

Integraal afwegingskader voor decentrale water- en energiesystemen toegepast op woonwijk Nieuwegein

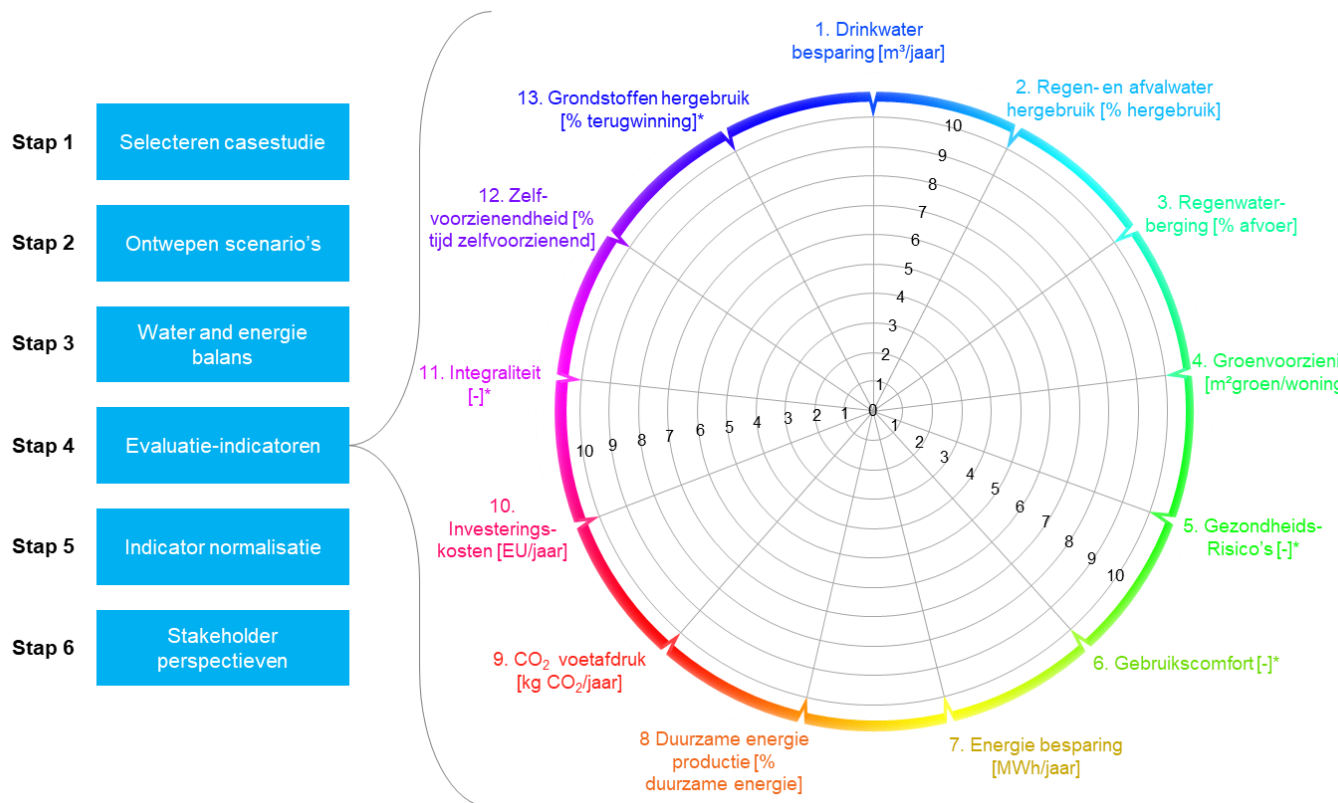
Ruben van den Berg, Tessa van den Brand (KWR) en Els van der Roest (gemeente Utrecht)

De transitie naar duurzame stedelijke infrastructuur vraagt om geïntegreerde oplossingen die de synergie tussen water- en energiesystemen benutten. Klimaatverandering en uitputting van hulpbronnen dwingen tot een overgang naar circulaire economieën, waarin water, energie en grondstoffen worden hergebruikt. Een integraal afwegingskader ondersteunt besluitvormers bij het evalueren van verschillende aspecten van deze circulaire economie. Voor dit artikel zijn scenario's voor meer circulaire woonwijken toegepast in een casestudie van City Nieuwegein, een nieuwbouwwijk met voornamelijk hoogbouw. Deze scenario's variëren in mate van decentralisatie en laten zien hoe innovatieve technologieën bijdragen aan besparing en hergebruik. Het betrekken van stakeholderperspectieven ondersteunt keuzes voor meervoudige waardecreatie.

Klimaatverandering, uitputting van natuurlijke hulpbronnen en een groeiende wereldbevolking dwingen tot een duurzamere aanpak van de water- en energievoorziening. Hiervoor is een overgang nodig van een lineaire naar een circulaire economie, waarin water, energie en materialen worden hergebruikt en het gebruik ervan wordt beperkt [1]. In deze circulaire economie zijn water en energie steeds meer met elkaar verbonden. Een onderling verband tussen water en energie wordt ook wel een nexus genoemd. Water speelt bijvoorbeeld een cruciale rol in de energietransitie, als energiedrager in warmtenetten, afvalwater, warmte-koudeopslag (WKO) en bij de productie van groene waterstof [2]. Andersom is ook energie nodig om water te produceren, transporteren en na gebruik te zuiveren. Om tot geïntegreerde oplossingen te komen is een nexus-aanpak nodig waarin de synergie tussen water- en energiesystemen wordt versterkt. Het gebruik en hergebruik van water en energie kan op lokale schaal plaatsvinden, bijvoorbeeld op het niveau van woonwijken. Op dit schaalniveau kunnen niet alleen huishoudelijke water- en energiebesparende technologieën worden ingezet, maar ook collectieve systemen die efficiënt en duurzaam gebruik van water en energie mogelijk maken. Om deze infrastructuur effectief op wijkniveau in te passen, is een integraal afwegingskader met een nexus-aanpak ontwikkeld [3] waarin dertien waarden als evaluatie-indicatoren worden meegenomen die aansluiten bij het principe van de circulaire economie (zie afbeelding 1).

Als casestudie is de nieuwbouwwijk City Nieuwegein [4], bestaande uit ongeveer 2200 woningen, voornamelijk in hoogbouw, gebruikt om het afwegingskader toe te passen. Voor deze casestudie zijn vier scenario's (zie afbeelding 2) ontwikkeld met specifieke kenmerken van het water- en energiesysteem die ieder een mogelijk transitiepad richting circulaire woonwijken schetsen. Bij alle scenario's is het rioolstelsel gescheiden voor het (opvangen en) afvoeren van regen- en afvalwater. Ook zijn in alle scenario's zonnepanelen aanwezig voor lokale energieproductie. Het referentiescenario weerspiegelt de huidige situatie, waarin centrale water- en energievoorzieningen volgens de status quo worden gebruikt. In het verbeterde referentiescenario worden huishoudelijke technologieën voor water- en energiebesparing toegevoegd, evenals blauw-groene daken. Het hybride scenario introduceert een gedeeltelijke decentralisatie, zoals de recycling van regen- en grijswater en de inzet van een collectieve batterij voor energieopslag. Het meest gedecentraliseerde scenario gaat nog een stap verder. Lokale waterbehandeling wordt gecombineerd met groene gevels, de productie van groene

waterstof en biogas uit zwartwater via vergisting. Deze scenario's laten zien hoe lineaire systemen in woonwijken kunnen transformeren naar circulaire alternatieven.



Afbeelding 1. Integraal afwegingskader met dertien evaluatie-indicatoren: indicatoren met een * worden kwalitatief beoordeeld op basis van literatuur, de overige kwantitatief met vastgestelde methodieken

Vraag/aanbod	Referentie	Verbeterd referentie	Hybride	Bijna gedecentraliseerd
Regenwater	Regenwatersysteem	Regenwatersysteem	Regenwatersysteem	Regenwatersysteem
Groenvoorziening	Openbaar groen en binnentuinen	Openbaar groen	Openbaar groen	Openbaar groen en groene gevels
Huishoudwater	-	-	Toilet en wasmachine	Toilet en wasmachine
Drinkwater	DWZI	DWZI + waterbesparende apparaten	DWTP + waterbesparende apparaten	Local productie en DWZI + waterbesparende apparaten
Afvalwater	RWZI	RWZI	Lokale zuivering en RWZI	Lokale zuivering
Demiwater en waterstof	Geïmporteerd	Geïmporteerd	Geïmporteerd	Lokale productie en geïmporteerd
Elektriciteit	Stroomnet en zonnepanelen	Stroomnet en zonnepanelen	Stroomnet en zonnepanelen	Stroomnet, zonnepanelen, brandstofcel en biogas
Warmte en koeling	Warmtewisselaar en warmtepomp	Warmtewisselaar en warmtepomp	Warmtewisselaar en warmtepomp	Warmtewisselaar en warmtepomp
Overtollige energie (conversie en opslag)	WKO	WKO	WKO and batterij	WKO, batterij en elektrolyser

Afbeelding 2. Overeenkomsten en verschillen (vetgedrukt) per scenario. DWZI = drinkwaterzuiveringsinstallatie, RWZI = rioolwaterzuiveringsinstallatie en WKO = warmte-koudeopslag

Meervoudige waardecreatie

Een integraal afwegingskader stelt gemeenten en andere (semi-)overheden in staat om binnen een transitiepad verschillende typen water- en energiesystemen te evalueren, met aandacht voor meervoudige waardecreatie. Meervoudige waardecreatie houdt in dat samen wordt gewerkt met diverse stakeholders om verschillende (transitie)vraagstukken tegelijkertijd op te pakken. Het doel is om maximale waarde te creëren voor gebiedsontwikkeling, waarbij aandacht is voor zowel financiële als bredere, langetermijnwaarden als verminderd grondstoffenverbruik en een lagere CO₂-voetafdruk. Het integrale afwegingskader is generiek ontworpen, waardoor het toepasbaar is op diverse typen woonwijken, zoals bestaande bouw, nieuwbouw, laagbouw en hoogbouw. In het voorbeeld van City Nieuwegein (stap 1 in afbeelding 1) zijn vier verschillende scenario's gebruikt (stap 2). De systeemeigenschappen die voor elk scenario zijn vastgesteld, bepalen hoe het water- en energiesysteem in een woonwijk functioneert (voor details zie **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**). Met modelsimulaties wordt inzicht verkregen in de water- en energiebalans per scenario (stap 3), zoals het totale verbruik, de mogelijkheden voor lokale opslag en hergebruik. Daarnaast kan de water- en energiebalans op verschillende tijdsschaalniveaus worden geanalyseerd, waardoor per scenario inzicht wordt verkregen in seizoensinvloeden, zoals de variatie in warmtevraag tijdens de wintermaanden en het effect van droogte op waterbeschikbaarheid in de zomer. Ook piekverbruik, bijvoorbeeld door een hogere energiebehoefte tijdens koude periodes of intensief watergebruik tijdens warme dagen kan hierin worden meegenomen.

Vervolgens worden de scenario's geëvalueerd met behulp van dertien evaluatie-indicatoren (stap 4). Deze indicatoren zijn verdeeld over vier thema's: watersysteem, energiesysteem, maatschappelijke factoren en algemene kenmerken. Deze indicatoren zijn afgeleid van een eerder vastgestelde methodiek in het project 'Circulair Water 2050' [5], met de nadruk op de transitie naar een circulaire economie in de waterketen. De evaluatie-indicatoren worden, waar mogelijk, kwantitatief beoordeeld op basis van de gegevens uit de modelsimulaties. Voor kwalitatieve evaluatie-indicatoren, zoals gebruikscomfort en integraliteit, vormt literatuur de basis voor de beoordeling. Omdat de dertien evaluatie-indicatoren op verschillende manieren worden uitgedrukt, is een normalisatiestap toegevoegd (stap 5) waarmee resultaten per indicator worden weergegeven op een schaal van 0 (slecht) tot 10 (uitstekend) [3]. In het laatste onderdeel van het integrale afwegingskader worden de prioriteiten van stakeholders, zoals gemeenten en (semi-) overheden, meegenomen om te bepalen welk ontwerp het beste past bij een woonwijk (stap 6). Dit is essentieel voor meervoudige waardecreatie, omdat het een gebalanceerde afweging mogelijk maakt tussen de verschillende stakeholders die verantwoordelijk zijn voor de inrichting van een woonwijk.

Decentralisatie in een woonwijk

Er zijn diverse innovatieve technologieën beschikbaar die water- en energiebesparing op zowel huishoudelijk als wijkniveau bevorderen. Water- en energiezuinige apparaten, zoals recirculerende douches en vacuümtoiletten, dragen bij aan een lagere water- en energievraag, maar hebben mogelijk invloed op de comfortbeleving en gezondheidsrisico's. Daarnaast biedt de combinatie van regenwater- en grijswaterhergebruik, waarbij water uit douches en wasmachines wordt gerecycled, de mogelijkheid om het drinkwaterverbruik te verminderen. In droge periodes biedt de continue aanvoer van grijs water mogelijkheden om de druk op het 'centrale' drinkwatersysteem te verlagen. Een belangrijke voorwaarde bij dit soort systemen is wel dat er een robuust zuiveringssysteem is om gezondheidsrisico's te vermijden. Blauw-groene infrastructuur, zoals blauw-groene daken en helofytenfilters, helpt bij het opslaan en zuiveren van regenwater. Daarnaast draagt het bij aan het verbeteren van de biodiversiteit en het verminderen van het

effect van ‘stedelijke hitte-eilanden’. In de transitie naar een duurzaam energiesysteem worden steeds meer hernieuwbare energiebronnen, zoals zon en wind, ingezet, waarvan de elektriciteitsproductie niet altijd overeenstemt met de actuele vraag. Daarom wordt lokale energieopslag steeds belangrijker om vraag en aanbod beter op elkaar af te stemmen en de druk op het centrale systeem te verminderen. Voor lokale opslag van duurzame energie bieden (collectieve) batterijen, WKO, warmtenetten en productie van groene waterstof mogelijke oplossingen. Deze technologieën vormen samen veelbelovende oplossingen voor een meer circulair water- en energiesysteem, maar worden meestal nog niet integraal bekeken.

Modelleren om te leren van kansen in decentrale woonwijken

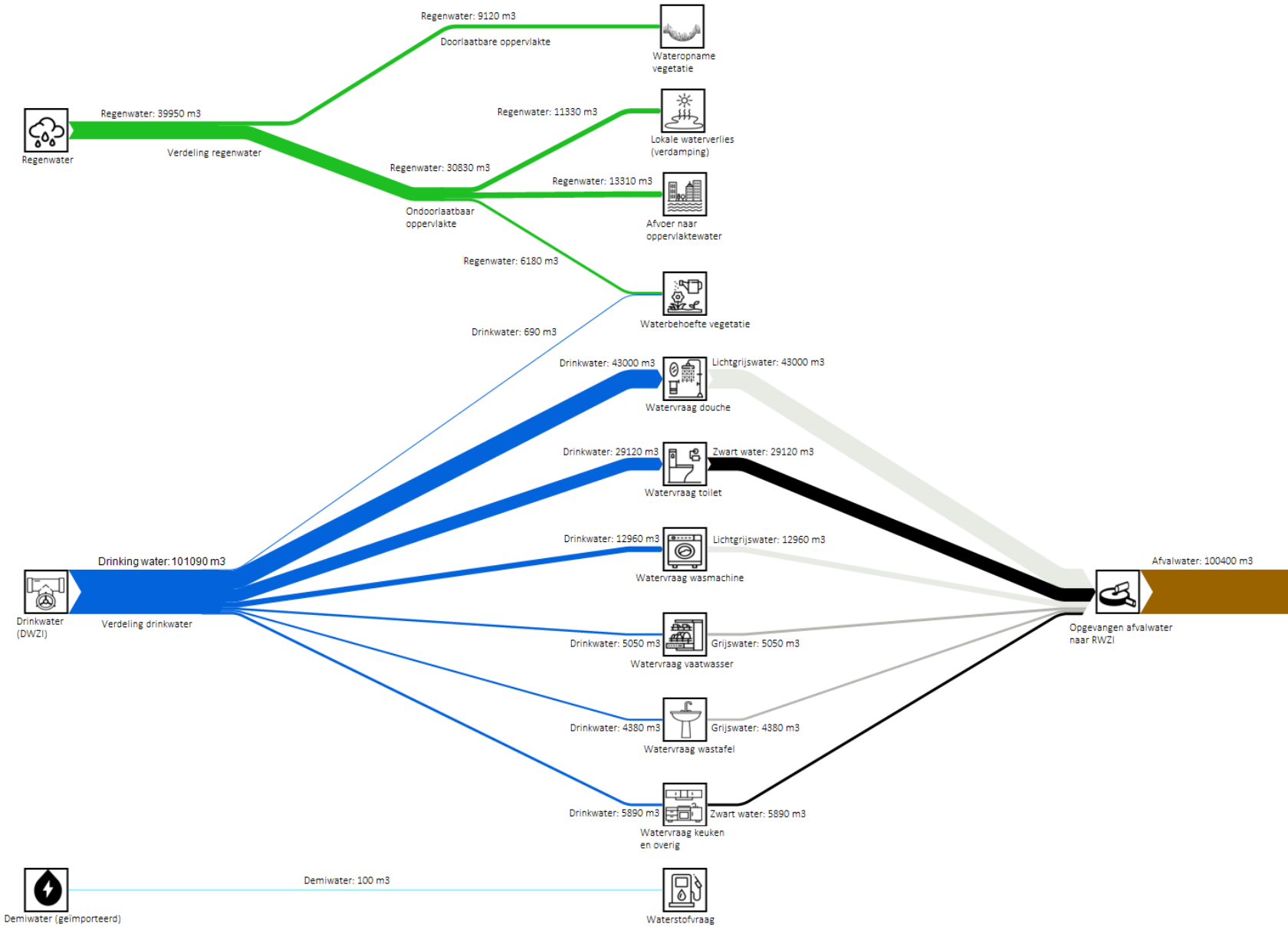
In dit onderzoek zijn verschillende modelleertools gebruikt om de water- en energiebehoeften en -voorzieningen te kwantificeren (stap 3). SIMDEUM [6] werd ingezet om uurgegevens te genereren voor drinkwaterpatronen op basis van de kenmerken van City Nieuwegein, zoals het aantal bewoners per appartement en het waterverbruik per apparaat. Verder is het UWOT (Urban Water Optioneering Tool)-model [7] gebruikt om de waterbehoeften en -leveringen van de vier transitiepaden te modelleren. Daarnaast is het Power-to-X-model [8] gebruikt om de energiebehoefte te modelleren. Het Power-to-X-model brengt vraag en aanbod van energie en water bij elkaar met behulp van conversie en opslag. Door elektriciteit om te zetten in warmte en deze ondergronds op te slaan, wordt de verhouding tussen energieaanbod en -vraag geoptimaliseerd en het elektriciteitsnet ontlast. Daarnaast kan overtollige energie worden gebruikt voor de productie van groene waterstof via elektrolyse. Groene waterstof kan, in tegenstelling tot (collectieve) batterijen, worden ingezet voor langdurige seizoenoverbruggende energieopslag.

Volledige decentralisatie niet mogelijk

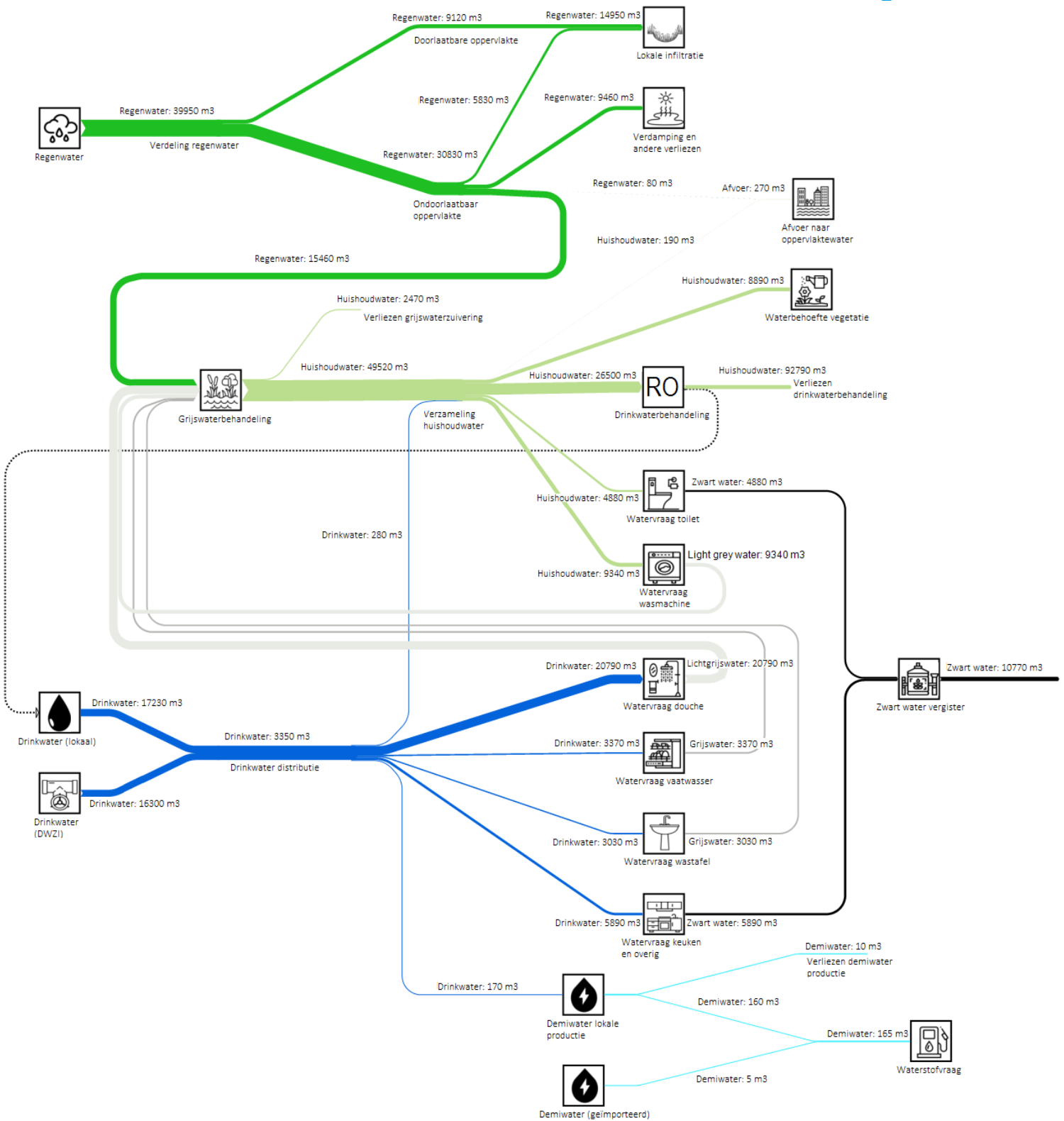
Het nieuwbouwproject City Nieuwegein is als eerste casus gebruikt om het afwegingskader te demonstreren. Afhankelijk van de mate van decentralisatie kan 53 tot 84 procent van de (drink)waterbehoefte worden gedekt door regenwateropvang en -gebruik in combinatie met grijswaterrecycling (zie afbeeldingen 3 en 4). Bovendien biedt lokale wateropslag het voordeel dat piekverbruik van het centrale drinkwatersysteem aanzienlijk kan worden verminderd. Simulaties tonen aan dat de piekcapaciteit van het waterverbruik met de helft kan worden gereduceerd. Daarnaast biedt de toepassing van blauw-groene infrastructuur kansen om de biodiversiteit te vergroten en wateroverlast bij piekbuien te verminderen. Het energiesysteem laat vergelijkbare resultaten zien, waarbij 60 tot 73 procent van de energiebehoefte kan worden gedekt door lokale productie uit zonne-energie, warmteterugwinning uit grijswater en biogasproductie uit de vergisting van zwartwater (zie afbeeldingen 5 en 6). Collectieve batterijen helpen vooral om dagelijkse pieken in elektriciteitsvraag en -aanbod te verminderen, wat netcongestie kan verminderen. Voor langdurige (seizoens-) opslag zijn WKO en de productie van groene waterstof geschikte technologieën die lokaal toepasbaar zijn. Lokale energieopslag maakt het mogelijk vrijwel het volledige overschot aan elektriciteitsproductie lokaal op te slaan. Daarnaast draagt energieteterugwinning uit grijswater, zoals bad- en douchewater, en zwartwater, waarbij toiletwater en voedselresten via een vacuümriolering worden verwerkt, bij aan efficiënter energiegebruik en lagere emissies. Dit biedt daarnaast voordelen als een lager verbruik van (drink)water, minder afvalwater en een betere terugwinning van nutriënten. Hoewel er diverse technologieën beschikbaar zijn voor besparing, hergebruik en opslag in het water- en energiesysteem, is een volledig zelfvoorzienend (‘decentraal’) systeem in een nieuwbouwwijk met hoge bebouwingsdichtheid, zoals City Nieuwegein, niet haalbaar. In dit soort wijken is de hoeveelheid lokaal beschikbaar regenwater en zonne-energie onvoldoende



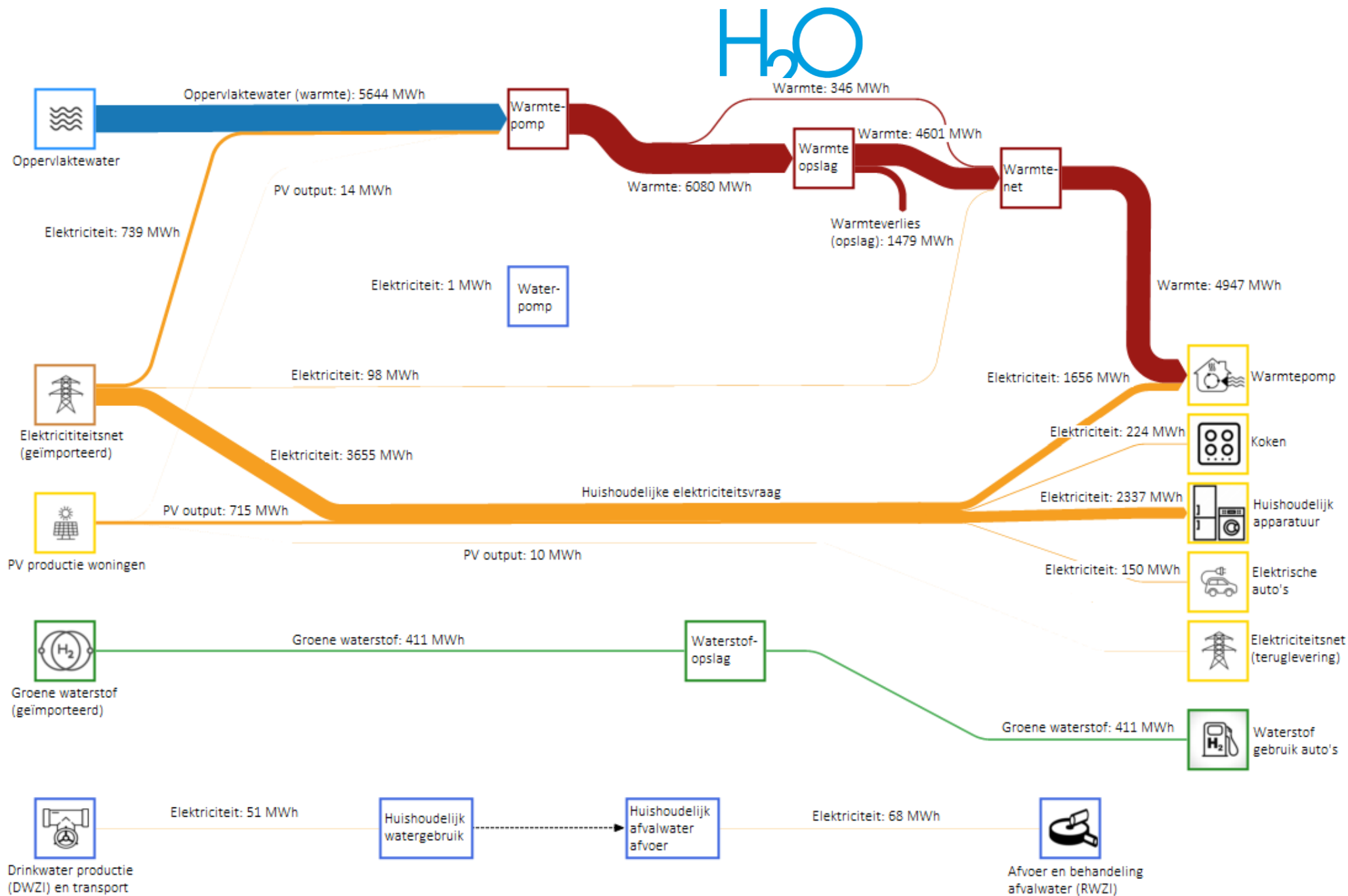
om volledig in de vraag te voorzien. Verdere details van de resultaten van de casestudie zijn te vinden in een eerder afgerond onderzoek [3].



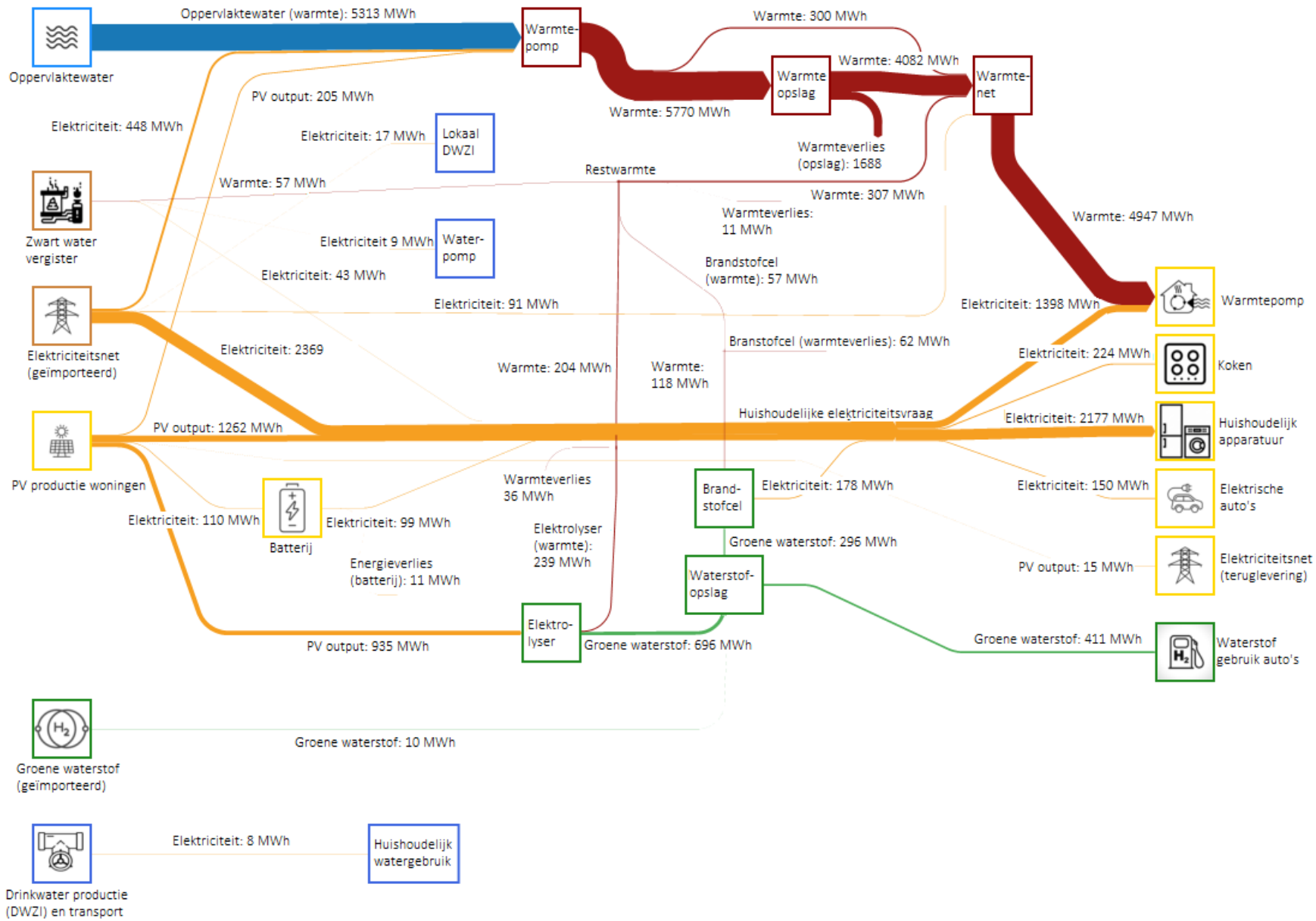
Afbeelding 3. Waterbalans voor casestudie City Nieuwegein op jaarbasis in m³ voor het referentiescenario, gevisualiseerd met een Sankeydiagram



Afbeelding 4. Waterbalans voor casestudie City Nieuwegein op jaarbasis in m³ voor het bijna decentrale scenario, gevisualiseerd met een Sankeydiagram

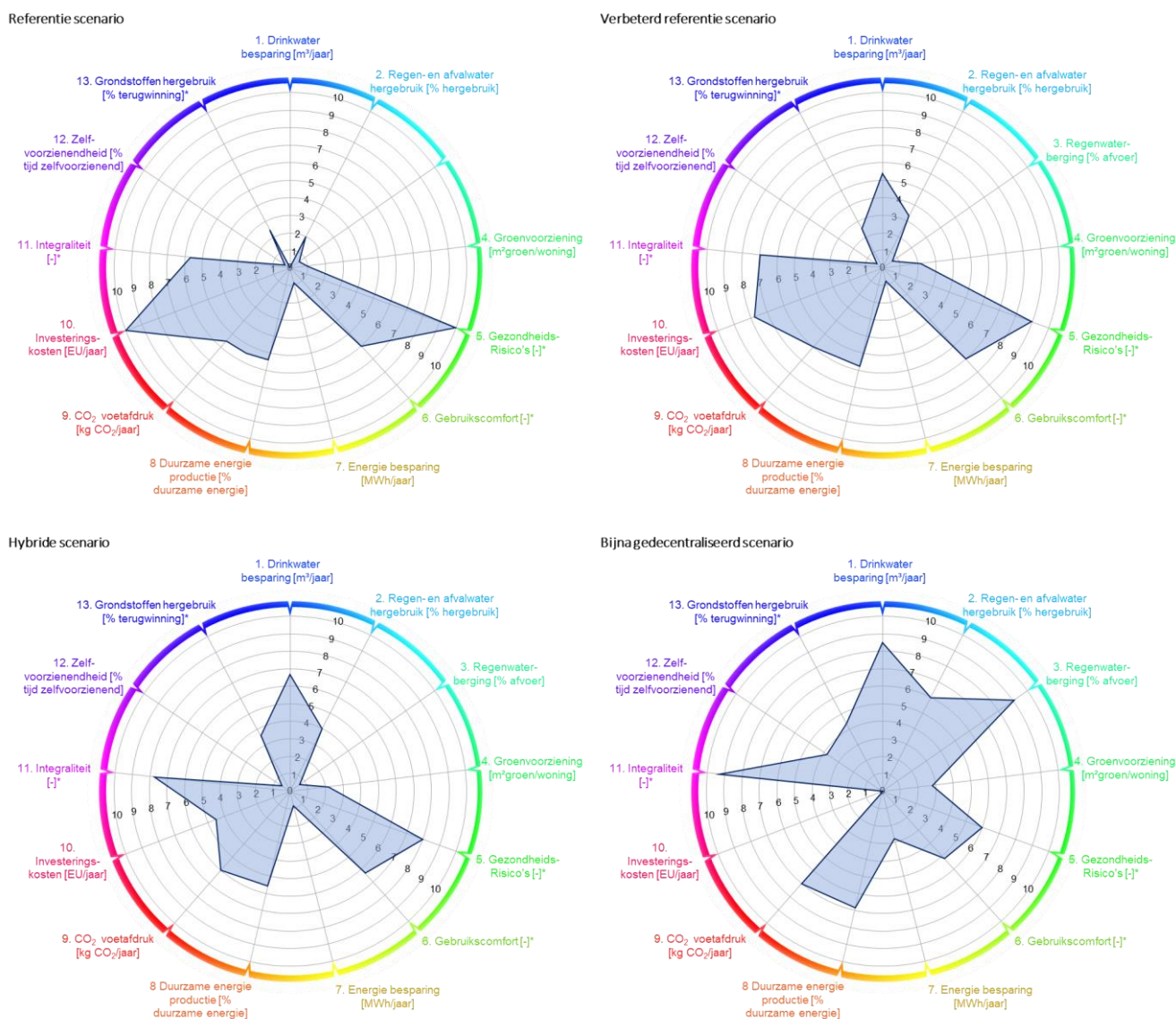


Afbeelding 5. Energiebalans voor casestudie City Nieuwegein op jaarbasis in MWh voor het referentiescenario, gevisualiseerd met een Sankeydiagram



Afbeelding 6. Energiebalans voor casestudie City Nieuwegein op jaarbasis in MWh voor het bijna decentrale scenario, gevisualiseerd met een Sankeydiagram

De resultaten van het integrale afwegingskader (zie afbeelding 7) zijn casespecifiek en niet direct over te nemen voor andere woonwijken. Deze casestudie is gericht op waarden die aansluiten bij het principe van de circulaire economie. Wanneer alle dertien evaluatie-indicatoren even zwaar worden gewogen, scoort het bijna decentrale scenario het beste, gevolgd door het verbeterde referentiescenario en het hybride scenario met vergelijkbare scores. Scenario's met meer decentrale technieken scoren beter op indicatoren die betrekking hebben op water-, energie- en grondstoffen(her)gebruik en het verminderen van de CO₂-voetafdruk. Het meenemen van meer blauwgroene infrastructuur draagt verder positief bij aan biodiversiteit, lokale waterberging. Daar staat tegenover dat de jaarlijkse kosten voor eindgebruikers in het bijna decentrale scenario 50 procent hoger zijn dan in het referentiescenario. Bovendien vereist een woonwijk met lokale (drink)waterproductie en gescheiden watersystemen extra aandacht voor het tegengaan van gezondheidsrisico's. Ook de evaluatie-indicatoren gebruikscomfort en complexiteit spelen een belangrijke rol. Zo stelt een vacuümriolering andere gebruikseisen dan een conventioneel systeem, wat aanpassingen vraagt van gebruikers en beheerders.



Afbeelding 7. Genormaliseerde resultaten op een schaal van 0 (slecht) tot 10 (uitstekend) voor de vier scenario's voor casestudie City Nieuwegein

Stakeholderperspectieven (stap 6) zijn bij de eerste casestudie nog in beperkte mate meegenomen in het integrale afwegingskader. Desondanks kunnen wel lessen getrokken worden uit het proces van dit onderdeel. Doordat alle stakeholders een eigen prioritering geven aan de dertien evaluatie-indicatoren, ontstaat er een unieke eindscore per scenario. Het identificeren van de verschillende uitkomsten biedt mogelijkheden om de belangen beter af te wegen en tot een ‘waardecase’ te komen waarbij de belangen van alle stakeholders worden meegenomen.

Conclusie

Een integraal afwegingskader (stap 1-6 uit afbeelding 1) biedt een waardevol instrument om voor specifieke casestudies meervoudige waardecreatie te stimuleren. Door niet alleen te focussen op water- en energieaspecten, maar ook aandacht te hebben voor andere eigenschappen die betrekking hebben op de circulaire economie, kunnen de waarden breder worden meegenomen. Denk hierbij aan terugwinning van grondstoffen, het bevorderen van biodiversiteit en het verkleinen van de CO₂-voetafdruk. Voor grootschalige toepassingen, zoals in woonwijken, zijn er tools en modellen die besluitvormers houvast bieden bij het maken van keuzes die zowel kwantitatief als kwalitatief onderbouwd zijn. Het betrekken van diverse stakeholderperspectieven draagt bovendien bij aan een bredere afweging en zorgt voor inzicht in prioriteiten die van belang zijn bij besluitvorming rond nieuwe en bestaande woonwijken die (opnieuw) ingericht worden.

Referenties

1. Roest, K., Cornelissen, R. (2024). *Grondstofhergebruik en circulaire systemen*. <https://www.kwrwater.nl/thema/grondstofhergebruik-en-circulaire-systemen/>, geraadpleegd op 11 december 2024.
2. Moerman, A., Hartog, N. (2024). *Energietransitie*. <https://www.kwrwater.nl/thema/energietransitie/>, geraadpleegd op 11 december 2024.
3. Berg, R.T.A. van den (2023). *Development of a generic assessment framework to evaluate decentralized water-energy nexus systems in neighborhoods – Case study City Nieuwegein* [Master Thesis, TU Delft]. TU Delft Repository. <https://resolver.tudelft.nl/uuid:33c73b8d-f811-4745-bc38-03ae5c818280>
4. <https://city-nieuwegein.nl/>, geraadpleegd 11 december 2024
5. Segrave, A.J., Alphen, H.J. van, & Roest, K. (2020). *Operationalisering Circulaire Economie voor de waterketen*. <https://api.kwrwater.nl/uploads/2020/11/BTO-2020.020-Operationalisering-Circulaire-Economie-principe-voor-de-waterketen.pdf>
6. Blokker, M., Agudelo-Vera, C., Moerman, A., Thienen, P. van, & Pieterse-Quirijns, I. (2017). ‘Review of applications for SIMDEUM, a stochastic drinking water demand model with a small temporal and spatial scale’. *Drinking Water Engineering And Science*, 10(1), 1–15. <https://doi.org/10.5194/dwes-10-1-2017>
7. Bouziotas, D. et al. (2019). ‘Towards Circular Water Neighborhoods: Simulation-Based Decision Support for Integrated Decentralized Urban Water Systems’. *Water*, 11(6), 1227. <https://doi.org/10.3390/w11061227>
8. Roest, E. van der, Snip, L., Fens, T., & Wijk, A. van (2019). ‘Introducing Power-to-H3: Combining renewable electricity with heat, water and hydrogen production and storage in a neighbourhood’. *Applied Energy*, 257, 114024. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114024>