegd. Daarmee dringt zich de vraag op wat denkbare perspectieven zijn voor de vervanging en renovatie van de stuwen in de Maas; perspectieven op objectniveau, op netwerkniveau en op gebiedsniveau.

1.2 BOUWCAMPUS EN COCREATIETRAJECT GRIP OP DE MAAS

Het bedenken en uitwerken van de perspectieven zoals benoemd in 1.1 is niet alleen zaak van RWS. Bij de vervanging en renovatie van de kunstwerken gaat het erom om te komen tot een maatschappelijk optimale toekomstige inrichting van de Maas en de bijbehorende publieke ruimte die de meeste waarde voor de samenleving oplevert. Daartoe zal gekeken dienen te worden naar de brede maatschappelijke uitdagingen, zoals klimaatverandering en duurzaamheid (energie, circulaire economie, nature based solutions, natuurlijk kapitaal, etc.) die in het gebied spelen en te bezien of en zo ja op welke wijze de vervangingsopgave van de stuwen in de Maas hier aan kan bijdragen.

Tegen deze achtergrond is de vervangingsopgave van de stuwen in de Maas in juni 2015 door de toenmalige Directeur Generaal van RWS Jan Hendrik Dronkers op de Bouwcampus neergelegd namens RWS. Redenen waren onder andere dat de opgave voor RWS alleen te groot is en RWS een (te) beperkt deel ziet van de oplossingsrichtingen vanuit het eigen werkveld en expertise. RWS beheert en onderhoudt stuw Grave (als onderdeel van het vaarwegennet en het watersysteem) voor de Nederlandse samenleving naar beste vermogen. Maar RWS is geen eigenaar van de stuw; die is in principe van ons allemaal, oftewel de Nederlandse staat.

De doorontwikkeling van de stuw is dus iets dat voor RWS als beheerder van groot belang is, maar de opgave is niet uitsluitend van RWS. De mogelijkheid tot aanpassing van de stuwen en de inrichting van het bijbehorende netwerk doet zich maar één keer in de 80-100 jaar voor. Bovendien legt het nieuwe kunstwerk in belangrijke mate de condities voor de ruimtelijke en waterhuishoudelijke inrichting van het gebied voor lange tijd vast.

Voor dergelijke opgaven en maatschappelijke vraagstukken in de bouw is RWS een van de initiatiefnemers van De Bouwcampus.

De Bouwcampus is een ontmoetingsplaats voor mensen die werkzaam zijn in de Grond-, Weg- en Waterbouw sector (GWW), woningbouw en utiliteitsbouw (infrabeheerders, bouw- en installatiebedrijven, kennisinstellingen, advies- en ingenieursbureaus). Zo'n ontmoetingsplaats is nodig omdat geconstateerd was dat partijen elkaar vrijwel alleen ontmoeten in aanbestedingstrajecten of erger, in de rechtszaal. De ontmoeting en kennisuitwisseling tussen experts in de bouw is daarmee naar achter gedrongen, terwijl er tal van opgaven liggen en kansen zijn om elkaars expertise beter te benutten en de bouw te verbeteren. De sector heeft dringend behoefte aan samenwerking om vernieuwing en innovatie te realiseren, want er zijn tal van kansen in de bouw om bij te dragen aan maatschappelijke uitdagingen. De Bouwcampus organiseert ontmoetingen, congressen en workshops, maar vooral ook het cocreatielab. De initiatiefnemers van De Bouwcampus (zie: www.debouwcampus.nl) hebben afgesproken om concrete vernieuwingsopgaven met elkaar op te pakken in de cocreatieve, pre concurrentiële setting van de Bouwcampus.

Vervangingsopgave stuwen in de Maas - stuw Grave

Stuw Grave is onderdeel van de Maas. Van de zeven stuwen die vervangen moeten worden is Grave als eerste aan de beurt rond 2028. Daarom wordt deze hier uitgelicht als casus voor alle zeven stuwen. De zeven stuwen samen vormen een corridor in de Maas. De Maas is op haar beurt onderdeel van/ functioneert in:

- Een vaarwegennet (met onder andere stuwen en sluizen);
- Watersysteem (van onder andere beken en kanalen, stroomgebied Maas).
- Regionaal gebied.

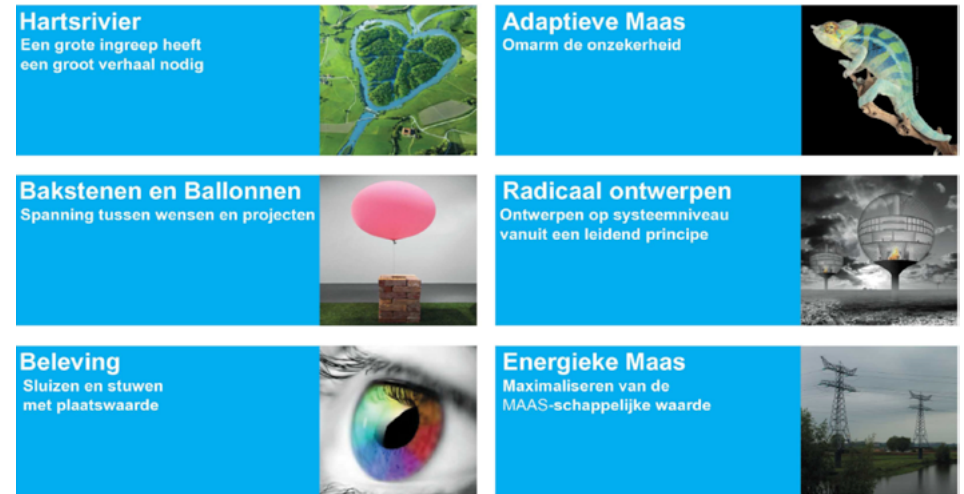
Zoals eerder is genoemd, bereikt stuw Grave in 2028 einde technische levensduur en zal de stuw dus rond 2028 vervangen en/of gerenoveerd moeten zijn. Dat lijkt nog ver weg, maar als we wachten tot 2023 hebben we eigenlijk geen tijd meer om iets anders te doen dan één op één vervangen (dat wil zeggen: dezelfde stuw opnieuw bouwen, op dezelfde locatie, met dezelfde functie en met de laatste stand van de techniek). Als we als Nederland iets anders willen met de Maas en dus ook andere Infrastructuur, Ruimte en Transport (MIRT). Het bijbehorende projectenboek wordt jaarlijks bijgevoegd als onderdeel van de kabinetsbegroting. Het is niet ongebruikelijk dat het uitwerken van plannen voor een complexe vervangingsopgave tien jaar duurt.

Om bovengenoemde redenen is de vervangingsopgave van de zeven stuwen in de Maas als cocreatieopgave naar De Bouwcampus gebracht onder de titel 'Grip op de Maas'. Voor deze opgave zijn zowel de Cobouw, Tendernet, als experts van de mailinglijsten van De Bouwcampus en Vernieuwing Bouw gebruikt om de experts die op systeemniveau kunnen denken, uit de aannemerij, installatiewereld, kennisinstellingen en advies- en ingenieurswereld, naast andere infrabeheerders uit te nodigen om op de Bouwcampus na te denken over welke perspectieven er zijn met betrekking tot de vervanging van de stuwen in de Maas.

1.3 PERSPECTIEVEN VAN GRIP OP DE MAAS

De vervangingsopgave van de stuwen in de Maas is in vier bijeenkomsten met ruim 60 experts uit de bouwsector besproken op De Bouwcampus. Deze experts hebben op eigen initiatief zes perspectieven op het systeem Maas ontwikkeld. Deze perspectieven zijn hierna weergegeven (figuur 3) en worden kort toegelicht.

- **Radicaal ontwerpen** focust op het mogelijk teruglopen van de bevaarbaarheid van de Maas in de zomer als gevolg van klimaatverandering. Is het niet beter om de scheepvaart naar de Brabantse kanalen te verleggen en dit kanaal systeem op te waarderen?



Figuur 3: Perspectieven Grip op de Maas. (Bron: De Bouwcampus, Oogstboekje 'Grip op de Maas', 2016)

- **Adaptieve Maas** richt zich op het mogelijk reduceren van het aantal stuwen en het flexibiliseren van de kunstwerken zelf, zodat deze een grotere spreiding aan aan- en afvoeren kan verwerken.
- **Beleving** plaatst de stuwen in de leefomgeving van de regio. De kunstwerken zijn moeilijk te vinden en zijn afgeschermd met hekken voor het grote publiek. Waarom zijn dit geen ontmoetingsplaatsen waar de kunstwerken ook echt te beleven zijn?
- **Infocratie** (Bakstenen en Ballonnen) is geïnspireerd door de digitalisering/big data van de samenleving. Waarom worden de data niet bij elkaar gebracht en kunnen diverse partijen aan de hand van deze info zelf voorstellen doen voor de inrichting van het gebied?
- **Storytelling** (Hartsrivier) richt zich op de legitimering van de vervangingsopgave. Elke grote ingreep, zoals destijds met het kanaliseren en stuwen van de Maas, vergt een groot verhaal dat aansluit bij de kleine verhalen van ingezetenen in de regio.
- **Energietransitie** (Energieke Maas). In dit perspectief is bekeken op welke wijze de vervanging van de stuw(-en) een bijdrage kan leveren aan de energietransitie van Nederland (energie is zowel elektriciteit als warmte).

In dit rapport wordt het energietransitieperspectief verder uitgewerkt. Het cocreatieteam van het energietransitieperspectief heeft zichzelf in 2015 de vraag gesteld welke bijdrage de vervanging van de stuwen kan leveren aan de energiebehoefte van Nederland als gevolg van de energietransitie. Wat is de 'MAASschappelijke' waarde die dit riviersysteem kan leveren?

Wat betreft de vervanging van de stuwen in de Maas benadrukt dit perspectief de mogelijkheden van energiewinning, transport en opslag in en rond de stuwen en de relatie die daarmee kan ontstaan met vragers van energie, zoals industrie, huishoudens en landbouw. Het streven van het nationale beleid, zoals verwoord in de Energieagenda uit 2016, is om de gebouwde omgeving in 2030 gasloos te laten zijn (EZ 2016).

In een gezamenlijke verkenning van het energietransitieperspectief heeft het team de focus gelegd op de maatschappelijke meerwaarde: de potentie van een stuw- en sluizencomplex, de vervanging daarvan en de mogelijkheden voor de energietransitie. Hiervoor is het volgende leidende principe gehanteerd: Haal zoveel mogelijk energie uit het kunstwerk/watersysteem als antwoord op de Nederlandse energieuitdaging.

Het cocreatieteam heeft zich de uitdaging gesteld om een cross-sector systeem te ontwerpen dat zowel de waterinfrastructureisen als de Nederlandse energieuitdagingen beantwoordt. Naast het realiseren van meerdere maatschappelijke waarden met een systeem, wordt ook gezocht naar een doelmatiger besteding van overheidsgelden. Immers, zowel de RWS netwerken als de energiesystemen worden door de burger betaald. Via de belasting wordt de aanleg van de RWS kunstwerken, zoals de stuwen in de Maas, bekostigd. Burgers en bedrijven betalen via het capaciteitstarief aan de netbeheerders voor energiesystemen. Hierdoor rijst de vraag of door het integreren van de energie- en waterinfrastructuren er nieuwe kansen ontstaan als antwoord op de vraag naar:

- Droge voeten;
- Toegang tot duurzame energie;
- Maximaal (be)leefbare omgeving;
- Betaalbare infrastructuur.

1.4 DE ONDERZOEKSVRAAG

Bij het denken aan de mogelijkheden van sluizen en stuwen vanuit het energietransitieperspectief is een eerste voor de hand liggend idee het compenseren van de CO₂-uitstoot van de sluis of stuw door opwekking van duurzame energie. Daarbij gaat het om CO₂-uitstoot van de bouw, de operatie (belichting, bewegende onderdelen) en het onderhoud van het complex. Dit idee bleek gemakkelijk haalbaar met de inzet van een relatief klein aantal zonnepanelen of minder dan één windmolen (zie bijlage F voor een toelichting). Er bleek echter ook dat de potentie van inzet van stuwen in de Maas zo veel groter is dan het compenseren van de eigen CO₂-footprint. Met dit inzicht is de onderzoeksvraag aangescherpt:

Dit onderzoek kijkt naar deze potentie voor de opgaven van de energietransitie bij de vervanging van de stuwen in het stuw- en sluizencomplex in relatie tot de duurzame energievraag in de omgeving rond een stuw- en sluizencomplex.

1.5 LEESWIJZER

In het volgende hoofdstuk, hoofdstuk 2, wordt eerst de betekenis van de rivier de Maas en de natte kunstwerken in de rivier uiteengezet. Tevens worden de daaraan gekoppelde opgaven toegelicht.

In hoofdstuk 3 worden de energietransitie en de daaraan gekoppelde opgaven toegelicht.

In hoofdstuk 4 vindt de verkenning plaats naar de wijze waarop beide opgaven gecombineerd kunnen worden en wat de kansen en consequenties zijn voor het herontwerp van de stuwen in een stuw- en sluizencomplex. In deze verkenning worden drie oplossingsscenario's ontwikkeld. Daarbij wordt voor elk opleidingsscenario een schets gegeven van het systeem, het gebied en een detailontwerp voor de stuw of sluis. Ook worden zo goed als mogelijk de kosten ingeschat, onderscheiden naar investeringskosten, exploitatiekosten en gebruikerskosten. Deze kostenraming betreffen met nadruk een vingeroefening, omdat op onderdelen geen goede betrouwbare (ken)getallen bestaan. De berekeningen en cijfers zijn met de best beschikbare kennis van dit moment

bij elkaar gebracht. De genoemde getallen zijn daarom bedoeld als richtlijn en orde van grootte en foutmarges zijn van toepassing. Dit geldt even zeer voor het systeemontwerp. Er worden ook verschillende grootheden getoond die niet vergelijkbaar zijn. Desondanks is getracht om deze grootheden zo goed mogelijk vergelijkbaar te maken, zodat een voorkeursscenario gekozen kan worden.

In hoofdstuk 5 worden de oplossingsscenario's op een rij gezet en wordt aangegeven hoe deze oplossingsscenario's scoren op de basiseisen van zowel de energietransitie als de waterhuishoudkunde.

In hoofdstuk 6 worden de oplossingsscenario's gezien vanuit additionele factoren die, naast de basiseisen, van toepassing zijn op de uiteindelijke keuze.

Hoofdstuk 7 geeft de conclusie en hoofdstuk 8 geeft inzicht in het beoogde vervolgtraject: aanbevelingen en vervolgstappen voor de beoogde twee pilots.

2 DE MAATSCHAPPELIJKE WAARDE VAN DE MAAS

2.1 STROOMGEBIED VAN DE MAAS

De Maas heeft een stroomgebied van ongeveer 35.000 km², waarvan het grootste deel in België ligt (12.000 km²) (figuur 4). In Nederland kent het stroomgebied van de Maas een oppervlakte van 8.000 km². De Maas ontspringt in Frankrijk op het plateau van Langres.

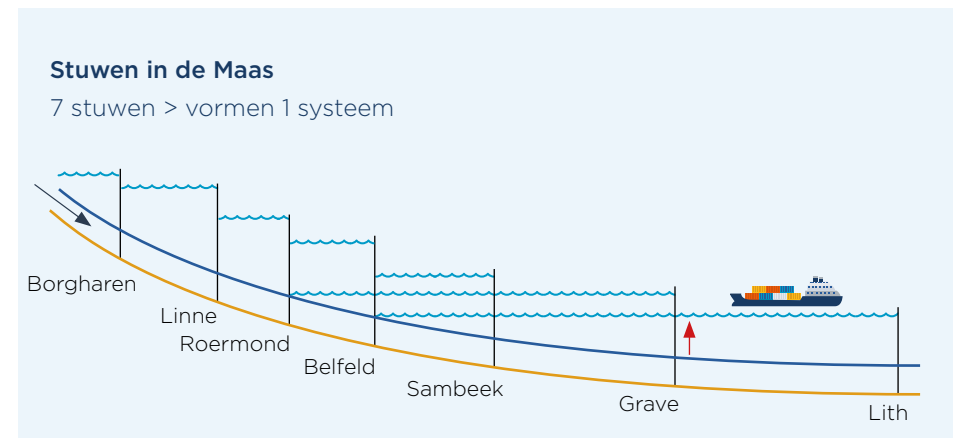
De Maas is een regenrivier met soms hoge afvoeren in de winter en een lange periode van lage afvoeren in de zomer. Het plateau van Langres bestaat uit kalksteen, waardoor veel water in de ondergrond verdwijnt. In België bestaat de ondergrond uit een harder gesteente, waardoor neerslag niet wordt opgenomen door de bodem, maar snel afgevoerd wordt.



Figuur 4: Stroomgebied Maas (bron: RWS)

Het water uit de Maas wordt in België gebruikt om kanalen te voeden om scheepvaart mogelijk te maken. Zo werd rond 1825 het Albertkanaal (de eerste aftakking van de Maas) en de Zuid-Willemsvaart aangelegd. Even later, in 1843, werd het Kanaal Bocholt Herentals aangelegd, waardoor de afvoer via de Maas verminderde en dit maakte dat de bevaarbaarheid van de Maas achteruit ging. In 1915 werd door de Tweede Kamer een wet aangenomen om Maasverbeteringswerken uit te voeren. Dat was het startsein voor de bouw van zeven stuwen in de Maas, de aanleg van kanalen en het afsnijden van bochten. De uitgangspunten van het watersysteem betroffen een vlot, veilig en betrouwbaar vervoer van goederen over water om hiermee de Nederlandse industrie zo goed mogelijk te faciliteren.

In onderstaand figuur staan het lengteprofiel en de stuwen en panden van de Maas weergegeven. Met deze stuw-sluizencomplexen wordt bij Lith een streefpeil gehanteerd van 4,90 meter boven NAP en bij Borgharen van 44,05 meter boven NAP. De gestuwde Maas heeft een lengte van ongeveer 200 kilometer.



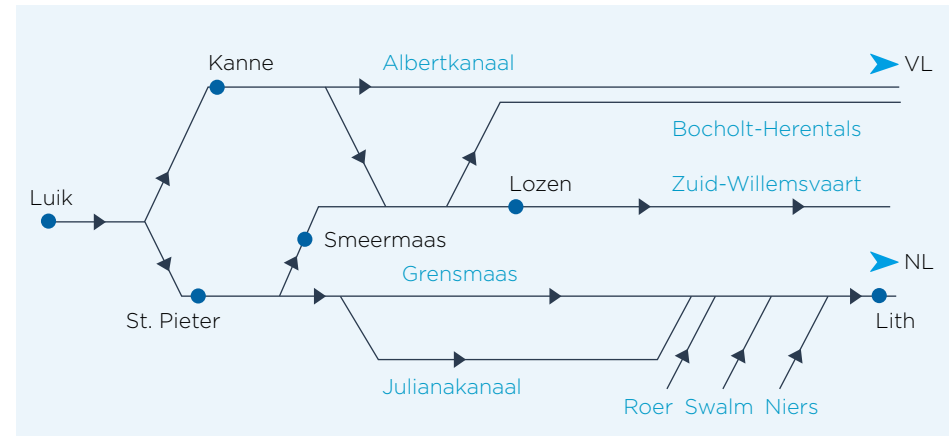
Figuur 5: Waterpeilverloop Maas aan de hand van lengteprofiel met daarin de stuwen en panden van de Maas (bron: RWS)

Ten zuiden van Roermond vindt beroepsvaart plaats op het Lateraalkanaal en Julianakanaal. De oorspronkelijke loop van de rivier bestaat nog en staat bekend als de Grensmaas. Ten noorden van Roermond is de beroepsvaart aangewezen op de Maas, omdat de kanalen tussen Maasbracht en Den Bosch (Kanaal Wessem-Nederweert en Zuid-Willemsvaart) nu niet geschikt zijn voor grotere schepen en omdat veel scheepvaart via het Maas-Waalkanaal naar Duitsland gaat. Dit deel van de Maas is als schakel in het scheepvaartverkeer daarom vooralsnog noodzakelijk. De stuwen zullen dit deel van de Maas bevaarbaar moeten houden.

De Maas wordt zowel in Frankrijk, België, Duitsland als Nederland gevoed door zijrivieren. In Nederland zijn de belangrijkste zijrivieren: de Geul, de Swalm en de Roer. Deze relatief kleine rivieren kunnen soms veel water afvoeren naar de Maas. De afvoer van de Roer naar de Maas uit Duitsland bedraagt minimaal 5 m³ per seconde, gevoed door de spaarbekkens in de Eifel. In de praktijk ligt de afvoer veelal rond de 10 m³ per seconde.

Voor de afvoer van de Maas zijn afspraken gemaakt met Vlaanderen. De afvoer van de Maas wordt gelijk verdeeld over de Maas en de Belgische kanalen met een ondergrens van minimaal 10 m³ per seconden over de Grensmaas (Maasafvoeroverdrag, 1995).

Uit de Maas wordt Oost-Brabant van water voorzien voor landbouw en natuur (onder andere het natuurgebied De Grote Peel). Over de Zuid-Willemsvaart (figuur 6) komt bij Loozen 10 m³ per seconde binnen. Daarnaast kan bij Panheel (gelegen tussen Julianakanaal en Roer) maximaal 6 m³ per seconde uit de Maas naar de kanalen worden gepompt. In totaal kan, wanneer noodzakelijk, 6 m³ per seconde worden aangevoerd.



Figuur 6: Waterverdeling over Maas en kanalen (bron: RWS)

2.2 KLIMAATVERANDERING EN RIVIERAFVOER

Wat betreft de afvoer van het rivierwater doen zich onzekerheden voor als gevolg van de klimaatverandering. Gemiddeld komt nu eens in de 100 jaar een extreem hoge afvoer van 2.900 m³ per seconde voor. Volgens de Deltascenario's is de verwachting dat dit aan het eind van de eeuw op kan lopen tot 3.600 m³ per seconde. De huidige gemiddelde afvoer van 89 m³ per seconde in de maand september kan afhankelijk van het oplossingsscenario groeien naar 94 m³ per seconde. Maar het kan ook sterk afnemen naar 30 m³ per seconde. Extreem lage afvoeren met een herhalingstijd van 10 jaar (die nu circa 18 m³ per seconde is) zou kunnen afnemen tot circa 6 m³ per seconde aan het eind van deze eeuw.

Droge perioden van meer dan 50 dagen met een afvoer onder de 25 m³ per seconde zullen afhankelijk van het scenario gelijk blijven (nu eens in de 300 jaar). In andere scenario's (zoals stoom en warmte) kan de herhalingstijd toenemen naar eens in de 20 jaar of zelfs eens in de 4 jaar.

Tabel 1: Deltascenario's uitgewerkt voor de afvoer van de Maas

Maas: afvoer en droge periode	Gemiddelde afvoer Maas in februari in m ³ per seconde	Gemiddelde afvoer Maas in september in m ³ per seconde	Extreem hoge afvoer (1/100 jaar) in m ³ per seconde	Extreem lage afvoer (1/10 jaar) in m ³ per seconde	Droge perioden (50 aaneengesloten, minder dan 25 m ³ per seconde. Herhalings-tijd in jaar
Referentie	480	89	2900	18	300
Druk 2050	500	92	3000	18	300
Druk 2100	520	94	3200	18	300
Stoom 2050	530	48	3200	10	20
Stoom 2100	590	30	3600	6	4
Rust 2050	500	92	3000	18	300
Rust 2100	520	94	3200	18	300
Warm 2050	530	48	3200	10	20
Warm 2100	590	30	3600	6	4

Bron: Deltascenario's. Deltaprogramma juni 2011 en laatste kolom (droge periode) uit Deltascenario's voor 2050 en 2100; nadere uitwerking. Deltares, KNMI, PBL, CPB, LEI, 2013

De hierboven gepresenteerde scenario's zijn gebaseerd op de KNMI scenario's 2006. De meest recente klimaatscenario's (KNMI 2014) laten een vergelijkbaar beeld zien met een tendens dat het verschil tussen winter- en zomerafvoer groter worden (referentie Klijn et al, 2015 en Bruggeman et al, 2016).

Naast scheepvaart wordt de rivier intensief gebruikt voor koelwater en proceswater. Voorbeelden zijn DSM in Nederland en de Belgische kerncentrale Tihange bij Luik. Drinkwater wordt in Limburg vooral uit grondwater gewonnen. Alleen bij Heel wordt drinkwater uit de Maas gemaakt.

2.3 VERVANGING GEEFT AANLEIDING TOT NIEUWE VRAGEN

De stuwen in de Maas naderen hun einde technische levensduur en dat geldt voor meerdere kunstwerken in de door RWS beheerde netwerken: het hoofdwegennet, hoofdvaarwegennet en hoofdwatersysteem. De verwachting is dat het merendeel van het RWS-werk zal verschuiven van 'aanleg' naar 'vervanging en renovatie'. Om de netwerken te kunnen laten blijven functioneren zijn omvangrijke investeringen nodig. Deze groei van belang voor vervanging en renovatie zien we zowel bij de weg- als waterinfrastructuur. Vervangingsinvesteringen zijn een nieuw domein van RWS dat nieuwe vragen oproept, zoals:

- Renovatie en vervanging vormen een belangrijk moment om de functionaliteit van de natte kunstwerken opnieuw tegen het licht te houden en te bezien of er nieuwe mogelijkheden van herontwerp zijn waarbij maatschappelijke meerwaarde kan worden gecreëerd;
- De verschillende infrastructuren (hoofdvaarwegennet, hoofdwatersysteem, utiliteit, energie etc.) raken in toenemende mate met elkaar verweven. Bij herontwerp van deze systemen dient rekening te worden gehouden met synergievoordelen;
- Investeringen in renovatie en vervanging hebben een levensduur van 50 tot 100 jaar. Bij het vervangen moeten aanpalende langetermijnontwikkelingen betrokken worden.

De vervangingsopgave van de stuwen in de Maas moet daarom worden gezien vanuit het perspectief van de drie hierboven gestelde vragen. Dit zijn daarmee de basisprincipes voor het herontwerp van de vervangingsopgave. Daarnaast is met het Ministerie van Infrastructuur en Milieu afgesproken dat de netwerken die beheerd worden door RWS in 2030 energieneutraal en duurzaam zijn (toepassing van de principes circulaire economie, nature based solution en energieneutraal, zie Duurzame ontwikkeling en beleid, brief van de Minister van Infrastructuur en Milieu, stukken Tweede Kamer 30196 nr. 459, vergaderjaar 2015-2016). Bovendien is in het kader van het Deltaprogramma en de daarop gebaseerde deltabeslissingen afgesproken dat de netwerken van RWS in 2050 klimaatbestendig zijn (Deltabeslissing Ruimtelijke Adaptatie, 2015).

De kaders (zie bijlage C) van de vervangingsopgave voor de stuwen in de Maas voorzien daarnaast in een ontwerp dat circulair materiaalgebruik in de realisatie-, beheer- en onderhoudsfase nastreeft. Dit houdt in dat er een ontwerp van de stuwen wordt gemaakt, waarbij zoveel mogelijk gebruik wordt gemaakt van hernieuwbare en algemeen beschikbare grondstoffen. Daartoe worden grondstoffen optimaal ingezet en (her-)gebruikt zonder risico's voor gezondheid en milieu en worden primaire grondstoffen, voor zover deze nog nodig zijn, op duurzame wijze gewonnen.

2.4 CONCLUSIE

Het bovenstaande in ogenschouw nemende, kan gesteld worden dat het ontwerp voor de vervanging en renovatie van de stuwen in relatie tot het waterbeheersysteem vanuit RWS aan de volgende basiseisen moet voldoen:

- Waterveiligheid;
- Vlot, veilig en betrouwbaar vervoer over water;
- Klimaatbestendig waterbeheer;
- Duurzame en circulaire waterbouwkundige werken.

3 ENERGIETRANSITIE

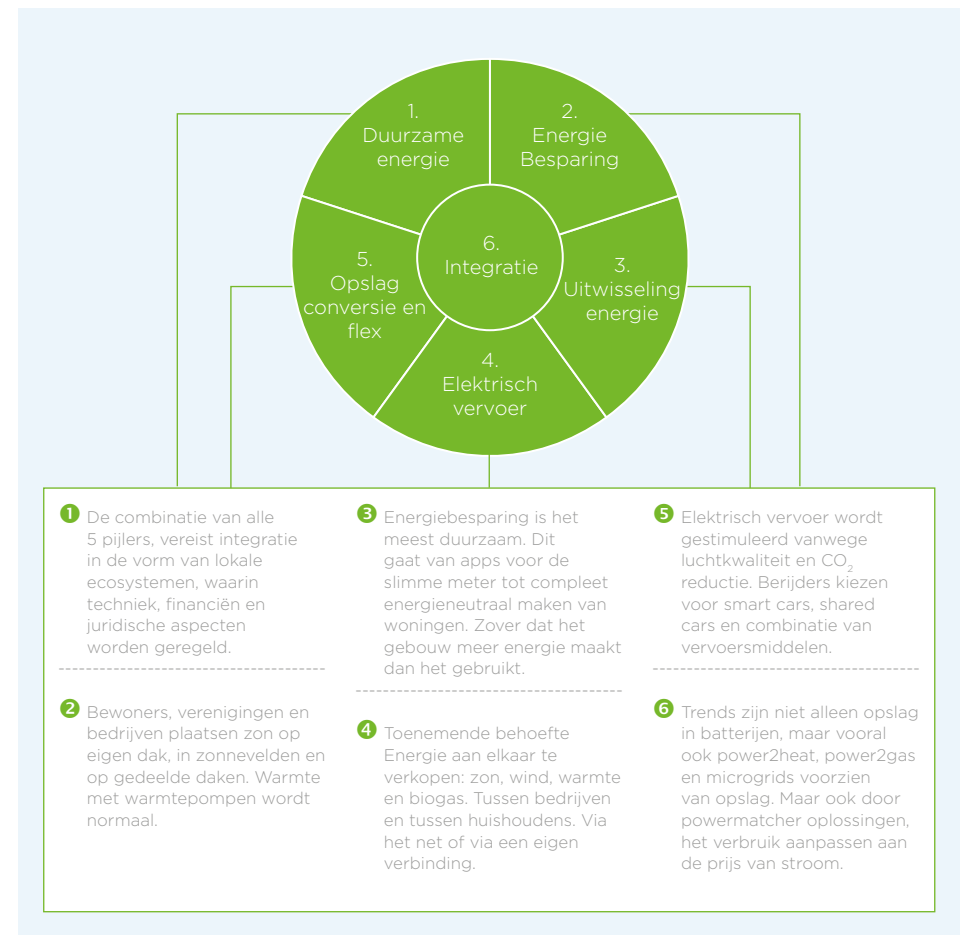
3.1 DE ENERGIETRANSITIE

De energietransitie is een mondiaal veranderingsproces voortkomende uit de noodzaak om klimaatverandering te mitigeren, de behoefte aan energieonafhankelijkheid en de behoefte om economisch competitief te zijn (European Climate Foundation 2017). In dit proces moeten fossiele brandstoffen vervangen worden door hernieuwbare energiebronnen. Hierdoor ontstaat zowel een nieuwe en additionele elektriciteitsvraag voor nieuwe toepassingen als de vraag naar elektriciteit als vervanging van energiebehoeften die voorheen door fossiele bronnen werden bediend. In het Klimaatakkoord van Parijs werd op 12 december 2015 afgesproken te streven naar een mondiale temperatuurstijging van maximaal 2 graden Celsius boven het pre-industriële tijdperk. Dit om te grote verandering van het klimaat te voorkomen.

Jeremy Rifkin, een leidende adviseur op het gebied van de Energietransitie, onder andere omarmd door Duitsland, China en de EU, stelt dat we aan de vooravond staan van de 'derde industriële revolutie' (2011). Hij geeft onder meer aan dat nieuwe vormen van communicatie (digitalisering) en nieuwe vormen van energie (van fossiel naar duurzame energie) een grote impact op onze maatschappij en economie zullen hebben. Als gevolg hiervan kan een haven niet meer alleen gezien worden als constructie van wegen, havens, bruggen etc., maar ook als een data-hub van communicatie-, energie- en transportstromen.

De eindigheid van fossiele energie leidt tot een vraag naar nieuwe energiesystemen waarvan de bijbehorende technologieën digitaliseren. Deze ontwikkelingen leiden tot een 'internet van energie'. In deze nieuwe energiesystemen wordt duurzame energie lokaal opgewekt, lokaal gebruikt en wordt het een grotere uitdaging om vraag en aanbod te matchen. De machtsverhoudingen en rollen in de ketens veranderen hierdoor. Een voorbeeld is dat veel huishoudens en bedrijven in de energiesystemen zowel opwekker als afnemer zijn. Er ontstaan daardoor lokaal nieuwe energie-, communicatie- en transporthubs.

In de navolgende afbeelding is te zien wat de zes pijlers zijn van de nieuwe energiesystemen en wat de impact van deze pijlers zijn op de maatschappij en de systemen.



Figuur 7: De pijlers van de Energietransitie. bron: Alliander NV, geïnspireerd op Rifkin

In Nederland staat de energietransitie de komende jaren in het teken van het sterk verminderen van de rol van aardgas. Aardgas is nu een van de belangrijkste bronnen van energie. Nederlands streven is om in 2050 de gaswinning in Slochteren geheel te stoppen. Intentie is dat in 2030 de gebouwde omgeving voor het grootste deel van het gas af is (Ministerie van Economische Zaken, 2016).

Verwarming blijft één van de grootste energiebehoeften van Nederland (zie ook het rapport van CE Delft 2015). De energievoorziening, inclusief de verwarming van de gebouwde omgeving, zal met behulp van verschillende andere technologieën moeten gebeuren. Daarbij valt te denken aan (een mix) van geothermie, restwarmte/stadsverwarming, elektrische warmtepompen en andere technologieën. Uitzondering wordt gemaakt voor historische binnensteden. Er is gelimiteerd groen gas en biogas beschikbaar en dat moet ingezet worden waar geen alternatief beschikbaar is. Omdat binnensteden zich slecht lenen voor het installeren van nieuwe technische systemen, zal hieraan prioriteit gegeven worden voor het gebruik van groen gas en biogas. De gebouwde omgeving van de rest van Nederland is in principe aangewezen op elektrisch gevoede technologieën.

Los van het feit dat de productie van de huidige elektriciteitsvraag zal moeten verduurzamen, zal er extra elektriciteit nodig zijn als voeding voor de elektrisch gevoede verwarmingsoplossingen. Dit levert twee grote uitdagingen op:

- Toenemende claim op de beschikbare en schaarse publieke ruimte;
- Het altijd beschikbaar houden van energie (over alle etmalen en alle seizoenen).

Bij de eerste uitdaging is het van belang te realiseren dat de publieke ruimte in Nederland schaars is. Een extra claim op die ruimte voor de opwekking van energie in de vorm van windmolens en zonneweiden, met inbegrip van de bijbehorende infrastructuur, betekent dat deze ruimte niet voor andere doeleinden gebruikt kan worden. Nederland is dan snel volgebouwd.

De tweede uitdaging is wellicht nog lastiger. Energie dient over alle etmalen, over alle seizoenen beschikbaar te zijn voor de gehele maatschappij. Waar

fossiele brandstoffen (gas, olie, kolen) gemakkelijk op te slaan zijn voor later gebruik, zijn duurzame energiebronnen als zon en wind dit niet. Daarom zal de elektrificatie en verduurzaming deze uitdaging steeds groter maken. Dit is een uitdaging voor de energievoorziening van burgers, overheid, bedrijfsleven, maar denk ook voor grote energievragers, zoals datacentra, tuinbouw, zware industrie etc. Zoals geschreven, zijn zonne- en windenergie niet gelijkmatig beschikbaar tijdens dag en nacht, en ook niet tijdens alle vier de seizoenen. Vooral dat laatste is lastig. De energievraag is 's winters aanmerkelijk groter dan in de zomer, terwijl de opbrengst van de duurzame productie niet groter is. Deze grotere energievraag betreft vooral de vraag naar een andere energievorm: warmte. Er is dus sprake van een mismatch tussen energievraag en de energie die op dat moment in de juiste vorm beschikbaar is.

Waar in het verleden fossiele gasturbines harder gingen draaien om een piek in de elektriciteitsvraag te bedienen, is dit in de toekomst niet meer mogelijk. Het aandeel van niet-stuurbare decentrale bronnen, zoals zon en wind in de energieproductiemix, wordt steeds groter.

Dit betekent dat gebieden die nu als 'energieneutraal' worden aangemerkt dit in feite niet zijn en daardoor in de toekomst in de problemen zullen komen. In de praktijk zijn ze namelijk vaak alleen per saldo op jaarbasis energieneutraal: het ene moment overschotten aan energie die via het elektriciteitsnetwerk aan omliggende gebieden wordt geleverd, en het andere moment een tekort aan eigen productie (juist veel elektriciteit uit andere gebieden importeren). Kortom, te veel als het niet nodig is en te weinig als er grote vraag is. Dit probleem doet zich voor in de onbalans in een etmaal en de seizoenen. Maatschappelijk gezien is vooral de seizoenonbalans het grootste issue.

Deze wijze van energieproductie is echter niet houdbaar als alle gebieden dezelfde strategie van energieneutraliteit hanteren. Er is dan geen omliggend gebied meer dat overschotten en tekorten kan bufferen met technieken als fossiele gascentrales. Dit soort 'parasitaire' vormen van energieneutraliteit zijn op termijn niet houdbaar en zullen verdwijnen, willen de kosten in het energiesysteem niet extreem stijgen voor de bijbehorende kapitaalintensieve infrastructuur en de maatschappelijke kosten als gevolg van onbalans. Een ander alternatief is het accepteren van black-outs of bepaalde doelgroepen

van energie te voorzien en anderen van energie te onthouden op momenten van schaarste. Deze alternatieven zijn zeer ongewenst. De impact van black-outs zijn ontwrichtend voor de maatschappij en de productiesectoren. Het onthouden van energie aan bepaalde doelgroepen heeft een ontwrichtende werking op de stabiliteit van de maatschappij.

We zullen moeten zoeken naar oplossingen voor een situatie waar gebieden en doelgroepen zich op ieder moment (grotendeels) kunnen voorzien in de energievraag: lokaal opgewekt en gebruikt op hetzelfde moment of gebufferd voor een later moment. De kostenraming voor energie wordt daardoor vrijwel volledig plaats- en tijdgebonden.

Er zijn meerdere oplossingsrichtingen om de lokale opwek en het lokale gebruik op elkaar af te stemmen. Een belangrijke oplossingsrichting is vraagsturing: het aanpassen van de flexibele vraag naar elektriciteit aan de beschikbaarheid ervan. Dit betekent op andere momenten wassen, koelen, laden van elektrische auto's en het aanzetten van warmtepompen. Deze elektrische toepassingen hebben speelruimte in het tijdbestek waarin ze aangezet kunnen worden, zonder dat mensen daar hinder van ondervinden. Daarnaast is conversie een belangrijke oplossingsrichting. De overschotten die overblijven na het goed matchen van lokale vraag en aanbod in de tijd, kunnen worden omgezet in chemische of thermische opslag. Op die manier kunnen de voorraden later weer worden aangesproken.

Naast de genoemde ontwikkelingen en oplossingsrichtingen, zijn we vooral op zoek gegaan naar additionele manieren van energie-opwek met de focus op het bedienen van de warmtevraag. We zoeken naar decentrale oplossingen met een minimale impact op de publieke ruimte en waarmee ook de seizoensproblematiek wordt opgelost. De focus ligt op de grote verwarmingsvraag van de gebouwde omgeving. Zonder deze additionele manieren lukt het ons niet om van het gas af te komen, de klimaatdoelstellingen te halen, geopolitieke onafhankelijk te realiseren en de ontwrichtende impact op de maatschappij te voorkomen.

3.2 CONCLUSIE

Het vorige in ogenschouw nemende, kan gesteld worden dat het ontwerp van het energiesysteem als antwoord op de energietransitie en de klimaatdoelen moet voldoen aan de volgende basiseisen:

- CO₂-uitstootvrij en energieneutraal of zelfs -positief;
- Aardgasloos (aardgas is niet meer beschikbaar voor verwarming van gebouwen);
- Betrouwbaar, bereikbaar, betaalbaar;
- Zelfvoorzienend (over etmalen en seizoenen).

Daarbij willen we vooral de bediening van de warmtevraag benadrukken als belangrijke nieuwe uitdaging op gebied van de energietransitie. Hiervoor zijn nog onvoldoende oplossingen voorhanden.

4 ONTWERPVRAAG EN OPLOSSINGSSCENARIO'S

4.1 DE ONTWERPVRAAG

In de vorige hoofdstukken zijn de ontwikkelingen en uitdagingen van de vervangingsopgave 'Grip op de Maas' en de bijbehorende basiseisen en het oplossingsperspectief van de energietransitie met de bijbehorende basiseisen uiteengezet. De onderzoeksvraag wordt uitgewerkt aan de hand van de ontwerpvraag:

De relatie tussen het watersysteem en het energiesysteem, maar ook de relatie met het nabijgelegen dorp dan wel gebied waarvoor de energieopgave in beeld is gebracht en gerelateerd is aan het ontwerp van het stuw- en sluizencomplex.

Binnen de energieopgave richten we ons hoofdzakelijk op warmte. Dat heeft twee redenen. Zoals in hoofdstuk 3 is aangegeven is er binnen de energietransitie grote behoefte aan een oplossing voor het bedienen van de warmtevraag na het afschaffen van het aardgas. Ten tweede bleek in de verkenningen aan het begin van deze studie dat het waterbeheersysteem ook de meeste kansen leek te bieden op gebied van de warmtevoorziening.

1. De gemiddelde afvoer van de maas is circa 230m³/sec.
2. Als we ons beperken tot een uitkoeling van het water met gemiddeld 1 graden Celsius kan er per seconde 1 GJ (Giga Joule) (277kWh) warmte aan het water worden onttrokken. Jaarlijks is dit 30,3 PJ (Peta Joule) of 8398GWh. Deze energieopbrengst is toereikend voor het verwarmen van circa 1 miljoen huishoudens per jaar.
3. Over het jaar heen kan er circa 1000MW warmte uit te rivier onttrokken worden. Deze capaciteit is continue beschikbaar maar heeft een fluctuatie van een factor 10 kleiner of groter door het jaar heen.
4. Voor het verwarmen van 5000 woningen in een dorp aan de rivier is gemiddeld over het jaar heen 5 MW nodig. Om aan deze warmte capaciteit te komen hoeft het rivierwater slechts met gemiddeld 0,005 graden Celsius uitgekoeld te worden. Er is één uitzondering op onze focus op warmte: er is

ook gekeken naar de benodigde elektrische energie om het eigen verbruik van sluis en stuw energieneutraal te maken. Relatief is dat maar heel weinig energie ten opzichte van de warmtevraag.

Voor beantwoording van deze ontwerpvraag hebben we een fictief dorp aan de Maas gekozen, dat vanaf nu 'dorp aan de Maas' heet. Voor het dorp aan de Maas leiden de ontwikkelingen en uitdagingen tot de volgende basiseisen voor de wijze waarop invulling wordt gegeven aan de warmte- en waterbeheerbehoefte. Deze basiseisen zijn:

Warmte

- CO₂-uitstootvrij en energieneutraal of zelfs -positief;
- Aardgasloos (aardgas is niet meer beschikbaar voor verwarming van gebouwen);
- Betrouwbaar, bereikbaar, betaalbaar;
- Zelfvoorzienend (over etmalen en seizoenen).

Waterbeheer

- Waterveiligheid;
- Vlot, veilig en betrouwbaar vervoer over water;
- Klimaatbestendig waterbeheer;
- Duurzame en circulaire waterbouwkundige werken.

Uit hoofdstuk 3 wordt duidelijk dat de oplossing van de energievraagstukken op de lokale dan wel regionale schaal gevonden zal moeten worden. Voor de vervanging en renovatie van de stuw is de lokale en regionale schaal ook vanzelfsprekend. We hebben voor de hierna volgende schetsontwerpen en berekeningen daarom gekozen voor een stuw- en sluizencomplex gesitueerd bij een dorp aan de Maas.

Dit fictieve dorp bestaat uit 5.000 huishoudens¹ en hun warmtevraag.

De uitdaging is om een schetsontwerp te maken dat aan de eisen van beiden werelden, energie en waterbeheer, voldoet. Zoals gesteld, betreft de ontwerpvrage de relatie tussen het watersysteem en het energiesysteem, maar ook de relatie met het nabijgelegen dorp dan wel gebied waarvoor de energieopgave in beeld is gebracht en gerelateerd is aan het ontwerp van het stuw- en sluizencomplex. Deze ontwerpvragen kunnen op verschillende manieren beantwoord worden. Om dit systematisch in beeld te brengen hebben we gebruik gemaakt van de oplossingsscenariomethodiek.

Voor het eerste oplossingsscenario hebben we gebruik gemaakt van het CE Delft rapport: Op weg naar een klimaatneutrale gebouwde omgeving 2050 (2015). Dit rapport speelt een leidende rol in de discussie over de warmtevoorziening in de energietransitie in Nederland. Het hiermee opgemaakte oplossingsscenario is tevens als referentiescenario genomen. Echter, het CE Delft rapport voorziet in haar rapport geen oplossing voor de zelfvoorzienend en seizoenonafhankelijkheid van Nederland. Volgens CE Delft worden de all-in verwarmingskosten voor de eindgebruiker bij all-electric ingeschat op € 2.300 per jaar (inclusief vastrecht en energie en exclusief belasting). Op dit moment (met gasverwarming) ligt die kostenraming voor huishoudens op ongeveer € 1.000 (inclusief vastrecht en energie, en exclusief belasting). De kostenraming voor huishoudens zullen volgens het rapport dus fors stijgen ten opzichte van nu.

In het CE Delft rapport wordt ook geen aandacht besteed aan de mogelijke potentie van stuwen en sluizen. Het opwekken van duurzame energie is in dit oplossingsscenario namelijk niet gerelateerd aan water. De benodigde duurzame energie wordt in het gebied voornamelijk opgewerkt met zon- en windenergie (all-electric). We hebben dit oplossingsscenario daarom 'Gescheiden werelden' genoemd. Ook het potentieel van opwekking van energie op het areaal van RWS is hierin niet meegenomen, maar het sluit dit ook niet uit. De kern is dat de werelden van water en energie niet verbonden zijn.

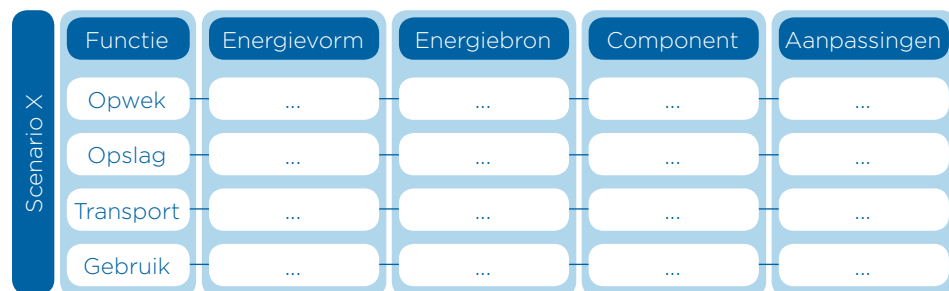
¹ Uiteraard kan ook een andere mix van warmtevragers (zoals 4.000 huishoudens en 100 bedrijven) worden bediend, maar voor de hoeveelheid warmte zijn we uitgegaan van 5.000 huishoudens of warmte-equivalenten daarvan.

In het tweede oplossingsscenario hebben we in beeld gebracht wat de mogelijkheden zijn van opwekking van warmte uit rivierwater zonder gebruik te maken van de stuwen of sluizen. Deze mogelijkheid doet zich immers op veel plekken in Nederland voor. De werelden van water en energie zijn verbonden, maar niet fysiek verbonden met een sluis of stuw. Dit oplossingsscenario noemen we daarom 'Semi-geïntegreerde werelden'.

In het derde oplossingsscenario is de stuw of sluis wel geïntegreerd met de energiewereld. Dit oplossingsscenario benut de potentie van het rivierwater en van de vervanging/renovatie van het kunstwerk (stuw- en sluizencomplex) volledig. Dit oplossingsscenario noemen we daarom 'Volledig geïntegreerde werelden'.

Deze drie oplossingsscenario's zijn systematisch uitgewerkt met behulp van een functieboom. De functieboom laat zien welke functionele behoeften er zijn vanuit het warmtesysteem om te kunnen voldoen aan de genoemde basiseisen. De functieboom laat vervolgens zien hoe deze functies vervuld kunnen worden. Daarbij gaat het niet alleen om de energievorm, maar ook om de componenten en maatregelen/aanpassingen die daarvoor nodig zijn. De energievormen zijn elektriciteit (als tussenvorm in de warmteproductie) en warmte/koude, die worden opgewerkt uit verschillende duurzame energiebronnen. Tevens worden de componenten genoemd die in het schetsontwerp opgenomen moeten worden. Dit betreft componenten voor het opwekken, transporteren en bufferen van energie om aan de warmtevraag te voldoen. Tot slot worden de aanpassingen benoemd die nodig zijn in het stuw- en sluizencomplex (oplossingsscenario 3). Voor alle drie de oplossingsscenario's is benoemd wat de aanpassingen zijn voor de ruimtelijke inrichting van het gebied. Op deze manier zijn de energiefuncties gerelateerd aan de vervangingsopgave voor de stuw (zie bijlage A voor de drie functieboomen).

De functieboom behandelt niet het voorzien in de waterbeheerbehoefte op een andere manier dan de geldende standaardwerkwijze bij RWS.



Figuur 8: Structuur functieboom

De functieboom is gebruikt om het CE Delft oplossingsscenario vergelijkbaar te maken met de andere twee oplossingsscenario's. De oplossingsscenario's met hun voornaamste kenmerken staan in de onderstaande tabel.

Oplossingsscenario's:	Invulling van waterbeheer ten behoeve van scheepsvaart en watermanagement:	Invulling van de energiebehoefte:
1 Gescheiden werelden (referentie)	Stuw / sluis	Geen warmte uit rivier
2 Semi-geïntegreerde werelden	Stuw / sluis	Warmte uit rivier (los van stuw), elektriciteit ten behoeve van de warmtevoorziening van elders
3 Volledig geïntegreerde werelden	Aangepaste stuw / sluis	Warmte en elektriciteit ten behoeve van de warmtevoorziening opgewekt bij stuw

Kostenstructuur per oplossingsscenario

Om de kostenramingen van de drie oplossingsscenario's met elkaar te kunnen vergelijken zijn deze het energiesysteem voor warmte operationeel te opgedeeld. De hoofdindeling is in een watersysteem en een energiesysteem opgedeeld. Deze twee onderwerpen zijn elk weer onderverdeeld in de volgende drie subcategorieën: investeringskosten, exploitatiekosten en gebruikerskosten².

² Gebruikerskosten betreffen de totale kosten voor de eindgebruiker voor verwarming (de energierekening, bestaande uit vastrecht en een vergoeding per kW incl. btw). Onderhoud aan en waar nodig van de afleverapparatuur thuis is hierin ook opgenomen.

Onder de investeringskosten vallen alle kosten die gemaakt moeten worden om de stuw te vervangen en een energievoorziening te realiseren. Onder de exploitatiekosten vallen alle kosten om zowel de stuw als het energiesysteem voor warmte operationeel te houden. Als laatste zijn de gebruikerskosten bepaald. Dit is de vergoeding die de gebruiker gaat betalen voor ruimteverwarming en warm tapwater. Bij het interpreteren van deze waarden dient de lezer er rekening mee te houden dat deze kostenramingen gebaseerd zijn op slechts beperkt uitgewerkte oplossingsscenario's. De genoemde bedragen zijn slechts een indicatie kostenraming van de daadwerkelijke kosten en zijn bedoeld om de orde van grootte van investeringen en kosten aan te geven. Een vervolgstudie is noodzakelijk om de kosten nauwkeuriger in te schatten.

4.2 OPLOSSINGSCENARIO 1 GESCEIDEN WERELDEN: HET DORP ONTTREKT GEEN WARMTE EN ELEKTRICITEIT AAN DE MAAS

Dit oplossingsscenario is gebaseerd op het uitgangspunt dat de warmtevraag van de omgeving en het watervraagstuk gescheiden worden opgelost.

Het sluis-stuw sluizencomplex wordt energieneutraal door voor de eigen energiebehoefte lokaal elektriciteit op te wekken met zonnepanelen en/of windturbines, geplaatst op het eigen areaal van RWS.

Het dorp wordt van verwarming en warm tapwater voorzien door individuele warmtepompen. Een warmtepomp is een apparaat dat op basis van elektriciteit warmte uit de lucht of het grondwater haalt.

Dit oplossingsscenario is gebaseerd op het rapport: Op weg naar een klimaat neutrale gebouwde omgeving 2050, opgesteld door CE Delft (2015). In dit rapport worden diverse alternatieven voor aardgas als bron van verwarming doorgerekend. Op basis hiervan concludeert CE Delft dat voor een groot deel van Nederland een individueel all-electric systeem het meest voor de hand ligt. All-electric betekent: op basis van enkel een collectieve elektriciteitsinfrastructuur, alle energie die een gebouw binnenkomt, is in de vorm van elektriciteit.

Voor stadswarmte ziet het rapport geen geschikte bron voor het dorp aan de Maas. Groen gas is te beperkt aanwezig in Nederland, waardoor door middel van marktwerking de prijzen te hoog worden. Daarom is het voor het dorp aan de Maas interessanter om te kiezen voor het all-electric alternatief. Dat betekent dat er gebruikt wordt gemaakt van elektriciteit van duurzame bronnen, zowel voor de warmte als de reguliere elektriciteitsvraag³ van de woning. Bij dit solitaire all-electric alternatief zal er fors in de woning geïnvesteerd moeten worden (zowel verregaande isolatie als individuele lucht-water warmtepompen of individuele warmte-koude opslag (WKO) en zonnepanelen) (zie figuur 9).

Nadeel van een dergelijke oplossing is dat deze niet houdbaar is voor heel Nederland: 24/7 en seizoenafhankelijk. Op zeer koude dagen is er veel te weinig duurzame energie beschikbaar en zal toch gebruikt gemaakt moeten worden van fossiele elektriciteitsopwekking voor het reguliere elektriciteitsverbruik en om in de grote elektriciteitsbehoefte van de warmtepompen te kunnen voorzien. Energieopslag in de vorm van warmte (warmtebuffervat) en/of elektriciteit (accu's) per woning om de seizoenen te overbruggen, is niet realistisch door de zeer hoge kosten die dit met zich meebrengt. Daarmee voldoet dit oplossingsscenario niet aan een basiseis op gebied van warmte.

System- en situatieschetsen Gescheiden werelden

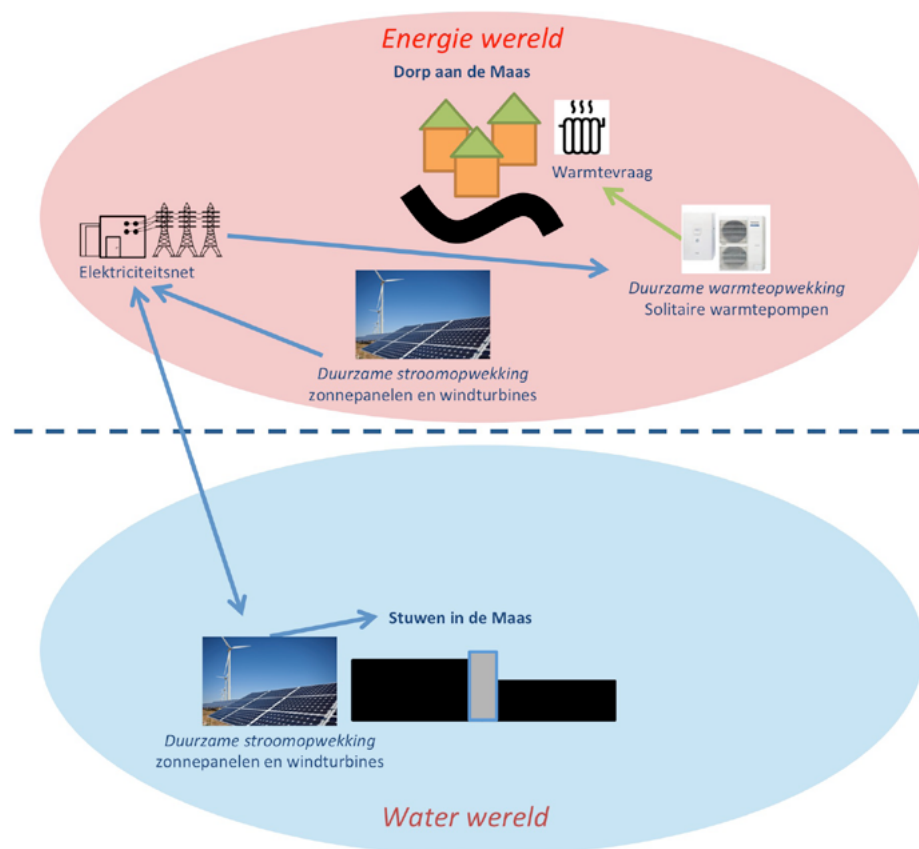
Hieronder is oplossingsscenario 1 Gescheiden werelden visueel uitgewerkt voor zowel het systeemontwerp als de situatie in de publieke ruimte.

³ Onder 'regulier elektriciteitsgebruik' wordt in dit rapport verstaan: alle toepassingen van elektriciteitsgebruik, anders dan ruimteverwarming en tapwaterverwarming (dus licht, televisie, wasmachine etc.).

Impressie systeemscets

Figuur 9 geeft inzicht in de componenten van het oplossingsscenario 1 Gescheiden werelden en hoe die interacteren. Dit figuur is gebaseerd op de functieboom in bijlage A met bijbehorende componenten en energievormen.

Oplossingsscenario 1: Gescheiden werelden



Figuur 9: Visualisatie van de functieboom met de componenten van het oplossingsscenario 'Gescheiden werelden' en de energievormen tussen deze componenten (gele pijlen = elektriciteit, rode pijlen = warmte/koude)

Impressie oplossingscenario in de publieke ruimte

Figuur 10 geeft een impressie van hoe het systeem voor de warmtevoorziening van het dorp in de publieke ruimte geplaatst zou kunnen worden met behulp van een gebiedsschets en een detailschets van de stuw. Deze impressie is gebaseerd op de situatie bij een dorp aan de Maas in de buurt van één van de zeven stuwen om houvast te bieden voor de dimensies van het stuw- en sluisencomplex.

De uitgangspunten voor de één op één vervanging van een stuwcomplex (zonder energieopwek voor het dorp) zijn beschreven in bijlage C (Antea Group, 2014). Een nieuwe stuw zonder aanpassingen voor energievoorziening heeft in het referentieontwerp een lengte van 127 meter en komt op een afstand van 200 meter stroomopwaarts van de brug (zie figuur 10). De bestaande vistrap hoeft met deze verplaatsing niet te worden verlegd of aangepast. Om in de verhoogde elektriciteitsvraag te voorzien door de individuele warmtepompen, zullen er extra zonnepanelen moeten worden geplaatst. Indien deze zonnepanelen niet op daken van de gebouwde omgeving geplaatst worden, maar in het open veld, zal het benodigde oppervlak 15 hectare zijn of 1 á 2 windmolens van 3 megawatt (bijlage H). Dit betreft alleen de extra duurzame opwek, nodig voor de warmtepomp.

Oplossingscenario 1 Gescheiden werelden Gebiedsschets



Oplossingscenario 1 Gescheiden werelden

Detailschets stuw



Figuur 10: Impressie van hoe het energie- en watersysteem in de publieke ruimte geplaatst zou kunnen worden (boven: niet op schaal, op basis van Antea Group (2014))

Kostenraming

De geraamde kosten⁴ voor het warmtesysteem in dit oplossingscenario zijn afkomstig uit het CE Delft rapport. In de onderstaande toelichting op de kostenraming worden de aspecten die van belang zijn voor de vergelijking van de oplossingscenario's beschreven.

⁴ Alle kostenramingen zijn inclusief btw.

Stuw- en sluizencomplex

Deze staan bij deze oplossing los van het energiesysteem en zijn daarom voor alle posten bij elkaar gezet.

- **Investeringskosten:**

Vervanging van de stuw kost ongeveer € 35 miljoen.

- **Exploitatiekosten:**

Bij RWS worden de kosten voor onderhoud en energieverbruik toegerekend aan de complexen. Deze bedragen ruwweg tussen 0,5 tot 1,5% van de vervangingswaarde. De kosten voor de bediening en de algemene overhead voor apparaatskosten van RWS worden niet toegerekend aan de objecten.

- **Gebruikerskosten:**

De drie oplossingsscenario's hebben geen invloed op de gebruikerskosten van het stuw/sluizencomplex. De scheepvaart gebruikt de schutsluizen en de operatie daarvan verandert niet door de aanpassingen aan de stuw. Er worden nu geen kosten rechtstreeks betaald door de gebruikers.

Warmtesysteem (zie bijlage G)

- **Investeringskosten:**

De investeringskosten worden in dit oplossingsscenario in twee subcategorieën onderverdeeld:

- Distributie

CE Delft gaat uit van de bestaande elektriciteitsinfrastructuur. Deze zal verzaamd moeten worden omdat er een grotere elektriciteitsvraag zal ontstaan per gebouw. Hiervoor worden dikkere kabels aangelegd, waardoor de kosten van het elektriciteitsnet met een factor 1,5 zal toenemen (CE Delft). Deze kosten zijn meegenomen in de gebruikerskosten (vastrecht).

- Installaties in huis

Om het huis geschikt te maken (all-electric energiebronnen, installaties en gebouwaanpassingen) zijn investeringen nodig.

Hierbij een kostenraming voor de ombouw naar all-electric voor een gemiddelde woning.

Maatregel	Kosten (range)	Bron
Van huidige naar label B	9.550,- 10.970	Voorbeeldwoningen AgNL 2011
Estra isolatie (A+) + ventilatie	8.182,- 10.126	CE Delft, o.b.v. EPA-maatregellijst 2012
Laag-temperatuur-afgifte-systeem (vloerverwarming)	7.635 11.430	Dit rapport, Tabel 42
Laag-temperatuur-afgiftesysteem (LT-radiatoren)	1.506,- 3.838	Dit rapport, Tabel 43
Elektrische warmtepomp	10.500,- 14.500,- 8.500,- 12.000	Water / watersysteem Lucht / watersysteem (maar lagere COP) Dit rapport (Paragraaf 2.2.2)
Zonneboiler	1.875,- 2.500	Dit rapport (Paragraaf 2.2.2)
Zonnecellen	14.500	Dit rapport (Paragraaf 2.2.3) zie 'noten', NB: betreft prijsniveau 2010, kosten zijn sindsdien sterk gedaald
Totaal (afgerond)	46.000,- 56.500	Bij water / water-warmtepomp, en LT-radiatoren als afgiftesysteem

Tabel 2: Kostenraming⁵ (bron: CE Delft 2014)

Bovenstaande tabel bevat tarieven voor zonnecellen uit 2010. Als dit vervangen wordt door de huidige tarieven, daalt de investering van € 14.500 tot circa € 5.000. De totale investering per gemiddeld gebouw komt hiermee uit op € 36.500 tot € 47.000, dit is gemiddeld € 41.750. Alle bovengenoemde componenten hebben een eigen afschrijvingstermijn. Bij een gemiddelde afschrijvingstermijn van gemiddeld 20 jaar betekent dit jaarlijkse lasten van € 2.100 per jaar voor het opbrengen van de investeringskosten (exclusief rentelasten).

⁵ Bij het plaatsen van een warmtepomp worden de kosten van een HR-ketel uitgespaard. Deze uitgespaarde kosten zijn nog niet verrekend in bovenstaande waarden. In de Vesta-modelberekeningen wordt deze uitsparing wel meegenomen.

Uitgaande van een verzorgingsgebied van 5.000 gebouwen leidt een investering van € 41.750 per gebouw tot een totale investering van € 209 miljoen.

- **Exploitatiekosten:**

Hiervoor geldt hetzelfde als voor investeringskosten.

- **Gebruikerskosten:**

Volgens CE Delft worden de all-in verwarmingskosten voor de eindgebruiker bij all-electric ingeschat op € 2.300 per jaar⁶ (inclusief vastrecht en energie en exclusief belasting). Op dit moment (met gasverwarming) liggen die kosten voor huishoudens op ongeveer € 1.000. De kostenraming voor huishoudens zullen volgens het rapport dus fors stijgen ten opzichte van nu.

Seizoenafhankelijkheid individuele all-electric oplossing

Voor de seizoenafhankelijkheid is in dit oplossingsscenario geen oplossing geboden door CE Delft. Het is in dit oplossingsscenario niet mogelijk om iedereen in alle seizoenen 100% duurzame warmte te bieden. Om de mismatch tussen vraag en aanbod te overbruggen zal teruggevallen moeten worden op bijvoorbeeld grote fossiele elektriciteitscentrales die als winterpiekcapaciteit worden ingezet. Om aan CO₂ reductiedoelstellingen te voldoen kan bijvoorbeeld de uitgestoten CO₂ worden afgevangen en opgeslagen (Carbon Capture and Storage). De kostenraming hiervoor en alternatieve oplossingen zijn door CE Delft niet meegenomen.

⁶ CE Delft geeft niet duidelijk aan waaruit dit bedrag van € 2.300 precies is opgebouwd (behalve vastrecht, energie, exclusief belastingen). Gezien het bovengenoemde bedrag van € 2.100 per jaar, lijkt het onwaarschijnlijk dat deze investeringen in de installaties en isolatie in de gebouwen volledig zijn opgenomen in dit bedrag.

4.3 CONCLUSIE OPLOSSINGSSCENARIO 1 GESCHEIDEN WERELDEN

De gegeven informatie in paragraaf 4.2 over het oplossingsscenario 'Gescheiden Werelden' wordt getoetst aan de gestelde basiseisen:

Basiseisen warmte	
CO ₂ -uitstootvrij en energieneutraal of zelfs -positief	Ja
Aardgasloos (Aardgas is niet meer beschikbaar voor verwarming van gebouwen)	Ja
Betrouwbaar, bereikbaar, betaalbaar	Ja
Zelfvoorzienend (over etmalen en seizoenen)	Nee
Basiseisen waterbeheer	
Waterveiligheid	Ja
Vlot, veilig en betrouwbaar vervoer over water	Ja
Klimaatbestendig waterbeheer	Ja
Duurzame en circulaire waterbouwkundige werken	Ja

Er kan geconcludeerd worden dat dit oplossingsscenario goed werkbare systemen voor warmtevoorziening en water afzonderlijk oplevert waarin aan de basiseisen van water wordt voldaan. In dit oplossingsscenario wordt de uitdaging van de zelfvoorzienendheid van het warmtesysteem echter niet opgelost.

Kostenraming

Voor het dorp aan de Maas met 5.000 huishoudens komt de investering voor installaties en gebouwaanpassingen op € 209 miljoen. De kostenraming voor de vervanging van de stuw zijn ongewijzigd € 33 miljoen.

Daarnaast is er kostenraming voor verzwaring van het elektriciteitsnetwerk. Deze liggen 1,5 maal hoger dan de huidige investeringskosten.

Echter, dit oplossingsscenario voorziet niet in de zelfvoorzienendheid van energie (over etmalen en seizoenen). CE Delft heeft geen systeemoplossingen voorhanden om deze zelfvoorzienendheid op te lossen. Hierdoor zijn er geen

kengetallen of schattingen van de kosten beschikbaar. Dit oplossingsscenario resulteert daarom in onvoorziene en verborgen kosten voor het zelfvoorzienend maken.

4.4 OPLOSSINGSSCENARIO 2 SEMI-GEÏNTEGREERDE WERELDEN

Voor dit oplossingsscenario is gekozen voor een ontwerp dat het warmtevoorzienings- en waterbeheervraagstuk 'tot op zekere hoogte' combineert. De warmteopwekking wordt gedaan op basis van warmte uit de rivier. Warmte wordt uit het rivierwater onttrokken, die door een warmtepomp opgewaardeerd wordt tot een geschikte temperatuur waarmee de warmte via een warmtenet voor ruimteverwarming en tapwaterbereiding gebruikt kan worden. Deze warmte wordt voor gebruik in koudere seizoenen opgeslagen in een buffervat. In dit oplossingsscenario worden de installaties niet geïntegreerd in een stuw. De elektriciteit die nodig is voor de voeding van de warmtepomp zal worden opgewekt door middel van zonnepanelen en windturbines in de nabijheid van het dorp dan wel gebied. Door de warmtebuffer is het mogelijk de warmtepomp te gebruiken op momenten dat er een overschot aan wind- en zonne-energie beschikbaar is. Dit systeem voorziet in de warmtevraag voor het dorp, over etmalen en seizoenen heen, en is op dit punt zelfvoorzienend.

De warmtewisselaar, samen met de warmtepomp, wordt geplaatst in een binnendijks gelegen locatie, omdat deze installaties dan beschermd zijn tegen hoogwater en te allen tijde onderhouden kunnen worden. In deze opstelling is er een leidingsysteem nodig om water uit de rivier naar de warmtewisselaar te brengen en vervolgens weer op de Maas te lozen. Dit leidingsysteem moet worden voorzien van een pomp⁷, een aanvaarbeveiliging en filters om verstopping van de warmtewisselaar te voorkomen. Een soortgelijk systeem wordt momenteel op enkele locaties toegepast voor een ander doel, namelijk: het lozen van restwarmte op de rivier. Er zal een aanzienlijke hoeveelheid pompenergie nodig zijn om het rivierwater door buizen te transporteren.

⁷ Het plaatsen van een pomp heeft effect op de vissterfte. Op dit moment voldoet dit niet aan de eisen van de kaderrichtlijn water. Op object niveau is het echter noodzakelijk dat er doorontwikkeld wordt om aan de eisen te voldoen. Voor dit rapport is uitgegaan van de huidige technologie.

De warmtebuffer heeft als functie om de warmte die 's zomers uit rivierwater wordt gewonnen op te slaan voor de winter. Voor dit rapport richten we ons op de warmtevraag, maar het is mogelijk om ook in een eventuele koudevraag in de zomer te voorzien. Door de warmtebuffer is het mogelijk om de wisselaar en warmtepomp ook kleiner te dimensioneren (op momenten met grote vraag kan de buffer deze opvangen). Er zijn verschillende uitvoeringen van de buffering mogelijk. Over het algemeen geldt dat goede isolatie noodzakelijk is en een groot buffervat interessanter is dan meerdere kleine vaten, omdat dit goedkoper te realiseren is en omdat een groot buffervat veel minder warmte verlies ten opzichte van meerdere kleinere buffervaten. Als gekozen zou worden voor één buffervat, moet gedacht worden aan een volume van 60.000 tot 300.000 m³.

Warmte is slechts over beperkte afstand te transporteren. De afstand van de warmtewinningsplek tot de leveringsplek zit tussen de 0 en de 10 kilometer. Daarom is dit oplossingsscenario gebaseerd op de situatie bij een dorp aan de Maas binnen een straal van 5 kilometer van één van de zeven stuwen. De werkelijke afstand tot waar de warmte rendabel geleverd kan worden hangt af van de warmtevraag, het warmteaanbod en de financiële businesscase.

De warmtevoorziening in dit oplossingsscenario is collectief en niet per gebouw georganiseerd. Omdat er geen individuele warmtepompen in elke woning geplaatst hoeven te worden, is geen verzwaring van het elektriciteitsnet nodig voor gebouwverwarming. Voor het functioneren is extra woningisolatie niet strikt noodzakelijk: dit zou maar een marginale vermindering van de investeringskosten in het warmtenet tot gevolg hebben. De kosten bij het aanleggen van een warmtenet liggen namelijk vooral in de grondwerkzaamheden en niet in het gebruik van iets dikkere buizen. Indien de gebouwen toch geïsoleerd worden, kunnen extra gebouwen aangesloten worden op het warmtenet. Of de elektriciteitsbehoefte van de warmtepomp daalt door de lagere warmtebehoefte.

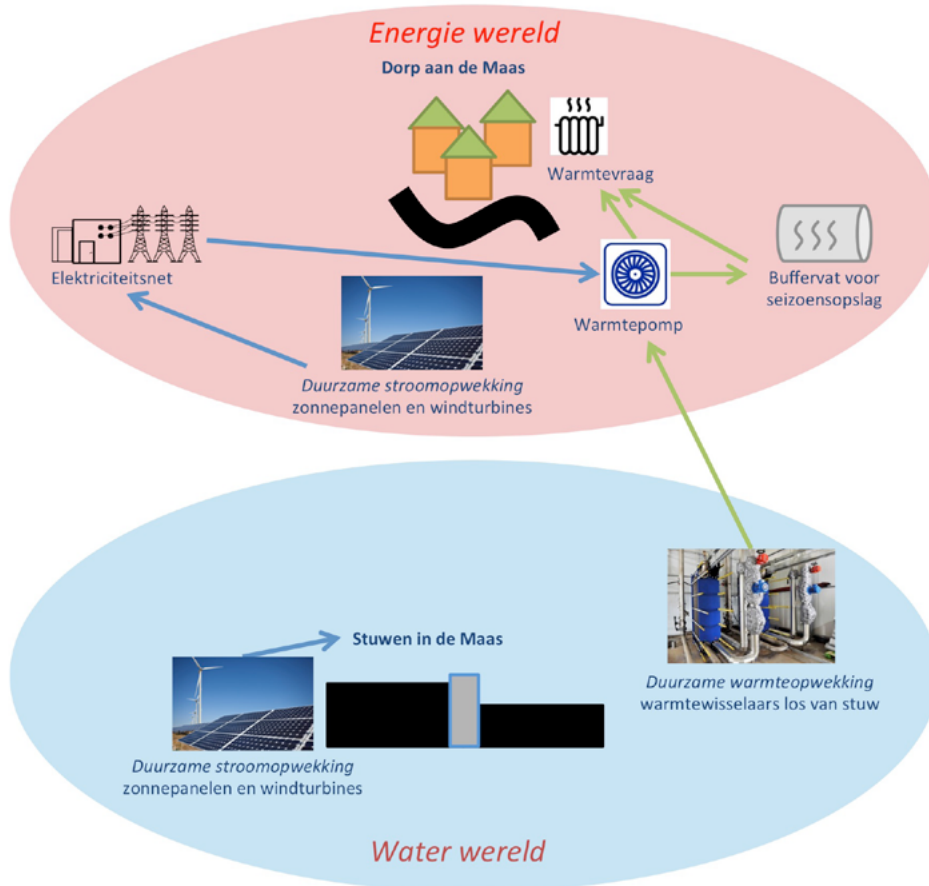
System- en situatieschetsen 'Semi-geïntegreerde werelden'

Hieronder is oplossingsscenario 'Semi-geïntegreerde werelden' visueel uitgewerkt voor zowel het systeemontwerp als de situatie in de publieke ruimte.

Impressie systeem oplossingsscenario

Figuur 11 geeft inzicht in de systemen van het oplossingsscenario 'Semi-geïntegreerde werelden' en hoe die interacteren. Dit figuur is gebaseerd op de functieboom in bijlage A met bijbehorende energievormen, energiebronnen en componenten.

Oplossingsscenario 2: Semi-geïntegreerde werelden



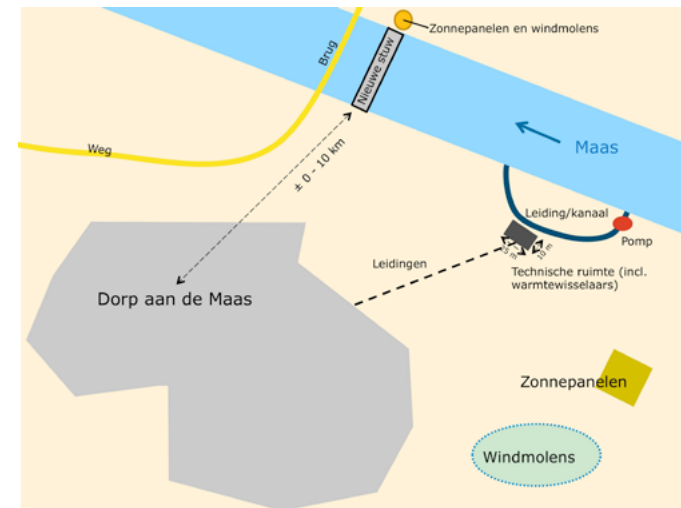
Figuur 11: Visualisatie van de functieboom met de componenten van het oplossingsscenario 'Semi-geïntegreerde werelden' en de energievormen tussen deze componenten (gele pijlen = elektriciteit, rode pijlen = warmte/koude)

Impressie oplossingsscenario in de publieke ruimte

Figuur 12 geeft een impressie van hoe het systeem in de publieke ruimte geplaatst zou kunnen worden met behulp van een gebiedsschets en een detailschets van de stuw. Deze impressie is gebaseerd op de situatie bij een dorp aan de Maas in de buurt van één van de zeven stuwen om houvast te bieden voor de dimensies van het stuw- en sluizencomplex.

Net als in oplossingsscenario 1, zijn de uitgangspunten voor de één op één vervanging van een stuw zonder aanpassingen voor energievoorziening heeft in het referentieontwerp een lengte van 127 meter en komt op een afstand van 200 meter stroomopwaarts van de brug (zie figuur 12). De bestaande vistrap hoeft met deze verplaatsing niet te worden verlegd of aangepast. Om aan de verhoogde elektriciteitsvraag door de warmtepompen te voldoen zullen er extra zonnepanelen moeten worden geplaatst (zie bijlage H voor aantallen). Indien deze zonnepanelen niet op de daken van de gebouwde omgeving geplaatst worden maar in het open veld, zal het benodigde oppervlak 24 hectare zijn of 2 á 3 windmolens van 3 megawatt (zie bijlage H). Dit betreft alleen de extra duurzame opwek nodig voor de warmtepomp.

Oplossingsscenario 2: Semi-geïntegreerde werelden Gebiedsschets





Figuur 12: Impressie van hoe het energie- en watersysteem in de publieke ruimte geplaatst zou kunnen worden (boven: niet op schaal)

Kostenraming (alle bedragen lumpsum bedragen inclusief btw)

De geraamde kosten zijn opgenomen in bijlage D. In de onderstaande toelichting op de kostenraming worden de aspecten die van belang zijn voor de vergelijking van de oplossingsscenario's beschreven.

Stuw- en sluizencomplex

Deze staan bij deze oplossing los van het energiesysteem en zijn daarom voor alle posten bij elkaar gezet.

- **Investeringskosten**

Vervanging stuw kost ongeveer € 33 miljoen.

- **Exploitatiekosten**

Bij RWS worden de kosten voor onderhoud en energieverbruik toegerekend aan de complexen. Deze bedragen ruwweg tussen 0,5 tot 1,5% van de

vervangingswaarde. De kosten voor de bediening en de algemene overhead voor apparaatkosten van RWS worden niet toegerekend aan de objecten.

- **Gebruikerskosten**

De drie oplossingsscenario's hebben geen invloed op de gebruikerskosten van het stuw- en sluizencomplex. De scheepvaart gebruikt de schutsluizen en de operatie daarvan verandert niet door de aanpassingen aan de stuw. Er worden nu geen rechtstreekse kosten betaald door de gebruikers.

Warmtesysteem

- **Investeringskosten:**

- Aan- en afvoerkanaal/buis, filters en pompen voor rivierwater; ruw geschat 2 miljoen (zie bijlage D)
- Warmtewisselaar en warmtepomp kost ruw geschat € 12,5 miljoen (exclusief civiel, zie bijlage D)
- Levering warmte met warmtenet en warmteopslag kost ruw geschat € 76 miljoen (zie bijlage D)
- Toegangsweg en aankoop grond € 0,4 miljoen.

- **Exploitatiekosten:**

- De exploitatiekosten zijn berekend als een jaarlijks percentage van de investering, namelijk: warmtenet en opslag 2%, opwek 4%.
- Daarnaast gaan we uit van € 250.000 voor contact, service en facturatie.
- Daarnaast gaan we er vanuit dat de elektriciteitsbehoefte van de warmtepomp duurzaam wordt ingevuld met lokaal duurzaam opgewekte energie.
- De totale exploitatiekosten voor het gehele systeem zijn € 3,5 miljoen per jaar

- **Gebruikerskosten:**

- De kostenraming voor de levering van warmte voor een huishouden zijn rond de € 1.600. Dit is gebaseerd op bovenstaande schattingen. De investeringen voor het energiesysteem liggen rond de € 90 miljoen. Rekening houdend met een gewenste terugverdientijd van 20 jaar (levensduur warmtepomp en bijbehorende techniek, het overgrote deel van de investering, het warmtenet en de opslag, gaat in de praktijk 30+ jaar mee), 5.000 huishoudens en exploitatiekosten. De rentelasten zijn in dit bedrag nog niet opgenomen.

4.5 CONCLUSIE OPLOSSINGSSCENARIO 2 SEMI-GEÏNTEGREERDE WERELDEN

De gegeven informatie in paragraaf 4.4 over het oplossingsscenario 'Semi-geïntegreerde Werelden' wordt getoetst aan de basiseisen:

Basiseisen warmte	
CO ₂ -uitstootvrij en energieneutraal of zelfs -positief	Ja
Aardgasloos (Aardgas is niet meer beschikbaar voor verwarming van gebouwen)	Ja
Betrouwbaar, bereikbaar, betaalbaar	Ja
Zelfvoorzienend (over etmalen en seizoenen)	Ja
Basiseisen waterbeheer	
Waterveiligheid	Ja
Vlot, veilig en betrouwbaar vervoer over water	Ja
Klimaatbestendig waterbeheer	Ja
Duurzame en circulaire waterbouwkundige werken	Ja

Er kan geconcludeerd worden dat dit oplossingsscenario een goed werkbaar systeem oplevert, waarin de problemen van de energietransitie grotendeels opgelost worden. Op gebied van de warmtevraag is dit oplossingsscenario zelfvoorzienend.

Basiseisen water: wordt geheel aan voldaan.

Kostenraming

Voor zover kwantitatieve gegevens en kengetallen beschikbaar zijn, kan geconcludeerd worden dat de investeringskosten voor het energiesysteem fors lager liggen dan die van oplossingsscenario 'Gescheiden werelden'. De warmtevoorziening in dit oplossingsscenario is collectief en niet per gebouw gedimensioneerd. Deze gezamenlijke warmtevoorziening scheelt in de kostenraming in aanschaf en onderhoud ten opzichte van oplossingsscenario 1.

In oplossingsscenario 2 is geen verzwaring van het elektriciteitsnet nodig voor gebouwverwarming. Voor het functioneren is woningisolatie niet strikt noodzakelijk: dit heeft maar een marginale vermindering van de investeringskosten in het warmtenet tot gevolg.

4.6 OPLOSSINGSSCENARIO 3 VOLLEDIG GEÏNTEGREERDE WERELDEN; WARMTE EN ELEKTRICITEIT OPGEWEKT DOOR STUW IN DE MAAS

Dit oplossingsscenario is gebaseerd op het uitgangspunt dat het warmte-vraagstuk en het watervraagstuk volledig geïntegreerd worden beantwoord. Anders dan bij oplossingsscenario 2 is de warmtewisselaar nu geplaatst bij de stuw. Daarbij wordt naast warmte nu ook de voor de warmteproductie benodigde elektriciteit uit de rivier gewonnen.

Voor het ontwerp van de stuw is het rapport van Antea Group (2014) gebruikt. Dit rapport had het doel een kostenraming te maken voor één op één vervanging van de stuwen (zie bijlage C). Voor dit oplossingsscenario wordt dit ontwerp aangepast in het kader van energieproductie en wel op de volgende manier:

- Naast de stuw, in het stroomgebied van de rivier, worden **vijzelturbines**^{8 9 10} en bijbehorende voorzieningen en constructies geplaatst. Deze turbines wekken voldoende elektriciteit op voor zowel het stuw-en sluizencomplex als voor de te plaatsen warmtepomp. Om de vijzelturbines te kunnen plaatsen zal de fundering van de stuw aangepast moeten worden. Naast de stuw, voor de instroomopening van de vijzelturbines, worden **warmtewisselaars** en bijbehorende voorzieningen en constructies geplaatst. De benodigde waterbouwkundige constructie bestaat uit een betonnen goot.
- Een **technische ruimte** voor warmtepompen, netaansluiting voor de vijzelturbines en ander apparatuur wordt in de buurt van de vijzelturbines en warmtewisselaars gebouwd. De technische ruimte is hoogwatervrij, maar wel in verband met onderhoud bereikbaar met hoogwater.

⁸ De technische mogelijkheden, implicaties en afwegingen voor het maken van de keuze van het turbintype zijn nog niet onderzocht. Vijzelturbines zijn met nadruk enkel een mogelijkheid.

⁹ Rekening houdende met vissterfte.

¹⁰ Door variatie van de waterhoogten stroomopwaarts van de stuw, is het mogelijk om de opwekcapaciteit van de vijzels te variëren. De orde van grootte hiervan lijkt vooralsnog te liggen op het niveau van 1 megawatt gedurende tientallen minuten. Nadere beschouwingen en berekeningen met betrekking tot de toelaatbare niveaoverschillen en actuele debieten kunnen hierin meer duidelijkheid bieden. Er is een eerste berekeningsmodel opgezet.

- Van de warmtepomp lopen **leidingen** naar een vat (geïsoleerd bassin), waarin warm water wordt opgeslagen en huishoudens mee kunnen worden voorzien. Door gebruik te maken van de buffer kan de benodigde piekcapaciteit verlaagd worden. Daarnaast kan (bij seizoenbuffering) optimaal gebruik gemaakt worden van de hoge zomerwatertemperatuur en kan de warmtepomp vooral warmte produceren (en dus elektriciteit gebruiken) als er een groot aanbod van duurzame energie is.

Voor energiebehoefte van de warmtepomp zijn naast de vijzels geen wind- of zonne-energie nodig (bijlage H).

Dit oplossingsscenario heeft een bijkomstig voordeel dat het verdient om uit te lichten. Hoewel dit rapport enkel gaat over het voorzien van de warmtevraag op een betrouwbare, CO₂-neutrale en zelfvoorzienende wijze, biedt dit oplossingsscenario ook een belangrijk component om de reguliere elektriciteitsvraag (licht, TV, wasmachine etc.) van het dorp zelfvoorzienend te krijgen.

De elektriciteitsproductie van de vijzel kan, naast het voeden van de warmtepomp, ook worden ingezet als middel om de reguliere elektriciteitsbehoefte van het dorp zelfvoorzienend te maken. Dit komt doordat de vijzels een 'natuurlijk' opwekprofiel hebben dat complementair is (andere jaargetijden) aan de zonnepanelen en windmolens en doordat de warmte wordt opgeslagen in een buffer. Als er genoeg wind en zon is, kunnen de vijzels de warmtepomp voeden, die het warmtebuffer vult. Als er een tekort is aan wind en zon kunnen de vijzels ingezet worden voor het bedienen van de reguliere elektriciteitsvraag.

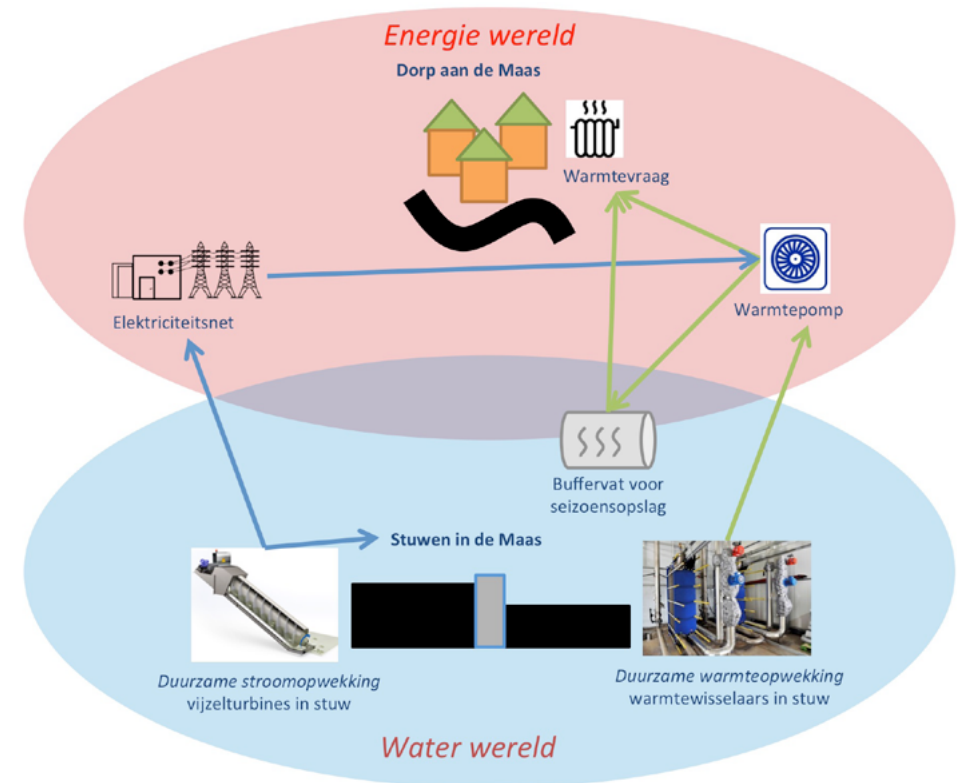
Net als bij oplossingsscenario 2 is geen elektriciteitsnetverzwaring nodig, is de warmtevoorziening collectief en is er geen isolatie voor de gebouwen nodig. Indien de gebouwen toch geïsoleerd worden kunnen extra gebouwen aangesloten worden op het warmtenet. Of de elektriciteitsbehoefte van de warmtepomp daalt door de lagere warmtebehoefte.

System- en situatieschetsen 'Volledig geïntegreerde werelden'

Hieronder is oplossingsscenario 'Volledig geïntegreerde werelden' visueel uitgewerkt voor zowel het systeemontwerp als de situatie in de publieke ruimte.

Impressie systeemscets

Figuur 13 geeft inzicht in de systemen van het oplossingsscenario 'Volledig geïntegreerde werelden' en hoe die interacteren. Dit figuur is gebaseerd op de functieboom in bijlage A met bijbehorende componenten en energievormen.



Figuur 13: Visualisatie van de functieboom met de componenten van het oplossingsscenario 'Volledig geïntegreerde werelden' en de energievormen tussen deze componenten (gele pijlen = elektriciteit, rode pijlen = warmte/koude).

Impressie oplossingsscenario 'Volledig geïntegreerde Werelden' in de publieke ruimte

Figuur 14 geeft een impressie van hoe het systeem in de publieke ruimte geplaatst zou kunnen worden met behulp van een gebiedsschets en een detailschets van de stuw. Deze impressie is gebaseerd op de situatie bij een dorp aan de Maas in de buurt van één van de zeven stuwen om houvast te bieden aan de dimensies van het stuw- en sluiscomplex.

In deze uitwerking wordt de stuw 100 meter breed om ruimte te creëren voor het plaatsen van de vijzelturbines. Het waterbouwkundig ontwerp kan worden aangepast door de doorstroombopening van de stuw dieper te maken, als compensatie van het verlies van breedte.

De locatie van vijzelturbines en warmtewisselaars is naast de stuw, aan de westzijde, de benodigde afvoercapaciteit van de stuw blijft behouden. Naast de vijzelturbines en warmtewisselaars komt op de oever een technische ruimte. Deze locatie is hoogwatervrij en is over land bereikbaar voor onderhoud ook in situaties van hoog water. Naast de vijzelturbines en warmtewisselaars komt een nieuwe weg naar de westzijde van het stuwcomplex, voor de aan- en afvoer van materieel en in een later stadium voor onderhoudswerkzaamheden. De weg sluit aan op de bestaande infrastructuur.

Er worden tien vijzelturbines geïnstalleerd, net benedenstrooms van de stuw met elk een diameter van 4 meter. De benodigde breedte voor tien vijzelturbines is 40 meter. De vijzelturbines worden onder een hoek van 22 graden geplaatst en hebben een lengte van ongeveer 6 meter (Dommelstroom, 2017). De vijzelturbines worden geplaatst in een bak met een bodem van betonnen en stalen damwandconstructies.

Bovenstrooms van de vijzelturbines wordt een betonnen bak (LxBxH: 40 x 30 x 1 meter) geplaatst waar de warmtewisselaars in worden bevestigd. De technische ruimte met de warmtepomp en andere voorzieningen is 10 x 25 meter. Van de warmtepomp lopen leidingen naar het dorp aan de Maas om huishoudens van warm water te voorzien of water op te slaan in het buffervat. De bodem- en oeverbescherming moet worden aangepast aan de veranderende stromingspatronen door de inpassing van de vijzelturbines en warmtewisselaars.

Oplossingsscenario 3: Volledig geïntegreerde werelden Gebiedsschets



Detailschets stuw



Figuur 14: Impressie van hoe het energie- en watersysteem in de publieke ruimte geplaatst zou kunnen worden. Boven: Het buffervat is niet weergegeven, omdat de locatie afhangt van lokale omstandigheden.

Warmtetechniek

Door middel van een warmtepomp wordt het water opgewaardeerd tot 75 graden Celsius. Dat is een geschikte temperatuur om de huizen in het dorp te verwarmen en van tapwater te voorzien zonder dat ingrijpende aanpassingen in de woning nodig zijn. In de vervolgstudie zal onderzocht worden of ook een laagtemperatuurwarmtenet rendabel is. De warmte wordt door middel van een warmtenet gedistribueerd naar het dorp aan de Maas. Voor de 5.000 woningen volstaat een warmtepomp van circa 15 megawatt. Deze zal gecombineerd worden met een warmtebuffer om de pieklast op te kunnen vangen. Ook is deze warmtebuffer nodig om in periodes van lage watertemperaturen voldoende warmte te kunnen leveren aan het dorp aan de Maas. Het volume van de warmtebuffer is 60.000 - 300.000 m³, waarbij geldt dat hoe groter de buffer des te beter ingespeeld kan worden op een variabel aanbod aan energie (zowel elektrisch als warmte uit rivierwater) door de warmtepomp op de meest gunstige momenten te laten draaien (veel elektriciteitsaanbod, hoge watertemperatuur).

Kostenraming

De geraamde kosten zijn opgenomen in bijlage E. In de onderstaande toelichting op de kostenraming worden de aspecten die van belang zijn voor de vergelijking van de oplossingsscenario's beschreven.

Investeringskosten

Investeringskosten in stuw/sluisencomplex:

- Vervanging stuw kost ongeveer € 33 miljoen.
- Civieltechnische aanpassingen voor de energiecomponenten bedragen circa € 1,3 miljoen.

Investeringskosten in warmtesysteem

- Opwek elektriciteit bij de stuw met vijzels kost € 1,5 miljoen, uitgaande van 10 vijzels.
- Opwek warmte bij de stuw warmtewisselaar en warmtepomp kost € 12 miljoen.
- Levering warmte met warmtenet en warmteopslag kost ruw geschat € 76 miljoen.

Exploitatiekosten

- Exploitatiekosten stuw- en sluisencomplex:
Bij RWS worden de kosten voor onderhoud en energieverbruik toegerekend aan de complexen. Deze bedragen ruwweg tussen 0,5 tot 1,5% van de vervangingswaarde. Deze kosten zullen bij de geïntegreerde oplossing een fractie hoger zijn dan als we de civieltechnische aanpassingen voor het energiesysteem hierin meenemen. De kosten voor de bediening en de algemene overheid voor apparaatkosten van RWS worden niet toegerekend aan de objecten.
- Exploitatiekosten warmtesysteem:
 - De exploitatiekosten zijn berekend als een jaarlijks percentage van de investering, namelijk: warmtenet en opslag 2%, warmteopwek 4%, vijzelturbine 8%.
 - Daarnaast gaan we uit van € 250.000 aan kosten per jaar voor contact, service en facturatie. Dit zijn de totale kosten voor 5000 woningen tezamen.
 - De totale exploitatiekosten voor het gehele systeem zijn € 2,5 miljoen per jaar.

Gebruikerskosten

- Gebruikerskosten stuw- en sluisencomplex:
De drie oplossingsscenario's hebben geen invloed op de gebruikerskosten van het stuw- en sluisencomplex. De scheepvaart gebruikt de schutsluizen en de operatie daarvan verandert niet door de aanpassingen aan de stuw. Er worden nu geen rechtstreekse kosten betaald door de gebruikers.
- Gebruikerskosten energiesysteem:
De kostenraming voor de eindgebruikers liggen rond de € 1.400. Dit is gebaseerd op bovenstaande schattingen voor het energiesysteem rond de € 90 miljoen. Rekening houdend met een gewenste terugverdientijd van 20 jaar (het overgrote deel van de investering, het warmtenet en de opslag, gaat in de praktijk 30+ jaar mee), 5.000 huishoudens en exploitatiekosten. De rentelasten zijn in dit bedrag nog niet opgenomen.

4.7 CONCLUSIE OPLOSSINGSSCENARIO 3 VOLLEDIG GEÏNTEGREERDE WERELDEN

De gegeven informatie in paragraaf 4.6 over het oplossingsscenario Volledig geïntegreerde werelden wordt getoetst aan de basiseisen:

Basiseisen energie	
CO ₂ -uitstootvrij en energieneutraal of zelfs -positief	Ja
Aardgasloos (Aardgas is niet meer beschikbaar voor verwarming van gebouwen)	Ja
Betrouwbaar, bereikbaar, betaalbaar	Ja
Zelfvoorzienend (over etmalen en seizoenen)	Ja*
Basiseisen waterbeheer	
Waterveiligheid	Ja
Vlot, veilig en betrouwbaar vervoer over water	Ja
Klimaatbestendig waterbeheer	Ja
Duurzame en circulaire waterbouwkundige werken	Ja

* Niet alleen is het warmtesysteem zelfvoorzienend over etmalen en seizoenen, maar ook kan deze oplossing een grote rol spelen in de zelfvoorzienendheid van de reguliere elektriciteitsvraag.

Er kan geconcludeerd worden dat dit oplossingsscenario een goed werkbaar systeem oplevert, waarin aan de basiseisen van de energietransitie voldaan wordt. In dit oplossingsscenario wordt de uitdaging van de zelfvoorzienendheid wel opgelost. Ook aan de basiseisen van water wordt geheel aan voldaan.

Kostenraming

Voor zover kwantitatieve gegevens en kengetallen beschikbaar zijn, kan geconcludeerd worden dat de kostenraming in oplossingsscenario 3 veel lager zijn ten opzichte van oplossingsscenario 1 'Gescheiden werelden'.

Net als bij oplossingsscenario 2 is geen investering voor elektriciteitsnetverzwaring nodig, is de warmtevoorziening collectief en is er geen isolatie voor de gebouwen nodig. Indien de gebouwen toch geïsoleerd worden, kunnen extra gebouwen aangesloten worden op het warmtenet, met dezelfde voorraad gebufferde energie. Daarnaast is het vanuit duurzaamheidsoogpunt natuurlijk beter voor de CO₂ footprint.

5 DE DRIE OPLOSSINGSSCENARIO'S AFGEWOGEN

In hoofdstuk 4 zijn drie oplossingsscenario's met verschillende oplossingen aangedragen voor de warmte- en watermanagementbehoefte van het dorp aan de Maas. In dit hoofdstuk worden de drie oplossingsscenario's met elkaar vergeleken op de volgende criteria: basiseisen, kostenraming en additionele afwegingsfactoren.

5.1 AFWEGING OP BASISEISEN

Voor het dorp aan de Maas leiden de ontwikkelingen en uitdagingen tot de volgende basiseisen voor de wijze waarop invulling wordt gegeven aan de energie- en watermanagementbehoefte. Al deze criteria samen dienen meegenomen te worden in de uiteindelijke afweging, waarbij de basiseisen in ieder geval beantwoord moeten worden. De oplossingsscenario's die daar niet aan voldoen vallen in ieder geval af.

5.2 AFWEGING OP FINANCIËLE CRITERIA

Om de oplossingsscenario's te kunnen vergelijken op basis van een kostenraming, zijn in de onderstaande tabel financiële afwegingscriteria weergegeven. Baten zijn buiten beschouwing gelaten. Dit wordt opgenomen in het vervolgtraject: fase 3. Zie hoofdstuk 8.

Basiseisen	1. Gescheiden werelden (referentie-scenario)	2. Semi-geïntegreerde werelden	3. Volledig geïntegreerde werelden
Warmte			
CO ₂ -uitstootvrij en energieneutraal of zelfs -positief	✓	✓	✓
Aardgasloos (Aardgas is niet meer beschikbaar voor gebouwverwarming)	✓	✓	✓
Betrouwbaar, bereikbaar, betaalbaar	✓	✓	✓
Zelfvoorzienend (over etmalen en seizoenen)	nee	✓	✓*
Waterbeheer			
Waterveiligheid	✓	✓	✓
Vlot, veilig en betrouwbaar vervoer over water	✓	✓	✓
Klimaatbestendig waterbeheer	✓	✓	✓
Duurzame en circulaire waterbouwkundige werken	✓	✓	✓

* Niet alleen is het warmtesysteem zelfvoorzienend over etmalen en seizoenen, maar ook kan deze oplossing een grote rol spelen in de zelfvoorzienendheid van de reguliere elektriciteitsvraag.

Basis eisen	1. Gescheiden werelden (referentie-scenario)	2. Semi-geïntegreerde werelden	3. Volledig geïntegreerde werelden
Financieel Kostenraming			
Investerings-kosten in stuw- en sluizencomplex	€ 33 miljoen	€ 33 miljoen	€ 33 miljoen
Investerings-kosten in energiesysteem	€ 209 miljoen (exclusief netverzwaringen)	€ 90 miljoen	€ 33 miljoen
Exploitatiekosten stuw- en sluizencomplex	0,5 - 1,5% van investerings-kosten	0,5 - 1,5% van investerings-kosten	0,5 - 1,5% van investerings-kosten
Exploitatiekosten energiesysteem	Niet te herleiden uit CE Delft (2015)	€ 3,5 miljoen per jaar	€ 2,5 miljoen per jaar
Gebruikerskosten (per huishouden) energiesysteem	€ 2.300 per jaar	€ 1.600 per jaar	€ 1.400 per jaar

Voor het energiesysteem zijn er qua investeringskosten wel grote verschillen. Oplossingsscenario 1 heeft dubbele investeringskosten ten opzichte van oplossingsscenario's 2 en 3. Ook de gebruikerskosten vallen in oplossingsscenario 1 significant hoger uit. Er zijn geen bruikbare kengetallen voorhanden voor de exploitatiekosten voor oplossingsscenario 1, waardoor de exploitatiekosten tussen de oplossingsscenario's niet vergelijkbaar zijn. Naar verwachting zal deze kostenraming in oplossingsscenario 1 ook hoger zijn.

5.3 CONCLUSIE

De drie oplossingsscenario's zijn afgewogen in het kader van de basiseisen van warmte en waterbeheer. Daarnaast zijn ze afgewogen op basis van de kostenraming.

Uit deze analyse blijkt dat zowel oplossingsscenario 2 als 3 voldoen aan alle basiseisen van warmte en waterbeheer. Oplossingsscenario 1 voldoet niet aan de basiseis van zelfvoorzienendheid. Vermoedelijk zal in dit oplossingsscenario bijgeschakeld moeten worden naar fossiele energie om zelfvoorzienendheid op gebied van warmte te behalen.

Voor de vervanging van de stuw in het stuw- en sluizencomplex vallen de bijbehorende investeringskosten in alle drie de oplossingsscenario's in dezelfde bandbreedte.

6 AFWEGING OP ADDITIONELE AFWEGINGSFACTOREN

6.1 ADDITIONELE AFWEGINGSFACTOREN

Tijdens het uitwerken van de oplossingsscenario's zijn nog andere onderwerpen op tafel gekomen die van invloed zijn op de weging van de drie oplossingsscenario's met betrekking tot hun potentie in verband met de energietransitie.

In onderstaande tabel zijn die onderwerpen gerubriceerd in een aantal categorieën. Deze zijn: het benodigde (extra) ruimtebeslag, effecten op de omgeving, vergunningen en kansen voor innovatie. Ook hier gaat het om een eerste ruwe kostenraming. Per categorie zetten we de zaken op een rij.

Onderwerp: ruimtebeslag	1. Gescheiden werelden	2. Semi-geïntegreerde werelden	3. Volledig geïntegreerde werelden
Ruimtebeslag voor aanleg zonnepanelen, windmolens en buffervat	Gemiddeld: De zonnepanelen en windmolens voor het systeem en het dorp nemen veel ruimte in gebruik en concurreren met huidige ruimtegebruik. Indien niet op de daken geplaatst, maar in het open veld, betreft het maximaal 4 hectare en 1 à 2 windmolens.	Groot: De infrastructuur voor warmte-opwek uit rivierwater, zoals de leiding, technische ruimte, bufferopslag etc., nemen ruimte in beslag. Tevens nemen de zonnepanelen en windmolens die nodig zijn voor de zelfvoorzienendheid ook ruimte in beslag.	Beperkt: De vijzelturbines en infrastructuur voor warmte opwek worden geïntegreerd in het ontwerp van het stuw- en sluizencomplex, waardoor er weinig extra ruimte nodig is. Daarnaast is er ruimte nodig voor het buffervat: 60.000 tot 300.000 m ³ . Het vat kan onder de grond geplaatst worden.
Ruimte in de rivier nodig voor aanleg van warmteopwek	Niet aan de orde	Beperkt: Voor de aan- en afvoer van rivierwater voor warmte opwek moet een kanaal of leiding worden aangelegd naast de rivier, inclusief inlaat- en uitlaatpunt (fundering en betonconstructies).	Marginaal: De fundering en betonconstructies voor de warmtewisselaars zijn bij een stuw- en sluizencomplex al aanwezig. Deze hoeven dus niet apart te worden aangelegd, want daar worden de elementen in het stuw- en sluizencomplex geïntegreerd.

Onderwerp: ruimtebeslag	1. Gescheiden werelden	2. Semi-geïntegreerde werelden	3. Volledig geïntegreerde werelden
Benodigde ruimte voor toegangswegen en elektriciteitsnet	Marginaal: Verzwaren van het elektriciteitsnet met een factor 1.5.	Groot: Veelal zijn er geen wegen of elektriciteitskabels aanwezig langs de rivier. Deze moeten aangelegd worden om het energiesysteem te bouwen en te onderhouden.	Marginaal: Bij sluizen zijn oeververbindingen en wegen aanwezig in verband met aanleg, beheer en onderhoud. Ook liggen er elektriciteitskabels. Mogelijk moet de aansluiting en het distributienet van het elektriciteitsnet worden uitgebreid.
Grond/ruimte beschikbaar	Nee: Voor aanleg zonnepanelen en windmolens zal grond verworven moeten worden. RWS areaal kan hier ook voor worden gebruikt. Voor het versterken en uitbreiden van netwerken zal zo veel mogelijk aangesloten worden op het aanwezige elektriciteitsnet.	Nee: Er is grond nodig aan de oever voor het plaatsen van het energiesysteem, windmolens en of zonnepanelen. Er dienen gronden verworven te worden.	Ja: Bij stuw- en sluizencomplex is de grond al beschikbaar en in eigendom van RWS.
Grondwerken	Gemiddeld: Complexe grondwerken in de gebouwde omgeving voor het verzwaren van het elektriciteitsnet.	Groot: Voor de aanleg van het warmtenet, inclusief buffer, zijn aanzienlijke graafwerkzaamheden en verplaatsing van grond nodig.	Groot: Voor de aanleg van het warmtenet, inclusief buffer, zijn aanzienlijke graafwerkzaamheden en verplaatsing van grond nodig.

Wat betreft het onderwerp 'ruimtebeslag' kunnen we concluderen dat oplossingsscenario 3 minder ruimtegebruik vraagt, doordat in dit oplossingsscenario geen zonnepanelen en windmolens geplaatst hoeven te worden om zelfvoorzienendheid op gebied van warmte te realiseren. In oplossingsscenario 1 is een zonnepaneel van 15 hectare vereist of 1 á 2 windmolens, voor oplossingsscenario 2 is dit 24 hectare of 2 á 3 windmolens. De zonnepanelen kunnen niet allemaal op daken geplaatst worden. Ze zullen daarom grotendeels in het veld neergezet worden. Het extra ruimtebeslag is in het drukbevolkte Nederland niet zondermeer beschikbaar en zal dus concurreren met het huidige grondgebruik en ander toekomstig grondgebruik. Grondverzet speelt in oplossingsscenario's 2 en 3 een grotere rol. Met betrekking tot de uitbreiding van aanpalende infrastructuur is er voor zover nu te overzien geen groot verschil.

Onderwerp: effecten op de omgeving	1. Gescheiden werelden	2. Semi-geïntegreerde werelden	3. Volledig geïntegreerde werelden
Impact op flora en fauna	Significant: De benodigde ruimte voor zonnepanelen en windmolens voor het stuw- en sluizencomplex en het dorp gaat ten koste gaan van de ecologie, tenzij deze in de bebouwde omgeving wordt geplaatst. Dit is echter niet waarschijnlijk voor windmolens.	Significant: De benodigde ruimte voor de warmte opwek- installaties worden binnendijs gebouwd op een plek waar nu nog geen bebouwing is. Wanneer dit een gebied is met ecologische waarden zal dit effect hebben. Dat geldt ook voor het plaatsen van zonnepanelen en windmolens.	Beperkt: De vijzel turbines en warmte opwek- installaties worden gebouwd op een plek waar nu al bebouwing staat (stuw- en sluizencomplex). De ecologie zal nauwelijks additionele hinder ondervinden.

Tabel 3: Additionele afwegingsfactoren Ruimtebeslag

Onderwerp: effecten op de omgeving	1. Gescheiden werelden	2. Semi-geïntegreerde werelden	3. Volledig geïntegreerde werelden
Horizonvervuiling en geluidshinder	<p>Additionele hinder: Plaatsing van warmtepompen op daken en aan muren van gebouwen kan als visueel onaantrekkelijk worden aangemerkt. Ook geven warmtepompen geluidshinder in de bebouwde kom. Daarnaast zal er een windmolenpark/zonneveld geplaatst moeten worden voor de voeding van de warmtepompen in het dorp.</p> <p>Wat betreft het stuw- en sluizencomplex: zonnepanelen en windmolens leveren extra horizonvervuiling op. Slagschaduw en geluid kunnen problemen geven.</p>	<p>Additionele hinder: Plaatsing van energiecomponenten (behuizing, pomp, filter) leidt tot horizonvervuiling. Daarnaast zal er een windmolenpark/zonneveld geplaatst moeten worden voor de voeding van de warmtepompen in het dorp.</p> <p>Wat betreft het stuw- en sluizencomplex: zonnepanelen en windmolens leveren extra horizonvervuiling op. Slagschaduw en geluid kunnen problemen geven.</p>	<p>Geen additionele hinder: Geen additionele horizonvervuiling naast de reeds bestaande horizonvervuiling van het aanwezige stuw- en sluizencomplex en het dorp.</p> <p>Geen extra geluidshinder door opwek voor het stuw- en sluizencomplex.</p>
Impact op watertemperatuur	<p>Niet aan de orde</p>	<p>Positief: Door warmtewisselaars te gebruiken in de rivier, wordt het rivierwater in de zomer gekoeld. Het water in de Maas is in de zomer warm en het is positief voor de waterkwaliteit als dit gekoeld wordt.</p>	<p>Positief: Door warmtewisselaars te gebruiken in de rivier, wordt het rivierwater in de zomer gekoeld. Het water in de Maas is in de zomer warm en het is positief voor de waterkwaliteit als dit gekoeld wordt.</p>

Onderwerp: effecten op de omgeving	1. Gescheiden werelden	2. Semi-geïntegreerde werelden	3. Volledig geïntegreerde werelden
Impact op visstand	<p>Niet aan de orde: Bij de huidige inrichting van rivier en het stuw- en sluizencomplex is er sprake van vissterfte. Deze is echter nog niet goed gekwantificeerd.</p>	<p>Ja, mogelijke gevolgen: Het onttrekken en lozen van water door middel van een pomp en buisleiding ten behoeve van de warmtewisselaar heeft mogelijk negatieve gevolgen voor de visstand. De nieuwe richtlijn is: aantoonbaar minder dan 0,1% vissterfte. Of dit oplossingsscenario een positief of negatief is ten opzichte van de huidige inrichting moet worden berekend.</p> <p>Het koelen van het water in de zomer heeft een positief effect op de visstand.</p>	<p>Ja, mogelijk gevolgen: De vijzelturbines hebben impact op de vissterfte en moeten voldoen aan de nieuwe richtlijn: aantoonbaar minder dan 0,1% vissterfte. Bij het herontwerp van de stuw zal het totale effect van de stuw op de visstand moeten worden bekeken, opdat per saldo de vissterfte kan afnemen.</p> <p>Het koelen van het water in de zomer heeft een positief effect op de visstand.</p>

Tabel 4: Additionele afwegingsfactoren Effecten op de omgeving

De drie oplossingsscenario's hebben op basis van de eerste inschatting effecten op de omgeving in termen van ecologie (flora en fauna), watertemperatuur, visstand, horizonvervuiling en geluidshinder. Deze effecten hangen uiteraard samen met het extra ruimtebeslag en de milieueffecten.

Oplossingsscenario 2 en 3 hebben twee belangwekkende effecten op de omgeving. Ten eerste daalt door de warmtewinning uit rivierwater de watertemperatuur wat positief is voor de waterkwaliteit. Ten tweede neemt de mogelijkheid van vissterfte als gevolg van plaatsing van pompen in oplossingsscenario 2 en vijzelturbines (in oplossingsscenario 3) toe.

Deze vissterfte moet conform beleidsregel 'Watervergunningverlening waterkrachtcentrales in rijkswateren' minder zijn dan 0,1%. Er zijn hiervoor twee oplossingsrichtingen denkbaar:

1. Zoek een alternatief voor de vijzelturbines;
2. Zoek bij herontwerp naar mogelijke andere maatregelen om de vissterfte te compenseren.

In oplossingsscenario 3 kan de milieuvergunning in verband met de vijzelturbines en het negatieve effect op de visstand een struikelblok zijn. Opgemerkt moet worden dat het effect van het huidige stuw- en sluizencomplex op de huidige visstand kwantitatief niet bekend is. Het is ook niet bekend of het huidige complex aan de nieuwe richtlijn voldoet.

Onderwerp: vergunningen	1. Gescheiden werelden	2. Semi-geïntegreerde werelden	3. Volledig geïntegreerde werelden
Bouwvergunning	Zeer waarschijnlijk vergunbaar	Waarschijnlijk niet vergunbaar: Voor vervanging van de stuw op dezelfde locatie, is de kans groot dat de vergunning wordt afgegeven. De vergunning voor de energie-componenten verderop gelegen in de rivier is ingewikkeld doordat de beoogde locatie veelal een beschermd natuurgebied is. Bij bebouwing is natuurcompensatie benodigd.	Waarschijnlijk vergunbaar: De uitbreiding van de stuw met elementen voor energiewinning is bouwtechnisch marginaal. Waarschijnlijk vergunbaar.

Onderwerp: vergunningen	1. Gescheiden werelden	2. Semi-geïntegreerde werelden	3. Volledig geïntegreerde werelden
Milieuvergunning	Kritisch: Het verkrijgen van vergunningen voor windmolens is moeilijk.	Kritisch: Het verkrijgen van een vergunning voor de pomp is in verband met onder andere intrek van vis in de leiding moeilijk.	Zeer kritisch: De vijzelturbines moeten aantoonbaar voldoen aan de richtlijn van minder dan 0,1% vissterfte. De tot nu toe gebruikte turbines voldoen daar niet aan en zijn niet vergunbaar. Het systeem zonder de vijzelturbines is waarschijnlijk wel vergunbaar.

Tabel 5: Additionele afwegingsfactoren Vergunningen

Voor alle drie oplossingsscenario's geldt dat er aanzienlijke bouwactiviteiten zullen moeten plaatsvinden. Voor deze bouwactiviteiten is een omgevingsvergunning (hier nog uitgesplitst naar voor bouw- en milieuvergunning relevante onderdelen) nodig. In het eerste oplossingsscenario betreft het vooral de aanleg of vervanging van elektriciteitsnetten en het plaatsen van zonnepanelen en windmolens. De milieuvergunning kan voor de zonnepanelen en windmolens ingewikkeld zijn. Wat betreft het tweede oplossingsscenario zal daarnaast verlening van de bouwvergunning voor de warmtewisselaar inclusief buisleiding en pomp vermoedelijk kritisch zijn. Dit hangt af van de beoogde locatie: in of bij de bebouwde kom, in landbouwgebied of in natuurgebied. In oplossingsscenario 3 is de bouwvergunning niet het probleem. In dit oplossingsscenario is het verkrijgen van de milieuvergunning het struikelblok in verband met het mogelijke negatieve effect op de visstand.

Onderwerp: kansen voor innovatie	1. Gescheiden werelden	2. Semi-geïntegreerd werelden	3. Volledig geïntegreerde werelden
Energie-hub van de toekomst voor de scheepvaart	Niet uitgesloten: Een energie-hub (elektriciteit en warmte) voor gebruikers (binnenvaart, plezierboten, personenvervoer, vrachtvervoer etc.) langs de rivier vereist de aanleg van additionele infrastructuur.	Niet uitgesloten: Een energie-hub (elektriciteit en warmte) voor gebruikers (binnenvaart, plezierboten, personenvervoer, vrachtvervoer etc.) langs de rivier vereist de aanleg van additionele infrastructuur. Voor het warmtecomponent is de aansluiting op de warmtepomp nodig.	Mogelijk: De benodigde infrastructuur voor een energie-hub voor gebruikers (binnenvaart, plezierboten, personenvervoer, vrachtvervoer etc.) is reeds aanwezig voor zowel elektriciteit als warmte.
Innovatiekansen energiesystemen in stuw- en sluizencomplex	Gering: Het stuw- en sluizencomplex wordt één op één vervangen. Waar mogelijk worden zonnepanelen en windmolens geplaatst. Dit is bestaande technologie.	Gering: Het stuw- en sluizencomplex wordt één op één vervangen. Waar mogelijk worden zonnepanelen en windmolens geplaatst. Verderop in de rivier wordt een warmtesysteem geplaatst. Toepassing buffervat en warmtewisselaar op deze schaal nog niet eerder gedaan.	Ja: Bij de vervanging van het stuw- en sluizencomplex worden nieuwe technieken toegepast in het geïntegreerde ontwerp: water en energie. De vijzelturbines, het seizoenbuffervat en de warmtewisselaars worden zo veel mogelijk geïntegreerd in het stuw- en sluizencomplex en het RWS areaal. Toepassing buffervat en warmtewisselaar op deze schaal nog niet eerder gedaan.

Onderwerp: kansen voor innovatie	1. Gescheiden werelden	2. Semi-geïntegreerd werelden	3. Volledig geïntegreerde werelden
Innovatiekansen energiesystemen in het dorp aan de Maas	Ja: Bij de huishoudens worden bestaande duurzame technieken toegepast. Op termijn worden nieuwe innovaties geïntegreerd.	Ja: Kans voor warmte-distributie-innovatie in het dorp (bijvoorbeeld medium temperatuurnet en seizoensopslag).	Ja: Kans voor warmte-distributie-innovatie in het dorp (bijvoorbeeld medium temperatuurnet en seizoensopslag).

Tabel 6: Additionele afwegingsfactoren Kansen voor innovatie

Wat betreft 'innovatie en kansen', die ontstaan bij het vervangen van de stuw in het stuw- en sluizencomplex, kan er onderscheid gemaakt worden tussen innovaties van het gekozen oplossingscenario en de potentie van het oplossingscenario om nieuwe innovaties uit te lokken.

In alle drie de oplossingscenario's wordt voornamelijk gebruik gemaakt van proven technologie. In oplossingscenario's 2 en 3 worden twee non-proven technologieën toegepast: het buffervat en de warmtewisselaar. De technologieën zijn op zich proven, maar zijn op deze wijze (warmtewinning uit rivierwater) en op deze schaalgrootte nog niet toegepast.

Daarnaast geldt dat elk oplossingscenario voorziet in een scala van toekomstige innovatiemogelijkheden. Oplossingscenario 3 maakt een energie-hub mogelijk van verschillende energievormen (elektriciteit en warmte) voor verschillende gebruikersgroepen (binnenvaart, pleziervaart, personenvervoer, vrachtvervoer etc.). De benodigde energie-infrastructuur is grotendeels aanwezig en kan gebruikt worden voor het laden én lossen van energie. Een voorbeeld: de schepen kunnen de opgewerkte energie voor en tijdens het schutproces met de het energiesysteem uitwisselen.

Tot slot

In de voorgaande tabellen zijn de genoemde technologieën in combinatie met de stuw nog niet beheerstechnisch beschouwd. Voor de vraagsturing in het kader van de energietransitie is het van belang dat de systemen en technologieën flexibel dan wel adaptief ingezet kunnen worden. Dit is van belang om de energie-onbalans over seizoenen en etmalen te minimaliseren. De drie voorliggende schetsontwerpen bieden hiervoor handelingsperspectieven. Voorbeelden daarvan zijn onder andere (niet uitputtend):

- Sluis/stuw tijdelijk meer openen of sluiten. Dit biedt positieve en negatieve flexibiliteit voor het elektriciteitssysteem (regelruimte van 1 megawatt vermogen omhoog of naar beneden) (zie voor een voorbeeldberekening bijlage G);
- Tijdelijk afsluiten van één of meer vijzels;
- Het opgenomen elektrisch vermogen van de warmtepomp varieert tussen de 10% en 100%;
- Bufferen van warmte en koude;
- Surplussen aan elektriciteit gebruiken om warmte-/koudebuffer aan te vullen.

De warmte- en elektriciteitswinning op de stuw is van qua omvang en beschikbaarheid (zekerheid) van groot belang voor het samenbrengen van de vraag naar energie en het aanbod daarvan. Andere belangrijke elementen zijn de continuïteit van levering en de flexibiliteit. De flexibiliteit kan gebruikt worden voor balanshandhaving, congestiehandhaving en APX-handel (energiehandelsplatform). Dit laatste geeft kansen voor nieuwe businessmodellen en mogelijkheden voor andere vormen van financiering voor kapitaalsintensieve infrastructures.

Als alternatief of additionele technologie voor de warmtebuffer kan gedacht worden aan warmte-koude opslag. Hierbij wordt warm/koud water in de bodem opgeslagen, in plaats van een speciaal hiervoor geconstrueerd buffervat. Het onttrekken van koude behoort ook tot de mogelijkheden. In de vervolgstudie wordt dit indien gewenst verder onderzocht.

6.2 CONCLUSIE

Ruimtebeslag

In oplossingsscenario 1 is een zonneweide van 15 hectare vereist, aangevuld met 1 à 2 windmolens om aan de warmtevraag te voldoen. De zonnepanelen kunnen niet allemaal op daken geplaatst worden. Het extra ruimtebeslag is niet zondermeer beschikbaar. Voor oplossingsscenario 2 zijn 24 hectare zonnepanelen nodig of 2 á 3 windmolens. Oplossingsscenario 3 is zelfvoorzienend op gebied van warmte en er zijn geen zonnenvelden of windmolens nodig voor de productie van warmte. Grondverzet speelt in oplossingsscenario's 2 en 3 een grote rol. Met betrekking tot de uitbreiding van aanpalende infrastructuur is er voor zover nu te overzien geen groot verschil.

Effecten op de omgeving

De drie oplossingsscenario's hebben effect op de ecologie (flora en fauna), water- temperatuur, visstand en horizonvervuiling. Er zijn twee belangwekkende effecten:

- Het effect van warmtewinning uit rivierwater, waardoor de watertemperatuur per saldo daalt en als positief beschouwd wordt;
- Plaatsing van pompen (in oplossingsscenario 2) en vijzelturbines (in oplossingsscenario 3) en het effect op vissterfte. Deze moeten voldoen aan het nieuwe beleid van minder dan 0,1% vissterfte. Bij een negatieve impact zijn er twee oplossingsrichtingen:
 - Alternatief voor de vijzelturbines;
 - Bij herontwerp van de stuw rekening houden met de visstand in zijn totaal, en mogelijke compensatie met andere maatregelen.

Vergunningen

In alle drie oplossingsscenario's is een vergunning nodig, uitgesplitst in bouw- en milieuvergunningen. Voor oplossingsscenario 1 kan de milieuvergunning voor de zonnepanelen en windmolens ingewikkeld zijn. Voor oplossingsscenario 2 is de vergunning voor de warmtewisselaar, inclusief buisleiding en pomp, vermoedelijk kritisch. Dit hangt af van de beoogde locatie. In oplossingsscenario 3 is het verkrijgen van de milieuvergunning het struikelblok in verband met het mogelijke negatieve effect op de visstand.

Kansen en innovaties

In alle drie de oplossingsscenario's wordt voornamelijk gebruik gemaakt van proven technologie. In oplossingsscenario's 2 en 3 worden twee non-proven technologieën toegepast: het buffervat en de warmtewisselaar. De technologieën zijn op zich proven, maar zijn op deze wijze (warmtewinning uit rivierwater) en op deze schaalgrootte nog niet toegepast. Oplossingsscenario 3 geeft de meeste kansen op een toekomstige energie-hub van verschillende energievormen (elektriciteit en warmte) voor verschillende gebruikersgroepen (binnenvaart, pleziervaart, personenvervoer, vrachtvervoer etc.).

De benodigde energie-infrastructuur is grotendeels aanwezig en kan gebruikt worden voor het laden én lossen van energie.

7 CONCLUSIE

Hoofdconclusie

Dit onderzoek kijkt naar de potentie van de vervanging van de stuwen in het stuw- en sluizencomplex voor de opgaven van de energietransitie in relatie tot de duurzame energievraag in de omgeving rond een stuw- en sluizencomplex. Van alle opgaven van de energietransitie is hier ingezoomd op de warmtevraag, omdat deze van groot belang is en hier nog onvoldoende oplossingen voorhanden zijn.

Het onderzoek en het bijbehorende cocreatietraject hebben drie onderscheidende oplossingsscenario's opgeleverd voor het identificeren van dit potentieel:

- Oplossingsscenario 1: Gescheiden (water- en energie-)werelden;
- Oplossingsscenario 2: Semi-geïntegreerde (water- en energie-)werelden;
- Oplossingsscenario 3: Volledig geïntegreerde (water- en energie-) werelden.

Elk oplossingsscenario is uitgewerkt en verduidelijkt met een ontwerpschets van het bijbehorend functionerend systeem (of systemen), een gebiedsschets en een detailschets van het stuw- en sluizencomplex. De oplossingsscenario's zijn onderbouwd met kengetallen, berekeningen en inschatting van kosten.

De berekeningen en getallen zijn op onderdelen inschattingen. Dat laat onverlet dat de drie oplossingsscenario's te vergelijken zijn op de aspecten: doelbereik, kostenraming, gebruik publieke ruimte en belangrijke andere additionele afwegingsfactoren. De oplossingsscenario's zijn met elkaar vergeleken aan de hand van zes basiseisen:

Basiseisen	1. Gescheiden werelden	2. Semi-geïntegreerd	3. Volledig geïntegreerd
Energie			
CO ₂ -uitstootvrij en energieneutraal of zelfs -positief	✓	✓	✓
Aardgasloos (Aardgas is niet beschikbaar voor gebouwverwarming)	✓	✓	✓
Betrouwbaar, bereikbaar, betaalbaar	✓	✓	✓
Zelfvoorzienend (over etmalen en seizoenen)	nee	✓	✓*
Waterbeheer			
Waterveiligheid	✓	✓	✓
Vlot, veilig en betrouwbaar vervoer over water	✓	✓	✓
Klimaatbestendig waterbeheer	✓	✓	✓
Duurzame en circulaire waterbouwkundige werken	✓	✓	✓

* Niet alleen is het warmtesysteem zelfvoorzienend over etmalen en seizoenen, maar ook kan deze oplossing een grote rol spelen in de zelfvoorzienendheid van de reguliere elektriciteitsvraag.

Op basis van dit onderzoek is de hoofdconclusie dat de vervangingsopgave van de stuwen in de stuw- en sluizencomplexen in de Maas een belangrijke bijdrage kan leveren aan de opgaven van de energietransitie. Oplossingsscenario 3 (volledig geïntegreerde (water- en energie-) werelden) biedt de beste oplossing voor het vraagstuk van de zelfvoorzienendheid van de warmtevoorziening (het opheffen van de energie-onbalans tussen seizoenen en etmalen). De grootste potentie zit in de mogelijkheden om effectief warmte te winnen uit rivierwater, waarmee een belangrijke bijdrage wordt geleverd aan de zelfvoorzienendheid. Ook draagt de in oplossingsscenario 3 beschreven oplossing bij aan de zelfvoorzienendheid van de reguliere elektriciteitsvraag.

Sub-conclusies

Hieronder volgen de deelconclusies op additionele afwegingsfactoren ter onderbouwing van de genoemde hoofdconclusie.

Kostenraming

Voor de vervanging van de stuw in het stuw- en sluizencomplex vallen de bijbehorende investeringskosten, exploitatiekosten en gebruikerskosten binnen dezelfde bandbreedte.

De verschillen zijn te vinden bij de vervanging van het energiesysteem.

Oplossingsscenario's 2 en 3 vragen veel lagere investeringskosten dan oplossingsscenario 1 waarvan de kostenraming een factor 2 duurder zijn. De gebruikerskosten vallen in dit oplossingsscenario ook significant hoger uit.

Er zijn geen bruikbare kengetallen voorhanden voor de exploitatiekosten voor oplossingsscenario 1, waardoor de exploitatiekosten tussen de oplossingsscenario's niet vergelijkbaar zijn. Naar verwachting zal deze kostenraming in oplossingsscenario 1 ook hoger zijn.

Voor de gebouwde omgeving van oplossingsscenario 1 komt de investering voor installaties en gebouwaanpassingen op € 209 miljoen. In oplossingsscenario's 2 en 3 zijn de investeringskosten ongeveer € 90 miljoen.

Daarnaast zijn er in oplossingsscenario 1 nog additionele kosten voor verzwaring van het elektriciteitsnetwerk. Ook ligt deze kostenraming 1,5 maal hoger, wordt het vraagstuk van de zelfvoorzienendheid van de warmtevoorziening niet opgelost en zijn de bijbehorende kostenraming niet bekend. Vermoedelijk zal in dit oplossingsscenario bijgeschakeld moeten worden naar fossiele energie om zelfvoorzienendheid te behalen met bijbehorende (maatschappelijke) kosten. Dit geldt tevens in mindere mate voor oplossingsscenario 2, waarin de zelfvoorzienendheid maar deels opgelost wordt.

Additionele afwegingsfactoren

Ruimtebeslag

In oplossingsscenario 1 is een zonneweide van 15 hectare vereist of 1 á 2 windmolens om aan de elektriciteitsbehoefte van de individuele warmtepompen te voldoen. De zonnepanelen kunnen niet allemaal op daken geplaatst worden. Het extra ruimtebeslag is niet zonder meer beschikbaar. Voor oplossingsscenario 2 is 24 hectare zonnepanelen nodig of 2 á 3 windmolens. Oplossingsscenario 3 is zelfvoorzienend en er zijn geen zonnevelden of windmolens nodig.

Grondverzet speelt in de oplossingsscenario's 2 en 3 een grote rol.

Effecten op de omgeving

Er zijn twee belangwekkende effecten:

- Door de warmtewinning uit rivierwater daalt de watertemperatuur wat positief is;
- Vissterfte als gevolg van plaatsing van pompen (in oplossingsscenario 2) en vijzelturbines (in oplossingsscenario 3). Deze vissterfte moet conform nieuw beleid minder zijn dan 0,1%. Bij een negatieve impact zijn er twee oplossingsrichtingen:
 - Alternatief voor de vijzelturbines;
 - Bij stuwherontwerp van de stuw zoeken naar mogelijke andere maatregelen om de vissterfte te compenseren.

Vergunningen

Voor oplossingsscenario 1 kan de milieuvergunning voor de zonnepanelen en windmolens ingewikkeld zijn. Voor oplossingsscenario 2 is de vergunning voor de warmtewisselaar, inclusief buisleiding en pomp, vermoedelijk kritisch. In oplossingsscenario 3 is de milieuvergunning in verband met de vijzelturbines het struikelblok (negatief effect op de visstand).

Kansen en innovaties

In oplossingsscenario's 2 en 3 worden twee non-proven technologieën toegepast: het buffervat en de warmtewisselaar. De technologieën zijn voor zover bekend nog niet op deze wijze en op deze schaalgrootte toegepast. Oplossingsscenario 3 geeft de meeste kansen op een toekomstige energie-hub van verschillende energievormen (elektriciteit en warmte) voor verschillende gebruikersgroepen (binnenvaart, pleziervaart, personenvervoer, vrachtvervoer etc.). De energie-infrastructuur is toepasbaar voor laden én lossen van energie.

Tot slot

Gezien de potentie voor de opgaven van de energietransitie bij de vervanging van de stuwen in relatie tot de duurzame energievraag in de omgeving rond een stuw- en sluizencomplex, in combinatie met de mogelijkheden van het geïntegreerde ontwerp van oplossingsscenario 3, verdient het aanbeveling om dit oplossingsscenario verder uit te werken.

8 HOE NU VERDER?

Met dit rapport is de tweede fase van het cocreatieprogramma Grip op de Maas, voor het perspectief Energie & Water afgerond. Het cocreatieprogramma Grip op de Maas betreft de vervangingsopgave van de stuwen in de Maas. Dit cocreatieprogramma vond plaats op De Bouwcampus voor zowel fase 1 als 2. Deze rapportage wordt opgeleverd aan alle Grip op de Maas deelnemers en De Bouwcampus en vooral de cocreatie partijen van het Energie & Water perspectief: Alliander, RWS, Heijmans Infra en TU Delft.

RWS en Alliander hebben het voornemen om het oplossingsscenario 'Geïntegreerde (water- en energie-) werelden' verder uit te werken en te gaan testen in een pilot. De centrale vraag voor fase 3 betreft de realiseerbaarheid en uitvoerbaarheid van het voorliggende schetsontwerp. De focus ligt daarbij op de integratie van beide systemen in samenwerking met de omgeving en betrokken stakeholders. Met deze uitwerking kan de pilot ontworpen en gerealiseerd worden. De volgende aandachtsgebieden worden in ieder geval opgepakt in de verdere uitwerking:

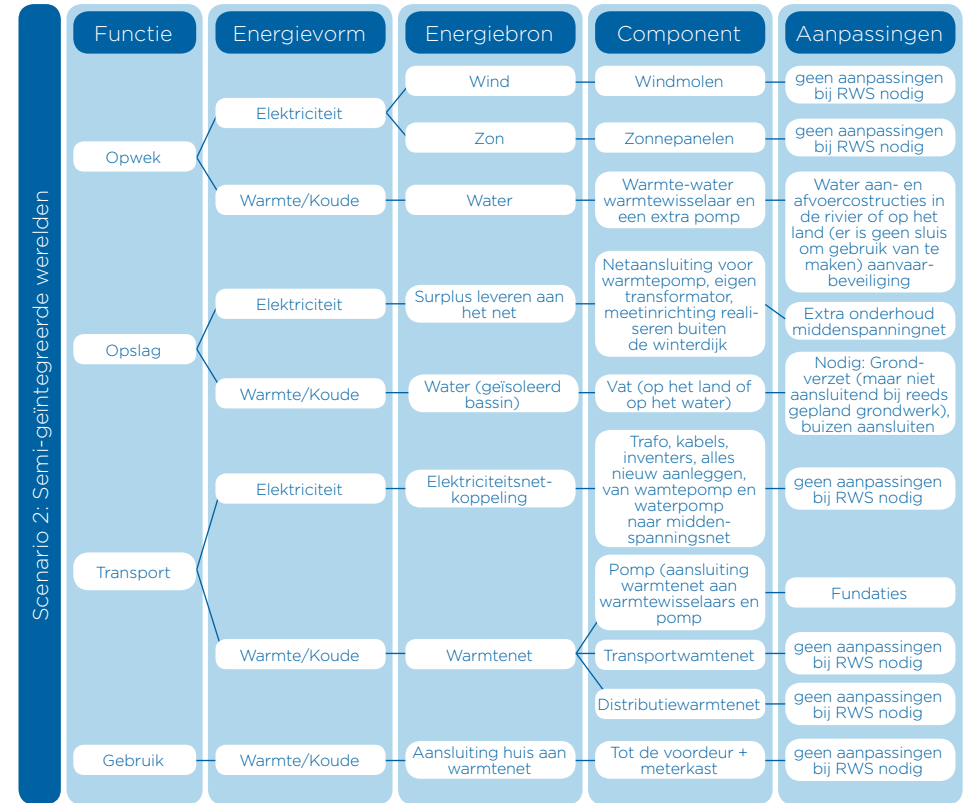
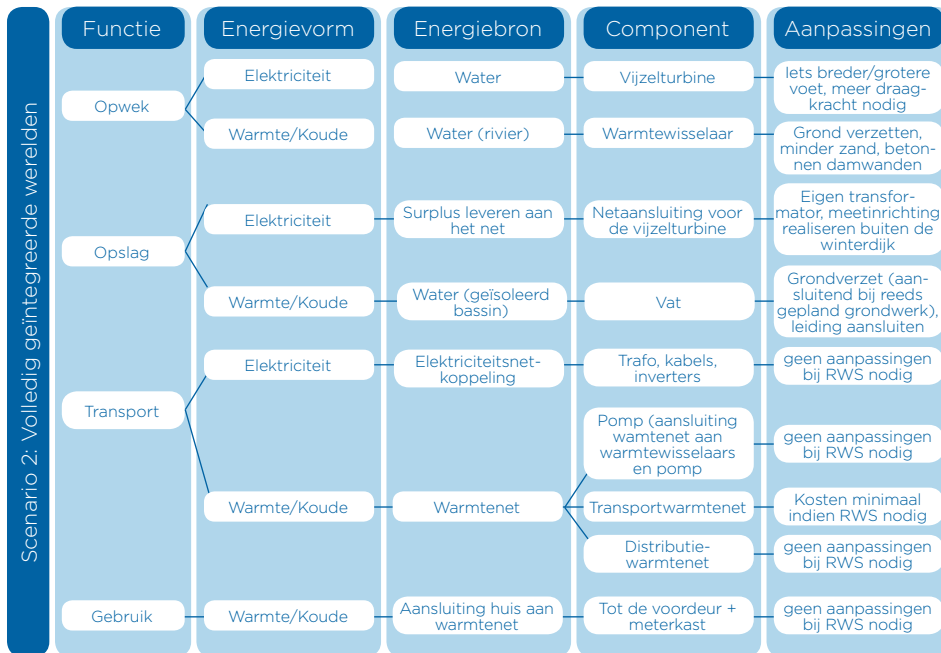
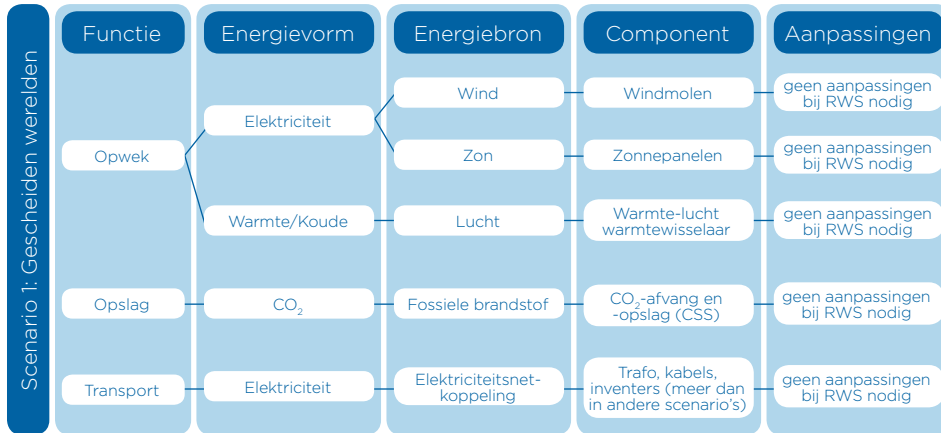
- Het verfijnen en beter onderbouwen van de kentallen en berekeningen;
- Het nader onderzoeken van drie belangrijke non-proven innovaties in verband met schaalgrootte: de warmtewinning uit rivierwater met warmtewisselaar, het buffervat en de vijzelturbines;
- Het nader onderzoeken van civieltechnische uitdagingen: de relatie tussen plaatsing van vijzelturbines en warmtewisselaars met de constructie en fundering van het stuw- en sluizencomplex. Dit geldt vooral voor de situatie van hoogwater en hogere waterafvoeren als gevolg van de klimaatverandering. Hierdoor zullen de krachten op de constructie groter en anders worden;
- Onderzoek naar de effecten van het stuw- en sluizencomplex (en specifieke onderdelen) en het nieuw geïntegreerde ontwerp op de visstand en de waterkwaliteit;

- Onderzoeken hoe de lokale stakeholders en beoogde afnemers van energie te betrekken zijn bij het ontwerp en de realisatie van het geïntegreerde water- en energiesysteem;
- Onderzoeken welke businesscases er mogelijk zijn voor de betrokken stakeholders van het geïntegreerde water- en energiesysteem;
- Identificeren welke stuw- en sluizencomplexen zich het beste lenen voor een pilot. Denk hierbij aan: planning voor vervanging / renovatie sluis/stuw, aanwezige bebouwde omgeving, de staat van het huidige energiesysteem, motivatie van lokale stakeholders etc.

Deze en andere vragen zullen worden opgepakt door RWS en Alliander in samenwerking met andere kennishouders.

BIJLAGE A

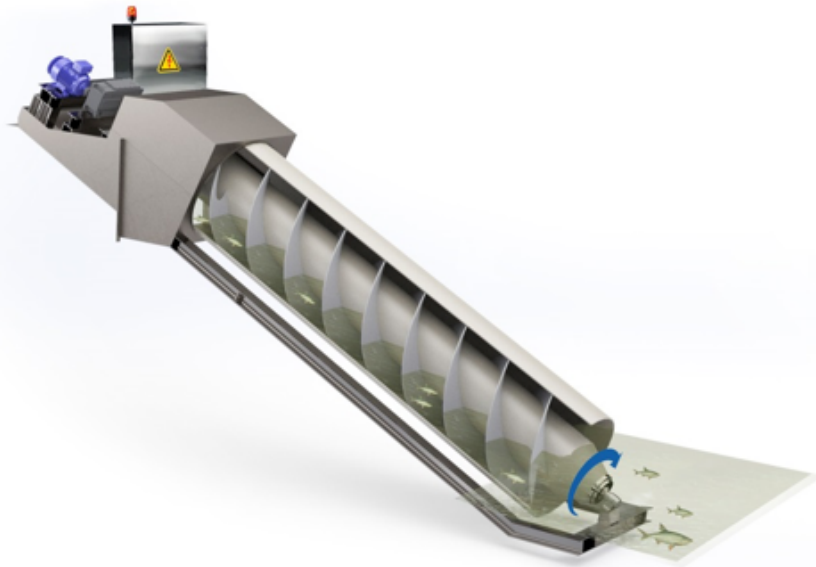
FUNCTIEBOMEN VOOR DE INVULLING VAN HET WARMTESYSTEEM



BIJLAGE B

VIJZELTURBINE

Voor de opwek van elektriciteit uit het verval van het water over de stuw is een vijzelturbine geschikt, omdat deze visvriendelijk is, een lange levensduur heeft en een hoog rendement oplevert. Er kan bijvoorbeeld gekozen worden voor een vijzelturbine van composiet (FishFlow Innovations, 2017). Deze heeft de eigenschappen: visvriendelijk, rendement boven 80% haalbaar met variabel debiet, lange levensduur, onderhoudsarm, hoogte-verstelbare uitvoering mogelijk voor volgen waterpeil, functies om turbineren en bemalen te combineren, vijzeldiameter van 600 tot 5000 mm. Voor de vijzelturbine wordt een 120 mm grid geplaatst om te voorkomen dat groot materiaal in de schroef komt.



Risico's

Het gebruik van vijzelturbines in de stuw voor de opwekking van elektriciteit brengt risico's met zich mee. De onzekerheid over de fluctuaties van de afvoer in de Maas kunnen een risico vormen voor de rendabiliteit van de vijzelturbines. Deze fluctuaties kunnen in de toekomst groter worden door klimaatveranderingen. Bij lagere afvoeren kunnen de vijzelturbines voor lange periodes onbruikbaar zijn door een te klein verval over de stuw. Het is van belang dat er naar een optimum wordt gezocht voor het aantal vijzelturbines in de stuw (dit hoeft niet per se tien te zijn), zodat de elektriciteitsopwekking ook met fluctuaties van de waterafvoer in de Maas zo rendabel mogelijk blijft. Een ander risico voor de rendabiliteit van de vijzelturbines in de stuw zijn de waterakkoorden met België en Duitsland over de afvoerverdeling in de Maas. In deze waterakkoorden staan afspraken met Nederland, Duitsland en België, waarin vastgelegd is welke waterafvoer naar de Maas in Nederland stroomt. Het risico bestaat dat wanneer deze waterakkoorden in de toekomst veranderen er een lagere afvoer door de Maas in Nederland wordt toegekend. In dit geval kan het zijn dat de vijzelturbines (periodiek) onbruikbaar zijn door een te klein verval over de stuw.

BIJLAGE C

ALGEMENE UITGANGSPUNTEN VOOR VERVANGING VAN STUWEN ZONDER ENERGIEOPWEK

Ten aanzien van het vervangen van de zeven stuwen in de Maas zijn er in een studie van Antea Group (2014) de volgende uitgangspunten voor het ontwerp van de nieuwe stuwen gehanteerd.

Algemeen

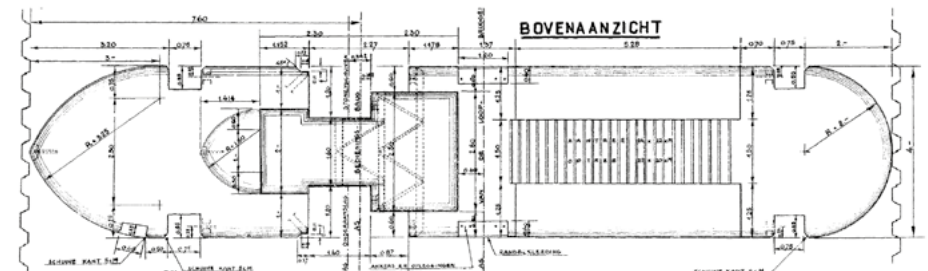
- De zeven nieuwe stuwen zijn aan elkaar gelijk in vorm en functie;
- De totale breedte van de stuwopening is gelijk aan de bestaande breedte van de stuwopening;
- De totale breedte van de stuw bedraagt de breedte van de stuwopening plus de breedte van de vier pijlers;
- De stuwen bestaan uit vier pijlers met daarin drie hefschuiven. Het Poirée-deel van de stuwen komt hiermee te vervallen. Dit in verband met de complexiteit van het plaatsen, de hoge faalkans van dit systeem en de lastige onderhoudbaarheid;
- De stuwen zijn doorvaarbaar voor schepen van CEMT-klasse V1b. De vrije doorvaarthoogte ten opzichte van het maatgevende stuwpeil bedraagt dan ook ten minste 9,1 meter. Gemakshalve wordt een doorvaarthoogte van 10,0 meter aangehouden;
- De nieuwe stuw wordt op een afstand van circa 200 meter van de bestaande stuw geplaatst. Afhankelijk van de situatie kan dit stroomopwaarts of stroomafwaarts zijn;
- De stuwen worden in de bestaande watergang, in de stroming gebouwd. Er wordt geen bypass aangelegd;
- Vervanging van aangrenzende/naastgelegen sluisen en waterkrachtcentrales maken geen deel uit van de vervangingsopgave van de stuwen;

Hefschuiven

- De hefschuiven hebben elk een breedte van 1/3 van de totale breedte van de stuwopening (afgerond op hele meters). De schuif is aan weerszijden 1 meter breder dan de stuwopening, teneinde in de schuifopening te passen;
- De hefschuiven hebben een hoogte gelijk aan de huidige hoogte van de stuwschuiven, afgerond op halve meters;³
- De hefschuiven zijn uitgevoerd in staal en volledig geconserveerd;
- De hefschuiven kunnen in elke positie worden vastgehouden, teneinde variabel stuwen mogelijk te maken;

Pijlers

- De pijlers zijn in vorm vrijwel gelijk aan de huidige pijlers. Het ontwerp van de bestaande pijler van stuw Belfeld wordt hierbij als 'onderlegger' gebruikt (zie Figuur 3.1);
- De breedte van de pijler bedraagt 4,0 meter;
- De lengte van de pijler bedraagt 20,0 meter;
- Het onderste, brede deel van de pijler heeft een oppervlak van circa 70 m² en heeft een hoogte gelijk aan de hoogte van de schuif + 1,0 m (dus 1,0 meter hoger dan het maatgevende stuwpeil);
- Het bovenste deel van de pijler heeft een oppervlak van circa 12 m² en heeft een dusdanige hoogte dat de stuw bij het maatgevende stuwpeil doorvaarbaar is voor CEMT V1b schepen, bij een geheven schuif. Dit bedraagt dus de eerder genoemde vrije hoogte voor een CEMT V1b schip van 10,0 meter, + de hoogte van de schuif + 2,0 meter extra (ten behoeve van het herbergen van de aandrijving in de bovenzijde van de pijler) - 1,0 meter (verhoogd deel van het onderste deel van de pijler). De hoogte van het bovenste deel bedraagt dus de hoogte van de schuif + 11,0 meter;
- De pijlers zijn volledig uitgevoerd in beton;
- Voor het bouwen van de pijlers wordt een tijdelijke damwandconstructie geplaatst, zodat in het droge kan worden gebouwd;



Figuur 3.1: Bovenaanzicht pijler Belfeld met maatvoering

Fundering pijlers / drempel

- De fundering van de pijlers wordt gevormd door een betonnen drempel van 20 meter breed;
- De drempelconstructie wordt gecreëerd door aan weerszijden van de stuw over de volle breedte damwanden aan te brengen, waarbij met behulp van onderwaterbeton de drempelvloer wordt gemaakt;
- De damwanden van de drempel fungeren tevens als kwelscherm;

Loopbrug

- Ten behoeve van de bereikbaarheid wordt over de gehele lengte van de stuw een loopbrug aangebracht;
- Op de loopbrug wordt een loopkraan aangebracht, waarmee materieel kan worden verplaatst, maar waarmee in geval van nood ook de schuiven kunnen worden neergelaten of worden opgetrokken;
- De loopbrug is algemeen toegankelijk en kan worden gebruikt door fietsers en voetgangers om de Maas over te steken;

Waterwerken

- Aan weerszijden van de stuw worden de oevers over een lengte van 100 meter voorzien van damwanden, teneinde uitspoeling van het talud te voorkomen;
- Aan weerszijden van de stuw wordt over een lengte van 50 meter een bodembescherming bestaande uit stortsteen aangebracht, teneinde uitspoeling van de bodem te voorkomen;
- Ten behoeve van de vismigratie dient naast de stuw een nieuwe vistrap te worden aangelegd;
- Over diverse vistrappen is in de bestaande situatie een brug aanwezig. Deze zal ook bij de nieuwe vistrap worden aangebracht;
- Gedurende de bouwwerkzaamheden zal de vaargang worden voorzien van een aanvaarbeveiliging;
- Ten behoeve van bestaande kabels en leidingen en voor de nieuwe kabels en leidingen worden een tweetal zinkers aangebracht;

Aandrijving en bewegingswerk

- De schuiven worden aan weerszijden bewogen door een kabelsysteem. Elke kabel wordt door een eigen motor aangedreven, welke in de pijlers zijn gehuisvest. Elke schuif wordt dus door twee aandrijflijnen aangedreven;
- Elke aandrijflijn bestaat uit een motor, rem, tandwielkast, 10 meter aandrijfjas inclusief koppeling en een lierwerk bestaande uit staalkabels, een omloopwiel, een veerbuffer en een contragewicht;

Voeding

- De verschillende hefschuiven worden vanuit een centrale locatie gevoed, waarbij in elke pijler een eigen onderverdeekast aanwezig is;
- Onderverdeekast zijn voorzien van een eigen noodstroomaansluiting, teneinde het systeem lokaal te kunnen voeden bij uitval van de centrale laagspanningsinstallatie;
- Elke stuw is voorzien van een noodstroomaggregaat, teneinde het systeem bij uitval van de netspanning te kunnen voeden;

Bediening-, besturing- en bewakingssysteem (3B)

- Bediening van de stuwen geschiedt centraal vanuit de nieuwe bediening in Maasbracht. Hiertoe dient de besturing van de stuw op het VICnet aan te worden gesloten. Aangenomen wordt dat binnen 500 meter van de nieuwe stuw een aansluiting kan worden gecreëerd;
- De besturing van de stuw gebeurt vanuit een centrale locatie. Ook is in elke pijler een eigen besturingskast opgenomen, waarmee ook lokaal één van de schuiven kan worden bediend;
- De stuwen zijn voorzien van een niveaumeetinstallatie en een debietmeetinstallatie;
- Ten behoeve van de veiligheid worden de stuwen voorzien van CCTV-installatie, een omroep-/intercominstallatie en openbare verlichting (bestaande uit circa 20 lichtmasten);
- Elke machinekamer is voorzien van een brandmeld- en ontruimingsinstallatie en inbraakbeveiliging;
- Elke doorvaartopening wordt aan weerszijden voorzien van twee scheepvaartseinen;

Overige voorzieningen

- Ten behoeve van de bereikbaarheid van de stuwen zal een nieuwe toegangsweg worden aangelegd. Deze toegangsweg wordt uitgevoerd als zandpad;
- Nabij de stuw zal een opslagloods/bijgebouw worden geplaatst, waarin de centrale voedings- en besturingskasten kunnen worden geplaatst en waar reserveonderdelen kunnen worden opgeslagen;
- Nabij de opslagloods zullen een aantal parkeervoorziening worden gerealiseerd;
- Om het terrein heen zullen hekwerken worden geplaatst om toegang door onbevoegden te voorkomen.

BIJLAGE D

HOUTSKOOLSCHETS VAN DE KOSTENRAMING VAN OPLOSSINGSCENARIO 2 'SEMI-GEÏNTEGREERDE WERELDEN'

Investeringsraming vervanging stuw Grave

Bron: rapport Antea Group 2014

	Directe kosten, benoemd (€)	Directe kosten, nader te detailleren (€)	Indirecte kosten (€)	Voorziene kosten (€)	Risicoreservering (€)	Totaal (€)
Totale kosten stuw Grave (€)	18.702.223	3.740.445	6.343.103	28.785.770	4.317.866	33.103.636
Extra kosten voor warmtewinning						
Omschrijving post	Hoeveelheid	Eenheid	Stuk Prijs (€)	Totaal (€)	Details	
Inlaatkanaal	500	m	2.000	1.000.000	Indicatie Liandon	
Filters en pompen inlaatwater	1		1.000.000	1.000.000	Indicatie Liandon	
Warmtewisselaar	2000	m ²	1.250	2.500.000	Kengetal Liandon	
Warmtepomp	15000	KWth	500	7.500.000	Kengetal Liandon	
Techische ruimte, waterbehandeling pompen besturing etc.	15000	KWth	150	2.250.000	Kengetal Liandon	
Toegangsweg en aankoop grond	1		350.000	350.000	Indicatie Liandon	
Benoemde directe bouwkosten warmtewinning				14.600.000		
Extra kosten voor levering/opslag						
Omschrijving post	Hoeveelheid	Eenheid	Prijs (€)	Totaal (€)	Details	
Warmtebuffer (grootschalig)	200.000	m ³	65	13.000.000	Kengetal Liandon	
Aanleg warmtenet	5.000	huishoudens	12.500	62.500.000	Kengetal Liandon	
Benoemde directe bouwkosten warmtebuffer				75.500.000		
Meerinvestering warmte:						
	Prijs (€)	Details				
Warmtewinning	14.600.000					
Levering/opslag	75.500.000					
Totale meerinvestering warmte:	90.100.000					
Jaarlijkse kosten per huishouden:						
	Prijs per jaar per huishouden(€)	Details				
Kapitaalslasten (evt. 20 jr)	901	Uitgangspunt is een terugverdientijd van 20 jaar (dit is de geschatte levensduur van de warmtepomp en de overige componenten in de technische ruimte), het warmtenet en de warmtebuffer zullen veel langer mee gaan. (excl. rentelasten)				
Onderhoud	419	warmtenet 2%, opwek 4% (Liandon)				
Facturatie, klantenservice ect.	50	Kengetal Liandon				
Elektra inkoop	238	Overall COP 3,5, 30% verlies warmtenet, 35 GJ per woning (kengetal Liandon), E inkoop EUR 60/MWh				
Totale jaarlijkse kosten warmtewinning per huishouden:	1608					

BIJLAGE E

HOUTSKOOLSCHETS VAN DE KOSTENRAMING VAN OPLOSSINGSCENARIO 3 'VOLLEDIG GEÏNTEGREERDE WERELDEN'

Investeringsraming vervanging stuw Grave

Bron: rapport Antea Group (2014)

	Directe kosten, benoemd (€)	Directe kosten, nader te detailleren (€)	Indirecte kosten (€)	Voorziene kosten (€)	Risicoreservering (€)	Totaal (€)
	18.702.223	3.740.445	6.343.103	28.785.770	4.317.866	33.103.636
Totale kosten stuw Grave (€)						
Extra civieltechnische kosten voor vijzelturbine						
Omschrijving post	Hoeveelheid	Eenheid	StukPrijs (€)	Totaal (€)	Details	
Onderwaterbeton	400	m ³	130	52.000	Kengetal RWS	
Damwand	100	m	3500	350.000	Kengetal RWS	
Bekisting (bovenstrooms vijzelturbine)	800	m ²	90	72.000	Kengetal RWS	
Beton B35 (bovenstrooms vijzelturbine)	400	m ³	165	66.000	Kengetal RWS	
Wapeningsstaal (bovenstrooms vijzelturbine)	70175	kg	1,2	84.211	Kengetal RWS	
Bodembescherming (voor stuw)	4200	m ²	100	420.000	Kengetal RWS	
Totaal				1.044.211		
Vijzelturbine, diameter = 4 meter	10	Vijzelturbine	150000	1.500.000	The budget quote for three screw turbines is €390,000 (ffi€450000), including transport, lifting, control panel, covers over the screws, gates, hydraulics, bar screen, all mechanical, electrical and hydraulic equipment, installation, supervision, SAT tests and performance testing. Bron: http://www.forestofbowland.com/files/uploads/pdfs/hydro/hydro-stage-2-site-10-skerton-weir-lancaster.pdf	
Civieltechnische kosten voor warmtewinning						
Omschrijving post	Hoeveelheid	Eenheid	Prijs (€)	Totaal (€)	Details	
Onderwaterbeton	1200	m ³	130	156.000	Kengetal RWS	
Beton	150	m³	165	24.750	Kengetal RWS	
Wapening	26316	kg	1,2	31.579	Kengetal RWS	
Bekisting	300	m ²	90	27.000	Kengetal RWS	
Totaal				239.329		

	Directe kosten, benoemd (€)	Directe kosten, nader te detailleren (€)	Indirecte kosten (€)	Voorziene kosten (€)	Risicoreservering (€)	Totaal (€)
Kosten voor de warmtewinning						
Warmtewisselaar	2000	m ²	1250	2.500.000	Kengetal Liandon	
Warmtepomp	15000	KWth	500	7.500.000	Kengetal Liandon	
Techische ruimte, waterbehandeling pompen besturing etc.	15000	KWth	125	1.875.000	Kengetal Liandon	
Benoemde directe bouwkosten warmtewinning				11.875.000		
Extra kosten voor levering/opslag						
Omschrijving post	Hoeveelheid	Eenheid	Prijs (€)	Totaal (€)	Details	
Warmtebuffer (grootschalig)	200.000	m ³	65	13.000.000	Kengetal Liandon	
Aanleg warmtenet	5.000	huishoudens	12.500	62.500.000	Kengetal Liandon	
Benoemde directe bouwkosten warmtebuffer				75.500.000		
Meerinvestering warmte:						
Extra civiele kosten (warmtewinning en vijzels)	Prijs (€)	Details				
Vijzelturbine	1.500.000					
Warmtewinning	11.875.000					
Levering/opslag	75.500.000					
Totale meerinvestering warmte:	90.158.539					
Jaarlijkse kosten per huishouden:						
	Prijs per jaar per huishouden (€)	Details				
Kapitaalslasten (evt. 20 jr)	902	Uitgangspunt is een terugverdientijd van 20 jaar (dit is de geschatte levensduur van de warmtepomp en de overige componenten in de technische ruimte), het warmtenet en de warmtebuffer zullen veel langer mee gaan. (excl. rentelasten)				
Onderhoud	442	Warmtenet 2%, opwek 4%, vijzelturbine 8% (liandon)				
Facturatie, klantenservice ect.	50	Kengetal Liandon				
Elektra inkoop*	-2	Uitgangspunt is dat de vijzels 17.500 MWh opwekken, 35 GJ per woning, overall COP 4, 30% verlies warmtenet (liandon)				
Totale jaarlijkse kosten warmtewinning per huishouden:	1391					
*Er wordt een fractie meer geproduceerd dan gebruikt						

BIJLAGE F

COMPENSATIE VAN CO₂-UITSTOOT STUW

Bij het denken aan de mogelijkheden van sluisen en stuwen vanuit het energietransitieperspectief is een eerste voor de hand liggend idee het compenseren van de CO₂-uitstoot van de sluis/stuw door opwekking van duurzame energie.

RWS en Alliander hebben onafhankelijk van elkaar de CO₂-uitstoot als gevolg van de bouw en de operatie van de sluis/stuw berekend. In plaats van in CO₂-uitstoot, worden de consequenties uitgedrukt in ruimte en tijd in de vorm van windmolenjaren (de hoeveelheid energie die één windmolen gedurende één jaar kan opwekken) en zonneweidejaren. Windmolenjaren en zonneweidejaren zijn alternatieven voor CO₂-uitstoot. Het is nodig om langzaam maar zeker in dit soort concepten te gaan denken om dat CO₂ als maatstaf zijn bruikbaarheid gaat verliezen, omdat CO₂ op termijn uit het energiesysteem zal verdwijnen.

De bouw van een sluis (productiematerialen, aanvoer materialen, bouw zelf) kost een hoeveelheid energie die gelijk staat aan 0,8 windmolenjaar. De energie die nodig is om de sluis gedurende 100 jaar operationeel te laten zijn staat gelijk aan 2,5 windmolenjaar.

Eén windmolenjaar staat gelijk aan 6.000 MWh, geleverd door één windmolen van 2 MWh met 3.000 vollasturen/jaar. Anders dan verwacht levert de vervanging dus minder CO₂-uitstoot dan 100 jaar exploitatie. Anders gezegd: het energieneutraal maken van de exploitatie heeft het grootste effect.

Door variatie van de waterhoogten stroomopwaarts van de stuw is het mogelijk om de opwekcapaciteit van de vijzels te variëren. De orde van grootte hiervan lijkt vooralsnog te liggen op het niveau van 1 MWh gedurende tientallen minuten. Nadere beschouwingen en berekeningen met betrekking tot de toelaatbare niveauverschillen en actuele debieten kunnen hierin meer duidelijkheid bieden.

BIJLAGE G

INVESTERINGSKOSTEN VAN ENERGIESYSTEEM OPLOSSINGSSCENARIO 1 'GESCHEIDEN WERELDEN' (CE DELFT)

In deze bijlage zal nader worden ingegaan op de investeringskosten voor all-electric woningen. De kostenraming is gebaseerd op het rapport 'Op weg naar een klimaatneutrale gebouwde omgeving 2050', opgesteld door CE Delft.

Opzet kostenraming

Binnen het rapport zijn de kosten opgesplitst in verschillende buurttypes, die weer uitgesplitst zijn op bouwjaar. In het rapport zijn de kostenramingen over een vijftal posten uitgespreid. Deze posten zijn:

- Distributie;
- Productie;
- Installaties in huis;
- Gebouwmaatregelen;
- Belastingen.

Distributie

Voor de kostenraming betreffende distributie wordt uitgegaan van 'dikkere kabels' en worden de huidige kosten van (de aanleg van) een elektranet met 1,5 vermenigvuldigd. Daarnaast wordt er een ouderdomsfactor toegepast op de kosten van het energienetwerk. Voor de oude binnensteden en de dorpskernen is deze factor 2 en voor eerste ring bebouwing is deze factor 1,5.

Productie

Wanneer de woning niet zelfvoorzienend is zal er elektriciteit van het net gebruikt moeten worden. Hiervoor kan het huidige elektriciteitsstarief gebruikt worden.

Installaties in huis

- Elektrische warmtepomp (water/water): 10.500 – 14.500 (excl. btw);
- Elektrische warmtepomp (lucht/water): 8.500 – 12.000 (excl. btw);
- Zonnepanelen¹¹: 350/m² met een productie van 100kWh/m²/jaar (incl. montage, installatie & omvormer);
- Zonneboiler: 1.875 - 2.500;
- Lage temperatuur vloerverwarming;
- Lage temperatuur radiatoren.

¹¹ Dit betreft de prijs in 2010; deze ligt nu € 5.000/systeem lager.

Rekenvoorbeeld vanuit CE Delft

Het rekenvoorbeeld is gebaseerd op een rijtjeshuis uit bouwperiode 1960 - 1970.

Huidig energielabel is E en de oppervlakte van de woning is 106 m².

Maatregel	Kosten (range)	Bron
Van huidig naar label B	9.550,- 10.970	Voorbeeldwoningen AgNL 2011
Estra isolatie (A+) + ventilatie	8.182,- 10.126	CE Delft, o.b.v. EPA-maatregellijst 2012
Laag-temperatuur-afgifte-systeem (vloerverwarming)	7.635 11.430	Dit rapport, Tabel 42
Laag-temperatuur-afgiftesysteem (LT-radiatoren)	1.506,- 3.838	Dit rapport, Tabel 43
Elektrische warmtepomp	10.500,- 14.500,- 8.500,- 12.000	Water / watersysteem Lucht / watersysteem (maar lagere COP) Dit rapport (Paragraaf 2.2.2)
Zonneboiler	1.875,- 2.500	Dit rapport (Paragraaf 2.2.2)
Zonnecellen	14.500	Dit rapport (Paragraaf 2.2.3) zie 'noten', NB: betreft prijsniveau 2010, kosten zijn sindsdien sterk gedaald
Totaal (afgerond)	46.000,- 56.500	Bij water / water-warmtepomp, en LT-radiatoren als afgiftesysteem
Opmerking:	Bij het plaatsen van een warmtepomp, worden de kosten van een HR-ketel uitgespaard. Deze uitgespaarde kosten zijn nog niet verrekend in de bovenstaande waarden. In de Besta-modelberekeningen wordt deze uitsparing wel meegenomen.	

Figuur 15: Rekenvoorbeeld

Bovenstaande tabel bevat tarieven voor zonnecellen uit 2010. Als dit vervangen wordt door de huidige tarieven daalt de investering van 14.500 tot circa 5.000.

De totale investering komt hiermee op 36.500 tot 47.000, gemiddeld 41.750.

BIJLAGE H

ZONNEPANELEN EN WINDMOLENS VOOR DE ELEKTRICITEITSVRAAG VAN DE WARMTE-VOORZIENING

Onderstaande tabel geeft aan hoeveel windmolens of hoeveel hectare zonnepark nodig is om in de elektriciteitsvraag van het verwarmingssysteem van het dorp aan de Maas te voldoen.

	Energieverbruik per jaar	Windmolens	Hectare zonnepark
Oplossingsscenario 1	12.000 MWh	1,6	15
Oplossingsscenario 2	19.000 MWh	2,5	24

Daarbij zijn de volgende kentallen van RVO gebruikt:

- Opbrengst windmolen 3MW 7.500 MWh (RVO 2017 a)
- Opbrengst Zonnepark per hectare 800 kW opgesteld vermogen, dit resulteert in 800 MWh (RVO 2017 b)

<http://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/duurzame-energie-opwekken/windenergie-op-land/beleid/cijfers>

<https://www.rvo.nl/sites/default/files/2016/09/Grondgebonden%20Zonneparken%20-%20overkenning%20afwegingskadersmetbijlagen.pdf>

REFERENTIES

Antea Group (2014), Vervangingsopgave Natte Kunstwerken (VONK), Stuwten Maas, Investeringsraming/pre-verkenningfase, 21 oktober 2014.

Beleidsregel watervergunningverlening waterkrachtcentrales in Rijkswateren, Staatscourant nr 34276, 2 december 2014.

CE Delft (2015), Op weg naar een klimaat neutrale gebouwde omgeving 2050, online publicatie op www.ce.nl

Deltabeslissing Ruimtelijke Adaptatie (2015).

Deltascenario's, Deltaprogramma (juni 2011), Duurzame ontwikkeling en beleid, brief van de Minister van Infrastructuur en Milieu, stukken Tweede Kamer 30196 nr. 459, vergaderjaar 2015-2016.

Deltascenario's voor 2050 en 2100; nadere uitwerking. Deltares, KNMI, PBL, CPB, LEI, 2013.

Dommelstroom (2017), geraadpleegd op 9 mei 2017, <http://dommelstroom.com/de-waterkrachtcentrale/>

European Climate Foundation (2017), <https://europeanclimate.org/mission/vision/>

Functioneel ontwerp Vesta, CE Delft (PBL 2012).

FishFlow Innovations (2017), geraadpleegd op 9 mei 2017, <http://fishflowinnovations.nl/innovaties/vijzelturbine/#1444300654691-e081e086-5ad3>

Klijn, F., M. Hegnauer, J. Beersma & F. Sperna Weiland, Wat betekenen de nieuwe klimaatscenario's voor de rivierafvoeren van Rijn en Maas? (2015), samenvatting van onderzoek met GRADE naar implicaties van nieuwe klimaatprojecties voor rivierafvoeren, Deltares en KNMI. 1220042-004. <http://kennisonline.deltares.nl/product/30870>

KNMI (2014) Climate Change scenarios for the 21st Century - A Netherlands perspective, www.klimaatscenarios.nl

Liandon, diverse kentallen aangedragen door M.T. Bakema (specialist warmtetechniek).

Ministerie van Economische Zaken (2016), De Energieagenda <https://www.rijksoverheid.nl/ministeries/ministerie-van-economische-zaken/documenten/rapporten/2016/12/07/ea>

Portakabin (2017), geraadpleegd op 9 mei 2017, <http://www.portakabin.nl/wat-is-modulair.html>

Rifkin, Jeremy (2011), The Third Industrial Revolution, Palgrave Macmillan, London.

Verkenning actualiteit Deltascenario's, Willem Bruggeman; Jaap Kwadijk; Bart van den Hurk; Jules Beersma; Rob van Dorland; Gert Jan van den Born; Jan Matthijsen, KNMI, Deltares en PBL 2016 <http://www.pbl.nl/sites/default/files/cms/publicaties/pbl-2016-verkenning-actualiteit-deltascenarios-2567.pdf>

Vesta 2: Uitbreidingen en dataverificaties, CE Delft (PBL 2014).

RVO (2017a) <http://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/duurzame-energie-opwekken/windenergie-op-land/beleid/cijfers>

RVO (2017a) <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2016/09/Grondgebonden%20Zonneparken%20-%20Overkenning%20afwegingskadersmetbijlagen.pdf>



