



Angerlo aardgasvrij

Haalbaarheidsstudie en
businesscase warmtenet met
aquathermie

22 juli 2021

Verantwoording

Titel	Angerlo aardgasvrij
Opdrachtgever	Gemeente Zevenaar
Projectleider	Simon Bos
Auteur(s)	Joris van de Ven
Tweede lezer	Geert van Rens
Projectnummer	1322106
Aantal pagina's	51
Datum	22 juli 2021
Handtekening	'Ontbreekt in verband met digitale verwerking. Dit rapport is aantoonbaar vrijgegeven'

Colofon

Syntraal
Handelskade 37
Postbus 133
7400 AC Deventer
T +31 88 02 44 300
E info@syntraal.nl

Inhoud

Begrippenlijst	6
1 Inleiding	7
1.1 Aanleiding	7
1.2 Scope en doelstelling	7
1.2.1 Programma Aardgasvrije Wijken (PAW)	7
1.3 Leeswijzer	7
2 Warmte- en koudevraag	8
2.1 Afbakening projectgebied	8
2.2 Wijkkarakteristiek Angerlo	8
2.2.1 Bebouwingsdichtheid	9
2.2.2 Investeringsbereidheid en kernwaarden bewoners	9
2.3 Warmtevraag	9
2.3.1 Inventarisatie o.b.v. kengetallen per woningtype	9
2.3.2 Vergelijking met aardgasverbruik Liander	10
2.3.3 Besparing warmte- en vermogensvraag door isolatie	11
2.3.4 Nieuwbouw	12
2.4 Koudevraag	13
3 Warmteaanbod	14
3.1 Algemeen	14
3.2 Technische potentie oppervlaktewateren	14
3.3 Overige afwegingscriteria oppervlaktewateren	16
3.3.1 Ecologie	16
3.3.2 Praktisch	16
3.3.3 Waterkwaliteit	16
3.3.4 Vergunningen	17
3.3.5 Afwegingsmatrix	17
3.4 Technische potentie WKO (open bodemenergie)	19
3.4.1 Principe seizoenbuffering WKO	19
3.4.2 Bodemopbouw	20
3.4.3 Grondwatersituatie	22

4	Energiematch en systeemontwerp	23
4.1	Energiematch	23
4.2	Systeemkeuze	23
4.3	Systeemontwerp	25
4.3.1	Oppervlaktewatersysteem	25
4.3.2	Warmtenet tracé	25
4.3.3	WKO systemen	27
4.3.4	Afstemming oppervlaktewater en WKO's	30
4.3.5	Woningen	31
4.3.6	Back-upvoorziening	32
4.4	Mogelijkheden voor koeling	33
5	Aandachtspunten en vergunbaarheid	34
5.1	TEO systeem	34
5.1.1	Ecologische effecten	34
5.1.2	Infrastructurele aspecten	35
5.2	WKO systeem	36
6	Businesscase	37
6.1	Inleiding	37
6.1.1	Investeerders	37
6.1.2	Total Cost of Ownership (TCO)	37
6.1.3	Netto Contante Waarde (NCW)	37
6.2	Investeringskosten	38
6.3	Total Cost of Ownership	40
6.4	Netto Contante Waarde	42
6.5	Onrendabele top	45
6.5.1	Isolatie	46
6.6	Overwegingen	47
7	Conclusie en aanbevelingen	48
7.1	Conclusie	48
7.1.1	Technisch	48
7.1.2	Financieel	49
7.2	Aanbevelingen	49

8	Referenties	51
---	-------------------	----

Bijlage 1 Warmtenet tracé

Bijlage 2 Bodemopbouw

Bijlage 3 Specificatie kostencomponenten warmtenet

Begrippenlijst

AB	Aansluitbijdrage (eenmalig), gereguleerd deel van de BAK gemaximeerd volgens tarieven van de ACM
ACM	Autoriteit Consument & Markt
Afgiftesysteem	Systeem wat de warmte in huis afgeeft, bijvoorbeeld radiatoren, vloerverwarming, convectoren of luchtverwarming
Afleverzet	Centrale verwarmingsinstallatie in huis, bijvoorbeeld cv-ketel, warmtepomp of warmtewisselaar
Aquathermie	Warmte uit water, bijvoorbeeld oppervlaktewater, afvalwater of drinkwater
BAK	Bijdrage aansluitkosten, eenmalige bijdrage voor aansluiten op warmtenet
Bronnet	Warmtenet op brontemperatuur, vaak 12/7 °C
COP	Coëfficiënt Of Performance, een maat voor het rendement van warmtepompen
Distributienet	Gedeelte van het warmtenet tussen onderstation en de woningen, waarmee de warmte o.b.v. de warmtevraag naar de woningen wordt gebracht
GJ	Gigajoule
Huisaansluiting	De aftakking van het warmtenet tot aan de voordeur / de perceelsgrens
ISDE	Investeringssubsidie duurzame energie en energiebesparing, subsidieregeling voor woningeigenaren
KDB	Kostendekkingsbijdrage (eenmalig), ongereguleerd deel van de BAK
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattuur
MT-net	Middentemperatuurnet, vaak 70/40 °C
NCW	Netto Contante Waarde
Onderstation	Regelstation / huisje waarin warmtestromen naar de woningen via het distributienet worden verdeeld en geregeld. Ook wel onderverdeelstation genoemd, of opwekstation als hier collectieve warmte-opwekking plaatsvindt bijv. met warmtepompen
PAW	Programma Aardgasvrije Wijken, een Rijksprogramma met als doel om praktijkervaringen op te doen met warmtenetten. Hiervoor worden enkele 'proeftuinen' opgezet, vaak deels gefinancierd met rijksbijdrage
SDE	Stimuleringsregeling Duurzame Energie, ministeriële regeling voor subsidie duurzame projecten
TCO	Total Cost of Ownership, de totale kosten van een systeem over de gehele levensduur
TEO	Thermische energie uit oppervlaktewater
Transportnet	Gedeelte van het warmtenet van de warmtebron naar de onderstations
Vermogensvraag	Maximaal vermogen benodigd om een woning of wijk te kunnen verwarmen, in kW
Warmtevraag	Totale jaarlijkse warmtevraag van een woning of wijk, in GJ
WKO	Warmte- en koudeopslag, veelal wordt bedoeld een open bodemenergiesysteem voor seizoenbuffering van warmte die in de zomer wordt gewonnen en in de winter wordt gebruikt
WRIJ	Waterschap Rijn en IJssel
WVP	Watervoerend pakket, een bepaald type bodemlaag (vaak zanderig)

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Angerlo is door de gemeente Zevenaar aangewezen als Wijk van de Toekomst met als doel om als eerste dorp van de gemeente Zevenaar aardgasvrij te worden. In dit kader is in februari 2019 de Regiegroep Angerlo Aardgasvrij opgericht. Twee jaar lang heeft de Regiegroep stappen gezet richting een aardgasvrij Angerlo, met onder andere het creëren van inzichten voor potentiële warmte alternatieven.

Eind 2020 is door adviesbureau Qirion een vooronderzoek uitgevoerd waarin de meest kansrijke opties voor aardgasvrij wonen zijn verkend (1). De Regiegroep heeft Syntraal gevraagd om een verdiepingsonderzoek uit te voeren voor een van de collectieve warmteoplossingen, te weten een warmtenet gevoed met warmte uit oppervlaktewater (TEO).

1.2 Scope en doelstelling

Het doel van dit onderzoek is om inzichtelijk te maken of de collectieve oplossing met TEO technisch en financieel haalbaar en betaalbaar is en of deze voldoet aan de toetsingscriteria van het Concept Transitieplan Angerlo (2).

1.2.1 Programma Aardgasvrije Wijken (PAW)

Bij aanvang van dit onderzoek was een secundaire doelstelling om het onderzoek te gebruiken om een subsidieaanvraag Programma Aardgasvrije Wijken (PAW) in te dienen. Uiteraard wordt zo mogelijk aansluiting gezocht bij de PAW 3^e ronde, wanneer dit voor Angerlo een geschikte oplossing biedt. Belangrijkst is echter dat de oplossing voor Angerlo passend is. Voor de 3^e ronde van de PAW proeftuinen is isolatie een verplicht onderdeel van de aanpak en is er een lichte voorkeur voor lage temperatuur (< 55 °C) warmtenetten.

1.3 Leeswijzer

Allereerst wordt in hoofdstuk 2 de warmte- (en eventueel koude-)vraag van Angerlo beschreven. Dit bepaalt hoeveel warmte (en koude) er nodig is uit het oppervlaktewater. In hoofdstuk 3 wordt vervolgens geïnventariseerd welke warmtebronnen er in de omgeving aanwezig zijn en welke het meest kansrijk zijn. In hoofdstuk 4 wordt vervolgens de beste match tussen vraag en aanbod verder uitgewerkt. Onderdelen hiervan zijn het tracé en dimensionering van het warmtenet, de TEO-installatie, WKO's, regelsystemen, warmtepompen en de benodigde aanpassingen aan de woningen. In hoofdstuk 5 worden kort de aandachtspunten besproken die in een later stadium bij een vergunningaanvraag van belang zijn. In hoofdstuk 6 wordt de businesscase uitgewerkt. Hierbij worden de kosten en baten van het totale systeem berekend en wordt een inschatting gemaakt van de totale kosten van eigenaarschap (TCO). Ook worden de betrokken partijen en (financiële) investeringsrisico's kort toegelicht. Tot slot worden in hoofdstuk 7 de belangrijkste conclusies samengevat en wordt een aantal aanbevelingen gedaan voor het vervolgtraject.

2 Warmte- en koudevraag

In dit hoofdstuk wordt de warmte- en koudevraag van Angerlo bepaald. Om een goed beeld te hebben van de ruimteverwarmingsvraag en warm tapwatervraag wordt allereerst een typering gegeven van de soorten woningen die in Angerlo te vinden zijn.

2.1 Afbakening projectgebied

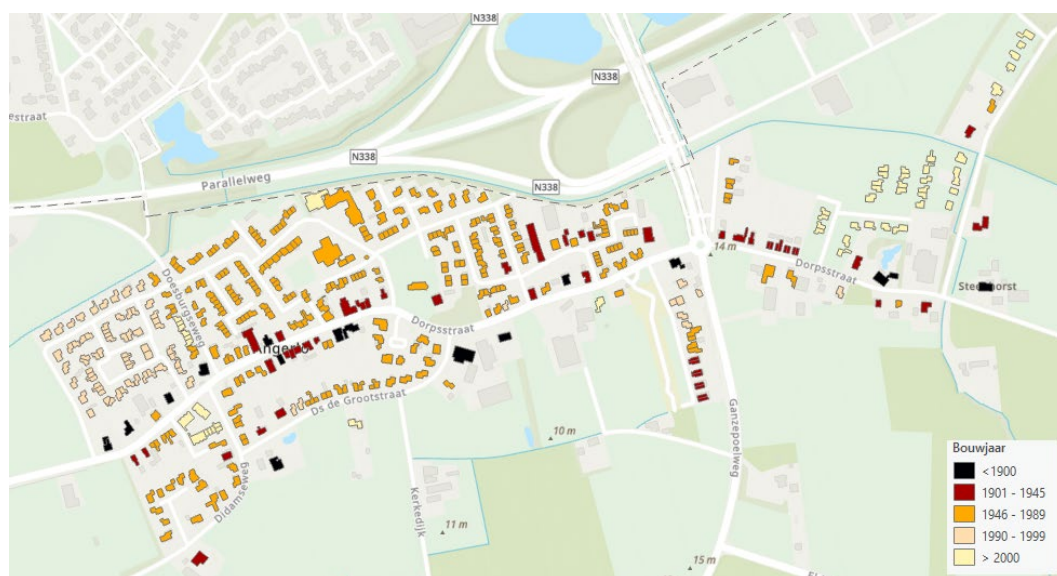
Angerlo telt ongeveer 1.400 inwoners en bestaat uit 550 woningen, te onderscheiden in 491 woningen in de dorpskern en circa 60 woningen in het buitengebied. Voor de woningen in het buitengebied is een warmtenet energetisch en financieel niet rendabel omdat de woningen te verspreid liggen en veel van deze woningen slecht geïsoleerd zijn. Hier is een individuele oplossing per woning een betere optie. Ook de bedrijven op en rondom het bedrijventerrein in noordoost-Angerlo zijn niet meegenomen in deze haalbaarheidsstudie, hiervan is onvoldoende bekend over het energieverbruik.

Dit onderzoek richt zich daarom op de woningen en gebouwen in of vlakbij de dorpskern. Dit is hetzelfde focusgebied als eerder door Qirion gehanteerd (te zien in figuur 2.1).

2.2 Wijkarakteristiek Angerlo

Het merendeel van het dorp bestaat uit woningen gebouwd in de jaren '60 en '70. Er zijn daarnaast 73 vooroorlogse woningen (bouwjaar < 1945), vooral geconcentreerd rondom de Dorpsstraat. In de noordwestelijke hoek staat een buurt met vooral jaren '90 woningen. Ten oosten van de rotonde staan in totaal 65 woningen, veelal uit recente bouwjaren (na 2000), waarvan 20 (nieuwbouw)woningen al van het gas af zijn. Hier worden op korte termijn nog enkele woningen nieuw bijgebouwd.

In onderstaande afbeelding is de geografische verdeling van bouwjaren goed terug te zien.



Figuur 2.1 Bouwjaren Angerlo projectgebied

Ongeveer de helft van alle woningen (285 woningen) is vrijstaand of twee-onder-een-kap. Daarnaast zijn er in totaal 34 appartementen in Angerlo. De rest zijn geschakelde woningen. Naast de woningen zijn er 2 schoolgebouwen (basisschool De Trompetter), 2 winkels en een aantal gebouwen met bijeenkomstfunctie (kerken, buurtcentrum, etc.) in het dorp.

2.2.1 Bebouwingsdichtheid

In de dorpskern van Angerlo is de bebouwingsdichtheid (en dus de warmtedichtheid) hoog genoeg dat een warmtenet interessant kan zijn. Ten oosten van de rotonde (verder: Angerlo-oost) is echter meer lintbebouwing aanwezig en is de bebouwingsdichtheid relatief laag. Ook zijn er al enkele woningen van het gas af met een eigen individuele warmte-oplossing. Hierdoor zal het aanleggen van een warmtenet relatief duur zijn per woning en is de vraag of dit rendabel is c.q. interessant is voor een investeerder. In het ontwerp van het warmtenet is rekening gehouden met de belangrijke kernwaarde van Angerlo (zie onderstaand): iedereen moet mee kunnen doen. Er is dus gezocht naar een ontwerp waarin een collectief warmtenet ook voor Angerlo-oost rendabel kan zijn.

2.2.2 Investeringsbereidheid en kernwaarden bewoners

Angerlo is een hechte gemeenschap met veel gevoel voor sociale verbinding en saamhorigheid. Er lijkt een goede investeringsbereidheid te zijn onder de bewoners om aardgasvrij wonen te realiseren. Tekenend hiervoor is de opkomst van dorpscoöperatie Angerlo Duurzaam sinds 2019 en de initiatieven die hieruit zijn voortgekomen, bijvoorbeeld collectieve inkoop van isolatie en gezamenlijke opwek van zonne- en windenergie.

Belangrijke waarden voor aardgasvrij wonen in Angerlo zijn:

- Collectief: iedereen moet mee kunnen doen
- Kostenneutraliteit: het moet voor iedereen betaalbaar zijn, liefst kostenneutraal ten opzichte van het huidige systeem (cv ketel)

2.3 Warmtevraag

2.3.1 Inventarisatie o.b.v. kengetallen per woningtype

Om de warmtevraag te bepalen heeft Syntraal een warmte- en koudetool ontwikkeld. Hiermee kan eenvoudig de warmte- en vermogensvraag van een plangebied worden bepaald voor ruimteverwarming en tapwater. Deze tool maakt gebruik van de CBS gasverbruiken van 2018 en hanteert een methodiek gebaseerd op het Vesta MAIS model van het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL). De verbruiksdata van het CBS is uitgesplitst naar woningtype, bouwjaar en oppervlakte.

De huidige warmtevraag is met deze tool berekend, de uitkomsten zijn samengevat in onderstaande tabel. In deze inventarisatie zijn meegenomen alle woningen binnen de scope behalve de 20 (nieuwbouw)woningen die al aardgasvrij zijn met eigen bodemplussen en warmtepomp. Dit resulteert in 471 woningen die kunnen worden aangesloten op het warmtenet.

Tabel 2.1: Warmtevraag huidige situatie Angerlo

Aantal woningen	471
Gemiddelde warmtevraag per woning, ruimteverwarming + tapwater (GJ/jaar)	58
Warmtevraag totaal (GJ/jaar)	27.314

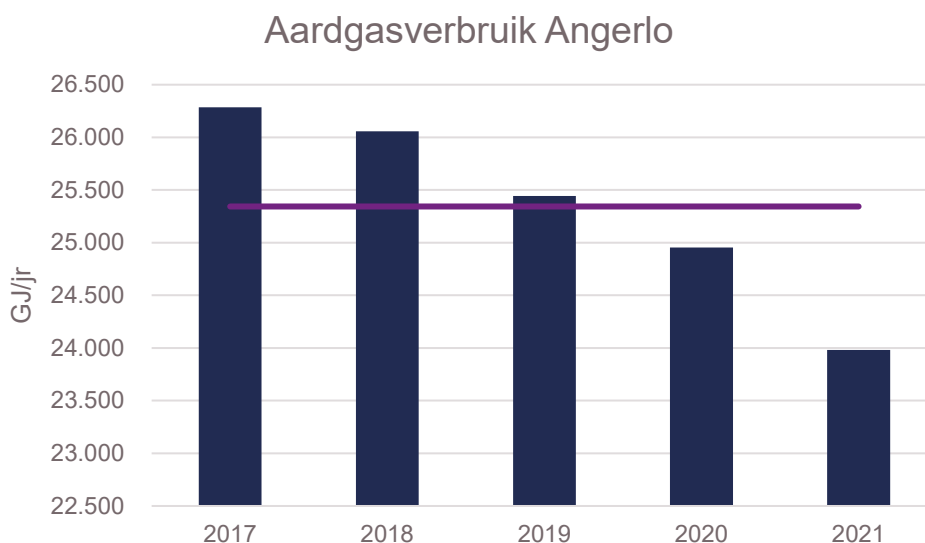
Het benodigd vermogen voor ruimteverwarming in de huidige situatie varieert van 37 tot 70 W/m², afhankelijk van het type woning en het bouwjaar. Voor het tapwatervermogen is uitgegaan van tapwatercomfortklasse (CW) 4. Dit is gelijk aan 27 kW voor elke woning. In tabel 2.2 is de vermogensvraag weergegeven voor een gemiddelde woning in Angerlo. Voor het ontwerpvermogen voor het warmtenet is er nog rekening gehouden met gelijktijdigheid en warmteverlies. Dit wordt verder toegelicht in hoofdstuk 4.

Tabel 2.2: Vermogensvraag huidige situatie Angerlo

	Gemiddelde woning
Vermogensvraag ruimteverwarming (kW)	8,9
Vermogensvraag tapwater (kW)	27
Totale vermogensvraag (kW)	35,9

2.3.2 Vergelijking met aardgasverbruik Liander

Ter verificatie is ook het huidige aardgasverbruik geanalyseerd op basis van openbare gebruiksgegevens van Liander. Voor de postcodegebieden binnen de scope van Angerlo is het aardgasverbruik van de afgelopen 5 jaar geanalyseerd. Voor de omrekening van m³ naar GJ is de onderste verbrandingswaarde van aardgas gebruikt: 31,65 MJ/m³. Het verbruik (in GJ/jaar) is te zien in onderstaande figuur.



Figuur 2.2 Aardgasverbruik Angerlo. De paarse lijn geeft het gemiddelde over deze jaren weer.

Het gemiddelde aardgasverbruik over de afgelopen 5 jaar is 25.344 GJ. Hiervan is per woning ongeveer 37 m³ aardgas per jaar voor koken, dus 24.610 GJ per jaar voor ruimteverwarming en tapwater. Dit ligt iets lager dan de warmtevraag die we met onze tool hebben berekend, maar komt ongeveer overeen. Opgemerkt wordt dat de data van Liander per postcodegebied wordt geregistreerd, waardoor dit niet altijd één-op-één overeenkomt met het projectgebied. Er is een licht dalende trend zichtbaar in het aardgasverbruik, maar als wordt gecorrigeerd voor het aantal graaddagen is te zien dat het gasverbruik nagenoeg constant is.

2.3.3 Besparing warmte- en vermogensvraag door isolatie

Er zijn nog weinig definitieve energielabels bekend voor de woningen in Angerlo (ca. 1 op de 3 woningen). Het is dus moeilijk om iets te zeggen over de werkelijke isolatiegraad, mogelijk hebben bewoners na-isolatie aangebracht zonder dat deze is geregistreerd. Op basis van de voorlopige energielabels (gebaseerd op bouwjaar en woningtype) kan echter de volgende verdeling van energieverbruik worden afgeleid.

Tabel 2.3 Verdeling voorlopige energielabels Angerlo

Energielabel	Percentage van de woningen
A	13%
B	13%
C	28%
D	23%
E	0%
F	7%
G	14%

Kortweg is de verdeling 25% label A/B woningen, 50% label C/D en 25% label F/G. Met name de vooroorlogse woningen hebben waarschijnlijk een slechte isolatiegraad en daardoor een hoog energieverbruik. Voor deze woningen is tevens een relatief hoog vermogen nodig om op strenge winterdagen het huis warm te krijgen.

Voor deze studie zijn we ervan uitgegaan dat de woningen met label D of hoger voldoende geïsoleerd zijn om op een warmtenet te worden aangesloten. Over het algemeen lenen deze zich prima voor een 70/40 °C net (zie verderop in paragraaf 4.3.5).

Voor de label F/G woningen is het uitgangspunt dat deze geïsoleerd moeten worden omdat het warmtenet anders niet voldoende vermogen zal kunnen leveren. Van de label F/G woningen in bezit van wooncorporatie Plavei is bekend dat deze de komende jaren zullen worden gesloopt en hier nieuwbouw voor in de plaats komt.

Over het algemeen stoken de label F/G woningen nu nog op 80 °C of hoger. Uitgegaan wordt van een benodigde vermogensvraagreductie van 30% voor ruimteverwarming om op het warmtenet te kunnen aansluiten (zie verderop in paragraaf 4.3.5). Dit komt overeen met isolatie tot label C, te

weten: dakisolatie, gevelisolatie, toepassen van HR++ glas en vloerisolatie. In onderstaande tabel is de besparing weergegeven, waarbij nog geen rekening is gehouden met gelijktijdigheid.

Tabel 2.4: Besparing vermogensvraag door isolatie, label F/G woningen

	Gemiddelde woning huidig	Gemiddelde woning na isolatie
Vermogensvraag ruimteverwarming (kW)	10,9	7,6
Vermogensvraag tapwater (kW)	27	27
Totale vermogensvraag (kW)	37,9	34,6

Simpel gezegd zal dit ook leiden tot ongeveer 30% reductie van warmtevraag voor ruimteverwarming voor deze woningen.

Tabel 2.5: Besparing warmtevraag door isolatie, label F/G woningen

	Gemiddelde woning huidig	Gemiddelde woning na isolatie
Aantal woningen label F/G	107	107
Oppervlakte (m²)	160	160
Warmtevraag ruimteverwarming (GJ/jaar)	58,3	40,8
Warmtevraag tapwater (GJ/jaar)	10,7	10,7
Totale warmtevraag per woning (GJ/jaar)	69,0	51,5
Totale warmtevraag alle woningen label F/G (GJ/jaar)	7.380	5.510

Het isoleren van alle label F/G woningen leidt dus in totaal tot een warmtevraagreductie van 1.870 GJ. De totale toekomstige warmtevraag voor Angerlo komt daarmee op 25.444 GJ.

Tabel 2.6: Warmtevraag toekomstige situatie Angerlo

Warmtevraag totaal huidig (GJ/jaar)	27.314
Besparing door 30% isolatie label F/G woningen (GJ/jaar)	1.870
Warmtevraag totaal na isolatie (GJ/jaar)	25.444

2.3.4 Nieuwbouw

Woningcorporatie Plavei gaat in de komende jaren enkele woningen slopen en (her)bouwen, namelijk enkele woningen aan 't Kruisveld en aan de Dorpsstraat. Dit zijn momenteel oude en slecht geïsoleerde woningen waar dus nieuwbouw voor in de plaats komt. Daarnaast zijn er 2 nieuwbouwprojecten door BPD waarvan voor 7 woningen het warmteconcept nog moet worden ingevuld; de overige woningen zijn reeds ontworpen met een individuele aardgasvrije oplossing (warmtepomp). Voor de woningen van Plavei geldt dat hier wordt gekeken naar individuele en/of collectieve bodemlussen voor de korte termijn, met een optie om op een natuurlijk moment (over circa 15 jaar) aan te kunnen sluiten op het warmtenet.

De warmtevraag van deze woningen is niet meegenomen in deze businesscase. Met de geïnterviewde warmtevraag wordt verondersteld dat er nog voldoende capaciteit is om deze woningen nog aan te sluiten. De woningen zijn namelijk allemaal nieuwbouw en voldoen aan de nieuwste isolatiestandaard conform het Bouwbesluit, waardoor het energieverbruik erg laag zal liggen. Bovendien kan het (hogere) verbruik van de gesloopte woningen dan ook weer in mindering worden gebracht op de totale warmtevraag. De netto toename door de nieuwbouw ligt naar schatting zo rond 500 GJ. Dit is nog prima aan te sluiten binnen de bandbreedte van het huidige ontwerp.

2.4 Koudevraag

Voor de woningen is op dit moment geen koudevraag bekend. Waarschijnlijk hebben enkele woningen een airco, maar hoeveel is niet bekend. Dit zou eventueel in een verdiepend onderzoek kunnen worden onderzocht.

Om koude in de bestaande woningen te kunnen afgeven moet een nieuw koude-afgiftesysteem worden geïnstalleerd, bijvoorbeeld vloerverwarming of geblazen convectoren, omdat bestaande radiatoren hier niet geschikt voor zijn. Omdat deze systemen nu doorgaans niet aanwezig zijn gaan we ervan uit de koeling vooralsnog niet nodig is. Er is dus voor gekozen om koeling niet mee te nemen in de businesscase. Overigens zou dit per definitie tot 'extra' kosten leiden ten opzichte van de referentiesituatie, omdat er in de huidige situatie nog geen koelsysteem aanwezig is.

3 Warmteaanbod

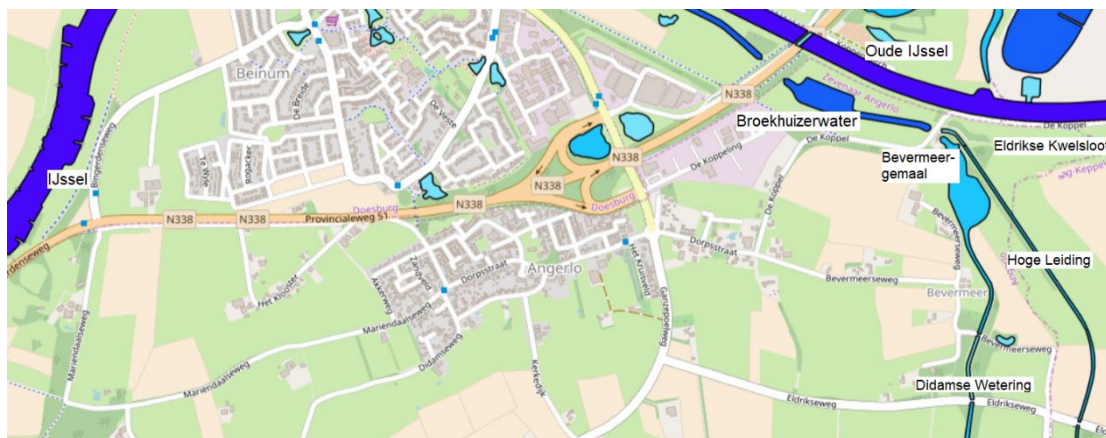
3.1 Algemeen

Er zijn diverse potentiële warmtebronnen. Qirion heeft reeds een inventarisatie gemaakt van de mogelijkheden. Syntraal is gevraagd om specifiek de potentie van thermische energie uit oppervlaktewateren (TEO) in combinatie met warmte-koudeopslag (WKO) verder uit te werken.

Syntraal heeft onlangs in samenwerking met Deltares rekenregels ontwikkeld voor de potentie van oppervlaktewater. Daarmee kan de potentie met meer zekerheid worden berekend dan in het verkennende onderzoek van Qirion. De berekeningen en gehanteerde aannames voor dit project zijn afgestemd met het Waterschap Rijn en IJssel (WRIJ).

3.2 Technische potentie oppervlaktewateren

Er is alleen gekeken naar oppervlaktewateren binnen een afstand van 2 km vanaf de dorpskern van Angerlo. Voor onderstaande wateren is de potentie nader onderzocht.

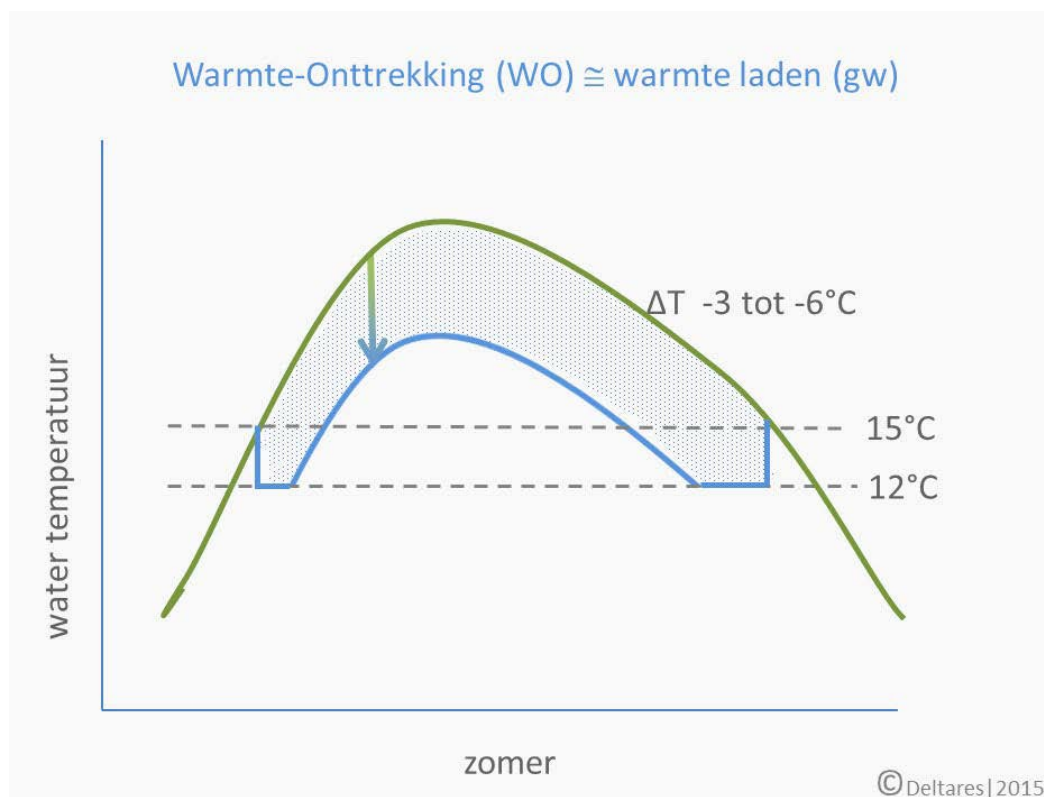


Figuur 3.1 Kansrijke oppervlaktewateren rondom Angerlo. Bron: Omgevingswarmtekaart Nederland.

Bepalend voor de potentie van warmte-onttrekking uit oppervlaktewater zijn drie factoren:

- Temperatuurverschil ΔT (°C)
- Onttrekkingsdebiet (m³/s)
- Vollasturen of onttrekkingsperiode

Voor deze studie is uitgegaan van een temperatuuronttrekking van 3 °C. Uitgangspunt is dat warmte uit oppervlaktewater tussen het voorjaar en najaar niet onder de 12 °C mag dalen. Dit betekent dat warmte kan worden onttrokken in de periode wanneer het oppervlaktewater warmer is dan 15 °C. Dit is geïllustreerd in figuur 3.2. Omdat voor niet alle oppervlaktewateren in de buurt temperatuurmetingen beschikbaar zijn, wordt aangenomen dat in de maanden april tot en met september warmte mag worden onttrokken.



Figuur 3.2 Temperatuuronttrekking hoofdwaters in de zomer

Op basis van de open meetdata van het Waterschap Rijn en IJssel is de potentie van de geselecteerde wateren nader onderzocht. Er is uitgegaan van een maximaal onttrekkingsdebiet van 1 m³/s, wat lang niet altijd gehaald wordt in de zomer. De resulterende potentie van de geselecteerde wateren is weergegeven in tabel 3.1. Omdat gebruik wordt gemaakt van WKO's in combinatie met TEO hoeft de balancering van warmtevraag en aanbod niet op jaarbasis bereikt te worden, maar wordt uitgegaan van de gemiddelde potentie over de laatste 5 jaar.

Tabel 3.1 Potentie uit oppervlaktewateren

Oppervlaktewater	Theoretische potentie (GJ/jaar)	Bandbreedte o.b.v. volledige dataset WRIJ (GJ/jaar)
Eldrikse Kwelsloot	14.491	10.500 – 35.100
Didamse Wetering	12.413	1.770 – 39.200
Bevermeergemaal	26.904	12.300 – 74.400
Hoge Leiding	3.743	0 – 3.090
Broekhuizerwater	34.225	32.300 – 44.800
Oude IJssel ¹⁾	1.275.000	-
IJssel ¹⁾	23.780.000	-

¹⁾ De potentie van de IJssel en Oude IJssel is bepaald uit de STOWA Aquathermieviewer. Deze is niet verder onderzocht omdat deze ruim voldoende is voor de warmtevraag van Angerlo.

Veel van de kleine wateren staan nagenoeg stil in de zomerperiode. Zeker in de laatste 2 jaar (2019 en 2020) is er nagenoeg geen stroming door de Hoge Leiding, Didamse Wetering en Eldrikse Kwelsloot waardoor de potentie hier nihil is. Bij extreme droogte wordt het gemaal zelfs dichtgezet om water in het achterland vast te houden. Kortom, dit zijn geen stabiele bronnen waaruit elk jaar voldoende thermische energie kan worden gegarandeerd.

Uit de analyse blijkt dat er net voldoende potentie is bij het Bevermeergemaal en ruim voldoende in het Broekhuizerwater, de Oude IJssel en de IJssel. De genoemde potenties zijn echter de technisch maximale potentie en zeggen nog niks over het systeemontwerp, waarbij het samenspel tussen bronnen én oppervlaktewater nog een rol speelt. Het zou kunnen dat in de praktijk minder warmte kan worden gewonnen.

De potentie in het Broekhuizerwater is hoger dan bij het Bevermeergemaal omdat hier het hele jaar door kwelwater vanuit de Oude IJssel in terecht komt. De Oude IJssel ligt bij Angerlo verhoogd ten opzichte van de omgeving, deze ligt over het gehele verloop op +10 meter NAP en wordt op peil gehouden met de stuwen in Doesburg en Doetinchem. Dit zorgt voor een behoorlijke kwel richting Broekhuizerwater, die vervolgens via de duiker bij de N338 weer wordt afgevoerd naar de IJssel bij Doesburg.

3.3 Overige afwegingscriteria oppervlaktewateren

Naast de technische potentie voor TEO zijn ook ecologische, praktische en vergunningtechnische aspecten van belang. Deze worden onderstaand kort toegelicht.

3.3.1 Ecologie

Omdat warmte vooral in het voorjaar en in de zomer wordt gewonnen is de kans groot dat dit samenvalt met het broedseizoen. Mocht warmtewinning in een (beschermde) broedgebied plaatsvinden dan is een aandachtspunt dat de vogels niet verstoord worden. De uiterwaarden bij de IJssel zijn Natura 2000 gebied; het Broekhuizerwater is onderdeel van het Gelders Natuurnetwerk en is aangewezen als natte verbindingzone voor o.a. de rietzanger en winde.

3.3.2 Praktisch

Uit praktisch oogpunt is warmtewinning in rivieren vaak moeilijk vanwege wisselende waterstand. Hierdoor moet een warmtewisselaar vaak in de vaargeul worden geplaatst om ook in de zomer warmte te kunnen winnen bij lage waterstand. Rivieren met veel scheepvaart en een fluctuerende waterstand, zoals de IJssel, zijn daardoor minder geschikt voor warmtewinning. De Oude IJssel heeft jaarrond een constant waterpeil waardoor warmtewinning beter te realiseren is.

3.3.3 Waterkwaliteit

Uit de analyse van de meetgegevens blijkt dat de (natuurlijke) doorstroming in het gehele watersysteem rondom het Bevermeer in de zomerperiode erg laag is. Dat zou kunnen leiden tot matige waterkwaliteit. In hoeverre dit een reëel probleem is dient verder te worden onderzocht. Door een beweging in deze wateren te creëren door gerichte aquathermie kunnen deze oppervlaktewateren doorstroomd blijven en belangrijker, beneden de kritische temperaturen voor

algenbloei gehouden worden. De aquathermie oplossing profiteert hiervan, omdat er meer warm water opgeslagen kan worden in de WKO. Overigens zal aquathermie sowieso een positief effect hebben op waterkwaliteit en hittestress, omdat de temperatuur van het oppervlaktewater aan het begin van het “stilstandseizoen” al lager zal liggen dan voorheen.

3.3.4 Vergunningen

Voor buitendijkse locaties zal een warmteleiding door of over een dijk moeten voeren. Belangrijk is dat dit niet ten koste gaat van de integriteit van de dijken en de waterveiligheid geborgd blijft. Uit overleg met WRIJ kwam naar voren dat dit geen direct issue vormt. Een dijkdoorvoer dient weliswaar goed te worden ontworpen en het belang ervan moet goed worden onderbouwd, maar het is op voorhand niet per definitie een no-go.

Verder heeft het waterschap aangegeven dat warmtewinning voor Angerlo uit de Oude IJssel wel een optie is, maar niet de eerste voorkeur krijgt. Dit omdat voor de Doesburgse wijk De Ooi ook verderop warmte zal worden onttrokken uit de Oude IJssel. Anderzijds kan dit ook juist een kans zijn: omdat de Oude IJssel veel warmtepotentie heeft, kan voor Angerlo wellicht worden aangehaakt op een gezamenlijk TEO warmtewinningssysteem samen met Doesburg. Deze mogelijkheid zou in een vervolgstudie nader verkend moeten worden, in overleg met het Waterschap en de gemeente Doesburg.

Aandachtspunten voor de vergunbaarheid worden in hoofdstuk 5 nader toegelicht.

3.3.5 Afwegingsmatrix

Op basis van de kwalitatieve en kwantitatieve criteria is een afwegingsmatrix gemaakt om de geschiktheid van de verschillende oppervlaktewateren te vergelijken, te zien in tabel 3.2.

Tabel 3.2 Afwegingsmatrix oppervlaktewateren rondom Angerlo

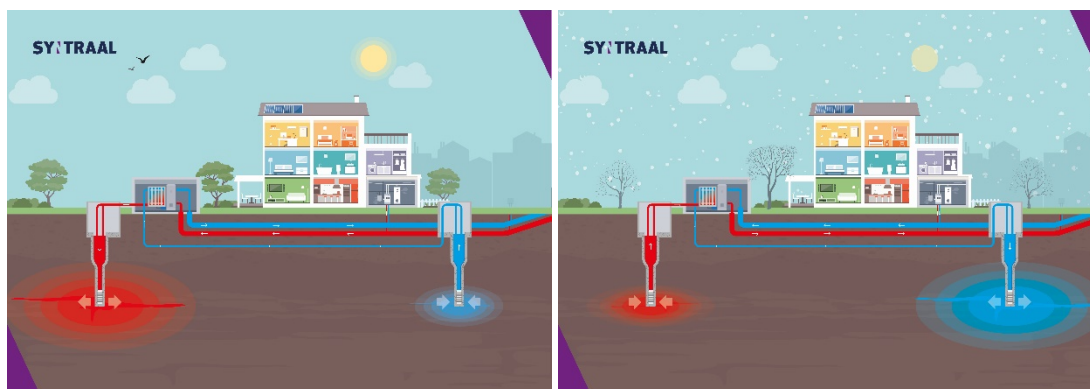
	Eldrikse Kwelsloot	Didamse Wetering	Bevermeer-gemaal	Hoge Leiding	Broekhuizerwater	Oude IJssel	IJssel
Beschrijving locatie	Duiker naar Bevermeer	Stuw Eldrikseweg	Net ten oosten van het gemaal (stroomopwaarts)	Stuw bij Bevermeer-gemaal	Duiker onder N338	Vaargeul	Vaargeul
Potentie (GJ)	14.491	12.413	26.904	3.743	34.225	1.275.000	23.780.000
Risico droogte	Hoog	Hoog	Hoog	Zeer hoog	Matig	Laag	Laag
Afstand tot dorpskern	1,5 km	1,6 km	1,5 km	1,5 km	1,1 km	1,6 km	1,6 km
Positie t.o.v. waterkeringen	Binnendijks	Binnendijks	Binnendijks	Buitendijks	Buitendijks	Buitendijks	Buitendijks
Knelpunten bereikbaarheid	-	-	-	-	(licht) wisselend waterpeil	warmtewinning dichtbij maar niet direct in de vaargeul	warmtewinning in de vaargeul, (sterk) wisselend waterpeil
Aandachtspunten vergunningen	Ecologische impact	Ecologische impact	Ecologische impact	Ecologische impact, leiding door dijklichaam	Ecologische impact, leiding door dijklichaam	Ecologische impact, leiding door dijklichaam	Ecologische impact, leiding door dijklichaam
Ecologie (land)	-	-	Natuur-monumenten	-	Gelders Natuurnetwerk	-	Natura 2000
Kansen waterkwaliteit	Langzaam stromend of stilstaand water	Langzaam stromend of stilstaand water	Langzaam stromend of stilstaand water	Langzaam stromend of stilstaand water	Langzaam stromend of stilstaand water	-	-
Overig					Grens met gemeente Doesburg	(Mogelijk) interferentie of juist synergie warmtewinning De Ooi	-

3.4 Technische potentie WKO (open bodemenergie)

Warmte uit oppervlaktewater wordt vooral in de zomermaanden gewonnen, terwijl de warmtevraag vanuit de gebouwen met name in de winter aanwezig is. Er is dus een seizoensopslag nodig om de warmte in de tussentijd te kunnen opslaan. Syntraal heeft een quickscan uitgevoerd om de mogelijkheden voor WKO in de omgeving van Angerlo in kaart te brengen.

3.4.1 Principe seizoenbuffering WKO

Bij warmte- en koudeopslag (WKO) wordt warmte en koude opgeslagen in een watervoerende zandlaag (aquifer) in de bodem (zie figuur 3.3). In deze aquifer wordt minimaal één 'doublet met ieder een koude en een warme bron aangelegd. Het betreft dus een zogeheten 'open' bodemenergiesysteem waarbij water wordt onttrokken uit en teruggebracht in de bodem. Wanneer er vraag naar warmte is, wordt grondwater opgepompt uit de warme bron (13 – 17 °C). De warmte uit dit grondwater wordt met een warmtewisselaar afgestaan aan een warmtepomp. Door het onttrekken van warmte koelt het opgepompte water af, waarna het wordt geïnfiltreerd in de koude bron. Is er vraag naar koude, dan wordt uit de koude bron (6 – 10 °C) grondwater opgepompt. De koude uit dit grondwater wordt met een warmtewisselaar afgestaan aan een warmtepomp in koelbedrijf en vervolgens wordt het warme grondwater geïnfiltreerd in de warme bron.



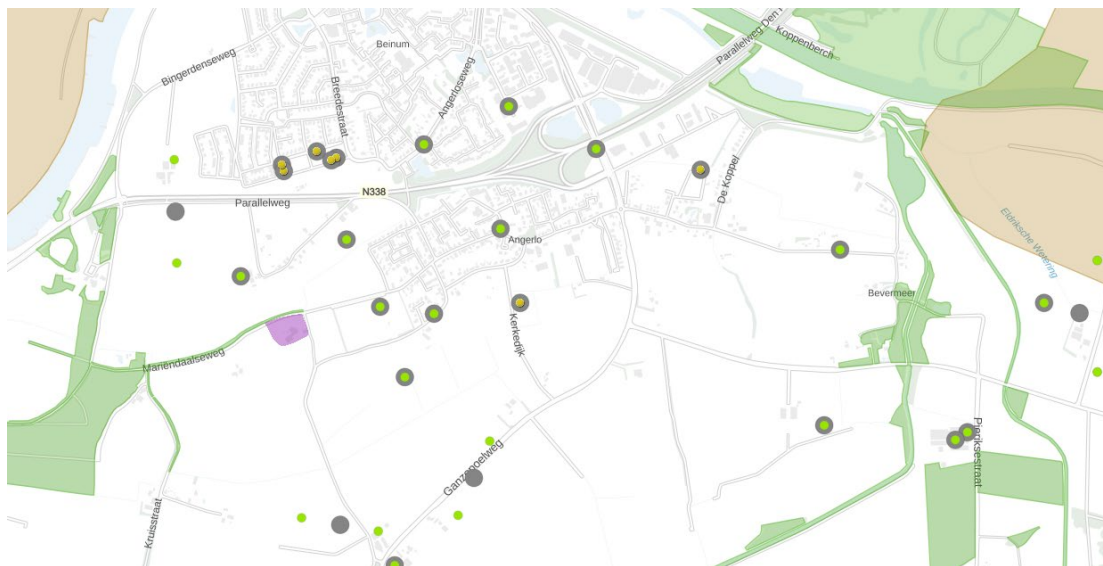
Figuur 3.3 Principe seizoenbuffering warmte via WKO: warmte wordt in de zomer gewonnen en opgeslagen in het grondwater in een watervoerendpakket (links). In de winter wordt het relatief warme water onttrokken waarbij de warmte aan de woningen wordt afgegeven (rechts).

Een goed werkend WKO systeem heeft de volgende (technische) eisen:

- Er is een watervoerend pakket (zandlaag) nodig met een hoge hydraulische doorlaatbaarheid
- Boven en onder het gekozen watervoerend pakket moet er een isolerende/afsluitende laag aanwezig zijn (vaak een kleilaag)
- De grondwaterstroming moet laag zijn (maximaal 60 meter per jaar)
- De chemische eigenschappen van het water moeten geschikt zijn
- De warme en koude bron moeten ver genoeg uit elkaar liggen (minimaal 3 keer de thermische straal) om inmenging te voorkomen
- Het systeem moet op de lange termijn in balans zijn, dus (ongeveer) evenveel warmte-onttrekking als koude-onttrekking

3.4.2 Bodemopbouw

Voor de haalbaarheidsstudie is gekeken naar de technische potentie van WKO's in de omgeving van Angerlo op basis van bovengenoemde criteria. In het plangebied zijn geen restricties aan WKO's opgelegd, zie figuur 3.4. Wel zijn rondom het plangebied enkele aandachtsgebieden met betrekking tot natuur en aardkundige waarden, vooral rondom de rivieren en wateren. In het plangebied zijn geen bestaande WKO's of open bodemenergiesystemen bekend, wel zijn er enkele kleine gesloten bodemenergiesystemen (bodemplussen) aanwezig, met een vermogen < 70 kW. De nieuwe WKO's mogen deze bestaande systemen niet negatief beïnvloeden. Dit zal bij de vergunningverlening ook bewezen moeten worden. Deze installaties zijn echter klein waardoor wij dit niet als een risico zien.

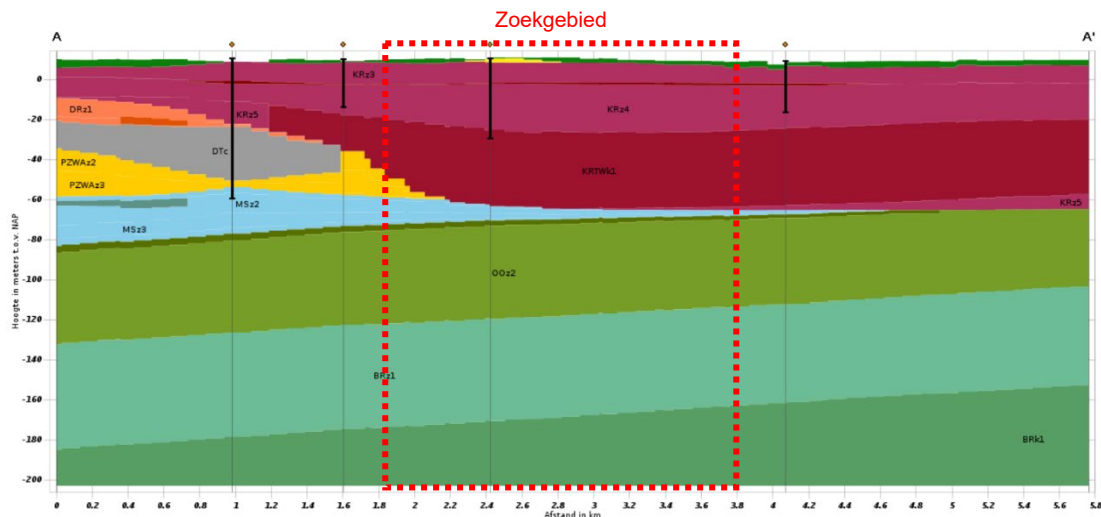


Figuur 3.4 Vergunningstechnische beperkingen aan WKO (bron: WKOtool.nl van RVO)

De grondwateronttrekkingen (groene stippen in bovenstaande figuur) betreffen waarschijnlijk veelal tijdelijke bemalingen of onttrekkingen t.b.v. het beregenen van agrarische percelen. Afhankelijk van de omvang en diepte van deze onttrekkingen (onbekend) kunnen ze een open bodemenergiesysteem negatief beïnvloeden.

Op basis van gegevens van de provincie Gelderland bevinden zich geen drinkwaterwinningen, beschermingszones of boringsvrije zones in de nabije omgeving van het zoekgebied. Deze vormen daarmee dus geen belemmeringen voor het toepassen van WKO.

Op basis van BRO REGIS II, v2.2 (TNO, 2021) is de bodemopbouw vastgesteld. In figuur 3.5 is een dwarsprofiel weergegeven. In bijlage 2 is de bodemopbouw gedetailleerd weergegeven inclusief relevante eigenschappen.



Figuur 3.5 Bodemopbouw in zoekgebied Angerlo (bron: DINOloket, BRO REGIS II v2.2)

Op veel plekken in het zoekgebied bestaat de deklaag uit klei in de eerste 2 à 3 meter beneden het maaiveldniveau. Lokaal is de kleilaag afwezig (mogelijk afgegraven) en is zand op de kleilaag aanwezig. Daaronder bestaat de bodem uit verschillende zandpakketten, gescheiden door kleilagen.

Op basis van de analyse zijn het onderste deel van het 1^e WVP¹ (formatie van Kreftenheye) of het bovenste deel van het 3^e WVP (formatie van Oosterhout) het meest geschikt. Deze pakketten bevinden zich op respectievelijk circa -13 tot -35 meter en -80 tot -130 meter onder maaiveldniveau (m-mv). Ze hebben een doorlaatcapaciteit van respectievelijk circa 660 m²/dag en 330 m²/dag.

Voordelen van het 1^e WVP zijn de hoge doorlaatcapaciteit en de lagere realisatiekosten (relatief ondiepe boringen). Een cruciaal nadeel van dit pakket is het risico op redoxreacties. Wanneer grondwater uit de verschillende bodemlagen met elkaar mengen, kan dit tot chemische reacties leiden wat uiteindelijk voor putverstopping kan zorgen. Dit risico kan eventueel met een proefboring verder worden onderzocht. Verder ligt de laag erg ondiep, met slechts een (erg) dunne storende laag aan de bovenzijde, waardoor de effecten van onttrekking in deze laag kunnen doorwerken naar de bovenlaag.

Het 3^e WVP is weliswaar dieper (en dus kostbaarder om te realiseren) maar hier worden naar verwachting geen redoxproblemen verwacht. Door de grote dikte (circa 45 m) is de doorlaatcapaciteit nog acceptabel. Geadviseerd wordt om de WKO bronnen dus in het 3^e WVP tussen -80 en -130 m-mv te slaan. Afhankelijk van de benodigde filterlengte en de waargenomen bodemopbouw kan de meest optimale filterstelling worden bepaald.

¹ WVP = watervoerend pakket

3.4.3 Grondwatersituatie

In het DINOlوكet zijn nabij de onderzoeklocatie geen recente en langdurig gemeten peilbuizen beschikbaar van diepere watervoerende pakketten. De stijghoogte en stromingsrichting is daarom afgeleid van de isohypsen uit de REGIS-I kartering (TNO, 28 april 1995). Op basis van de isohypsen blijkt dat het grondwater in (west-)noordwestelijke richting stroomt, richting de IJssel. In de formatie van Kreftenheye (4^e eenheid) is een stroomsnelheid berekend van 10 à 15 m/jaar. In de minder goed doorlatende formatie van Oosterhout is de stroomsnelheid circa 5 m/jaar. Deze stroomsnelheden zijn relatief laag en een WKO is daarom goed toepasbaar in de beoogde zandlagen.

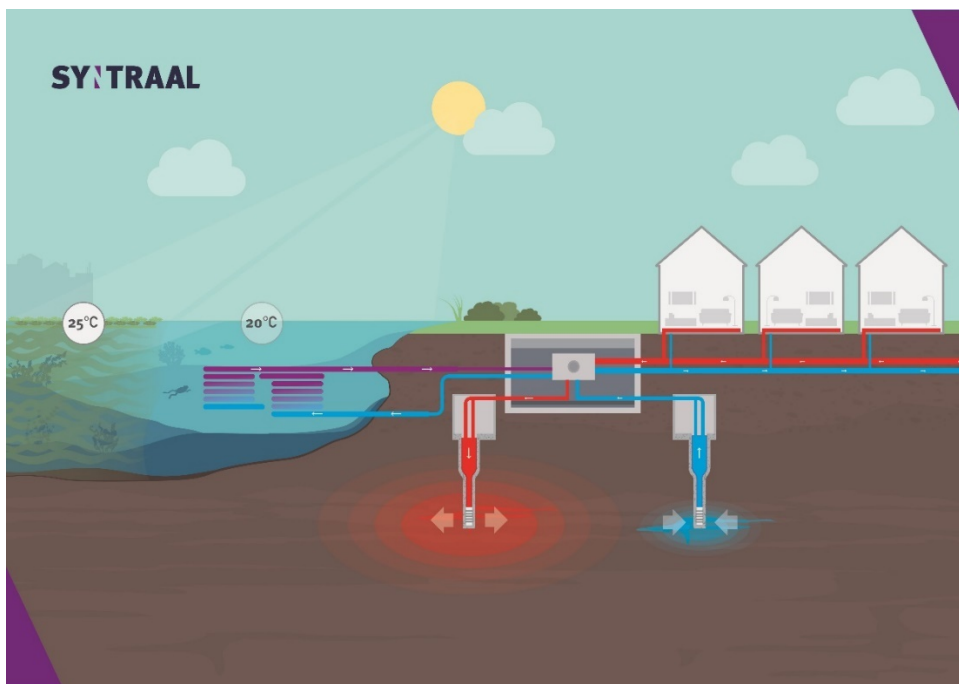
4 Energiematch en systeemontwerp

4.1 Energiematch

De totale warmtevraag voor Angerlo is 27.314 GJ per jaar vóór isolatie en 25.444 GJ per jaar na isolatie van de energielabel F/G woningen (zie hoofdstuk 2). Er is voldoende TEO potentie aanwezig om de WKO's te laden met lagetemperatuur (LT) warmte en Angerlo in haar energievraag te kunnen voorzien. De voorkeur gaat uit naar het Broekhuizerwater, deze heeft een potentie van ruim 34.000 GJ per jaar. Hierbij moet de kanttekening geplaatst worden dat de potentie van het Broekhuizerwater in de praktijk hoger of lager kan uitvallen afhankelijk van hoeveel warmte mag worden onttrokken. Dit zal afhangen van de randvoorwaarden bij vergunningverlening, zie ook hoofdstuk 5. Qua locatie is het Broekhuizerwater echter het meest geschikt en aquathermie zou ook nog een positief effect zou kunnen hebben op de waterkwaliteit. Om meer inzicht te verkrijgen in de vergunningstechnische (on)mogelijkheden zou nog een verdiepende analyse kunnen worden gedaan op de beschikbare temperatuurmetingen van het Broekhuizerwater. Een alternatief is warmtewinning uit de Oude IJssel, waar zeker voldoende potentieel is. Men kan dit zien als een fallback-optie ten opzichte van het voorkeursscenario.

4.2 Systeemkeuze

Er wordt gebruik gemaakt van warmtewinning uit oppervlaktewater in combinatie met seizoensopslag in open bodemenergiesystemen (WKO). Vanaf de WKO wordt via een collectief warmtenet warmte (en mogelijk ook koude) geleverd aan de gebouwen in Angerlo. Dit is principe in figuur 4.1 schematisch weergegeven.



Figuur 4.1 Schematische weergave TEO systeem met WKO

De vraag bij een warmtenet is welke aanvoer- en retourtemperatuur het meest gunstig is. Er zijn voor Angerlo 3 opties:

- **Middentemperatuurnet (MT)** | het gehele warmtenet uitgelegd op 70-75 °C aanvoertemperatuur en 40-45 °C retour, zonder individuele voorzieningen benodigd in de woningen
- **Bronnet ofwel zeer lage temperatuurnet (ZLT)** | het gehele warmtenet uitgelegd op 12-15 °C aanvoertemperatuur en 7-10 °C retour, met in iedere woning een eigen warmtepomp om de warmte op te waarden tot bruikbare temperatuur
- **MT-net met bronnet transportleiding** | een transportnet van de bron naar de dorpskern op brontemperatuur 12/7 °C, met centrale opwekvoorzieningen die de warmte verder verdelen via lokale distributienetten op 70/40 °C

In samenspraak met de regiegroep, de gemeente Zevenaar en woningcorporatie Plavei is gekozen voor de derde variant. De meeste woningen in Angerlo zijn reeds geschikt zijn om met 70/40 °C te verwarmen. Omdat de afstand naar de bron (Broekhuizerwater) fors is, is gekozen voor een ZLT transportleiding in plaats van MT, zodat warmteverliezen worden beperkt. Doordat gebruik wordt gemaakt van collectieve opwekstations zijn in principe geen individuele voorzieningen nodig in de woning.

Er is gesproken over de eerste variant, het hele warmtenet op MT-temperatuur. Hier zitten echter twee belangrijke nadelen aan. Ten eerste is de verwachting dat het aanleggen van een MT-distributienet inclusief opwekstation niet rendabel zal zijn in Angerlo-oost, gezien de lage bebouwingsdichtheid en een aantal woningen die al van het gas af zijn. Dit biedt dus geen goed perspectief voor een collectief warmtenet waarbij het hele dorp mee kan doen. Ten tweede zou bij deze configuratie de centrale opwekking van brontemperatuur naar MT-temperatuur moeten plaatsvinden tussen de bron en het begin van Angerlo (de Koppel). Om de aanlegkosten van de WKO's en leidingwerk betaalbaar te houden zouden dan ook de WKO's dichtbij de bron geplaatst moeten worden. Dit zou echter betekenen dat de WKO's grotendeels op privaat grondgebied zouden moeten worden geslagen, wat een groot risico is voor de businesscase. Minder risicovol is om de WKO's zoveel mogelijk in de openbare ruimte te plaatsen.

Er is ook overwogen om het gehele warmtenet op brontemperatuur aan te leggen. Een voordeel is dat hiermee naast warmte ook passief en actief kan worden gekoeld. Bovendien maakt elke woning gebruik van een eigen warmtepomp, waarmee het warmteniveau (en daarmee de energie-efficiëntie) per woning kan worden geregeld. Het kan dan ook voor individuele huishoudens lonen om de verwarmingstemperatuur te verlagen, dit geeft een extra prikkel om te investeren in verbetering van de energieprestatie van de woning. De keerzijde is dat elke woning dan een individuele warmtepomp nodig heeft, wat relatief duur is in realisatiekosten.

4.3 Systeemontwerp

4.3.1 Oppervlaktewatersysteem

Een systeem voor het winnen van warmte uit oppervlakte water bestaat uit de volgende hoofdcomponenten:

- Oppervlaktewater innamepunt voorzien van grof filter
- Frequentiegeregelde pompen dicht bij het innamepunt
- Filtering
- Warmtewisselaars
- Uitstroompunt
- Besturingssysteem en elektrische voeding

Een oppervlaktewatersysteem wordt zo dicht mogelijk bij het water geplaatst. Bij warmtewinning uit het Broekhuizerwater dus op een locatie nabij de duiker onder de N338. Deze ruimte wordt bij voorkeur (deels) ondergronds geplaatst. Zo is er een hogere voordruk voor de pompen.

We stellen voor om een behoorlijke afstand aan te houden tussen het instroom- en uitstroompunt van het oppervlaktewatersysteem (bijvoorbeeld 100 meter). Bij voorkeur wordt de uitstroming met de stromingsrichting van het oppervlaktewater mee geloosd, hierdoor wordt de kans op terugstroming (en dus de kans op inmenging van warme en koude stromen) geminimaliseerd. Verder is het aan te raden om het te onttrekken debiet uit het oppervlaktewater te koppelen aan de debietmeting bij de duiker (eventueel in combinatie met de temperatuur op het onttrekkingspunt), zodat het onttrokken debiet altijd kleiner of gelijk is aan het debiet wat door het Broekhuizerwater stroomt. Hierdoor is er geen terugstroming, of alleen terugstroming als de oppervlaktewatertemperatuur zelf dat toelaat.

4.3.2 Warmtenet tracé

Het warmtenet wordt uitgelegd op middentemperatuur (70/40 °C) met een brontemperatuur transportleiding (12/7 °C). Met behulp van rekenprogramma Comsof Heat is het meest gunstige tracé vastgesteld, te zien in figuur 4.2. Deze figuur is tevens in bijlage 1 opgenomen.



Figuur 4.2 Warmtenet tracé Angerlo

Naast de warmteleidingen zelf, bestaat het net ook uit enkele onderverdeelstations. In deze 'huisjes' staan de warmtepompen die de aangevoerde warmte (12 °C) opwerken tot ca. 70 °C. Verder staan hier de pompen en regelinstrumentatie waarmee de warmtestromen worden geregeld en naargelang de warmtevraag naar de verschillende woningen worden gestuurd. In de vaststelling van het tracé is uitgegaan van een maximale capaciteit van 2 MW per onderstation. De onderstations zijn vanuit technisch oogpunt zo optimaal mogelijk geplaatst. Er zal wel nog moeten worden gekeken of er op deze plaatsen voldoende ruimte is voor de onderstations.

4.3.2.1 Strategie Angerlo-oost

Opgemerkt dient te worden dat het niet rendabel is om een MT-distributienet aan te leggen in Angerlo-oost, gezien de lage warmtedichtheid. De reden dat dit niet rendabel is, is dat er dan relatief lange leidingtrajecten zouden moeten worden aangelegd voor relatief weinig woningen. Dit betekent hoge kosten en lage potentiële opbrengsten voor een investeerder. Kortom: een hoog investeringsrisico, zeker wanneer geen garantie kan worden gegeven hoeveel van deze woningen zullen aansluiten.

Omdat dit gedeelte van Angerlo zich bevindt op het pad tussen het Broekhuizerwater en de dichter bebouwde dorpskern, komt de transportleiding vanaf de TEO-bron sowieso vlak langs de huizen aan de Dorpsstraat en De Koppel. Een betere optie is daarom om de woningen ten oosten van de rotonde direct aan te sluiten op het transportnet. Het betreft 45 woningen. Met een kleine extra investering kunnen dan nog kleine aftakkingen en huisaansluitingen worden gemaakt zodat

ook de overige woningen in Angerlo-oost, bijvoorbeeld aan de Meester Waaijerstraat, Waterlelie en Gele Lis, kunnen worden aangesloten. De woningen in Angerlo-oost maken dan ieder gebruik van een eigen warmtepomp om de warmte op te waarderen van 12 °C naar 70 °C.

Het voordeel van deze strategie is dat de aan te leggen stukken leiding een bronnet betreffen, dit is goedkoper in aanleg dan een MT-net. Bovendien hoeven hoeft hiervoor geen apart opwekstation te worden gerealiseerd, omdat gebruik wordt gemaakt van individuele warmtepompen bij elke woning. Woningeigenaren in dit gebied kunnen aansluiten op een natuurlijk moment, zonder dat dit een grote negatieve impact heeft op de businesscase. In tegenstelling tot het aanleggen van een duurder net, waarbij de exploitant meer gebaat is bij zo snel mogelijk zo veel mogelijk aansluitingen realiseren. De woningen in Angerlo-oost die willen aansluiten, hebben als bijkomend voordeel dat de energierekening voordeliger kan uitvallen (omdat men zelf de eigen warmtepomp kan regelen) en er is een optie om ook in koeling te voorzien. De investering van de bewoner ligt echter wel hoger, omdat een warmtepomp moet worden aangeschaft.

4.3.2.2 Vermogensvraag en gelijktijdigheid

Over het gevraagde vermogen in het warmtenet mag een gelijktijdigheid worden aangenomen. Hiermee wordt bedoeld dat niet alle woningen op hetzelfde moment warmte zullen vragen voor ruimteverwarming of warm tapwater. Hoe hoger het aantal woningen wat aangesloten wordt, hoe hoger de gelijktijdigheidsfactor is.

Op basis van bovenstaand tracé en rekening houdend met verliezen, is de gelijktijdige vermogensvraag voor het totale systeem bepaald op 3.043 kW. De warmtevraag inclusief verliezen bedraagt circa 30.000 GJ.

Het net is opgedeeld in twee clusters met elk een eigen opwekstation:

- Cluster A – totale vermogensvraag 921 kW
- Cluster B – totale vermogensvraag 1.685 kW

Daarnaast hebben de woningen in Angerlo-oost een gezamenlijke vermogensvraag van 439 kW.

4.3.3 WKO systemen

Voor het totale systeem is een vermogensvraag van 3.043 kW en een bronenergievraag van 30.000 GJ opgegeven. Omdat de warmte echter wordt opgewerkt met warmtepompen (zij het centraal in de opwekstations of individueel in Angerlo-oost) is het vermogen wat de WKO's moeten kunnen leveren lager. Rekening houdend met een opgegeven COP-waarde van 3,0 van de warmtepompen resulteert dit in de volgende bodemzijdige vraag:

- Energievraag: 20.000 GJ (= 5.550 MWh)
- Piekvermogen: 2.028 kW

Om er zeker van te zijn dat de WKO's voldoende vermogen en energie kunnen leveren is uitgegaan van de volgende ontwerpcriteria:

- Situatie **diep** (Oosterhout; van -73 tot -120 m NAP)

- Energievraag: 20.000 GJ (= 5.550 MWh)
- Piekvermogen: 2.175 kW
- Temperatuurverschil (ΔT): 6,0 °C

Koudelevering is niet meegenomen in de WKO berekeningen, maar is wel mogelijk voor de woningen in Angerlo-oost die zijn aangesloten op het bronnet. De koudelevering vanuit de WKO's zou nader kunnen worden onderzocht.

Bij een aanvoertemperatuur van 65 - 70 °C hoort een COP van ongeveer 3 voor een dergelijk systeem. De COP (Coëfficiënt Of Performance) geeft de verhouding weer tussen de hoeveelheid warmte die de warmtepomp afgeeft en het energiegebruik van de warmtepomp. De COP van de warmtepomp is direct afhankelijk van de temperatuur van bron en de temperatuur na temperatuurverhoging (afzettemperatuur). Hoe groter het verschil tussen de bron- en afzettemperatuur, hoe lager de COP.

Het systeem is zodanig bedacht dat het in de zomer warmte uit oppervlaktewater haalt en in de warme bronnen laadt. Gemiddeld wordt een warme bel van ongeveer 17 à 18 °C gerealiseerd. Vervolgens wordt in de winterperiode de warmte onttrokken en aan de afnemende bebouwing geleverd. Het afgekoelde water wordt met ongeveer de achtergrondtemperatuur van de bodem (circa 11 °C) weer terug in de bodem gebracht (in de 'koude' bronnen). Dit levert een ΔT van 6 °C op.

Op basis van het piekvermogen en ΔT is vanuit de bronnen een maximaal debiet vereist van circa 310 m³/uur. De bodemopbouw bij Angerlo is echter niet geschikt om uit één bron 310 m³/uur te onttrekken. Op basis van een horizontale k-waarde van 6 m/dag, 40 m filterlengte en 500 mm filterdiameter zouden **6 doubletten** moeten worden geslagen om het benodigde debiet en vermogen te kunnen leveren. De boorgatdiameter is dan 800 mm.

Deze 6 doubletten zouden elk een vermogen kunnen leveren van circa 350 - 380 kW met een onttrekkingsdebiet van 50-55 m³/uur.

Alternatief kan worden gekozen voor 5 doubletten met een debiet van 60-65 m³/uur, dit past echter minder goed met de verdeling van de warmtevraag over de clusters waardoor de WKO's minder gunstig kunnen worden geplaatst. Dit is weliswaar goedkoper qua aanleg voor de WKO's maar resulteert wel weer in een kostenverhoging van het leidingwerk. Dit is een kostenafweging die nader zou kunnen worden onderzocht.

4.3.3.1 Positionering WKO's

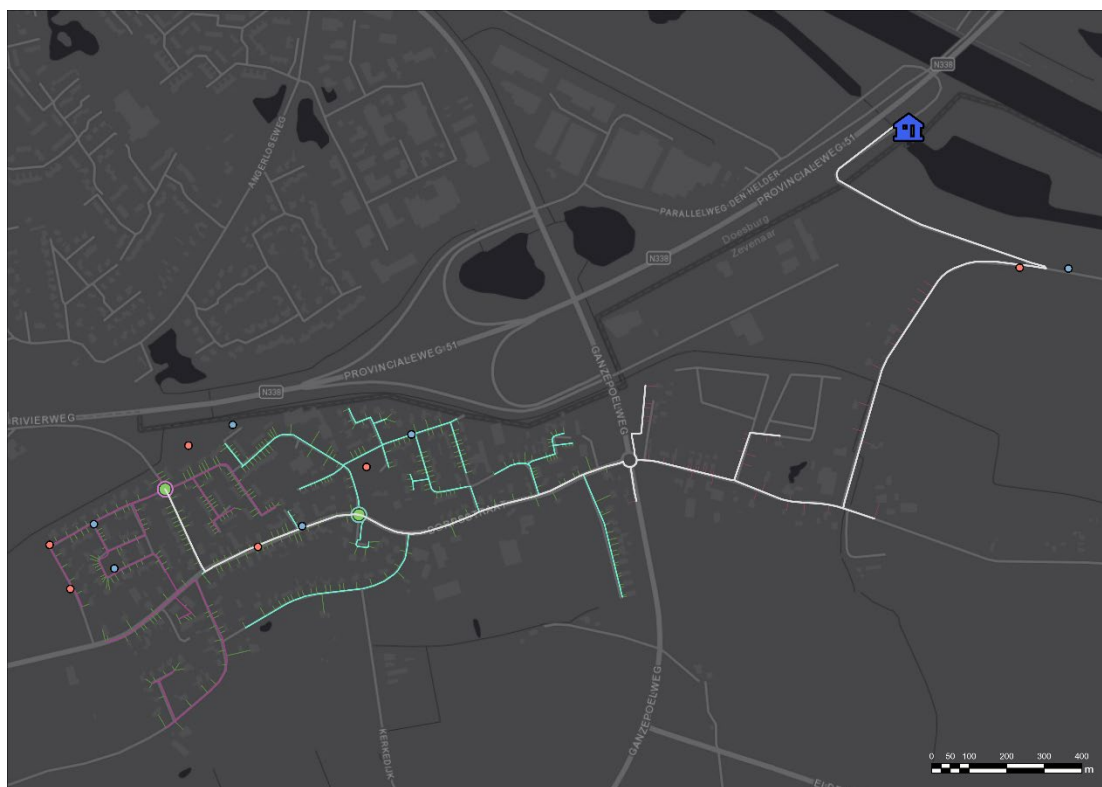
Voor deze dimensionering is een thermische straal berekend van circa 42 m per bron. Op basis van de richtlijn dienen de warme en koude bronnen circa 130 meter uit elkaar te staan (3x de thermische straal). De afzonderlijke warmtebronnen of koudebronnen kunnen onderling wel dichter bij elkaar gepositioneerd worden, omdat dit niet leidt tot verstoring maar juist tot een energetisch hoger rendement (de bronnen van dezelfde soort versterken elkaar). Belangrijk is dat

de warme en koude bronnen haaks georiënteerd liggen op de (west-)noordwestelijke richting van de grondwaterstroming.

De WKO's worden bij voorkeur zoveel mogelijk in de openbare ruimte geplaatst. Denk aan straten, groenstroken, binnenplaatsen of pleintjes waaronder een bron kan worden geslagen. Daarnaast worden de WKO's het best zo dicht mogelijk bij een opwekstation geplaatst, hierbij kan ruwweg de volgende verdeling worden aangehouden:

- Cluster A – 2 WKO's
- Cluster B – 3 WKO's
- Angerlo oost – 1 WKO

Dit komt goed overeen met het gevraagde vermogen voor deze drie clusters. Onderstaand is een globale suggestie gedaan van de mogelijke positionering van de WKO's. Een nadere optimalisatie van de positionering van de WKO's kan in een later stadium worden gemaakt.



Figuur 4.3 Indicatie positie WKO's, warme (rode) en koude (blauwe) bronnen, o.b.v. afstand 130 meter.

4.3.3.2 Fasering WKO's en warmtenet

Qua fasering ligt het meest voor de hand om van oost naar west te werken, zowel voor de aanleg van de WKO's als voor het warmtenet. Zo kan eerst het transportnet (grotendeels) worden gerealiseerd en kan de eerste WKO in Angerlo oost worden geslagen. Mogelijk zijn er koppelkansen met de warmtesystemen van de nieuwbouw van Plavei en BPD. Deze

nieuwbouwwoningen lenen zich ervoor om direct te worden aangesloten op het transportnet (bronnet) en mogelijk kan dit nog worden meegenomen in het ontwerp en de aanbesteding. Hiermee wordt al een gedeeltelijke afnamegarantie van warmte gecreëerd waardoor het volloopprijs lager wordt. Dit kan interessant voor een investeerder om zo al op korte termijn een start te maken met het warmtenet.

4.3.4 Afstemming oppervlaktewater en WKO's

Voor de regeneratie van de WKO's in de zomermaanden dient de warmte-onttrekking uit het Broekhuizerwater te worden afgestemd op de capaciteit van de WKO's. De totale te regenereren warmtevraag bedraagt 5.550 MWh. Uitgaande van het maximale laadvermogen van de 6 doubletten samen dient er dus een TEO warmtewisselaar geïnstalleerd te worden van circa 2.175 kW. In dit geval zouden ongeveer 2.550 vollasturen nodig zijn om de bronnen te regenereren, dit is zeker haalbaar (normaliter wordt gerekend met 2.600 vollasturen voor TEO). Bij een temperatuuronttrekking van 3 °C is het onttrekkingsdebiet dan gelijk aan circa 623 m³/uur.

De uiteindelijke dimensionering van het systeem zal een afweging zijn tussen het onttrekkingsdebiet en de temperatuuronttrekking (ΔT). Hoe groter het debiet dat onttrokken wordt, hoe kleiner de ΔT , maar hoe groter (en duurder) het systeem. Daarnaast dient rekening te worden gehouden met de ecologische effecten. De temperatuurdaling van het water (gevolg van de koudelozing bij de uitlaat van de warmtewisselaar) is hierbij van belang voor de vergunningverlening.

Voor het opstellen van de pompen voor de warmteonttrekking moet rekening worden gehouden met een kelder van circa 50-100 m². Er kan ook gekozen worden voor een huisje met een deel ondergronds (de pompen) en een deel bovengronds.

Aandachtspunt is wat er dient te gebeuren met het filtraat uit de filtering. Mag dit teruggevoerd worden naar het oppervlaktewater (als aparte stroom of opgemixt in de stroom die de warmtewisselaar verlaat) of moet dit geloosd worden in het riool? Het is in principe oppervlaktewater eigen materiaal (er wordt verder ook niets aan toegevoegd), maar het is verstandig dit met het waterschap af te stemmen, omdat het afvoeren een kostenpost zou kunnen zijn. Vooralsnog gaan we ervan uit dat dit weer teruggevoerd mag worden op het oppervlaktewater.

Tabel 4.1: Onderdelen bronnet systeem Angerlo

Vermogensvraag TEO systeem (kW)	2.175
Onttrekkingsdebiet TEO systeem (m³/uur)	623
Vollasturen laden WKO april – september	2.550
Capaciteit WKO systeem totaal (m³/uur)	300 - 325
Capaciteit WKO systeem per doublet (m³/uur)	50 - 55
Warmte te onttrekken uit oppervlaktewater (GJ/jaar)	20.000
Bronvermogen WKO en input bronnet (kW)	2.175
Totaal geleverde warmte (GJ/jaar)	30.000

4.3.5 Woningen

Om aan te sluiten op een warmtenet dienen de juiste afleversets in de woning te worden geïnstalleerd. Bij de woningen in Angerlo oost is dit een individuele warmtepomp per woning; voor de overige woningen bestaat dit uit een MT-afleverset. Ook de warmtemeter wordt natuurlijk vervangen. Soms zijn ook in pandige aanpassingen nodig om het nieuwe leidingwerk te kunnen aanbrengen (bijvoorbeeld wanneer de warmteleiding van de kelder naar de cv-installatie op zolder moet worden gevoerd). Een warmteleiding is immers groter dan een gasleiding.

Verder moet voor aardgasvrij wonen een inductiekookplaat worden geïnstalleerd. Vaak moet een Perilex stopcontact worden aangelegd en moet de groepenkast worden aangepast. Voor een warmtepomp is sowieso een 3-fase (3x 25 Ampère) aansluiting nodig.

4.3.5.1 Radiatoren

De meeste woningen in Angerlo zijn qua energieprofiel en isolatiegraad al geschikt voor een warmtenet op middentemperatuur (70/40 °C). Voor sommige (met name slechter geïsoleerde, oudere en grotere) woningen is deze temperatuur echter nog te laag. De bepalende factor hierbij is het vermogen wat kan worden geleverd bij een bepaalde aanvoer- en retourtemperatuur van het warmte-afgiftesysteem. Radiatoren werden in de jaren 70 een populaire optie voor verwarming en werden veelal ontworpen op hoge aanvoertemperaturen. Bij lagere aanvoertemperaturen daalt het afgegeven vermogen significant.

De invloed van de aanvoer- en retourtemperatuur op het geleverde vermogen van een radiator is weergegeven in tabel 4.2, waarbij het vermogen is gegeven als percentage van het vermogen bij een aanvoertemperatuur van 80 °C en een retourtemperatuur van 60 °C.

Te zien is dat wanneer een radiator wordt aangesloten op een middentemperatuurnet van 70/40 °C, er nog steeds 58% van het vermogen kan worden afgegeven ten opzichte van een 80/60 °C cv-systeem. Bij gebruik van een eigen warmtepomp (ongeveer 65/45 °C) kan zelfs 61% van het vermogen worden afgegeven, vanwege de lagere ΔT .

Wanneer het technisch mogelijk is om een woning met een aansluiting op een 70/40 net te verwarmen, is het dus ook zeker mogelijk aan te sluiten op een bronnet in combinatie met een eigen warmtepomp.

Tabel 4.2 Invloed van aanvoer- en retourtemperatuur van de verwarming op het af te geven vermogen bij een ruimtetemperatuur van 20°C, op basis van informatie van Radson.

Aanvoertemperatuur [°C]	Retourtemperatuur [°C]	Percentage van oorspronkelijk geïnstalleerd vermogen ² [%]
90	70	125
80	60	100
70	40	58

² Op basis van 80 °C aanvoertemperatuur en 60 °C retourtemperatuur

Aanvoertemperatuur [°C]	Retourtemperatuur [°C]	Percentage van oorspronkelijk geïnstalleerd vermogen ² [%]
65	45	61
55	35	38
55	45	51
65	55	75

Hoe dan ook is het geleverde vermogen zo'n 40% lager dan 80/60 °C (uitgangspunt voor de huidige situatie), dus zal de vermogensvraag gereduceerd moeten worden. Aangezien het geïnstalleerde vermogen radiatorvermogen vrijwel altijd overgedimensioneerd is, kan men vaak de woning nog goed verwarmen met iets lagere temperatuur (iets lager vermogen).

Hoe dan ook moet in beide gevallen zo'n 30% vermogensvraag worden gereduceerd om op een warmtenet te kunnen worden aangesloten.

4.3.5.2 Isolatie en alternatieve reductie vermogensvraag

Het is een misvatting dat altijd per definitie geïsoleerd moet worden om aan te kunnen sluiten op een warmtenet. Zoals gezegd zijn radiatoren vrijwel altijd overgedimensioneerd en kan men vaak de temperatuur iets terugschroeven. Mocht dit nog onvoldoende vermogensreductie geven, dan zijn er nog drie opties om met lagere temperatuur te verwarmen:

1. Monteer ventilatoren op de radiatoren, om de warmteoverdracht te verhogen. De climatebooster (climatebooster.nl) is hier een voorbeeld van. Deze is vooral toepasbaar voor 2- en 3-bladige radiatoren (type 20, 21, 22, 31, etc.) en niet voor enkelbladige radiatoren. De aanvoertemperatuur kan volgens de fabrikant hiermee met circa 15°C worden verlaagd. Dit kan soms net genoeg zijn om wel met 70/40 °C uit de voeten te kunnen.
2. Vervang de radiatoren door "grotere" radiatoren (dit kan ook van type 11 naar type 21 zijn), of een ander warmte-afgiftesysteem zoals geblazen convectoren of vloerverwarming (voor de laatste is vaak een flinke renovatie nodig).
3. Schakel een andere warmteopwekker na de radiator (bijvoorbeeld luchtverwarming).

4.3.6 Back-upvoorziening

Door de combinatie met 6 WKO doubletten is het systeem vrij stabiel, waardoor ook bij uitval van een van de WKO's over het algemeen voldoende vermogen zal kunnen worden geleverd. Bovendien zijn de WKO's en warmtepompen in deze studie ruim gedimensioneerd zodat ook bij streng weer voldoende warmte kan worden geleverd aan de gebouwen. Verder worden de collectieve warmtepompen redundant uitgevoerd (dat wil zeggen dubbele opstelling, of zelfs tripel) zodat bij een storing of defect een back-up warmtepomp aanwezig is die dan kan inschakelen. Al met al is er dus sprake van een erg stabiel systeem waardoor geen extra back-up of piekvoorziening nodig is. Mocht onverhoopt op een extreem koude dag toch een WKO uitvallen, dan is het meest kosteneffectief om met een tijdelijke oplossing te werken, zoals een huurketel die wordt bijgeplaatst in de centrale opwekstations. Deze kosten zijn incidenteel en komen zelden voor, en zijn daarom niet meegenomen in de businesscase.

4.4 Mogelijkheden voor koeling

Een MT-net levert warmwater en is daarmee niet geschikt voor eventuele koeling van de woningen. Wil men de woningen op het MT-net wel koelen dan zou een apart leidingnet moeten worden aangelegd vanuit de WKO's waarmee passief wordt gekoeld. Hiervoor dienen de woningen echter wel te zijn uitgerust met lagetemperatuur afgifte-installaties zoals convectoren of vloerverwarming, terwijl voor een MT-net gewoon nog gebruik kan worden gemaakt van radiatoren. Voor de woningen op het MT-net is koeling dus niet interessant / haalbaar.

Voor de woningen in Angerlo oost is koelen wel een optie, omdat water met 12 °C aan de woningen wordt geleverd. Hiermee kan passief worden gekoeld, of actief als de warmtepomp wordt 'omgedraaid' tot koudepomp. De meeste warmtepompen hebben deze optie. Ook hier geldt dat wel een hoge isolatiegraad en het juiste afgiftesysteem (convectoren of vloerverwarming) aanwezig moeten zijn.

Koeling is verder niet meegenomen in de businesscase en daarom ook niet in het ontwerp van het warmtenet, de WKO's en TEO installatie. Wordt koeling wel meegenomen in het ontwerp, dan hoeft er 's zomers minder warmte te worden onttrokken uit de TEO installatie. De WKO wordt dan immers deels geregenereerd met de warmte die in de zomer wordt onttrokken uit de woningen.

5 Aandachtspunten en vergunbaarheid

In dit hoofdstuk wordt beschreven welke aandachtspunten een oppervlaktewater- en WKO-systeem heeft bij het aanvragen van een vergunning. Voor het Waterschap Rijn en IJssel is vooral de waterkwaliteit van het oppervlakte- en grondwater alsmede de impact op de ecologie van belang. Zo deze elementen in stand worden gehouden zal het systeem hoogstwaarschijnlijk vergunbaar zijn.

5.1 TEO systeem

De gegevens uit hoofdstuk 4 (beschrijving debieten, temperatuurdaling en hoeveelheid onttrokken warmte) kunnen gebruikt worden voor de vergunningaanvraag. Aanvullend kunnen eventuele ecologische effecten van het systeem ingeschat worden. Daarnaast dient men rekening te houden met het beheer van kades, oevers en watergangen (wordt verder uitgewerkt in de ontwerpfase), de integriteit van de primaire waterkeringen, en de waterinname- en lozingsvoorzieningen (filters, mechanisch reinigen). Aan de andere kant is het belangrijk om bij de vergunningaanvraag de voordelen van het systeem te beschrijven zoals het verkleinen van het risico van algenbloei en het ontstaan van botulisme.

5.1.1 Ecologische effecten

5.1.1.1 Aquatische ecologie

Om het effect van warmtewinning uit oppervlaktewater te bepalen op de waterkwaliteit zijn vooral de effecten van warmteonttrekking op de (aquatische) ecologie van belang. Helaas is er op dit moment nog weinig kennis van deze effecten, om deze reden wordt er momenteel een toetsingskader ontwikkeld voor koudelozingen (oftewel warmteonttrekkingen) door STOWA, Witteveen & Bos en AT Osborne. Het doel is om dit toetsingskader nu en in de toekomst aan te vullen met criteria uit wetenschappelijk onderzoek en door middel van praktijkervaringen en monitoringsresultaten. Het toetsingskader heeft als doel om vergunninghouders te ondersteunen bij vergunningverlening voor oppervlaktewatersystemen. Dit toetsingskader is slechts een richtlijn, elke situatie dient nader onderzocht te worden. Het toetsingskader heeft niet als doel om pilotprojecten te remmen, maar om juist te stimuleren.

Het eerste concept van dit toetsingskader is nog niet beschikbaar. Wel weten we op grote lijnen waar rekening mee gehouden dient te worden:

- Definitie type waterlichaam bepaalt de ecologische gevoeligheid van het waterlichaam
- Op basis van de ecologische gevoeligheid wordt de mengzone³ bepaald
- De mengzone is afhankelijk van de delta T (verschil watertemperatuur geloosd water en de achtergrondtemperatuur), van het onttrekkings- en lozingsdebiet, en de stroomsnelheid (debiet) van het oppervlaktewater.
- Als de diepte beperkt is, zal het waarschijnlijk niet toegestaan zijn om warmte te onttrekken als de watertemperatuur lager is dan 10 °C

³ De mengzone is (tot nu toe) gedefinieerd als het gebied waarin de temperatuur meer dan 5 °C is afgekoeld ten opzichte van de achtergrondtemperatuur bij grote wateren en meer dan 3 °C bij kleine wateren zoals sloten.

Er zijn op dit moment nog geen toetsingsformules beschikbaar om de mengzone te bepalen. Deze is vooral goed te bepalen door deze in het veld te meten of te modelleren. In het vervolgtraject (optimalisatie oppervlaktewater- en WKO systeem) dient aandacht besteed te worden aan deze mengzone.

Voor deze studie is gesproken met het Waterschap Rijn en IJssel om een eerste inschatting te krijgen of er bezwaren te verwachten zijn bij de voorgenomen warmte-onttrekking. Het Waterschap heeft aangegeven dat er geen principiële bezwaren zijn. Ook kan zij nog geen algemene uitspraken doen over koudelozingen omdat bovengenoemd toetsingskader nog niet beschikbaar is. Wel zal er bij de daadwerkelijke vergunningaanvraag een ecologische toets worden gedaan door het Waterschap waaruit zal moeten blijken of de er ecologische effecten te verwachten zijn en of deze toelaatbaar zijn. De inschatting is dat het Broekhuizerwater geen hoge ecologische waarde zal hebben, wat dus mogelijkheden biedt voor de warmtewinning uit dit oppervlaktewater.

5.1.1.2 Overige ecologie

Verder dient ook rekening te worden gehouden met de eventuele aanwezigheid van vogelsoorten bij het Broekhuizerwater. Warmtewinning vindt doorgaans plaats in het broedseizoen voor vogels (voorjaar en zomer) en gaat gepaard met enig geluid (met name van de pompen). Als dit gebeurt in de buurt van een broedgebied kan dit negatieve effecten hebben op het broedgedrag. Hoewel het gebied ten zuiden van het Broekhuizerwater onderdeel is van het Gelders Natuurnetwerk lijkt het dat dit doorgaans ook wordt gebruikt voor landbouw, wat suggereert dat er geen directe bezwaren zijn tegen enige bedrijvigheid. Dit is echter nog niet in detail onderzocht in het kader van deze haalbaarheidsstudie en zou in een vervolgtraject nader moeten worden onderzocht.

5.1.2 Infrastructurele aspecten

Een aandachtspunt bij vergunningverlening is de integriteit van de dijken. Het Broekhuizerwater ligt namelijk buitendijks, waardoor een warmteleiding over of door de dijk zal moeten lopen om bij de dorpskern te komen.

Er is vrij strikte regelgeving omtrent primaire waterkeringen en leidingen door dijken zijn maar beperkt toegestaan. De betreffende dijk is in beheer van het Waterschap Rijn en IJssel. In een verkennend overleg gaf het Waterschap echter aan dat zij niet per definitie bezwaar heeft tegen het doorvoeren van (een) warmteleiding(en) door of onder een primaire waterkering, mits het maatschappelijk belang hiervan voldoende kan worden aangetoond. De urgentie van het aardgasvrij worden van woningen is een voorbeeld van zo'n maatschappelijk belang. Belangrijk is dat in de vergunningaanvraag kan worden aangetoond dat de integriteit van de waterkering niet negatief wordt beïnvloed. Een optie zou kunnen zijn om de leiding onder het dijklichaam door te laten lopen. Eventueel kan men ook overwegen het lozingspunt binnendijks te leggen (bijvoorbeeld bij het Bevermeergemaal), om het aantal leidingen door de dijk te beperken. Dit dient in het ontwerp nader te worden onderzocht en onderbouwd.

Ook voor de fallback-optie, de Oude IJssel, geldt dit als aandachtspunt. Er is ook gekeken naar binnendijkse wateren voor warmtewinning, maar deze hebben helaas niet voldoende energiepotentie.

Een laatste aandachtspunt is de locatie van de TEO-warmtewisselaar, een deel van de duiker onder de N338 valt namelijk binnen de gemeentegrenzen van de gemeente Doesburg. Afhankelijk van waar in het Broekhuizerwater het inname- en lozingspunt precies worden gerealiseerd, dient dit te worden afgestemd met de gemeente Doesburg.

5.2 WKO systeem

Voor de vergunningaanvraag van een WKO systeem gelden al richtlijnen. Afhankelijk van het lokale beleid kan rondom de primaire watergangen een beschermingszone zijn aangewezen. Voor het plaatsen van een WKO systeem binnen de beschermingszone, geldt een vergunningplicht. Overleg met het waterschap is hierbij verstandig in het kader van het beheer en onderhoud en de aan- en afvoer van het water.

Vanuit de Waterwet is het bovendien verplicht om een vergunning aan te vragen voor open bodemenergiesystemen (WKO's). De provincie (of uitvoerende Omgevingsdienst) is hiervoor het bevoegd gezag. Naast de systeemkenmerken (debieten, waterbezwaar, diepte bronfilters, aantal bronnen, etc.) is het van belang om de omgevingseffecten in beeld te brengen. Middels een grondwatermodellering, inclusief thermische modelberekening, kan bepaald worden wat de (hydrologische en geothermische) effecten zijn op onder meer omliggende natuur, landbouw, archeologie, overige onttrekkingen en/of bodemenergiesystemen, verontreinigingen, etc. In de basis dient een open bodemenergiesysteem langjarig thermisch in balans te zijn. Alleen onder bepaalde voorwaarden (met goedkeuring van de provincie) mag een koudeoverschot worden gerealiseerd. Zoals nu ontworpen is het systeem echter (in theorie) in balans.

Bij het uitvoeren van de modellering kan tevens bepaald worden wat de meest optimale positionering van de bronnen is, zodat er geen negatieve interferentie (zowel tussen de onderlinge bronnen als tussen andere open bodemenergiesystemen) optreedt. Idealiter worden de bronnen in openbaar terrein geplaatst, waarbij deze zo optimaal mogelijk gepositioneerd zijn ten opzichte van de opwekstations / energieafnemers.

6 Businesscase

6.1 Inleiding

Om inzicht te geven in de financiële haalbaarheid van het warmtenet is in dit hoofdstuk de businesscase uitgewerkt. Omdat een warmtenet zich meestal niet terugverdient (er is vaak sprake van een onrendabele top) wordt niet gekeken naar de terugverdientijd, maar is de businesscase opgesteld met twee andere methoden.

6.1.1 Investeerders

Vanuit een burgerinitiatief is de coöperatie Angerlo Duurzaam opgezet. Het idee hiervan is om de warmtetransitie op een collectieve manier te bewerkstelligen waarbij heel Angerlo mee kan doen. Het idee is dat ook de coöperatie een aandeel zal hebben in de investering en exploitatie van het warmtenet. Dit zal zij waarschijnlijk echter niet alleen kunnen doen en er zal dus een mede-investeerder moeten worden gezocht, bijvoorbeeld een commerciële marktpartij (warmteleverancier). Een alternatief is dat het warmtenet volledig door een derde partij wordt aangelegd en geëxploiteerd.

6.1.2 Total Cost of Ownership (TCO)

Ten eerste is gekeken naar de Total Cost of Ownership (TCO). De scope van deze benadering is het hele systeem, zowel de bewonerskant als de warmtenet-exploitant. Uitgangspunt is dat de onderhoudskosten en afschrijving van het collectieve gedeelte 1-op-1 worden doorberekend naar de bewoners, plus een bepaalde rente- en winstmarge. Hierbij worden de kosten over de levensduur van het warmtenet berekend, inclusief een bepaalde winstmarge. Deze winstmarge is belangrijk om mee te nemen omdat hierin ook het risico voor de investeerder verdisconteerd zit. Dit wordt vervolgens vergeleken met de kosten van het huidige gassysteem.

Een nadeel van de TCO benadering is dat het iets complexer is om het volloopsценario goed door te rekenen. Gemakshalve wordt daarom aangenomen dat 100% van de woningen aansluit op het warmtenet.

6.1.3 Netto Contante Waarde (NCW)

Voor de volledigheid is ook een berekening gemaakt van de Netto Contante Waarde (NCW) van het warmtenet. Dit is een andere benadering, met als hoofddoel om de businesscase vanuit het perspectief van de exploitant inzichtelijk te maken. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de warmteleveringstarieven volgens de Warmtewet. Bij deze methode worden de cumulatieve kosten en baten van de investering en exploitatie per jaar contant gemaakt en bij elkaar opgeteld. Dit maakt het mogelijk om te beoordelen of de opbrengsten op termijn de kosten van nu kunnen dekken.

Het voordeel van deze methode is dat gemakkelijk kan worden gerekend met een volloopsценario: wat als niet alle woningen in Angerlo willen aansluiten op het warmtenet? Een nadeel is dat de businesscase wordt berekend uit het perspectief van de exploitant. De kosten die de bewoner maakt worden hierin dus niet meegerekend.

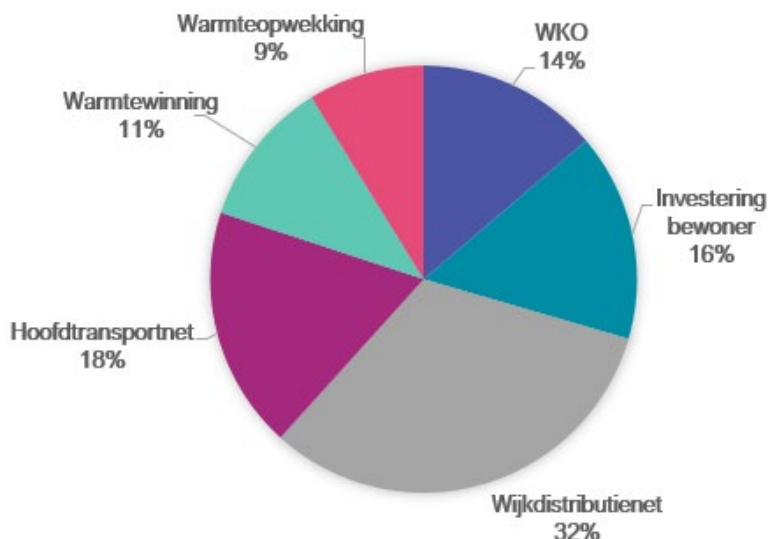
Bij beide benaderingen worden de kosten en inkomsten geïndexeerd voor inflatie en prijsstijgingen of dalingen.

6.2 Investeringskosten

Op basis van het ontwerp beschreven in hoofdstuk 4 zijn de kosten van het warmtenet bepaald. Onderstaand zijn de materiaalkosten voor het warmtenet samengevat, hierin is een onderverdeling gemaakt van de verschillende kostencomponenten. In bijlage 3 zijn de kostencomponenten verder uitgesplitst.

Tabel 6.1 Materiaalkosten voor warmtenet Angerlo (excl. BTW)

	EUR (excl. BTW)
WKO	€ 1.643,500
Investering bewoner	€ 1.874,296
Wijkdistributienet	€ 3.840,054
Hoofdtransportnet	€ 2.186,112
Warmtewinning	€ 1.330,000
Warmteopwekking	€ 1.050,000
Totale materiaalkosten	€ 11.923,962
Gemiddelde materiaalkosten per woning	€ 25.316,00



Figuur 6.1 Verdeling kostencomponenten

Bovenop de materiaalkosten komen voor de realisatie van het warmtenet nog overige kostenposten zoals projectmanagement en advies, projectvoorbereiding, vergunningen (leges). Tezamen moet rekening gehouden worden zo'n 25% projectkosten. Daarnaast moet nog rekening

worden gehouden met 15% onvoorziene kosten. In onderstaande tabel is het totaal aan realisatiekosten gegeven.

Tabel 6.2 Totale investeringskosten realisatie warmtenet (excl. BTW)

	EUR (excl. BTW)
Investeringskosten materiaal	€ 11.923.962
Projectkosten (25%)	€ 2.980.990
Onvoorzien (15%)	€ 1.788.594
Totale realisatiekosten	€ 16.693.546
Totale realisatiekosten per huishouden	€ 35.443

De investering voor bewoners is onderstaand nader toegelicht (eveneens te zien in bijlage 3). Eventuele kosten voor isolatie, benodigd om op 65 à 70 °C te kunnen stoken, zijn hierin niet meegenomen.

Tabel 6.3 Investering bewoners (excl. BTW)

	EUR per woning (excl. BTW)
<u>MT-aansluiting</u>	
Inductiekookplaat + aanleg stopcontact	€ 705
Aanpassing groepenkast voor inductie	€ 290
MT afleverset	€ 2.500
Overige aansluitkosten / in pandige aanpassingen	€ 2.500
ISDE ⁴	€ -2.748
Totaal	€ 3.247
<u>Warmtepomp + bronnet aansluiting</u>	
Inductiekookplaat + aanleg stopcontact	€ 705
Verzwarende elektriciteitsaansluiting 3x25A	€ 269
Nieuwe groepenkast 3-fase	€ 1.653
Warmtepomp	€ 8.264
ISDE ⁵	€ -2.479
Overige aansluitkosten / in pandige aanpassingen ⁶	€ 2.500
Totaal	€ 10.912

⁴ Voor aansluiten op een warmtenet is uitgegaan van een subsidie van EUR 3.325 inclusief BTW.

⁵ Voor warmtepompen is uitgegaan van een subsidie van EUR 3.000 inclusief BTW.

⁶ Bouwkundige aanpassingen, om het leidingwerk van de voordeur naar de afleverinstallatie mogelijk te maken.

6.3 Total Cost of Ownership

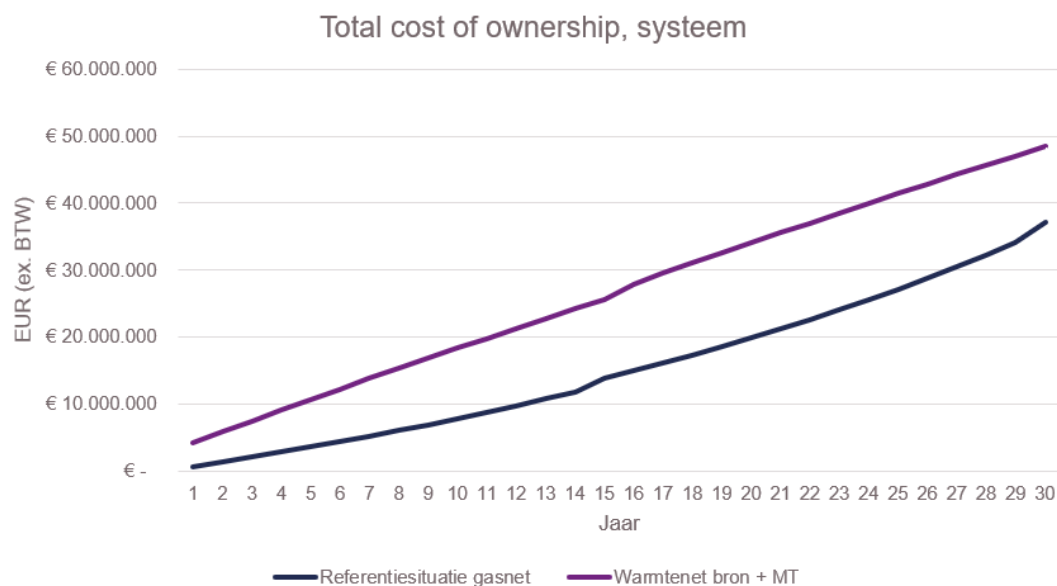
De exploitatiekosten bestaan voornamelijk uit elektrische energie voor de warmtepompen (zowel collectief als individueel) en de onderhoudskosten. Voor het berekenen van de total cost of ownership is uitgegaan van een levensduur van 30 jaar van het leidingwerk en WKO bronnen, en 15 jaar voor de warmtepompen, pompen, regelingen en het TEO systeem.

Kosten van het leidingnet en bronnen zijn niet gegeven als investering aan het begin van het project, maar als lineaire afschrijving over de levensduur. Het risico van de investering zit verdisconteerd in de winstmarge en rente over de investering. Uitgangspunt is dat deze deels op coöperatieve wijze wordt geëxploiteerd door bijvoorbeeld de coöperatie Angerlo Duurzaam met mede-investering van een commerciële exploitant. Verder zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

• Afschrijving leidingnet en WKO bronnen:	30 jaar
• Afschrijving (warmte)pompen, regelingen, TEO systeem:	15 jaar
• Rente:	4%
• Winstmarge:	8%
• Jaarlijkse onderhoudskosten leidingnet:	0,5%
• Jaarlijkse onderhoudskosten warmteopwekking:	3,5%
• Onderhoud warmtepomp (bewoner):	2,5%
• COP centrale warmtepomp (t.b.v. elektraverbruik):	3,5
• COP individuele warmtepomp (t.b.v. elektraverbruik):	3
• Inflatie:	2% per jaar
• Tarief aardgas bewoner:	€ 0,76 per m ³
• Tarief elektra bewoner:	€ 0,22 per kWh
• Tarief elektra collectief:	€ 0,08 per kWh
• Stijging aardgasprijs variabel:	4% per jaar
• Inflatie elektriciteitsprijs bewoner:	-
• Inflatie elektriciteitsprijs collectief:	2% per jaar

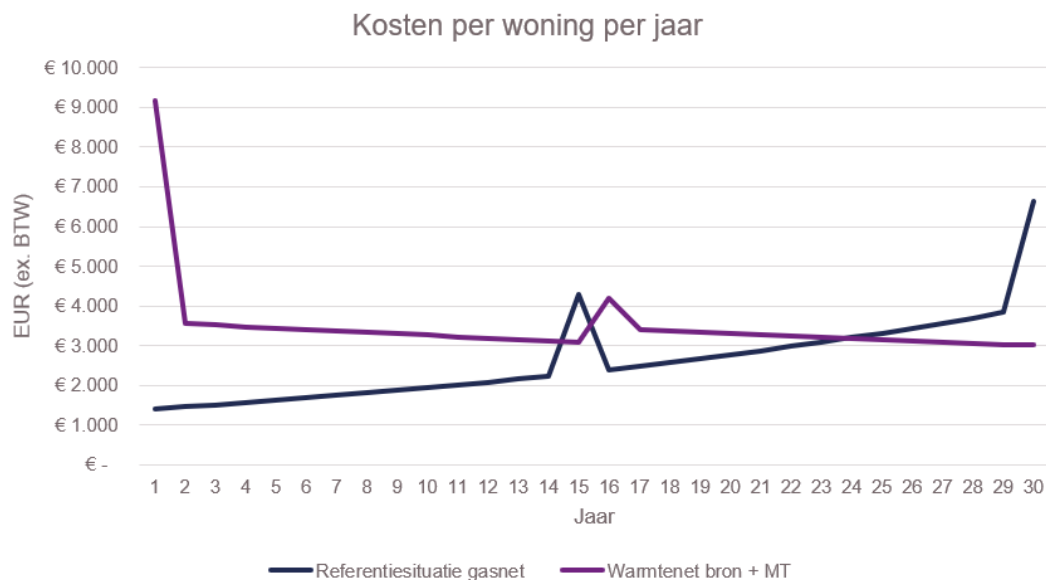
Gemakshalve is uitgegaan van een aansluitpercentage van 100% vanaf het begin. Dit is een overschatting, maar geeft een goede indicatie van de minimaal te verwachten onrendabele top.

Met deze uitgangspunten blijkt uit de berekeningen dat het systeem helaas niet kan worden terugverdiend binnen een termijn van 30 jaar. De totale kosten van het systeem over een looptijd van 30 jaar bedragen ongeveer € 48.425.000. Voor het huidige aardgassysteem is dit ongeveer € 37.143.000. Dit is te zien in onderstaande figuur.



Figuur 6.2 TCO van warmtenet vergeleken met referentiesituatie aardgas, levensduur van 30 jaar.

Ook in de kosten per woning is dit terug te zien. De totale kosten per woning over 30 jaar looptijd bedragen € 104.463 tegenover € 78.859 voor aardgas. In onderstaande figuur zijn ook de jaarlijkse kosten per woning weergegeven. Met de huidige tarieven worden de jaarlijkse kosten van het warmtenet pas in het 24^e jaar concurrerend met het aardgassysteem.



Figuur 6.3 Jaarlijkse kosten per woning, levensduur 30 jaar

6.4 Netto Contante Waarde

Voor de berekening van de netto contante waarde zijn een aantal scenario's doorgerekend:

- Exploitatie door een commercieel warmtebedrijf
- Exploitatie door een commercieel warmtebedrijf met extra kostendekkingsbijdrage
- Exploitatie door coöperatie Angerlo Duurzaam (zonder winstoogmerk)

Voor de eerste twee scenario's moet het project winstgevend zijn en is gerekend met een discontovoet van 8%. Voor het laatste scenario is een discontovoet van 4% gehanteerd; deels zal de discontovoet lager liggen omdat de coöperatie Angerlo Duurzaam geen winstoogmerk heeft, anderzijds zal wel de rente op een (duurzaamheids)lening moeten worden terugverdiend en zal een mede-investeerder wel een projectrendement willen halen. Verder is rekening gehouden met 2% inflatie voor kosten, 3% inflatie voor jaarlijkse warmtetarieven (hierin zitten aardgas- en warmteprijsstijgingen en dalingen verdisconteerd) en 2% inflatie voor eenmalige aansluitkosten.

Scenario 2 vereist enige extra uitleg. Om de investeringskosten in het warmtenet te kunnen terugverdienen mag het warmtebedrijf een eenmalige aansluitbijdrage vragen. Deze zogeheten bijdrage aansluitkosten (BAK) bestaat uit twee delen, namelijk:

- Aansluitbijdrage (AB) – gereguleerd door de ACM⁷, maximaal € 4.878,04 incl. BTW
- Kostendekkingsbijdrage (KDB) – ongereguleerd, te bepalen door de exploitant

In scenario 2 is rekening gehouden met een totale BAK van € 10.000 per woning, dus een KDB van € 5.121,96 incl. BTW.

Voor elk scenario is in eerste instantie gekeken naar het volloopsценario. Hierbij is ervan uitgegaan dat:

- 75% van de woningen vanaf het begin wordt aangesloten
- 80% van de woningen is aangesloten na 10 jaar
- 85% van de woningen is aangesloten na 15 jaar tot het einde van de levensduur (30 jaar)

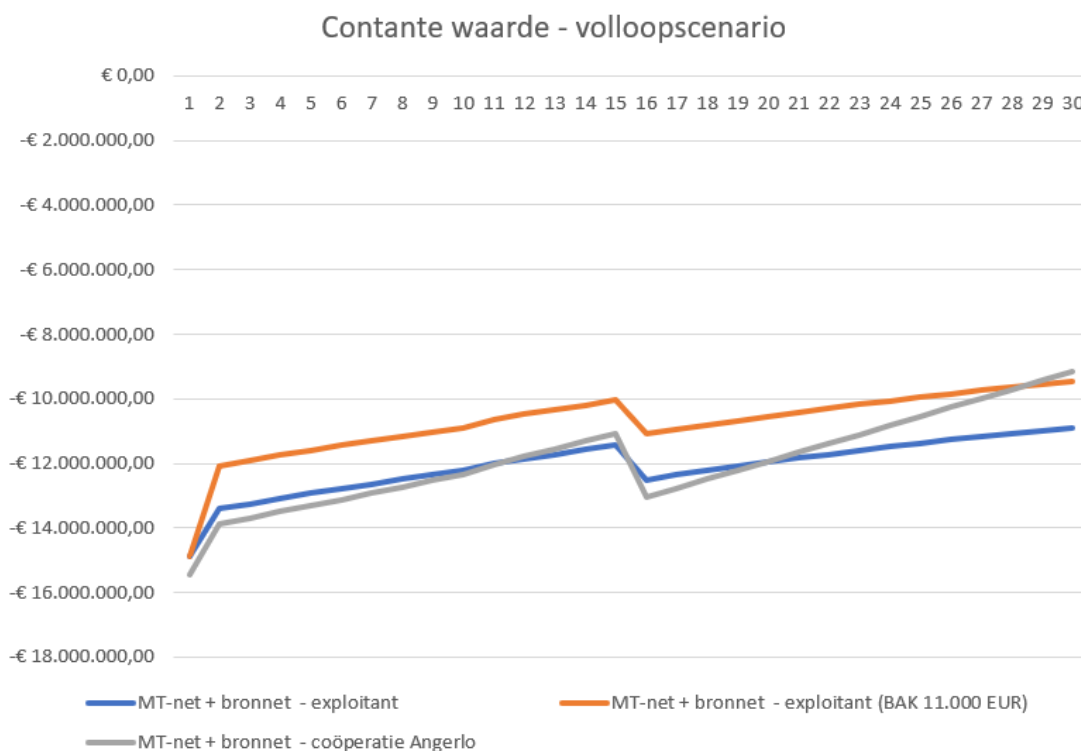
Verder zijn de maximale warmtetarieven, zoals vastgesteld door de ACM, gehanteerd.

Tabel 6.4 Tarieven ACM 2021

	Eenheid	Tarief (incl. BTW)	Tarief (excl. BTW)
Vastrecht (ruimteverwarming en tapwater)	per jaar	€ 478,60	€ 395,54
Vastrecht (lauw water) < 3 kW	per jaar	€ 262,86	€ 217,24
Maximumprijs	per GJ	€ 25,51	€ 21,08
Meettarief	per jaar	€ 26,83	€ 22,17
Aansluitbijdrage (AB) t/m 25 meter	eenmalig	€ 4.878,04	€ 4.031,44

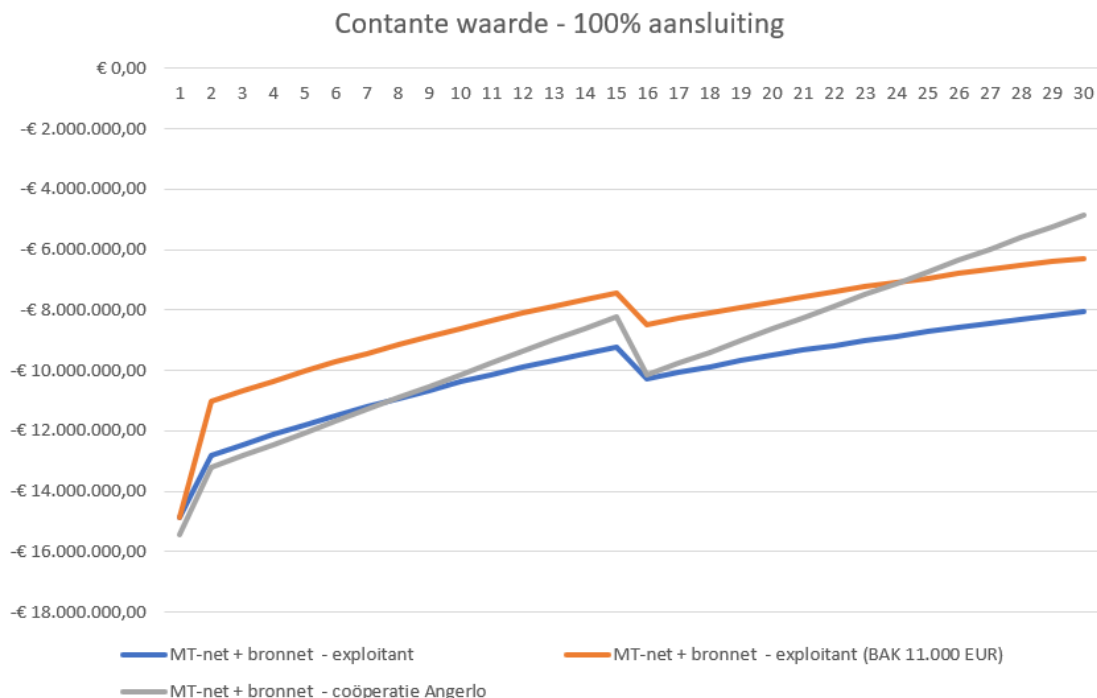
⁷ ACM = Autoriteit Consument en Markt

In onderstaande figuur is de netto contante waarde weergegeven voor de drie scenario's. Ook hier is te zien dat het warmtenet helaas niet kan worden terugverdiend. De netto contante waarde in scenario 1 bedraagt na 30 jaar zo'n –€ 10.895.000. Met andere woorden, de kosten zijn zo'n € 10.895.000 hoger dan de opbrengsten. In scenario's 2 en 3 is de NCW iets gunstiger, namelijk respectievelijk –€ 9.468.000 en –€ 9.160.000. Hierbij dient men wel te realiseren dat in scenario 2 feitelijk de onrendabele top deels wordt verhaald op de bewoners.



Figuur 6.4 Netto Contante Waarde op basis van het volloopsenario

Volledigheidshalve is ook gekeken naar deze scenario's wanneer vanaf het begin alle woningen in Angerlo worden aangesloten. Hierbij kunnen vanaf het begin al maximaal inkomsten worden gegenereerd voor de exploitant. Hoewel niet het meest realistische scenario is het goed om dit best case scenario inzichtelijk te hebben. De resultaten zijn te zien in onderstaande grafiek.



Figuur 6.5 Netto Contante Waarde op basis van 100% aansluiting vanaf het begin

Te zien is dat de netto contante waarde in scenario 1 toeneemt tot ongeveer –€ 8.066.000. In deze situatie kan een groter deel van de investering worden terugverdiend met de warmtelevering, dus is het minder essentieel voor de exploitant om een extra aansluitbijdrage te vragen. Omdat het beoogde rendement een relatief grotere rol gaat spelen (want er worden meer gegenereerd inkomsten), is de netto contante waarde hoger wanneer het warmtenet wordt geëxploiteerd door een coöperatie zonder winstoogmerk (met lager rendement). Deze bedraagt dan circa –€ 4.877.000.

Tot slot is ook een schatting gemaakt van de kosten voor de bewoners, waarbij de kosten voor de afleverzet in huis (warmtepomp of MT-warmtewisselaar) door de exploitant worden doorberekend naar de bewoner in de vorm van een huurconstructie.

Tabel 6.5 Vaste lasten bewoners o.b.v. 1.750 m³/jaar

	Woning met MT-set	Woning met warmtepomp
<u>Eenmalig</u>		
Aansluitbijdrage	€ 4.878,04	€ 4.878,04
Kostendekkingsbijdrage (optioneel)	€ 6.121,96	€ 6.121,96
Inductiekoken	€ 705,00	€ 705,00
Totaal eenmalig	€ 5.583,04 – € 11.705,00	€ 5.583,04 – € 11.705,00
<u>Jaarlijks</u>		
Vastrecht	€ 478,60	€ 262,86

	Woning met MT-set	Woning met warmtepomp
Warmtelevering	€ 1.403,05	€ 994,89
Meettarief	€ 26,83	€ 26,83
Huur afleverset	€ 125,50	€ 383,93
Elektriciteit individuele opwekking	-	€ 967,08
Totaal jaarlijks	€ 2.033,98	€ 2.635,59

6.5 Onrendabele top

Om het systeem te kunnen financieren dient de zogenaamde onrendabele top te worden gedekt. De onrendabele top voor Angerlo is enerzijds inzichtelijk gemaakt met de TCO benadering en anderzijds met de NCW benadering. In de TCO benadering is de onrendabele top het verschil in kosten van het warmtenet en van de referentiesituatie (aardgas). De onrendabele top voor dit warmtenet is fors, namelijk circa € 10.767.000 excl. BTW voor het hele systeem, indien men de investering in 30 jaar terugverdiend wil hebben. Dit komt neer op circa € 22.860 per woning. Uitgangspunt hierbij is dat het warmtenet door een commerciële marktpartij wordt geëxploiteerd.

Kijken we naar de NCW benadering naar het volloopscenario waarin het warmtenet wordt geëxploiteerd door de coöperatie Angerlo Duurzaam, dan bedraagt de onrendabele top circa € 9.160.000 oftewel circa € 19.448 per woning.

Tabel 6.6 Onrendabele top volgens de verschillende benaderingen

Exploitatie door	Total Cost of Ownership (TCO)		Netto Contante Waarde (NCW)	
	Totaal	Per woning	Totaal	Per woning
Commerciële partij (8% rendement)	€ 10.676.000	€ 22.860	€ 10.895.000	€ 23.132
Coöperatie Angerlo (4% rendement)	-	-	€ 9.160.000	€ 19.449

Deze onrendabele top kan (deels) gefinancierd worden uit het Rijk zoals via de SDE++ subsidie voor CO₂-arme warmte of de rijksbijdrage voor de proeftuinen binnen het Programma Aardgasvrije Wijken (PAW). Ook wordt momenteel gekeken naar inschrijving voor het consortium NieuweWarmteNu! (NWN) waarvoor steun wordt gevraagd bij het Nationaal Groeifonds.

Alternatief zou de onrendabele top (voor de exploitant) kunnen worden gefinancierd uit de bijdrage aansluitkosten (BAK), specifiek de kostendekkingsbijdrage (KDB), dit betekent echter zeer hoge kosten voor de bewoners en is daarom geen aantrekkelijke optie.

Nota bene: de hoge onrendabele top in deze casus kan verklaard worden door de relatief ongunstige ligging van Angerlo en de beperkt geschikte bodemopbouw. Enerzijds is Angerlo ruim opgezet waardoor de warmtedichtheid wat lager is dan bijvoorbeeld in stedelijk gebied. Bovendien moet een relatief lange transportleiding worden aangelegd vanaf de bron naar de dorpskern voor relatief weinig woningen. Anderzijds is de bodem weliswaar geschikt voor WKO's, maar is de capaciteit dusdanig klein dat al snel meerdere bronnen moeten worden geslagen (5-6 dubletten). Zeker met een relatief laag aantal woningen loopt dit snel in de kosten.

6.5.1 Isolatie

Zoals genoemd in paragraaf 2.3.3 zijn er zo'n 107 woningen in Angerlo die nu mogelijk nog niet geschikt zijn voor verwarming op 70/40 °C (MT-net) of 65/45 °C (individuele warmtepomp). De investeringskosten van isolatie van deze woningen, voordat deze kunnen worden aangesloten op het warmtenet, zijn niet meegenomen in de businesscase. Het meerekenen van isolatie leidt namelijk meestal al per definitie tot een negatieve businesscase en kan ook als afzonderlijke ingreep worden beschouwd. De keuze om te gaan isoleren kan immers een andere aanleiding hebben zoals verhogen van het wooncomfort of een al geplande renovatie.

Desondanks is het goed om inzichtelijk te hebben wat hier qua kosten voor nodig zou zijn. Op basis van de kentallen van het CEGOIA model van CE Delft zijn de kosten ingeschat. Voor de beoogde energiebesparing van 30% is uitgegaan van verbetering van energielabel F/G woningen naar tenminste energielabel C. De kosten voor isolatie bedragen naar verwachting ongeveer € 25.000 – 30.000 (zonder subsidies). Let wel, dit is een eerste indicatie en zeer afhankelijk van de staat van de woningen, constructies (bijv. wel/geen spouw aanwezig), en de eventuele renovaties die in de afgelopen jaren hebben plaatsgevonden. Voor een nauwkeuriger beeld dienen de woningen individueel bekeken te worden in een vervolgtraject.

Tabel 6.7 Kosten isolatie label F/G woningen Angerlo

Aantal woningen label F ⁸	37
Aantal woningen label G ⁸	70
Gemiddeld vloeroppervlak label F/G woningen	160 m ²
Kosten isolatie label F → C	€ 106 / m ²
Kosten isolatie label G → C	€ 123 / m ²
Ouderdomsfactor	1,5
Kosten isolatie per woning label F → C	€ 25.440
Kosten isolatie per woning label G → C	€ 29.520
Totale kosten isolatie label F/G woningen	€ 3.007.680

⁸ NB: dit betreft het voorlopige energielabel

Goed om te realiseren is dat isolatie niet de enige manier is om een huis klaar te maken voor een warmtenet. Als alternatief kan bijvoorbeeld worden gekozen om de centrale verwarmingsinstallatie aan te passen, waarbij de bestaande radiatoren worden vervangen door geblazen convectoren. Indicatief kan met uitgaan van circa € 6.000 – 8.000 voor een dergelijke ingreep (€ 642.000 tot € 856.000 totaal voor Angerlo). Kiest men voor vloerverwarming dan zal dit hoger uitvallen. Nadeel van deze aanpak is dat er niet of nauwelijks wordt bespaard op energieverbruik, waardoor de stookkosten minder omlaag gaan en de netto CO₂ besparing beperkt zal zijn (met de huidige elektriciteitsmix).

6.6 Overwegingen

Ondanks dat het warmtenet een relatief hoge investering vraagt, heeft dit systeem een aantal grote voordelen ten opzichte van de huidige situatie:

- In het kader van de energietransitie is het warmtenet toekomstbestendig. Hiermee kan in principe heel Angerlo volledig fossielvrij in haar energiebehoefte worden voorzien, mede omdat ook geen back-up of piekvoorziening nodig is (mits de elektriciteit groen wordt opgewekt).
- Op jaarbasis kan zo'n 420 à 470 ton CO₂ bespaard worden. De potentiële opbrengst uit CO₂ besparing (CO₂ certificaten) is overigens verder niet beschouwd in deze businesscase. Dit zou nog zo'n € 350.000 kunnen opleveren gedurende 15 jaar.
- Voor de woningen in Angerlo-oost zijn er mogelijkheden om in de toekomst ook 'gratis' koude te leveren (mits het afgiftesysteem in de woning geschikt is).
- De onttrekking van warmte uit het Broekhuizerwater in de zomer kan leiden tot afkoeling van de omgeving (klimaatadaptatie) en kan algenbloei voorkomen.

Verder zijn er nog een aantal voordelen ten opzichte van individuele lucht-water warmtepompen:

- Het bronnet systeem is een duurzamer en robuuster systeem met een stabiele brontemperatuur.
- Het rendement van het bronnet is gunstiger (en dus energetisch gunstiger, meer CO₂ besparing).
- Luchtwarmtepompen maken 's zomers de buitenlucht warmer en dragen op deze wijze bij aan lokale hittestress ('heat-island effect'), terwijl TEO juist voor verkoeling kan zorgen.

7 Conclusie en aanbevelingen

In deze studie is de haalbaarheid van een warmtenet voor Angerlo, gebruikmakend van thermische energie uit oppervlaktewater (TEO) onderzocht. De warmtevraag van Angerlo is geïnventariseerd en de potentie van de oppervlaktewateren in de omgeving is kwalitatief en kwantitatief bepaald aan de hand van meetgegevens van het Waterschap Rijn en IJssel. Verder is een WKO quickscan uitgevoerd naar de (on)mogelijkheden voor seizoensopslag. Vervolgens is de beste warmtematch uitgewerkt en is het meest gunstige warmtenet tracé bepaald. Hieruit blijkt de technische haalbaarheid van het warmtenet. Tot slot is voor dit ontwerp de businesscase opgesteld om ook de financiële haalbaarheid inzichtelijk te maken.

7.1 Conclusie

7.1.1 Technisch

Technisch gezien is het haalbaar om voldoende warmte en bronvermogen te halen uit het Broekhuizerwater om de woningen in Angerlo te verwarmen. De totale vermogensvraag bedraagt 2.175 kW, deze kan worden geleverd bij een onttrekking van 3 °C vanaf het voorjaar tot aan het najaar. Met circa 2.550 vollasturen kan in de totale warmtevraag van Angerlo (circa 27.300 GJ) worden voorzien, inclusief warmteverliezen. Ook de Oude IJssel biedt voldoende warmtepotentie en is een goede fallback optie. Vanuit het waterschap zijn er op voorhand geen bezwaren tegen het winnen van warmte uit het Broekhuizerwater, wel zal bij de vergunningaanvraag moeten blijken dat aan de ecologische randvoorwaarden wordt voldaan.

Er wordt gebruik gemaakt van WKO's om de warmte tussen de zomer en de winter op te slaan. De bodem is technisch gezien geschikt, maar er zijn wel meerdere bronnen nodig (6 doubletten) wat relatief hoge kosten met zich meebrengt. De plaatsing van de WKO's moet in de ontwerpfase nog verder geoptimaliseerd worden en voor aanleg van de WKO's moet nog definitief blijken (middels een proefboring) dat de ondergrond geschikt is. Alternatief zou nog kunnen worden gekeken naar andere oplossingen als HoCoSto of Ecovat, hiervan is nog onduidelijk of dit op zo'n schaal haalbaar is.

Het warmtenet bestaat uit een transportleiding vanaf de bron naar de dorpskern Angerlo, op brontemperatuur (12/7 °C). In de dorpskern wordt de warmte middels collectieve warmtepompen opgewaardeerd tot middentemperatuur (70/40 °C) en vervolgens via de distributienetten naar de woningen gebracht. In Angerlo-oost is een MT-distributienet niet haalbaar, hier sluiten de woningen direct aan op het transportnet, wat betekent dat zij elk een eigen warmtepomp moeten hebben.

Sommige woningen zullen nog onvoldoende geïsoleerd zijn om aan te sluiten op het warmtenet en zullen eerst moeten investeren in isolatie. Naar verwachting zijn dit vooral de oudere woningen rondom de Dorpsstraat. Als alternatief kan worden gekozen om niet te isoleren, maar het verwarmingssysteem groter te dimensioneren. Dit is over het algemeen goedkoper, maar heeft als nadeel dat er geen energie wordt bespaard.

7.1.2 Financieel

Uit de financiële haalbaarheidsanalyse blijkt dat het warmtenet zich helaas niet terugverdient over de levensduur van 30 jaar. Overigens verdienen warmtenetten zich over het algemeen meestal niet terug. De onrendabele top is afhankelijk van welke partij het warmtenet zal gaan exploiteren en tegen welk rendement, maar ligt tussen de € 9.160.000 en € 10.895.000 uitgaande van een volloopsceario waarbij maximaal 85% van de woningen wordt aangesloten. Isolatiekosten zijn hierin nog niet meegenomen.

Tabel 7.1 Onrendabele top volgens de verschillende benaderingen

Exploitatie door	Total Cost of Ownership (TCO)		Netto Contante Waarde (NCW)	
	Totaal	Per woning	Totaal	Per woning
Commerciële partij (8% rendement)	€ 10.676.000	€ 22.860	€ 10.895.000	€ 23.132
Coöperatie Angerlo (4% rendement)	-	-	€ 9.160.000	€ 19.449

De hoge onrendabele top kan verklaard worden door de relatief ongunstige ligging van Angerlo en de beperkt geschikte bodemopbouw. Voor relatief weinig woningen moeten een relatief lange transportleiding en relatief veel WKO bronnen worden aangelegd. Een hoge aansluitbereidheid is cruciaal: bij 100% aansluiting van alle woningen in Angerlo zou de onrendabele top kunnen worden verkleind.

Deze onrendabele top kan (deels) gefinancierd worden uit het Rijk zoals via de SDE++ subsidie voor CO₂-arme warmte, de SAH en de rijksbijdrage voor de proeftuinen binnen het Programma Aardgasvrije Wijken (PAW). Ook wordt momenteel gekeken naar inschrijving voor het consortium NieuweWarmteNu! (NWN) waarvoor steun wordt gevraagd bij het Nationaal Groeifonds.

7.2 Aanbevelingen

Voor het TEO systeem is met name ecologie nog een aandachtspunt. Omdat hier vooralsnog geen definitief toetsingskader voor is, is het echter nog moeilijk om hier een verdiepend onderzoek naar te doen. In principe wordt bij de vergunningaanvraag een ecologische toets uitgevoerd. Belangrijk is in ieder geval om het waterschap betrokken te houden.

Verder adviseren we om de feitelijke isolatiegraad en bouwkundige staat van de woningen in Angerlo beter in kaart te brengen, met name de oudere woningen. Op die manier kan een betere inschatting worden gemaakt van de kosten voor isolatie. Dan kan ook worden gekeken hoe deze kosten worden gefinancierd. Deze kosten zijn nu nog niet meegenomen in de businesscase.

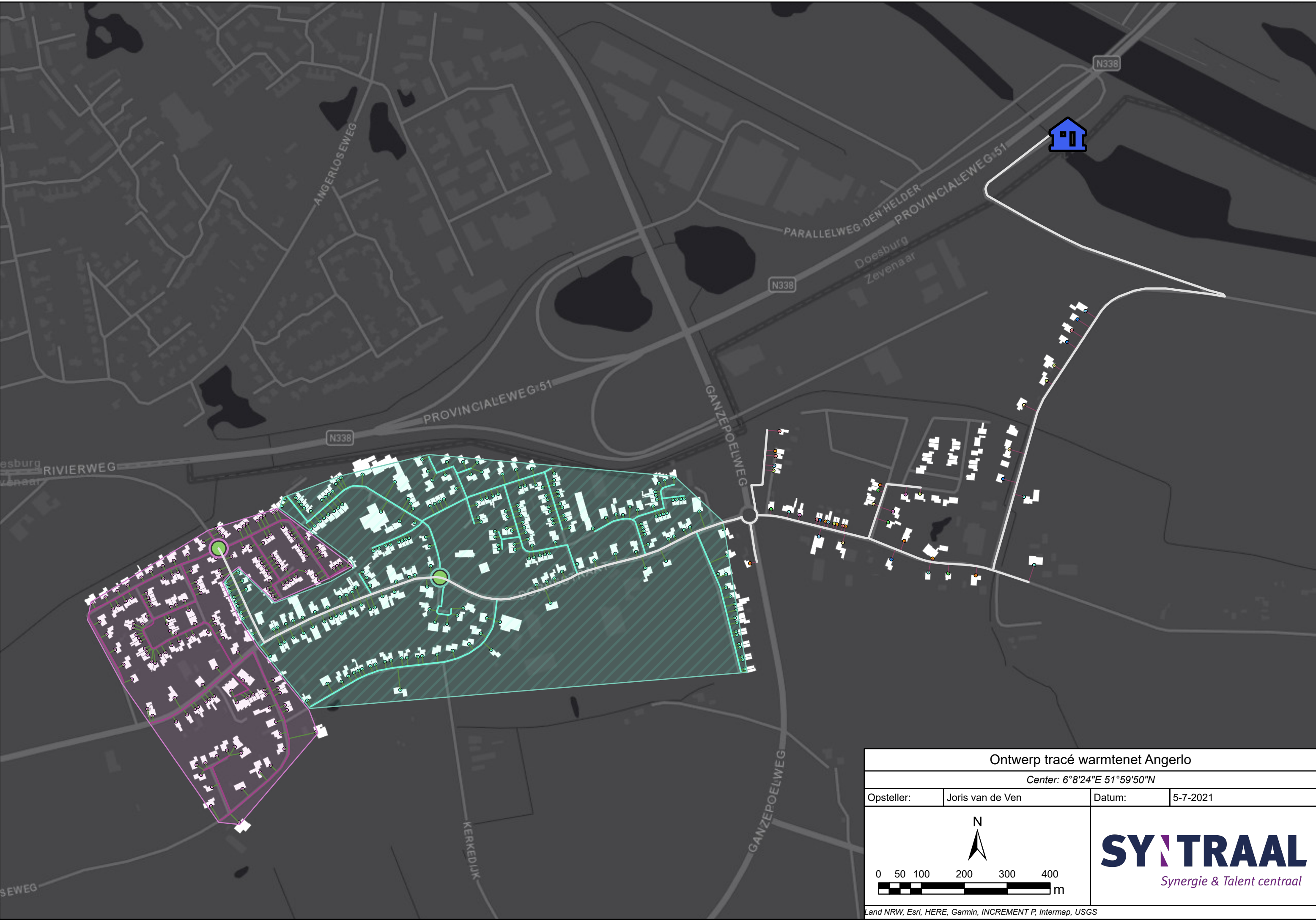
Om het warmtenet te realiseren is het zaak om op korte termijn meer duidelijkheid te krijgen over mogelijke investeerders. Belangrijk is om ook de wooncorporaties te blijven betrekken zodat het warmtenet kan worden meegenomen in het ontwerp van de nieuwbouwprojecten. Als deze woningen direct kunnen aansluiten verlaagt dit het volloopprijs en kan dit de aanleg van het warmtenet en WKO's versnellen.

Tot slot moet worden uitgezocht of met de genoemde subsidies de onrendabele top kan worden gefinancierd. Dit zal ook afhangen van een eventuele succesvolle inschrijving voor rijksbijdragen zoals NWN en PAW. Inschrijving als proeftuin voor de PAW kan interessant zijn, met name als het warmtenet coöperatief wordt gerealiseerd is dit een uniek project die goed als proeftuin kan dienen.

8 Referenties

1. **Qirion.** *Onderzoek Verduurzaming - Angerlo (v1.0 concept).* 2020.
2. **Coöperatie Angerlo Duurzaam.** *Concept Transitieplan Angerlo.* 2021.

Bijlage 1 Warmtenet tracé



Ontwerp tracé warmtenet Angerlo

Center: 6°8'24"E 51°59'50"N

Opsteller:	Joris van de Ven	Datum:	5-7-2021
------------	------------------	--------	----------

N

0

50

100

200

300

400

m

SYNTRAAL

Synergie & Talent centraal

Land NRW, Esri, HERE, Garmin, INCREMENT P, Intermap, USGS

Bijlage 2 Bodemopbouw

Aanvraagdatum: 26/4/2021 16:08

Model: Landelijk model REGIS II.2

Locatie (x,y): 207070,445770

naam	code	top (m NAP)	basis (m NAP)	dikte (m)	kD (m2/dag)	kh (m/dag)	sdh (m/dag)	c (dagen)	kv (m/dag)	sdv (m/dag)	Eenheid	Geschiktheid	
Holocene afzettingen, complexe hydrogeologische eenheid	HLC	9,14	8,02	1,12							Deklaag		
Formatie van Kreftenheye, derde zandige hydrogeologische eenheid	KRz3	8,02	-1,59	9,61	490	51	27				Deklaag		geen bovenafdichting, lage kh
Formatie van Kreftenheye, Laagpakket van Zutphen, eerste kleiige hydrog	KRZUk1	-1,59	-2,73	1,14				26	0,045	0,021	tussenlaag		klei
Formatie van Kreftenheye, vierde zandige hydrogeologische eenheid	KRz4	-2,73	-26,11	23,38	660	28	14				1e WVP	WKO	dunne bovenafdichting. Wel prima kD en kh
Formatie van Kreftenheye, Laagpakket van Twello, eerste kleiige hydrogex	KRTWk1	-26,11	-64,51	38,4				41000	0,00093	0,00033	1e SDL		klei
Formatie van Kreftenheye, vijfde zandige hydrogeologische eenheid	KRz5	-64,51	-65,35	0,84	31	37	19				2e WVP		dun pakket, lage kh
Formatie van Maassluis, eerste zandige hydrogeologische eenheid	MSz1	-65,35	-65,68	0,33	1,9	5,6	3				2e WVP		dun pakket, lage kh
Formatie van Maassluis, tweede zandige hydrogeologische eenheid	MSz2	-65,68	-67,4	1,72	10	5,8	3,3				2e WVP		dun pakket, lage kh
Formatie van Maassluis, derde zandige hydrogeologische eenheid	MSz3	-67,4	-68,74	1,34	7,5	5,6	3,1				2e WVP		dun pakket, lage kh
Formatie van Maassluis, vierde zandige hydrogeologische eenheid	MSz4	-68,74	-69,23	0,49	2,7	5,4	2,7				2e WVP		dun pakket, lage kh
Formatie van Oosterhout, eerste kleiige hydrogeologische eenheid	OOK1	-69,23	-71,52	2,29				370	0,0062	0,0025	2e SDL		klei
Formatie van Oosterhout, tweede zandige hydrogeologische eenheid	OOz2	-71,52	-116,56	45,04	330	7,4	4,1				3e WVP	WKO	kD is beperkt
Formatie van Breda, eerste zandige hydrogeologische eenheid	BRz1	-116,56	-166,57	50,01	150	2,9	1,5				3e WVP		diep, lage kh
Formatie van Breda, eerste kleiige hydrogeologische eenheid	BRk1	-166,57	-377,04	210,47				110000	0,002	0,001	basis		klei

Bijlage 3 Specificatie kostencomponenten warmtenet

Tabel 8.1 Kostencomponenten (excl. BTW)

	Kosten per eenheid (excl. BTW)	Aantal	Kosten totaal (excl. BTW)
<u>Huisaansluitingen</u>			
Leidingwerk huisaansluitingen	€ 1.458.807,00	1	€ 1.458.807,00
Extra aansluitkosten grootverbruikers (> 50 kW)	€ 25.000,00	4	€ 100.000,00
Subtotaal huisaansluitingen			€ 1.558.807,00
<u>Wijkdistributienet</u>			
Leidingwerk	€ 2.073.247,00	1	€ 2.073.247,00
Opwerkstations incl. frequentieregelingen, buffervat etc.	€ 54.000,00	2	€ 108.000,00
Bouwkundige kosten opstelruimtes	€ 50.000,00	2	€ 100.000,00
Subtotaal wijkdistributienet			€ 2.281.247,00
<u>Warmteopwekking</u>			
Warmtepompen, per MW	€ 350.000,00	3	€ 1.050.000,00
Subtotaal warmteopwekking			€ 1.050.000,00
<u>Hoofdtransportnet</u>			
Leidingwerk	€ 2.186.112,00	1	€ 2.186.112,00
Subtotaal hoofdtransportnet			€ 2.186.112,00
<u>TEO warmtesysteem</u>			
Innamepunt inclusief groffilter	€ 60.000,00	1	€ 60.000,00
Pompen incl. frequentieregeling	€ 50.000,00	5	€ 250.000,00
Warmtewisselaars	€ 150.000,00	2	€ 300.000,00
Fijnfilters	€ 160.000,00	2	€ 320.000,00
Voeding	€ 100.000,00	1	€ 100.000,00
Besturingssystemen	€ 150.000,00	1	€ 150.000,00
Leidingwerk	€ 150.000,00	1	€ 150.000,00
Subtotaal TEO systeem			€ 1.330.000,00
<u>WKO systemen</u>			
WKO bronnen	€ 135.000,00	6	€ 810.000,00
Proefboring	€ 34.000,00	1	€ 34.000,00
WKO leidingwerk, per meter	€ 314,00	1750	€ 549.500,00

	Kosten per eenheid (excl. BTW)	Aantal	Kosten totaal (excl. BTW)
Pompen, warmtewisselaar, omvormer per doublet	€ 25.000,00	6	€ 150.000,00
Bouwkundige kosten opstelruimtes	€ 50.000,00	2	€ 100.000,00
Subtotaal WKO systemen			€ 1.643.500,00
Huisaanpassingen / afleversets			
<u>Woningen met warmtepomp</u>			
Inductiekookplaat + aanleg stopcontact	€ 705,00	45	€ 31.725,00
Verzwarende elektriciteitsaansluiting 3x25A	€ 269,00	45	€ 12.105,00
Nieuwe groepenkast 3-fase	€ 1.653,00	45	€ 74.385,00
Warmtepomp afleverset (ex BTW)	€ 8.264,46	45	€ 371.900,83
ISDE	€ -2.479,34	45	€ -111.570,25
Overige aansluitkosten / in pandige aanpassingen	€ 2.500,00	45	€ 112.500,00
Subtotaal warmtepomp	€ 10.912,12		€ 491.045,58
<u>Woningen met MT-afleverset</u>			
Inductiekookplaat + aanleg stopcontact	€ 705,00	426	€ 300.330,00
Aanpassing groepenkast voor inductie	€ 290,00	426	€ 123.540,00
MT afleverset	€ 2.500,00	426	€ 1.065.000,00
Overige aansluitkosten / in pandige aanpassingen	€ 2.500,00	426	€ 1.065.000,00
ISDE	€ -2.747,93	426	€ -1.170.619,83
Subtotaal MT-afleverset	€ 3.247,07		€ 1.383.250,17
Totaal investeringskosten			€ 11.923.961,74