

Bijlage: rapportage en basisontwerp door RHDHV



In 2019 heeft ingenieursbureau Royal Haskoning DHV in opdracht van de gemeente Wageningen en in samenwerking met coöperatie WOW een onderzoek uitgevoerd naar de warmtenetplannen in de Benedenbuurt. Dit rapport is hier het resultaat van.

Het moge duidelijk zijn dat sinds de oplevering van dit rapport in oktober 2019 nieuwe informatie naar boven is gekomen. Te denken valt aan aanscherpingen van de businesscase en ontwikkelingen rondom mogelijke bronlocaties.

De lezer wordt daarom nadrukkelijk gevraagd onderliggend rapport te zien als een ietwat gedateerde -maar zeker nog niet helemaal achterhaalde- momentopname.

RAPPORT

Basis ontwerp warmtenet

Benedenbuurt Wageningen

Klant: Gemeente Wageningen

Referentie: BG5329IBRP1909270837

Status: Finale versie/P01.1

Datum: 25 oktober 2019

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Laan 1914 no.35
3818 EX AMERSFOORT
Industry & Buildings
Trade register number: 56515154

+31 88 348 20 00 **T**
+31 33 463 36 52 **F**
info@rhdhv.com **E**
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: Basis ontwerp warmtenet

Ondertitel:
Referentie: BG5329IBRP1909270837
Status: P01.1/Finale versie
Datum: 25 oktober 2019
Projectnaam: Warmtenet Benedenbuurt
Projectnummer: BG5329
Auteur(s): Bastian Knoors, Mark van Oostende

Opgesteld door: Bastian Knoors, Mark van Oostende

Gecontroleerd door: Kees Everse

Datum/Initialen: 30-08-19; CAE

Goedgekeurd door:

Datum/Initialen:

Classificatie

Projectgerelateerd



Disclaimer

No part of these specifications/printed matter may be reproduced and/or published by print, photocopy, microfilm or by any other means, without the prior written permission of HaskoningDHV Nederland B.V.; nor may they be used, without such permission, for any purposes other than that for which they were produced. HaskoningDHV Nederland B.V. accepts no responsibility or liability for these specifications/printed matter to any party other than the persons by whom it was commissioned and as concluded under that Appointment. The integrated QHSE management system of HaskoningDHV Nederland B.V. has been certified in accordance with ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 and ISO 45001:2018.

Inhoud

1	Warmteafname	1
1.1	Warmtevraag Benedenbuurt	1
1.2	Vermogensvraag	2
1.3	Huis niveau	3
1.3.1	Aanpassingen binnen installatie	3
1.3.2	Kosten schatting	5
1.3.3	Haalbaarheid 70/40 systeem	8
2	Opweksysteem	13
2.1	Zoeklocaties	14
2.2	WKO	14
2.2.1	Capaciteit WKO	14
2.2.2	Bronnen configuratie	15
2.2.3	Aanbevelingen	16
2.3	Dry coolers	16
2.4	Alternatieven voor Dry-coolers	18
2.5	Dimensionering warmtepomp	18
2.6	Buffer	19
3	Warmtenet	21
3.1	Uitgangspunten	21
3.2	Configuratie warmtenet	23
3.3	Clusters	25
3.4	Ruimtelijke inpassing	26
4	Inpassingsplan Planologie	27
4.1	Gegevens	27
4.2	Schets lay-out locatie	27
4.3	Bestemmingsplantoets WKO perceel Dolderstraat	29
5	Business case	31
5.1	Fasering	31

Bijlagen

- A1 Bronnen voor binnen installatie
- A2 Resultaten schouw
- A3 Scan Haalbaarheid WKO systeem
 - A3.1 Inleiding
 - A3.2 Wet & regelgeving
 - A3.3 Hydrologische- en hydrochemische condities
 - A3.4 Capaciteit doubletten
 - A3.5 Bronnenconfiguratie
- A4 Configuratie Warmtenet Wageningen

1 Warmteafname

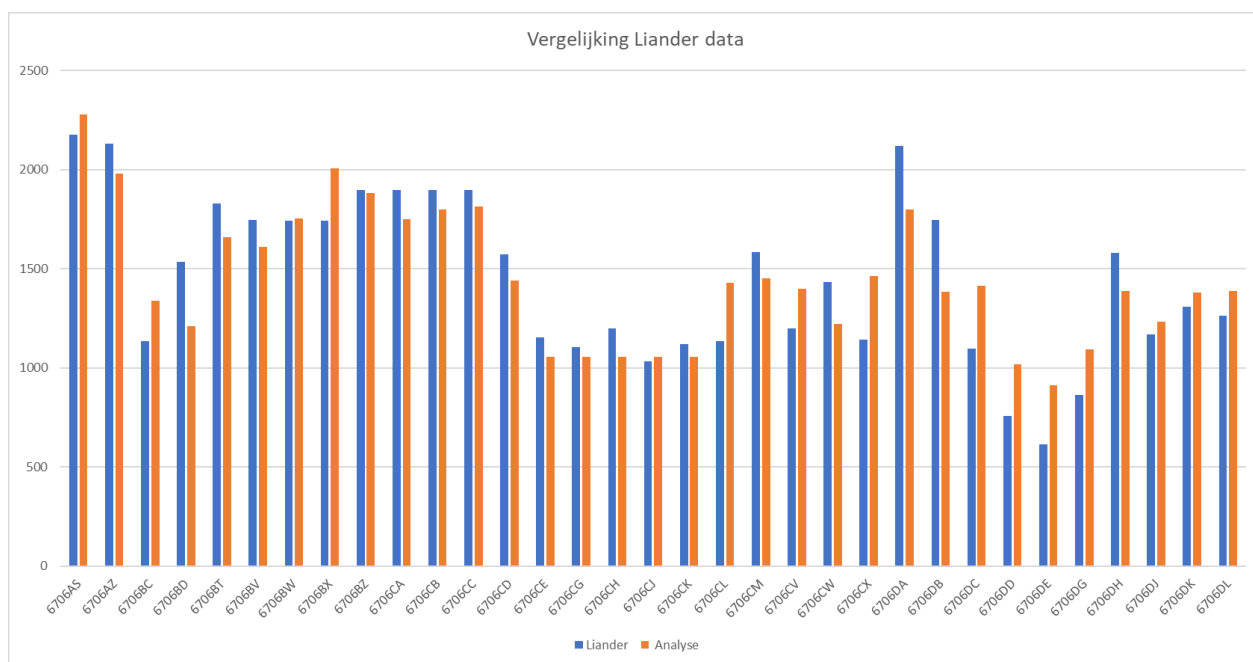
1.1 Warmtevraag Benedenbuurt

De totale warmtevraag is op basis van de meest recente data van Liander 19.280 GJ of 614.000 m³-gas. Voor de schatting van de warmtevraag per woning zijn 2 databronnen beschikbaar, in de klimaatmonitor staat de gemiddelde warmtevraag per type woning (appartementen, 2-onder-1-kap, vrijstaand, tussenwoningen en hoekwoningen) deze data is uit 2017. Vanuit Liander zijn per postcode zes gegevens beschikbaar met peildatum 2018, deze gegevens zijn gecorrigeerd voor de weersomstandigheden naar een standaard jaarverbruik. Binnen deze postcode zitten vaak dezelfde type woningen, het aantal variërend van 5 tot 15 woningen.

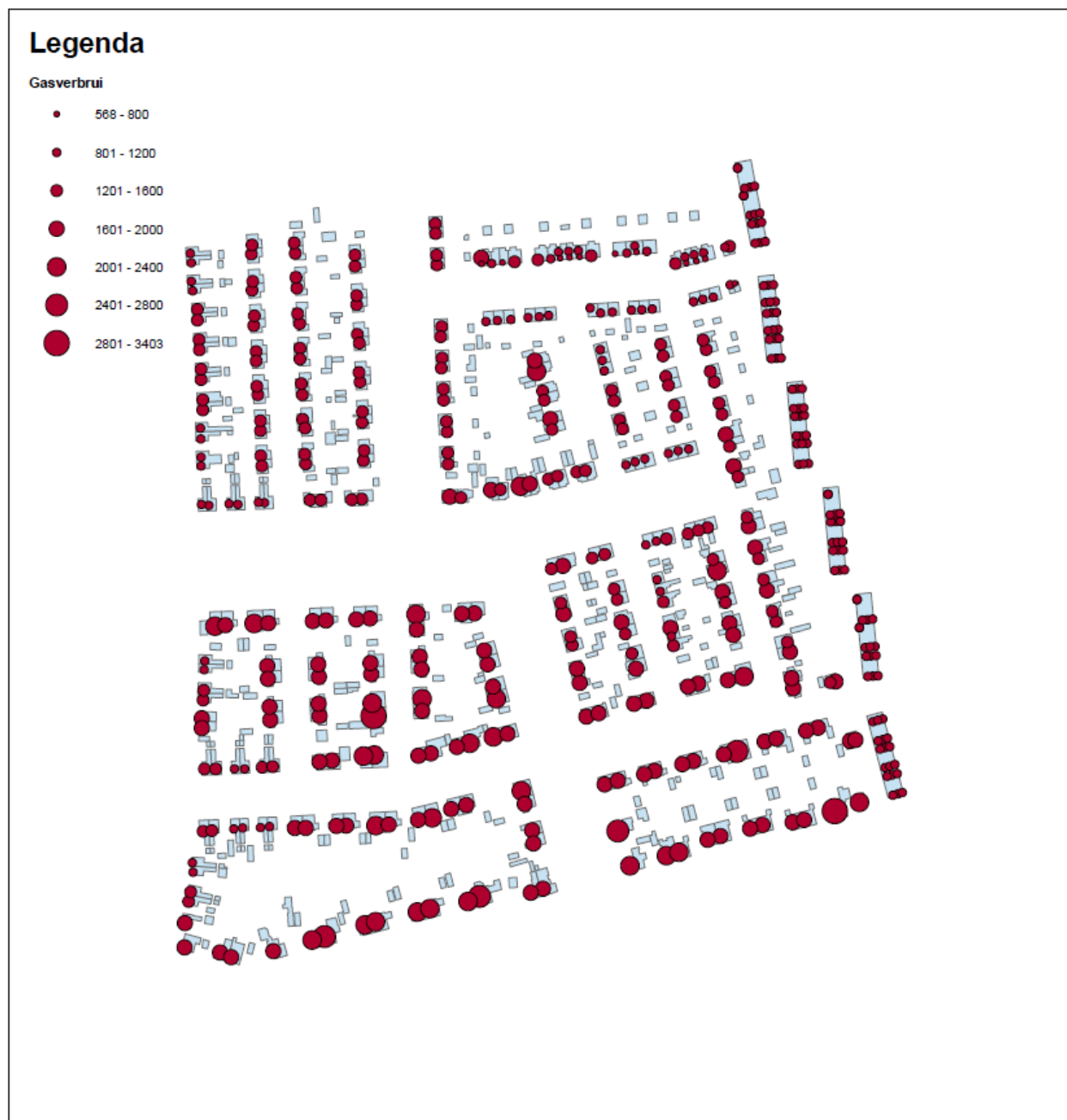
Aangezien het type woning en het totale oppervlak van de woning het meest relevant is voor het bepalen van de warmtevraag van de woning is de warmtevraag geschat op basis van het totale oppervlakte en type woning. Om te komen tot de warmtevraag per woning zijn de volgende stappen doorlopen:

1. Gemiddelde gasverbruik per type woning is uit de klimaat monitor opgehaald.
2. Gegevens per huis, oppervlak en type woning zijn uit de BAG (Basis Administratie Gemeenten) verkregen.
3. Door de gemiddelde gasverbruik van één type woning te delen door het gemiddelde oppervlak wordt per type een kengetal in m³-gas per m² huis oppervlak berekend.
4. Met dit kengetal per type wordt per huis de verwachte warmtevraag berekend.
5. Als laatste zijn de iets verouderde kengetallen aangescherpt met de data van Liander.

De uitkomsten van de berekening van de warmtevraag zijn gecheckt met de gegevens van Liander per postcode gebied, zie Figuur 1. Deze komen goed overeen. Een schatting op basis van oppervlak heeft een voordeel boven het exacte verbruik per woning, aangezien de specifieke gebruiker veel invloed heeft op dit specifieke verbruik. Een overzicht van de warmtevraag (gasverbruik) in de wijk is te zien in Figuur 2.



Figuur 1 Vergelijk van de Liander data per postcode en de analyse per huis op basis van type woning en woon oppervlak



Figuur 2 Schatting voor het typische gasverbruik van elke woning in de Benedenbuurt, op basis van kengetallen per type huis en woonoppervlak

1.2 Vermogensvraag

De vermogensvraag per huis is te onderscheiden naar twee onderdelen: het vermogen voor de ruimteverwarming en het vermogen voor warm tapwater. Warm tapwater heeft een erg hoog vermogen nodig, maar aangezien dit vaak voor korte duur is, middelt dit effect snel uit bij meerdere woningen. Dit wordt de gelijktijdigheid genoemd, deze is voor tapwater laag, en dus een kleine kans dat veel huizen tegelijk het maximale vermogen vragen. Voor de ruimteverwarming is deze gelijktijdigheid iets hoger aangezien het overal op het zelfde moment koud zal zijn. De gelijktijdigheid zit dan vooral in het extra vermogen wat nodig is om een huis op te warmen wanneer het is afgekoeld.

Het kengetal voor het benodigde vermogen voor ruimteverwarming is een verhouding tussen de totale warmtevraag en het maximaal benodigde vermogen. Immers bij een groter huis met meer warmtevraag is ook het maximale vermogen hoger. Om het vermogen te berekenen wordt het verbruik gedeeld door het kengetal om het vermogen in kW te verkrijgen. Tabel 1.1 geeft de kengetallen voor het vermogen.

Tabel 1.1 Kengetallen warmtevraag

	Kengetal vermogen	Gelijktijdigheid	Gelijktijdig vermogen
Ruimteverwarming	3 GJ/kW	60%	5 GJ/kW
Tapwater CW 3	23 kW per huis	40%	9 kW
Tapwater CW 4	28 kW per huis	40%	11 kW
Tapwater CW 5	35 kW per huis	40%	14 kW

Het gemiddelde verbruik in de wijk is totaal 43 GJ, een gemiddelde aansluiting zal dus 14 kW nodig hebben ten behoeve van ruimte verwarming. Het gelijktijdig vermogen is 60% hiervan, met 436 huizen komt dit voor de hele wijk op een totaal vermogen van 3,8 MW.

1.3 Huis niveau

1.3.1 Aanpassingen binnen installatie

Wanneer de huizen op het warmtenet worden aangesloten zal met twee onderdelen rekening moeten worden gehouden:

- Plaatsen en aansluiten van de afleverset.
- Radiatoren aanpassen op gewenste delta-T.

Opties afleverset

1. Open systeem

Het CV systeem is direct aan het warmtenet gekoppeld, hierdoor is er geen warmteverlies en is er ook geen pomp nodig.

- o Druk verschil regelaar, een open systeem met een dergelijke regelaar zorgt voor een constant druk verschil en maakt inregelen van de radiatoren eenvoudiger.

2. Split systeem

Zowel het tapwater als het CV water is door een warmtewisselaar gescheiden van het warmtenet.

- o De warmtewisselaar geeft een klein temperatuur verlies
- o Er is een CV pomp nodig die een kleine elektriciteitsvraag heeft
- o Bij problemen zoals lekkage in het CV systeem heeft dit geen impact op het warmtenet en bestaat er geen kans dat er extreem veel water uit het centrale net in het huis loopt.
- o De druk in het distributienet kan hoger zijn wat voordelen heeft voor de dimensionering
- o Een hydraulische splitsing tussen warmtenet en binnen installatie geeft voordelen bij de exploitatie, problemen in de woning hebben geen invloed op het distributienet.

Door de voordelen en geringe nadelen die een split systeem heeft ligt hier de voorkeur, dit is ook al benoemd in het opgestelde programma van eisen.

Plaatsen van de afleverset

Op 4 juni 2019 zijn in de Benedenbuurt in Wageningen schouwingen uitgevoerd, hier is informatie opgehaald over de benodigde aanpassingen aan een woning bij het vervangen van de CV ketel door een afleverset.

Het merendeel van de huizen is in de jaren 50 gebouwd zonder centrale verwarming. Deze is in alle bezochte woningen later aangelegd. Dit zorgt voor een grote variëteit in locatie van de CV ketel en het CV systeem. Alle bezochte woningen waren inclusief een kelder gebouwd, dit lijkt een goede locatie voor de afleverset.

Grof zijn er voor de afleverset twee locaties geïdentificeerd:

1. In de kelder.
2. In de bijkeuken/schuur wanneer hier al een CV voorziening is.

Vanuit de afleverset zijn 3 aansluitingen nodig:

1. CV aanvoer en retour
vaak of aanwezig in de kelder of via de kruipruimte naar bestaande radiator, hier is bij de geïnspecteerde huizen een grote diameter aanwezig
2. Koud water
Aanwezig in de kelder, direct van watermeter
3. Warmwater
Aanwezig in de keukens, waarschijnlijk zijn dit kleine diameters en is alleen geschikt voor lage comfort klasse.
 - a. Keuken is vaak goed te bereiken, dichtbij de kelder
 - b. Wanneer de leiding naar de CV ketel moet worden gelegd is de meest voordehand liggende optie via een bestaande ventilatie schacht of langs bestaande CV leidingen.

Op basis hiervan willen we een schatting maken voor de kosten van 4 typische opstellingen. Deze zijn de volgende:

- CV leiding in kelder/kruipruimte, tapwater in keuken
- CV leiding in kelder/kruipruimte, tapwater via zolder
- Locatie CV in schuur/ (bij)keuken
- Portiekflat

Radiatoren aanpassen op 70/40

Het warmtenet zal gebruik maken van de huidige radiatoren, deze worden door het andere temperatuur regime wel op een andere manier gebruikt. In de huidige situatie koelt het water van het begin tot het einde van de radiator ongeveer 10 tot 20 graden af, dit wordt de delta-T genoemd van de radiator. In veel gevallen is deze delta-T zelfs nog kleiner doordat er niet is ingeregeld. In het nieuwe systeem zal de delta-T minstens 30 graden moeten worden. Dit betekent dat het water langzaam door de radiator moet stromen.

Alle radiatoren zullen hiervoor opnieuw ingeregeld moeten worden, er zullen situaties zijn waarbij dat niet mogelijk is door het ontbreken van een voetventiel (inregel ventiel), deze zal dan geplaatst moeten worden.

Er is ook een mogelijkheid om alle radiatoren te voorzien van een constant druk klep, hierdoor zal onafhankelijk van de systeemdrukken en andere radiatoren de doorstroming van de radiator altijd constant zijn. Dit levert een stabielere situatie op, wel zullen alle radiator kranen vervangen moeten worden. Een voorbeeld hiervan is de Dynamic Valve van Danfoss (Danfoss RA-DV, € 25,- per kraan).

De kranen hebben een nadeel dat er bewegende onderdelen in zitten, hierdoor is er een kans dat de kranen vast komen te zitten. De keuze hiervoor zal in overleg met de onderhoudspartij moeten plaatsvinden.

1.3.2 Kosten schatting

Tabel 1.2 geeft de uitgangspunten voor de kostenraming.

Tabel 1.2 Kostenraming opwek systeem

Onderdeel	Kosten schatting
Waterzijdig inregelen	€ 200,- (gehele woning)
Dubbel instelbare afsluiter inclusief montage	€ 50,- per radiator
Dynamic valve en thermostatische radiator kraan, inclusief montage en inregelen	€ 75,- per radiator
Afleverzet CW4 open	€ 727,-
Afleverzet CW3-5 split	€ 1.093,-
Warmtemeter	€ 200,-
Muur doorvoer naar kelder en installatie afleverzet	€ 400,- (8 uur)
Elektra voorziening	€ 100,- (2 uur)
Aansluiten CV leiding in kelder/kruipruimte	€ 400,- (8 uur)
Aansluiten tapwater via keuken	€ 200,- (4 uur)
Aansluiten tapwater via zolder	€ 400,- (8 uur)

Afweging inregelen en afleverset

De keuze voor de afleverset is vooral een afweging tussen veiligheid en kosten. De splitunit is veiliger aangezien er een apart water systeem is, los van het warmtenet. Mocht er in het huis een lek ontstaan in de CV leiding stroomt niet het water uit de warmtenet in de woning. Met een open systeem is dit gevaar er wel. Een open systeem heeft daarentegen geen warmteverliezen over de warmtewisselaar en is goedkoper in aanschaf. Tabel 1.3 geeft het afwegingskader voor de typen afleversets.

Tabel 1.3 Overzicht keuzes afleverset

	Opensysteem, laagste kosten	Opensysteem met dynamische afsluiters	Split systeem met dynamische afsluiters
Kosten: (Afleverset, warmtemeter, inregelen)	€ 1127,-	€ 1677,-	€ 2043,-
Afwegingen			
Geen risico op grote lekkage	-	-	+
Stabiel ingeregeld	-	+	+
Geen vergrote kans op verstopping	+	-	-
Laag elektrisch verbruik	+	+	-

De keuze is gevallen op een split systeem en dynamische afsluiters of vergelijkbare technieken die een delta-T van 30 graden mogelijk maken.

Installatie kosten

Tabel 1.4 geeft de kosten voor in pandige aanpassingen aan de woningen.

Tabel 1.4 Overzicht installatie kosten binnenshuis

	CV leiding in kelder/kruipruimte		CV in schuur/ (bij)keuken	Portiekflat
	tapwater in keuken	tapwater via zolder		
Muurdoorvoer en installatie afleverset	€ 400,-	€ 400,-	€ 400,-	
Stijgleiding en installatie afleverset				€ 800,-
Elektra voorziening	€ 100,-	€ 100,-	€ 100,-	€ 100,-
Aansluiten CV	€ 400,-	€ 400,-	€ 0,- (aansluitingen zitten al op de juiste locatie)	€ 400,-
Aansluiten tapwater	€ 200,-	€ 400,-		€ 200,-
Afleverset CW5 split met warmte meter	€ 1293,-	€ 1293,-	€ 1293,-	€ 1293,-
Dynamic valve en thermostatische radiator kraan, inclusief montage	€ 750,-	€ 750,-	€ 750,-	€ 375,-
Totaal per huis	€ 3143,-	€ 3343,-	€ 2543,-	€ 2802,-

1.3.3 Haalbaarheid 70/40 systeem

Met behulp van de verzamelde enquêtes is de mogelijkheid van een goed functionerend 70/40 systeem onderzocht. In de huidige situatie is dat niet voor alle huizen voldoende. Er zijn grofweg 3 manieren om een huis geschikt te maken, de maatregelen kunnen naast elkaar worden toegepast:

1. Radiator vervangen door een dubbel type met lamellen (type 22)
2. Extra radiator plaatsen
3. Extra isolatie aanbrengen
 1. Spouwmuur isolatie ~10% minder vermogen nodig
 2. Van dubbel naar HR++ ~3% minder vermogen nodig
 3. Spouwmuur, vloer en dak isolatie ~30% minder vermogen (niet meegenomen, ingrijpende verandering)

Tabel 1.5 geeft een samenvatting van de resultaten uit het onderzoek .

Tabel 1.5 Resultaten geschiktheid midden temperatuur

	80/50	70/40
	<i>aantal geschikte woningen tov totale steekproef</i>	
Huidige situatie	8 uit 11	1 uit 11
Spouwmuur isolatie	10 uit 11	1 uit 11
Radiatoren minstens 22	11 uit 11	4 uit 11
Minstens 22 en spouwmuur isolatie	11 uit 11	8 uit 11
Huidige situatie tot 0°C	11 uit 11	10 uit 11

Advies

Uit de analyse volgt dat een systeem met 70°C aanvoer en 40°C retour niet zonder aanpassingen voldoende warmte kan leveren tijdens de koudste dagen van het jaar. Ons voorstel is om op deze dagen met een 80°C aanvoer en 50°C retour systeem te werken. Op deze winterse dagen is het naar verwachting zo dat de piekketel ook vanwege het vermogen moet bijspringen waardoor een hogere temperatuur op deze dagen technisch goed mogelijk is.

Hieronder staan de conclusies op een rij:

- Tot 0 graden buitentemperatuur gebruik maken van een 70/40 systeem
(96% van de dagen is de gemiddelde temperatuur boven 0)
- Beneden 0 graden met behulp van de piekketel naar 80/50 systeem
- In alle woningen spouwmuur isolatie toepassen, dit maakt de meeste woningen ook in de winter geschikt voor het 80/50 systeem.
- Incidenteel, bv Pootakkerweg 19, radiator vervangen
In dit geval enkele type 10 vervangen voor een dubbele type 22, deze bewoners geven aan dat ze het in de huidige situatie ook al moeilijk warm krijgen.

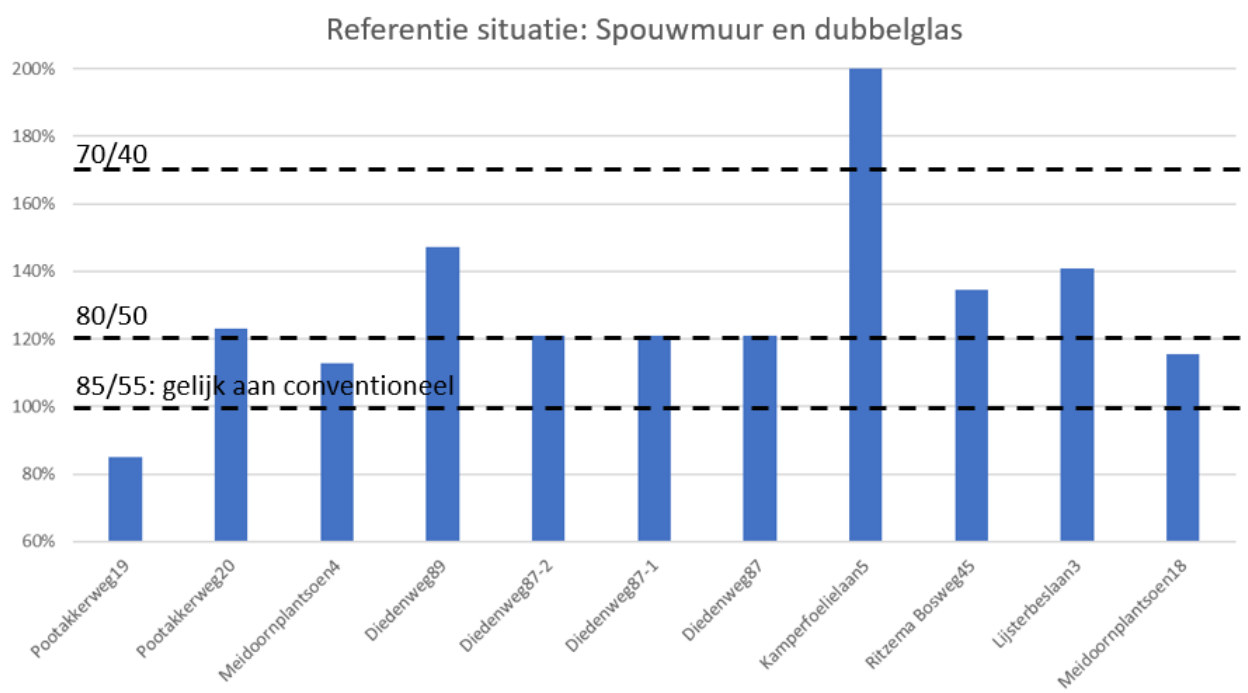
Resultaten uit capaciteitsberekening van de radiatoren

Op basis van de enquêtes is bij 11 huizen de aanwezige radiator capaciteit in de woonkamer berekend. Deze is afgezet tegen het te verwarmen volume van deze woonkamer en het type woning. Het resultaat is het percentage aanwezig vermogen op een referentie systeem van 80°C aanvoer en 60°C retour. Deze zal bij alle huizen boven de 100% liggen. Alles boven de 100% is overcapaciteit en geeft de mogelijkheid

om op een lagere temperatuur te verwarmen. Bij 120% capaciteit is dit voldoende voor een 80°C aanvoer en 50°C retour systeem (80/50 systeem). De woningen die boven 170% uitkomen hebben voldoende overcapaciteit om op een 70°C aanvoer en 40°C retour systeem (70/40 systeem) te draaien.

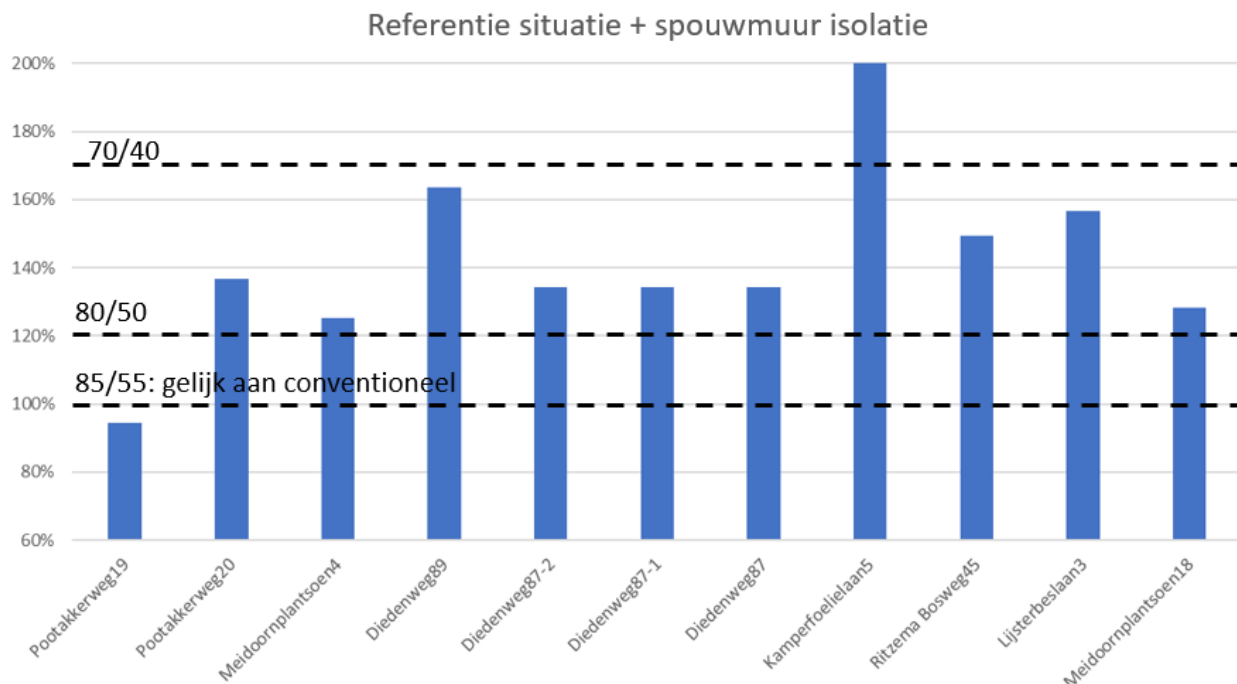
In Figuur 3 is het resultaat weergegeven uitgaande van minimale isolatie, alleen dubbelglas. Veel van deze huizen zijn beter geïsoleerd. Aangezien de centrale vraag voor de wijk is wat de minimale isolatie voor een midden-temperatuursysteem gebruiken we deze huizen als voorbeeld ongeacht hun werkelijke isolatie. In veel gevallen veranderd er bij isolatie niet veel aan het afgifte systeem zijn deze huizen dus ook representatief voor woningen die wel op dit minimale niveau zitten.

Uit de resultaten volgt dat een 70/40 systeem niet haalbaar is met een dergelijk isolatie niveau, slechts één woning zal het warm houden in koude winters. Het 80/50 systeem is net aan voldoende voor de meeste woningen.



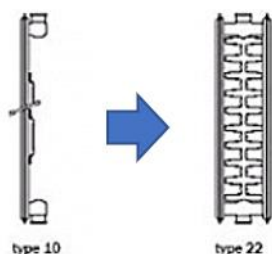
Figuur 3 Referentie situatie, dit uitgaande van het minimum aan isolatie maatregelen. Alle woningen zijn uitgevoerd met spouwmuren, we gaan in dit scenario er vanuit dat deze niet is geïsoleerd. De enige aanpassing ten opzichte van de originele bouw is de plaatsing van normaal dubbelglas door de hele woning.

Wanneer we aan de referentie situatie isolatie in de spouwmuur aanbrengen is er minder radiator vermogen nodig en wordt de overcapaciteit groter. In Figuur 4 zijn de resultaten weergegeven, hieruit blijkt dat vrijwel alle huizen in deze situatie op een 80/50 systeem kunnen overstappen. Maar een 70/40 systeem zal te weinig zijn gedurende de koudste maanden.



Figuur 4 In deze situatie is uitgegaan dat bij elk huis naast dubbelglas ook spouwmuur isolatie is toegepast.

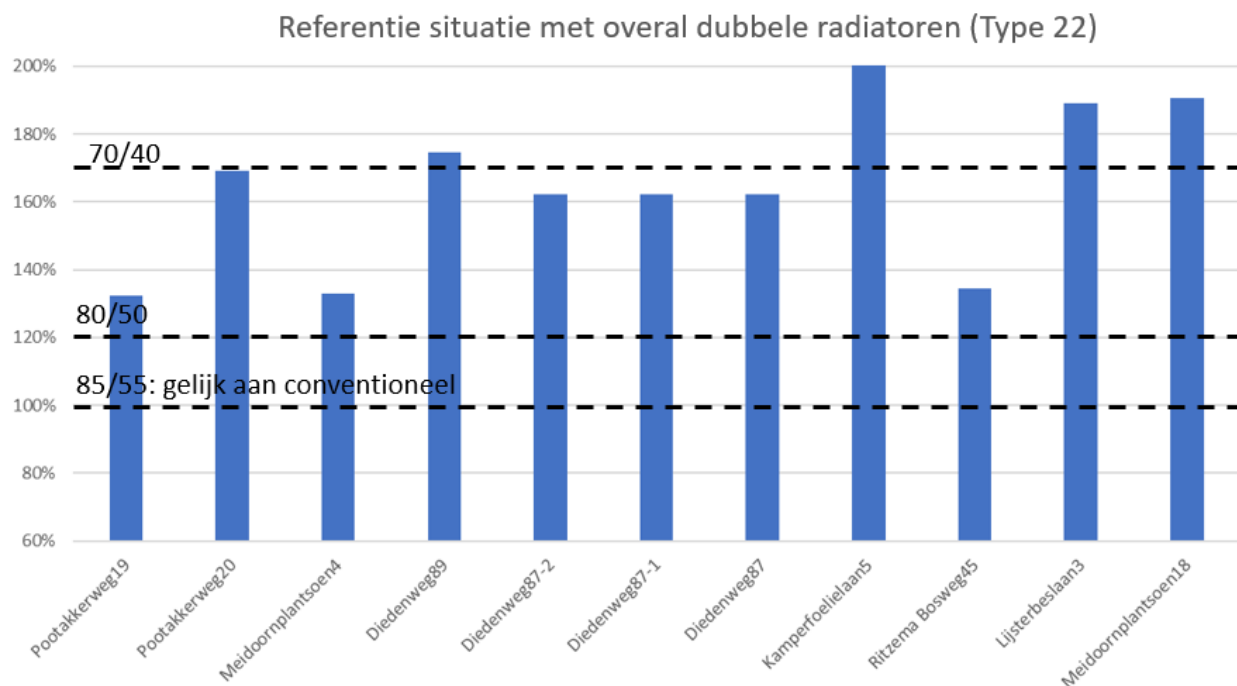
Een andere methode om de capaciteit te vergroten is het vervangen van radiatoren met een enkele wisselaar voor dubbele uitvoering. (Type 10 naar type 22, zie Figuur 5)



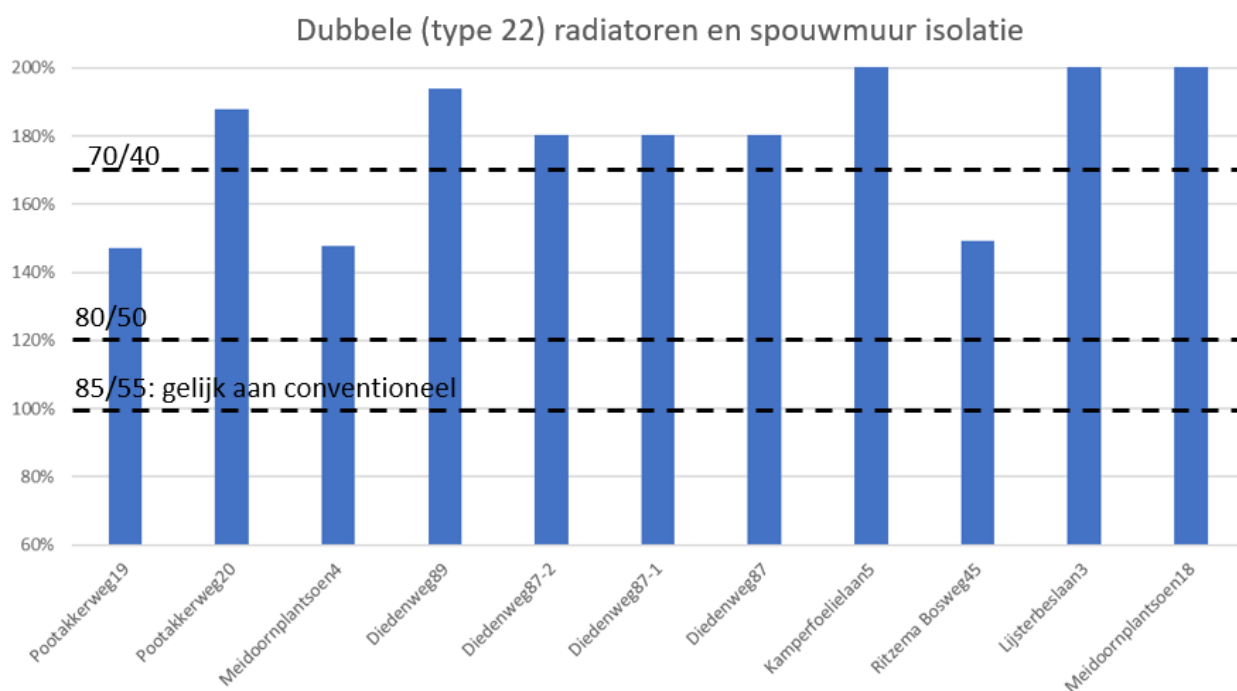
Figuur 5 Bovenanzicht van een type 10 en type 22 radiator.

Dit resulteert bij alle huizen in een vermogen waarmee met een 80/50 systeem verwarmd kan worden. De resultaten staan in Figuur 6. De combinatie van spouwmuur isolatie en radiatoren van het type 22 is weergegeven in Figuur 7. Hier zijn nog steeds een aantal woningen die niet voldoende zullen hebben aan een aanvoer temperatuur van 70 graden.

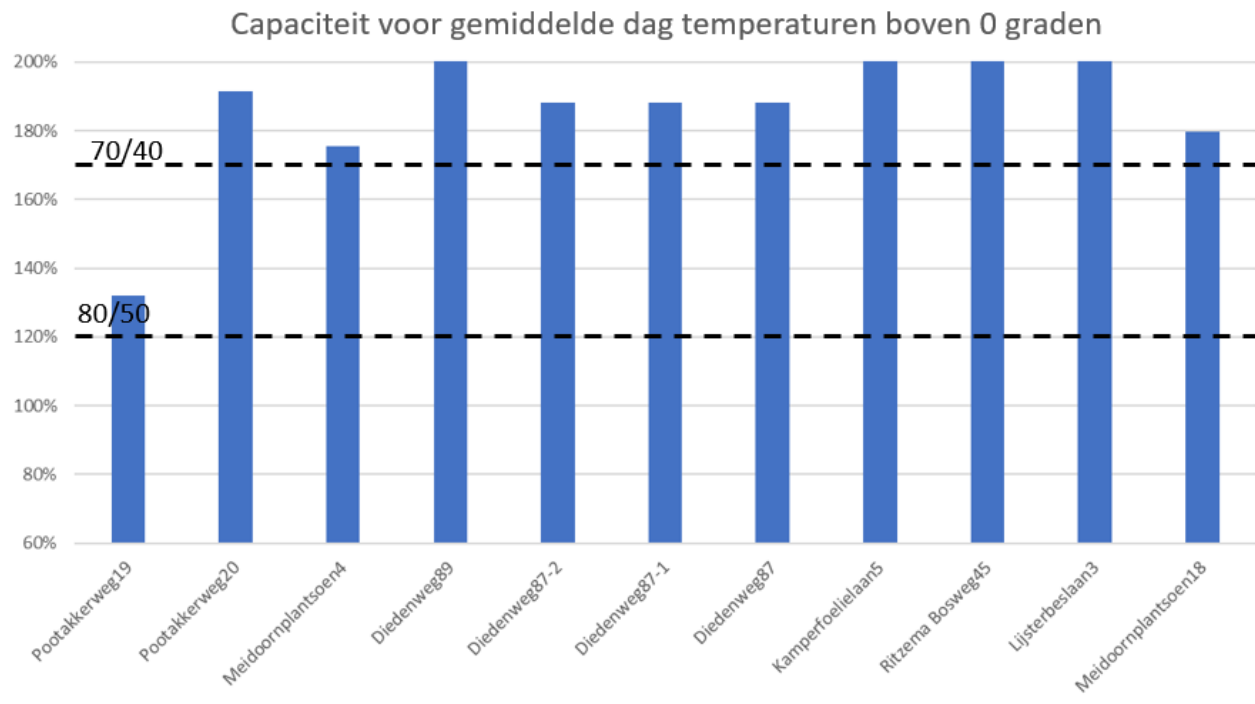
Wanneer we een onderscheid maken tussen echt koude dagen ($<0^{\circ}\text{C}$) en warmere dagen zien we in Figuur 8 dat dit voor vrijwel alle woningen geldt dat er voldoende vermogen aanwezig is om op warmere dagen met een 70/40 systeem te werken. Op koudere dagen zal de temperatuur tot maximaal 80 graden moeten stijgen.



Figuur 6 In deze vergelijking zijn alle enkele radiatoren vervangen door dubbele van het type 22. Hierdoor wordt de capaciteit groter en kan er dus met lagere temperaturen verwarmd worden.



Figuur 7 Naast de spouwmuur isolatie zijn in dit geval ook alle kleinere radiatoren vervangen voor het type 22



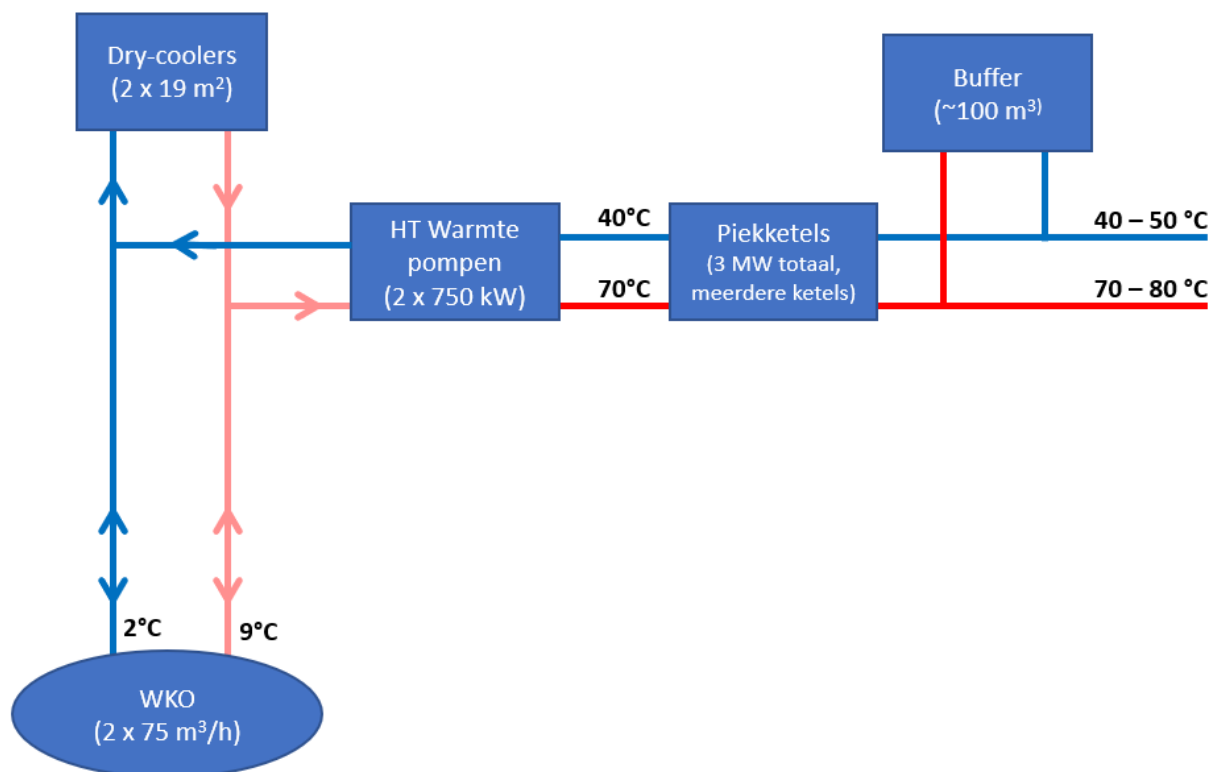
Figuur 8 Bij gemiddelde dag temperaturen boven 0 graden wordt nog niet het maximale vermogen van de radiatoren gevraagd. Hierdoor is op deze momenten een lager temperatuur niveau mogelijk. In Nederland is de gemiddelde temperatuur ongeveer 96% van de dagen boven 0.

2 Opweksysteem

De optimalisatie en keuzes uit dit hoofdstuk leiden tot het volgende advies voor het basis ontwerp:

Tabel 2.1 Overzicht van de vermogens en waarden van het basis ontwerp

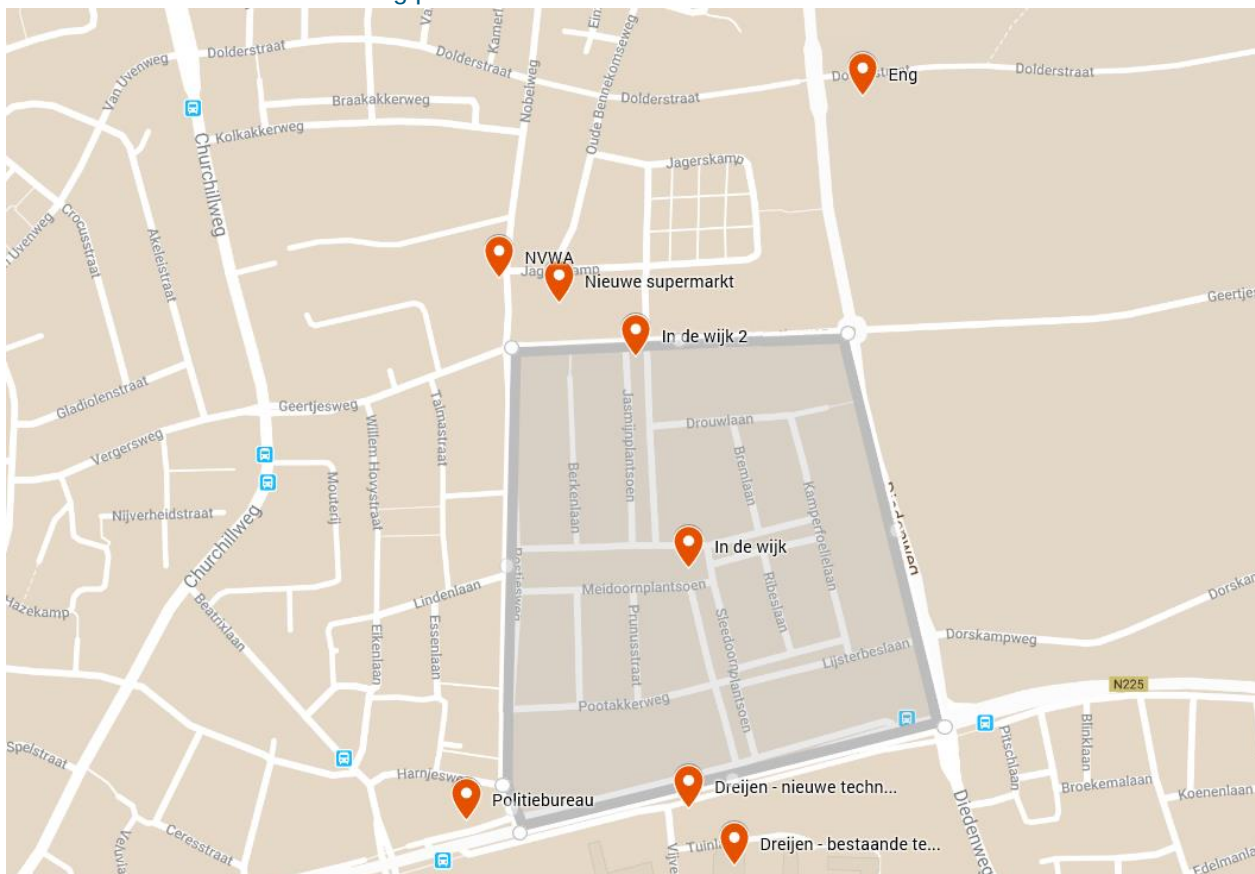
Onderdeel	Ontwerp vermogen
Warmtepomp vermogen	2x 750 kW
Piekketel vermogen	3 MW (inclusief 750 kW back-up)
WKO bronnen (75m ³ /uur)	2
Temperatuur koude zijde	2 °C
Temperatuur warme zijde	9 °C
Dry-cooler (L x B x H)	2 x (7,7m x 2,4m x 2,4m)
Percentage aardgasvrij	91%



Figuur 9 Schematisch overzicht van het opwekkingssysteem inclusief vermogens en temperaturen

2.1 Zoeklocaties

Voor het plaatsen van de technische ruimte en de WKO putten zijn een aantal locaties mogelijk, deze zijn weergegeven in Figuur 10. Voor het basisontwerp is uitgegaan van de locatie op de Eng aan de Dolderstraat aangezien dit wat betreft leidinglengtes het meest ongunstig is. Voor de andere locaties zal de haalbaarheid naar verwachting positiever uitvallen.



Figuur 10 Overzicht met zoeklocaties voor de WKO en technische ruimte

2.2 WKO

2.2.1 Capaciteit WKO

Voor het tweede watervoerende pakket is de theoretische capaciteit van de dubletten bepaald als functie van de boorgatdiameter en de filterlengte. De maximale capaciteit van de bronnen is gelijk aan de maximale infiltratiecapaciteit (de infiltratiecapaciteit van een bron is veelal lager dan de onttrekkingscapaciteit).

Tabel 2.2 Berekende broncapaciteit geeft een overzicht van de berekende capaciteiten als functie van boorgatdiameter en de filterlengte. Bij de berekeningen is uitgegaan van een doorlatendheid van 24 m/d, een specifieke verstoppingsnelheid van 0.1 m/j, een MFI van 2 en 2000 equivalente vollasturen. De berekende broncapaciteit varieert tussen 74 tot 118 m³/u bij een filterlengte van 40 meter. Het is echter niet uit te sluiten dat het tweede watervoerende pakket wordt doorsneden door dunne kleilaagjes en fijnzandige eenheden. Ter hoogte van deze lagen kan geen filter aangebracht worden. Indien wordt

uitgegaan van een totale filterlengte van 30 meter dan varieert de broncapaciteit tussen 56 en 89 m³/u. De volledige rapportage van de WKO Quicksan is opgenomen in bijlage A3.

Tabel 2.2 Berekende broncapaciteit

WVP	Diameter [m]	Lengte filter [m]	Broncapaciteit [m ³ /u] K=24 (M50-getal)
WVP 2	0.5	30 - 40	56 - 74
WVP 2	0.6	30 - 40	67 - 89
WVP 2	0.7	30 - 40	78 - 104
WVP 2	0.8	30 - 40	89 - 118

Op basis van bovenstaande berekeningen mag worden verondersteld dat vanaf een boorgatdiameter van 0.7 meter de broncapaciteit minimaal 70 m³/u bedraagt. Het is echter niet met zekerheid vast te stellen of een broncapaciteit van 100 m³/u mogelijk is.

2.2.2 Bronnen configuratie

Om tot een optimale onttrekkingsconfiguratie te komen moet met diverse aspecten rekening worden gehouden. Ontwerpaspecten die een rol spelen zijn:

- Capaciteit individuele bronnen;
- Exploitatieschema (gevraagd vollastdebiet = 150 m³/u, aantal vollasturen = 2600);
- Grondwaterstromingsrichting (zuidwestelijk gericht);
- Bestaande infrastructuur/beschikbare ruimte.

Daarnaast mag geen thermische interferentie optreden en moeten de effecten naar de omgeving toe zoveel mogelijk beperkt worden.

Aangeraden wordt om een minimale afstand van 20 meter tussen de individuele koude bronnen aan te houden (en tussen de individuele warme bronnen). De minimale afstand tussen het koude en het warme cluster is afhankelijk van de grootte van de koude en warme bellen. De grootte van de koude en de warme bellen rondom een bron kan worden beschreven aan de hand van de thermische straal. De thermische straal van opgeslagen koude of warmte rond een bron wordt bepaald door de geïnfiltreerde waterhoeveelheid, de filterlengte van de bron en de warmtecapaciteit van het watervoerende pakket en het grondwater. Gesteld kan worden dat de koude en warme bronnen elkaar niet significant beïnvloeden als de afstand tussen de bronnen minimaal 3 maal de thermische straal van de opgeslagen koude of warmte bedraagt.

Formule thermische straal

$$r_{th} = \sqrt{\frac{c_w * Q}{c_a * h * PI}}$$

Met hierin:

r_{th} = thermische straal [m]

c_w = specifieke warmtecapaciteit water = 4.19 [Jkg⁻¹K⁻¹]

Q = jaarlijkse geïnfiltreerde hoeveelheid grondwater [m³]

c_a = specifieke warmtecapaciteit bodem = 2.50 [Jkg⁻¹K⁻¹]

H = filterlengte bron [m]

PI = constante Pi (3,1415)

Uitgaande van twee doubletten, een gemiddelde filterlengte van 30 meter (worst-case), 2600 vollasturen en een maximaal brondebiet van 75 m³/u wordt een thermische straal van 59 meter berekend. De minimaal vereiste afstand tussen de warme en de koude bronnen bedraagt daarmee 177 meter.

In dit kader is het zoekgebied beperkt tot de Dolderstraat. Gezien de beperkte ruimte worden de koude bronnen alsmede de warme bronnen globaal op 1 lijn gerealiseerd. De Dolderstraat is oost-west

georiënteerd; er wordt geen thermische interferentie verwacht als gevolg van de zuidwestelijk gerichte grondwaterstromingsrichting.

2.2.3 Aanbevelingen

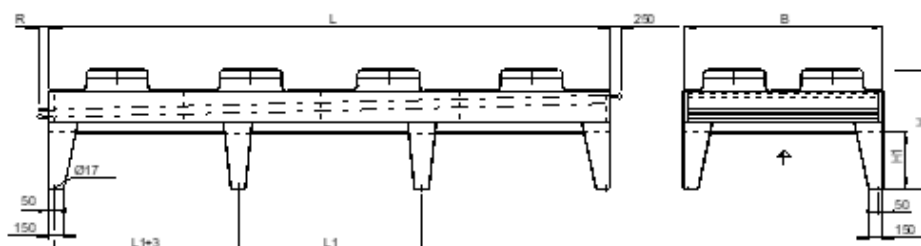
De diepte van de redoxovergang is niet eenduidig en het kan niet geheel uitgesloten worden dat nitraat lokaal tot in het tweede watervoerende is doorgedrongen. Het uitvoeren van een proefboring kan hier uitsluitel over geven, tevens wordt geadviseerd om de ervaringen van de omliggende WKO-systemen te inventariseren. Met het uitvoeren van een proefboring kunnen de hydraulische karakteristieken van het tweede watervoerende pakket beter worden vastgesteld en daarmee wordt tevens uitsluitel verkregen over het benodigd aantal bronnen. De proefboring kan tot bron worden afgewerkt. Bij plaatsen van een proefboring is het derhalve belangrijk een juiste locatie te kiezen.

2.3 Dry coolers

Om de WKO in de zomer weer op te laden met warm water maken we gebruik van dry coolers. Dit zijn warmte wisselaars met een ventilator, een voorbeeld is weergegeven in Figuur 11. De temperatuur aan de warme kant van de WKO is 9°C, bij een buiten temperatuur vanaf 10°C kan de Dry-cooler de WKO opladen. Wanneer er op deze momenten ook een grote warmtevraag is zal het opgewarmde water direct naar de warmtepomp worden gevoed.

Afmetingen:

L	=	7706 mm
B	=	2339 mm
H	=	2369 mm
R	=	250 mm
L1	=	2533 mm
H1	=	1000 mm



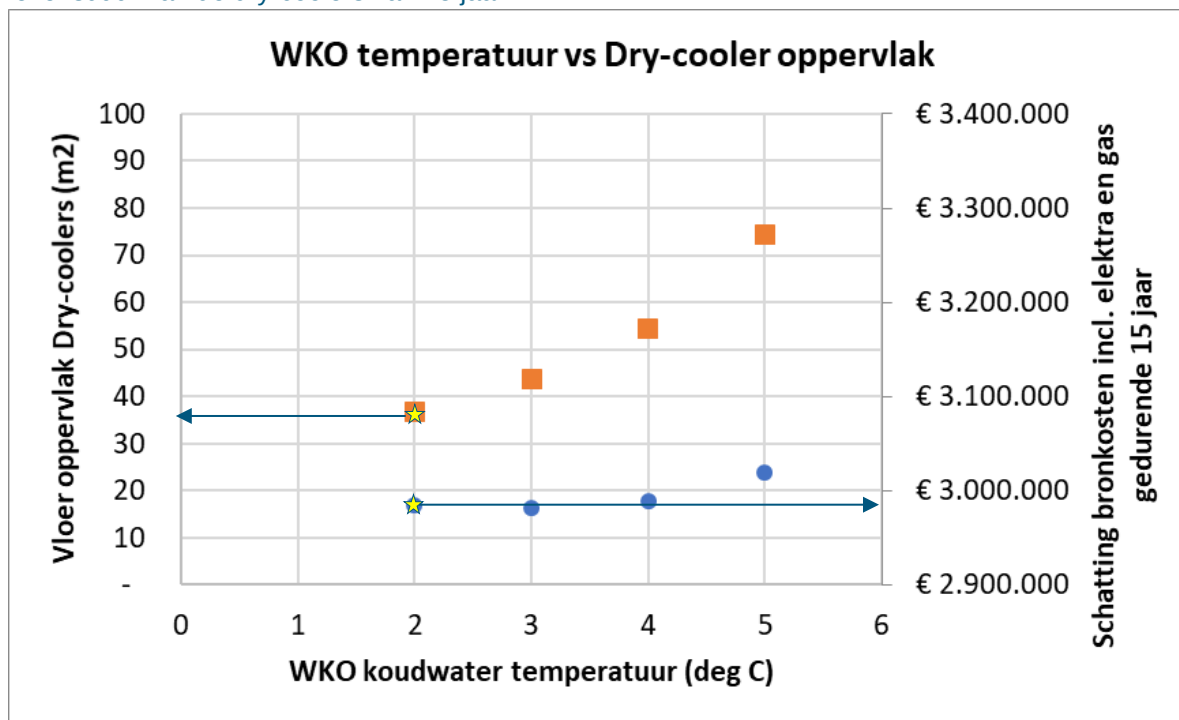
Figuur 11 Schematische tekening van een dry-cooler

De dry-coolers zullen langer en op een hoger vermogen kunnen werken als de temperatuur die nodig is voor warme temperatuur van de WKO zo laag mogelijk is. De dry-coolers kunnen dan al bij een lagere buitentemperatuur werken. Ook is het geleverde vermogen gemiddeld hoger aangezien het temperatuur verschil met de buitenlucht groter is.

Echter zijn er nadelen aan een lage temperatuur, de warmtepomp zal in de winter ook op deze lage temperaturen moeten werken en is hierdoor minder efficiënt. Ook mag de retour van de warmtepomp niet onder het vriespunt komen, dan zou de WKO kunnen bevriezen. Daarnaast is er nog een temperatuurverschil tussen aanvoer en retour nodig, een delta-T, deze bepaald het vermogen die maximaal uit de WKO kan worden gehaald. Samengevat:

- Temperatuur koude zijde WKO moet boven het vriespunt zijn
- Delta-T bepaald het vermogen van de WKO, dit is een lineair verband. Een delta-T van 5 graden zorgt voor de helft van het vermogen ten opzichte van een delta-T van 10 graden.
- Temperatuur aan de warme zijde staat vast wanneer bovenstaande zijn gekozen, dit is de temperatuur van de koude zijde plus de delta-T.
 - o Bij een hogere temperatuur is de warmtepomp efficiënter
 - o Bij een lagere temperatuur is de dry-cooler effectiever en zijn er minder nodig.

Bij de optimalisatie van bovenstaande parameters wordt de minimale delta-T bepaald door het benodigde vermogen van de warmtepomp. Vervolgens is het een afweging tussen kosten en benodigd oppervlak van de dry-coolers. Deze afweging is weergegeven in Figuur 12. Bij lagere temperaturen is het benodigde dry-cooler oppervlak kleiner en blijven de totale kosten ongeveer gelijk. Hier compenseren de lagere kosten voor de dry-coolers het extra elektriciteitsverbruik voor de warmtepomp gedurende de technische levensduur van de dry-coolers van 15 jaar.



Figuur 12 bovenstaande grafiek geeft de financiële en ruimtelijk gevolgen van de keuze voor een koud water temperatuur in de WKO. Bij koudere temperaturen is het benodigde oppervlak voor de dry-coolers kleiner, de kosten blijven over een periode van 15 jaar ongeveer gelijk. In de kosten voor de bron zijn de volgende componenten meegenomen: Warmtepomp, dry-coolers, piek ketel, WKO bronnen, elektriciteit, gas en energiebelasting (gedurende 15 jaar met 3% WACC).

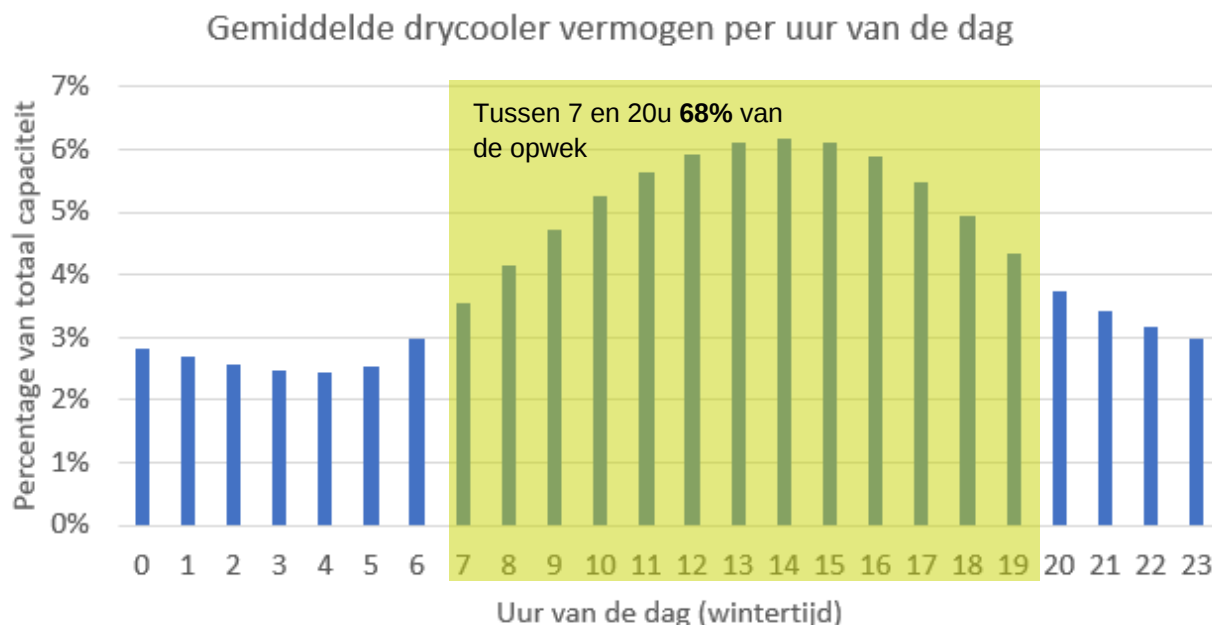
Voor het ontwerp gaan we uit van 2 graden als koud water temperatuur. Hierdoor is de dry-cooler zo klein mogelijk. De dry-cooler moet de WKO in balans kunnen houden, elk jaar evenveel energie er in als er uit. Wanneer dit in praktijk niet gehaald wordt moet er op termijn extra capaciteit bijgeplaatst worden.

Ervaringen Linthorst

Het bedrijf Linthorst heeft een vergelijkbaar WKO regeneratie systeem op basis van dry-coolers draaien in Leiden. Dit systeem werkt in zijn geheel goed, wel zijn er uitdagingen om de balans in de WKO goed te houden. Dit wordt veroorzaakt doordat de dry-coolers slecht werken wanneer er water condenseert tussen de lamellen, dit blokkeert de luchtstroom. Het vermogen loopt hierdoor met 30% terug. Ons advies is om deze ervaringen mee te nemen bij de selectie en aanschaf van de dry-cooler en hier duidelijke afspraken over te maken met de leverancier.

Dry-coolers gedurende de nacht

De coolers en dus de ventilatoren zullen ook 's nachts geregeld aan staan. Als dit niet gewenst is zullen er meer dry-coolers geplaatst moeten worden. In Figuur 13 wordt het deel van de energie opgewekt op elk uur van de dag weergegeven. Wanneer een aantal uren uitgesloten worden moeten de percentages per uur worden opgeteld om het missende vermogen in te schatten. Overdag tussen 7 en 20u wordt bijvoorbeeld 68% van de energie opgewekt, wanneer dit de enige mogelijke uren zijn zal het aantal dry-coolers met een factor 1,5 (100% / 68%) groter moeten worden om de zelfde energie te leveren.



Figuur 13 Het percentage energie wat door de dry-coolers geleverd wordt op elk uur van de dag, dit geeft inzicht in de consequenties van het 's nachts uitschakelen van de coolers. Tussen 7 uur 's ochtend en 20u 's avonds wordt 68% van de energie opgewekt. Een dry-cooler die alleen tussen deze uren draait moet dus ongeveer 1,5x groter zijn.

2.4 Alternatieven voor Dry-coolers

Om de WKO in de zomer te vullen zijn een aantal alternatieven voor de dry-coolers voorbij gekomen. Hieronder beschouwen we kort de (on)mogelijkheden van deze opties.

Zon thermisch op daken

Energetisch is er zal er ongeveer 10.000 m² aan zon thermische panelen nodig zijn voor het energie verbruik van de hele wijk. Vanwege het hoge piek vermogen midden op de dag zal er een grote buffer nodig zijn om het vermogen op te slaan in de WKO. Het piekvermogen van de panelen is ~6 MW en de WKO bronnen hebben een gezamenlijke piekcapaciteit van 1,2 MW. Wanneer deze panelen op daken in de wijk worden geplaatst zullen er ook extra leidingen nodig zijn om terug-levering mogelijk te maken. De conclusie is dat dit financieel niet haalbaar is door hoge kosten van de panelen en extra warmtenet.

Asfalt-thermie

Het winnen van warmte uit asfalt is een innovatie waar de eerste testen mee worden uitgevoerd. Er blijkt erg veel asfalt nodig te zijn om voldoende energie op te wekken ook brengt het systeem hoge kosten met zich mee. Wij zijn daarom niet in meer detail op deze optie ingegaan.

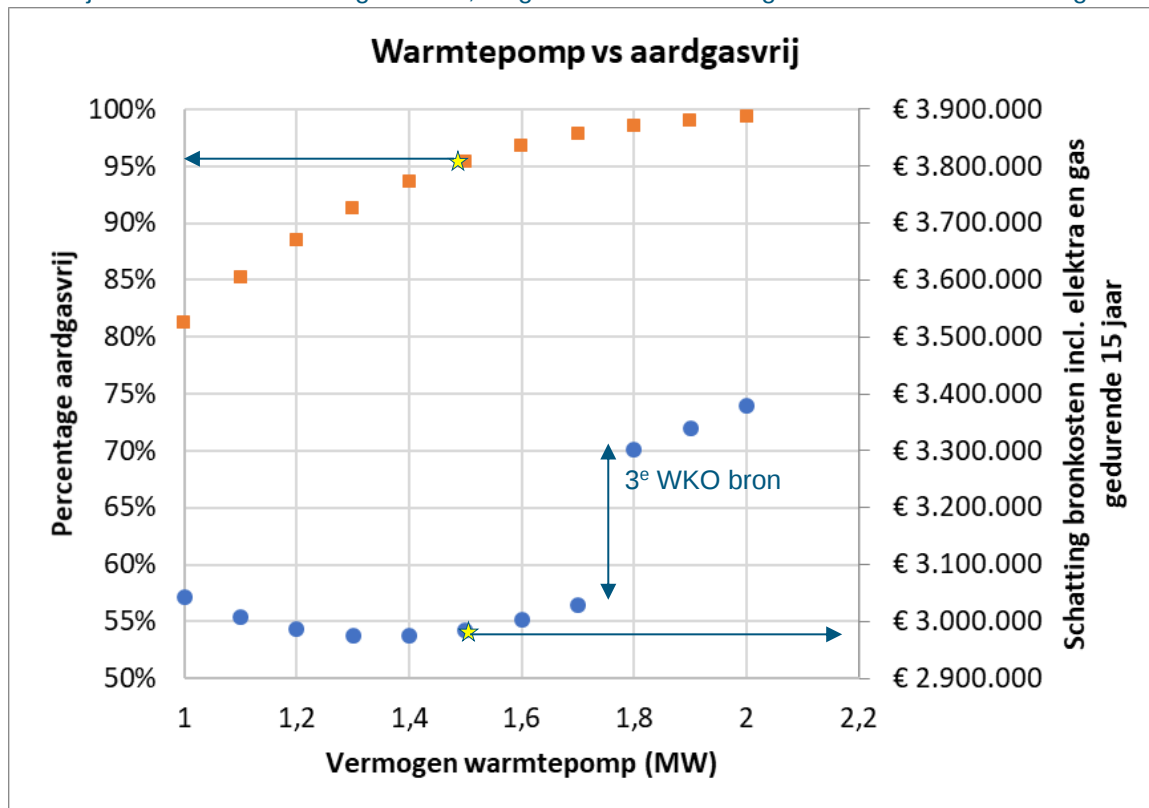
2.5 Dimensionering warmtepomp

Een ander dimensioneringsvraagstuk is die van de warmtepomp. Deze is het meest effectief als er veel draaiuren gemaakt worden, het vermogen is namelijk duur in aanschaf (CAPEX) en relatief goedkoop in gebruik (OPEX). Voor hoge vermogens in de winter die maar zeer weinig uren voorkomen kan beter gebruik worden gemaakt van een piekketel, die bijvoorbeeld op gas wordt gestookt. Deze ketels zijn per vermogen namelijk veel goedkoper.

De keuze voor de precieze afweging tussen de basis en pieklast opwekkers hangt samen met het

gewenste duurzaamheidsniveau. We nemen hier aan dat elektriciteit duurzaam wordt ingekocht maar dat de piekkel op aardgas wordt gestookt. Naarmate het vermogen van de warmtepomp toeneemt neemt het aandeel van de piekkel af. Het aandeel duurzaam wordt voor de warmtepomp dus groter.

Zoals te zien in Figuur 14 zitten de minimale kosten tussen de 1,3 en 1,5 MW warmtepomp. Boven de 1,7 MW is er een extra WKO bron nodig wat de kosten opdrijft. Wij adviseren om een 1,5 MW warmtepomp toe te passen; hiermee is het systeem voor meer dan 95% aardgasvrij. Doordat we ruim van de grens, waarbij een nieuwe bron nodig is zitten, dit geeft voldoende marge mochten de bronnen tegenvallen.



Figuur 14 de grafiek geeft de financiële en aardgasverbruik van de warmtepompkeuze weer. De minimale kosten zitten tussen de 1,3 en 1,5 MW warmtepompvermogen. In de kosten voor de bron zijn de volgende componenten meegenomen: Warmtepomp, dry-coolers, piek ketel, WKO bronnen, elektriciteit, gas en energiebelasting (gedurende 15 jaar met 3% WACC).

2.6 Buffer

Een buffer is nodig zodat de warmtepomp het nominale vermogen kan leveren tijdens een deellastvraag van het warmtenet. Wanneer de buffer vol is kan de warmtepomp gedurende langere tijd uit staan. Dit voorkomt snel aan / uit gedrag van de warmtepomp, wat positief is voor de levensduur. Voor het bepalen van de buffergrootte zijn we uitgegaan dat de warmtepompen 2 uur uit staan kunnen staan in een deellast situatie. Dit resulteert in minimaal 85 m³ opslag capaciteit wat afgerond is naar 100 m³. Er zijn twee mogelijkheden een tank op atmosferische druk of een tank op de druk van het warmtenet. In het geval van een opslag op druk zijn de kosten voor het vat een stuk groter aangezien er dikker staal gebruikt moet worden. Ook is de diameter van een drukvat gelimiteerd, namelijk hoe groter de diameter hoe dikker het staal. Daarnaast zal een drukvat in zijn geheel getransporteerd moeten worden, deze kan niet op locatie worden opgebouwd.

Atmosferische druk

Een vat op atmosferische druk heeft een lagere druk dan het water in het warmtenet. Er zijn twee manieren om de energie in en uit de buffer te halen:

1. Een warmtewisselaar, door de extra temperatuur verliezen is dit niet gewenst
2. Via een reduceer ventiel in de buffer en via een pomp uit de buffer, dit heeft als voordeel dat er geen temperatuurverlies optreed.

De kosten van beide oplossingen zijn vergelijkbaar en voor optie 2 weergegeven in Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Kosten atmosferisch buffervat

Buffer atmosferisch	Stuksprijs (DACE)	Totaal
Buffervat atm. (1x 100 m ³)	€ 54.000 per 100m ³	54 k€
Isolatie (120 m ²)	€ 115 per m ²	14 k€
Pomp (1 → 6 Bar 50 m ³ /h)	€ 9.000 per pomp	9 k€
Installatie	1 x Capex	77 k€
Totaal		154 k€

Het buffervat wat door Linthorst is meegenomen is 2x groter, de kosten via eenzelfde methodiek als in Tabel 2.3 zou uitkomen op 206 k€

Druk buffer

Een andere optie is om de hele buffer op de druk van het warmtenet te opereren. Er hoeft dan geen pomp in het systeem en de aansturing is eenvoudiger. De kosten zijn wel hoger aangezien er twee tanks nodig zijn die bestand zijn tegen een druk van 6 Bar.

Tabel 2.4 Kosten druk buffervat

Drukbuffervat	Stuksprijs (DACE)	Totaal
Buffervat (2x 50 m ³ @ 6 Bar)	€ 68.000 per 50m ³	136 k€
Isolatie (2x 75 m ²)	€ 115 per m ²	17 k€
Installatie	1 x Capex	153 k€
Totaal		306 k€

Advies keuze voor buffer

De grote van de buffer zal moeten worden afgestemd met de warmtepomp en systeem leverancier. Dit heeft namelijk invloed op het aan/uit gedrag van de warmtepomp. Hierdoor kan de definitieve buffer grote afwijken van 100 m³, wanneer dit resulteert in een kleinere buffer kan de drukbuffer interessant zijn, er is geen pomp nodig en de aansturing is eenvoudiger. Bijvoorbeeld voor een buffer van 50 m³ zijn de totale kosten voor respectievelijk atmosferisch en drukbuffer 120 en 153 k€. Bij een dergelijk klein kostenverschil verdient een drukbuffer de voorkeur.

Bij een buffer van 100 m³ of groter is het financieel interessant om voor de atmosferische optie te kiezen, deze optie is meegenomen in de business case.

3 Warmtenet

In de Kick-off van het schetsontwerp voor de uitwerking van het warmtenet in de Benedenbuurt zijn diverse uitgangspunten besproken. Deze uitgangspunten zijn vastgelegd in het verslag 'BG5329-Verslag Kick-off Schetsontwerp 19-06-19'.

3.1 Uitgangspunten

Voor het ontwerp van het warmtenet is voor de structuur een vertakt-net genomen. Bij een vertakt net gaat een transportleiding vanaf de warmtebron naar meerdere clusters in de wijk. Afhankelijk van de optredende drukverliezen in het warmtenet kan er worden gekozen om een fysieke scheiding tussen de transportleiding en de distributieleidingen te maken in de vorm van een onderstation.

Het streven is om de realisatie van het warmtenet te combineren met de herinrichting van de Benedenbuurt. Bij de herinrichting gaan de wegen en plantsoenen op de schop en wordt het riool vervangen; de huidige structuur van de wijk blijft echter intact. De reconstructie van de Benedenbuurt neemt naar verwachting 3 jaar in beslag. Het vervangen van het riool en realisatie van het warmtenet zal door de hele buurt aaneengesloten aan elkaar worden uitgevoerd. De Geertjesweg wordt niet meegenomen in de herinrichting van de Benedenbuurt. Woningen die zich in de Geertjesweg bevinden worden hierdoor niet meegenomen bij de uitwerking van het warmtenet. Figuur 15 geeft de woningen weer die zijn geselecteerd om mee te nemen in de uitwerking van het warmtenet.



Figuur 15 Woningen die geel zijn gemarkeerd zijn geselecteerd om mee te nemen in de uitwerking van het warmtenet

Tabel 3.1 weergeeft de uitgangspunten voor de uitwerking van het warmtenet .

Tabel 3.1 Uitgangspunten voor netwerk configuratie

Omschrijving	-	eenheid
Aanvoertemperatuur winter	80	°C
Retourtemperatuur winter	50	°C
Aanvoertemperatuur zomer	70	°C
Retourtemperatuur zomer	40	°C
Druk distributieleiding	6	Bar
Drukverlies bij pomp	0,5	Bar
Minimale druk bij afleverset	1,0	Bar
Minimale druk retourleiding bij station	2,0	Bar
Gelijktijdigheidsfactor ruimteverwarming	60	%
Gelijktijdigheidsfactor tapwater	40	%
Capaciteit warmtebron	3,8	MW

De hydraulische berekening van het warmtenet is uitgevoerd op basis van de maximale piekvraag bij een buitentemperatuur van -10 °C. Voor de piekvraag is een gelijktijdigheidsfactor toegepast waarmee de piekvraag is gereduceerd. Voor de hydraulische berekening van het warmtenet zijn per diameter de maximale stroomsnelheden aangehouden. Tabel 3.2 geeft de maximale stroomsnelheden per diameter weer. De stroomsnelheid is gemaximaliseerd tot 3,0 m/s om ongewenste inwendige corrosie ter plaatse van bochten te voorkomen.

Tabel 3.2 Stroomsnelheden per diameter

Diameter	Stroomsnelheid (m/s)	Diameter	Stroomsnelheid (m/s)	Diameter	Stroomsnelheid (m/s)
DN20	1,0	DN50	1,7	DN125	2,6
DN25	1,0	DN65	1,9	DN150	2,8
DN32	1,3	DN80	2,2	DN200	3,0
DN40	1,5	DN100	2,4		

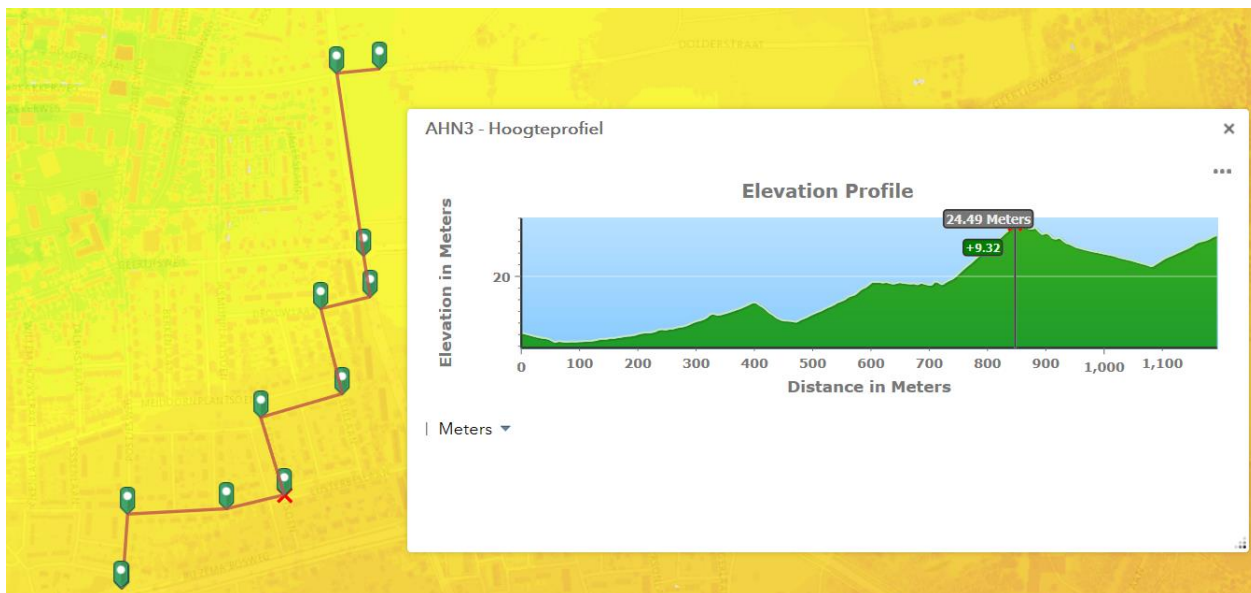
Door een diameter met een maximale grootte van DN200 is het leidingmateriaal staal-PUR-PE toegepast. Voor de aansluitleidingen zijn kunststof PEX leidingen toegepast. Ondanks een midden temperatuur in het warmtenet is isolatie klasse II geselecteerd om warmteverliezen te beperken door de toepassing van relatief kleine diameters in het warmtenet. Tabel 3.3 geeft de leidingeigenschappen van het materiaal.

Tabel 3.3 Leidingeigenschappen

Leidingeigenschappen	Staal-PUR-PE	Eenheid
Isolatieklasse	II	-
Materiaal ruwheid	0,15	mm
Warmtegeleiding isolatie	0,03	W/(m.K)
Warmtegeleiding aansluitleiding	45	W/(m.K)

3.2 Configuratie warmtenet

Vanaf de bron tot de laatste aansluiting in het warmtenet is een groot hoogteverschil aanwezig. Het pompstation bevindt zich op een hoogte van circa NAP 14 m, terwijl de laatste aansluiting op NAP +24 m ligt. Figuur 16 illustreert het hoogteprofiel over het tracé van het warmtenet voor de Benedenbuurt.



Figuur 16 Hoogte lengte profiel vanaf bronlocatie aan de Dolderstraat naar de laatste huisaansluiting op het warmtenet (bron: AHN3)

De netwerkconfiguratie is uitgewerkt met COMSOF versie 2019.1. Figuur 17 geeft de configuratie van de hoofdpopzet van het warmtenet weer. De volledige dimensionering van het warmtenet is opgenomen in bijlage A4.

De aansluitleidingen zijn per woning gemodelleerd. Voor de woningen met een boven- en benedenwoning en de appartementencomplexen wordt één aansluitleiding gedeeld met alle appartementen die zich in het gebouw bevinden. Het is noodzakelijk om voldoende restdruk over te houden in het warmtenet bij de laatste woning die is aangesloten op het warmtenet. Uit de hydraulische modellering van het warmtenet volgt dat voldoende druk in het warmtenet aanwezig is waardoor onderstations niet nodig zijn. Tabel 3.4 geeft de lengtes per diameters die in het warmtenet worden toegepast.

Tabel 3.4 Diameter in distributienet

Diameter	lengte	eenheid	Diameter	lengte	eenheid
DN20	431	m	DN80	312	m
DN25	363	m	DN100	348	m
DN32	453	m	DN125	213	m
DN40	537	m	DN150	128	m
DN50	709	m	DN200	536	m
DN65	174	m			

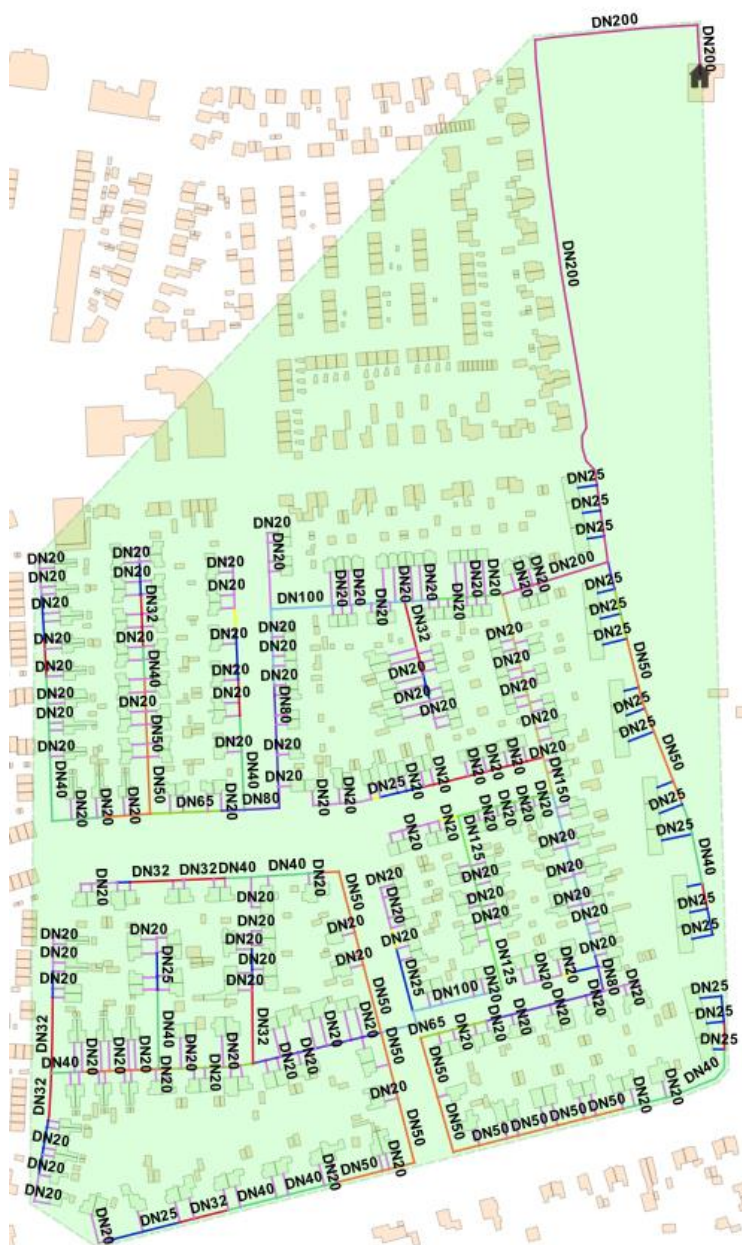


Figuur 17 Configuratie warmtenet

3.3 Clusters

Het heeft de voorkeur om het warmtenet aan te leggen in fasen. De fasering is af te stemmen met het aantal WKO bronnen die worden gerealiseerd. Voor de eerste fasering is het noodzakelijk dat de distributieleiding vanaf de warmtebron tot aan de wijk wordt gerealiseerd. Voor het beperken van de initiële investering voor de eerste fase van het warmtenet heeft het de voorkeur om de woningen op het warmtenet aan te leggen die het dichtst bij de warmtebron zijn gelegen. Voor de uitrol van de opvolgende fasen is het alleen noodzakelijk de distributieleidingen uit te leggen naar de volgende woningen die aangesloten worden op het warmtenet. De exacte fasering van woningen die aangesloten worden op het warmtenet is mede afhankelijk van de bereidheid van de eigenaren van de woningen om zich aan te sluiten op het warmtenet. Hierdoor is vooralsnog geen specifieke fasering bepaald.

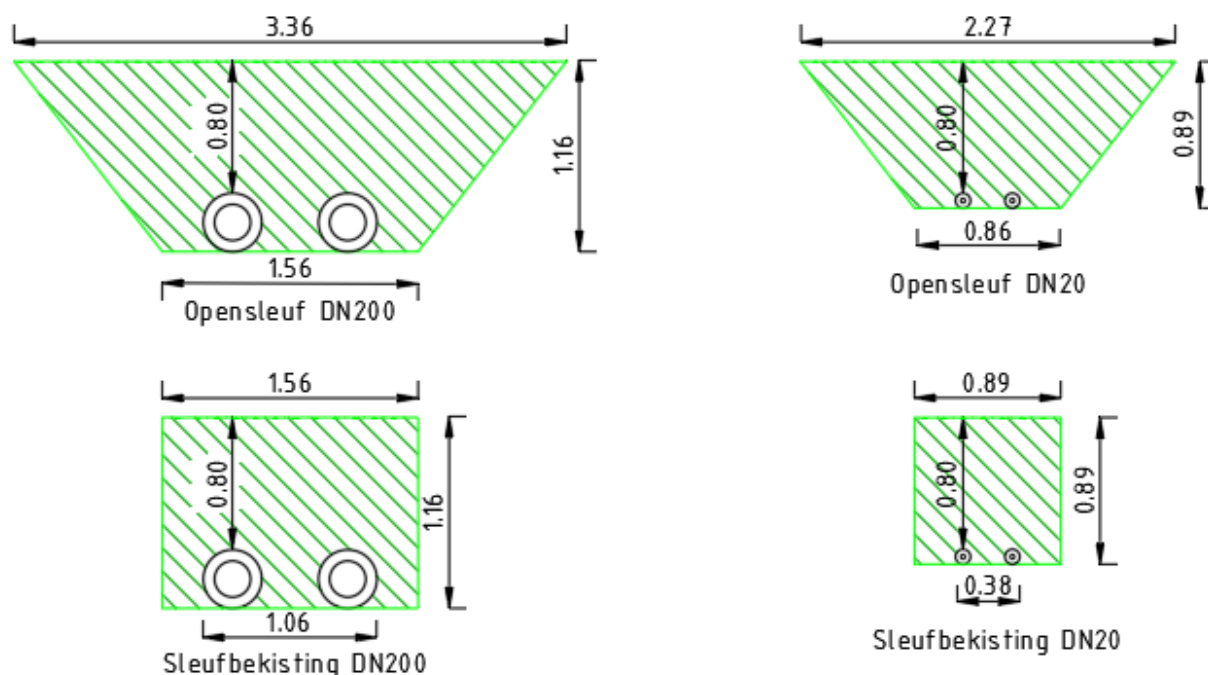
Figuur 18 geeft vooralsnog een enkelvoudige fasering voor het warmtenet weer.



Figuur 18 Fasering warmtenet

3.4 Ruimtelijke inpassing

De diameter van de leidingen die in het warmtenet voorkomen zijn DN20 t/m DN200. Voor deze uiterste twee diameters die in het warmtenet voorkomen is in Figuur 19 het standaard sleufprofiel voor de realisatie van het warmtenet weergegeven.



Figuur 19 Standaard sleufprofielen voor realisatie van DN150 en DN25

De beschikbare ondergrondse ruimte in publieke gronden voor de locatie van de leidingen is beoordeeld aan de hand van de kadastrale grenzen en een KLIC melding die op 3 juli 2019 is ontvangen met leveringsnummer 19O056062. Uit de KLIC zijn de volgende specifieke knelpunten met andere kabels en leidingen naar voren gekomen:

- Ligging onder de Diedenweg. Parallel aan de Diedenweg is weinig ruimte beschikbaar voor de transportleiding vanaf de bron naar de Benedenbuurt. De ruimte die beschikbaar is wordt al gebruikt door andere nutspartijen. Er blijft hierdoor geen andere optie over dan de warmteleiding onder de Diedenweg te plaatsen. Om te voorkomen dat de drukke weg afgesloten moet worden en het asfalt verwijderd dient te worden is een boring onder de Diedenweg door een optie.
- Door de ligging van de leidingen van het warmtenet in het midden van de weg, parallel aan de riolering, worden geen knelpunten met kabels en leidingen van derden verwacht.

Vooralsnog is voldoende ruimte beschikbaar om het warmtenet in publieke gronden te leggen. Uitzondering hierop is de locatie van het warmtenet in het particuliere perceel van de VVE van de appartementen gelegen aan de Diedenweg. Voor de ligging in dit perceel zullen in de volgende fase van het project nadere afspraken met de VVE moeten worden gemaakt.

4 Inpassingsplan Planologie

4.1 Gegevens

Zoals beschreven in 2.1 wordt voor de technische ruimte de zoeklocatie aan de Dolderstraat beschouwd. Dit is de zoeklocatie die de meeste kosten met zich mee zal brengen door de relatief lange transportleiding.

- 1) Te beoordelen elementen warmtenet:
 - de bron (WKO), bestaande uit:
 - opslag in / onttrekking water uit de ondergrond
 - bijbehorende technische ruimten, bovengronds of verdiept aangelegd
 - transportleidingen

NB: aanlegwerkzaamheden vallen buiten het kader van dit advies.

- 2) Planologisch relevante aspecten
 - gebruik van collectieve WKO op locatie
 - gebruik en bebouwing van technische ruimten op locatie
 - gebruik en aanleg transportleidingen op locaties

aanvullende opmerkingen:

- eventuele noodzakelijke (planologisch relevante) aanpassingen aan woningen moeten individueel worden beschouwd;
- juridische beschouwing van de vraag of een warmtenet planologisch-juridisch als "nutsvoorziening" mag worden gedefinieerd: voorlopig antwoord is: ja.

- 3) Te beoordelen locaties
 - locatie WKO en locatie technische ruimten: perceel Dolderstraat
 - locaties leidingen: openbaar gebied Benedenbuurt / naar Dolderstraat
 - locaties leiding naar Parenco: PM

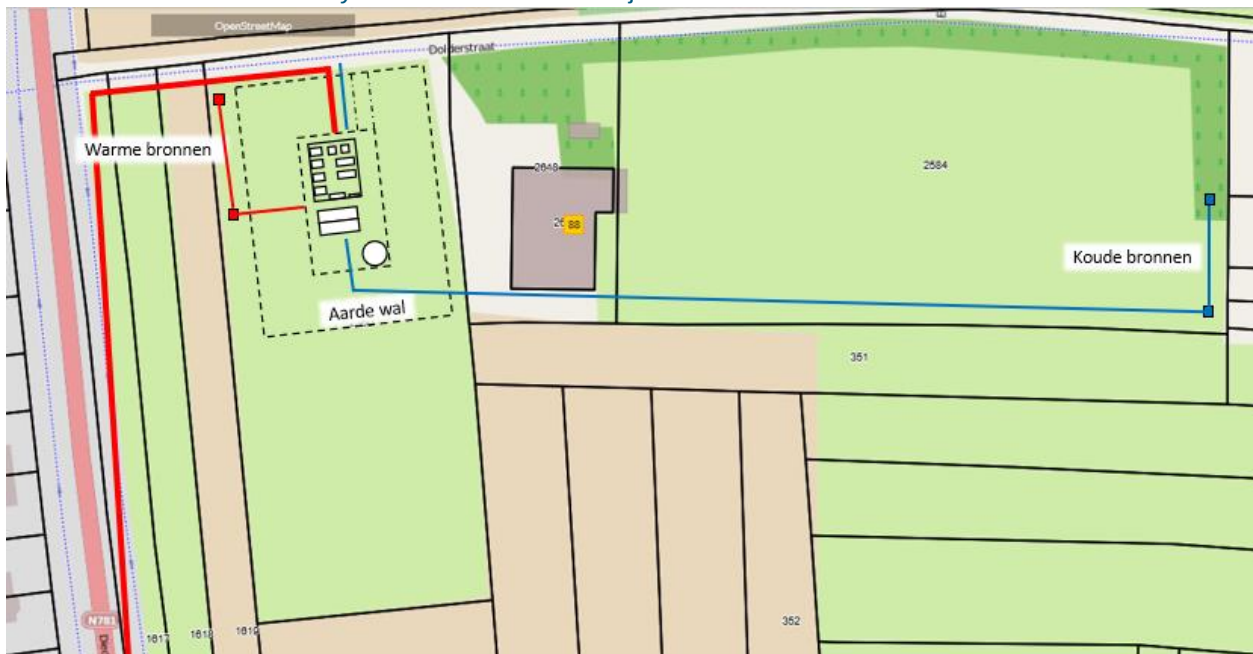
4.2 Schets lay-out locatie

Op de locatie aan de Dolderstraat zal de technische ruimte en andere benodigdheden voor de bron verdiept aangelegd. De maximale hoogte wordt bepaald door het buffervat van 6 meter. Er is daarom voor gekozen de technische ruimte 3 meter verdiept aan te leggen met een dijk van 3 meter. Deze dijk bevat evenveel grond als nodig voor de verdiepte aanleg. Hierdoor is geen grond transport nodig, dit scheelt veel in de kosten. Een schets van de locatie is weergegeven in Figuur 20.

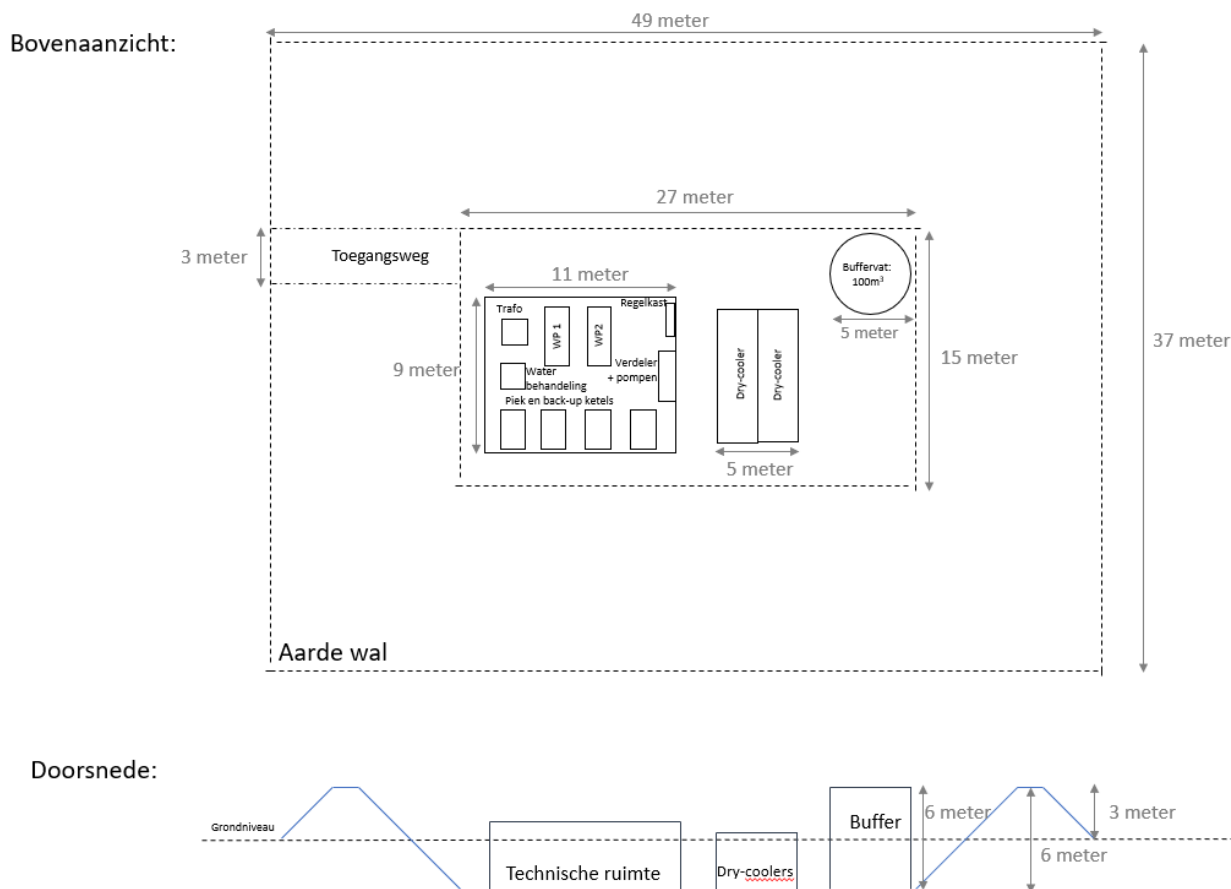
De WKO putten zijn geschetst op een afstand van 177 meter ten opzichte van elkaar in verband met beïnvloeding. De koude bronnen zullen in verband met de stroming oostelijk of westelijk geplaatst moeten worden. De gekozen locatie voor de koude bron is op ten oosten van de technische ruimte, in dit open gebied is het makkelijker om een leiding aan te leggen.

Er is helaas geen locatie te vinden in openbare grond, de koude bronnen zijn daarom ingetekend op het korfbal terrein. Ook de leiding loopt over het terrein van de korfbal vereniging, dit kan alleen wanneer de eigenaar bereid is hier afspraken over te maken.

In Figuur 21 is in meer detail de invulling van de bron locatie geschetst. Belangrijk bij de inrichting is voldoende ruimte rond de dry-coolers om de lucht vrij te laten stromen.



Figuur 20 Schets van de inpassing van de bron locatie in het beschikbare perceel. De perceel afbakening en de openbare weg komen op deze kaart niet overeen. Deze zullen in de praktijk wel overeen komen waardoor het warmtenet via de openbare weg kan worden aangelegd.



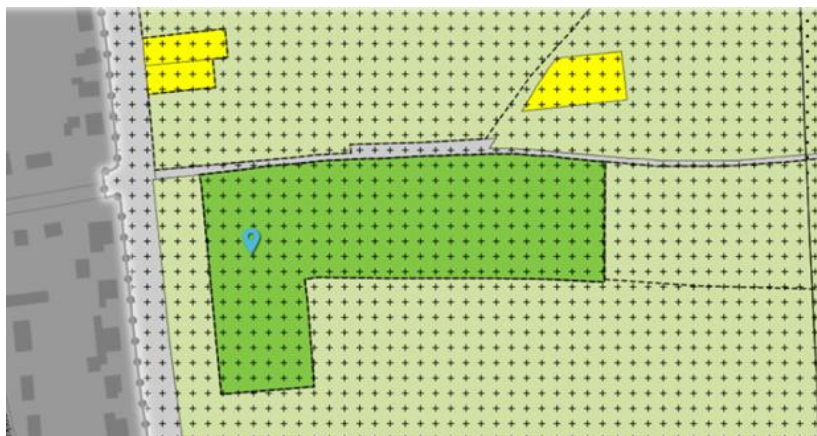
Figuur 21 Plot schets van de bron locatie en doorsnede

4.3 Bestemmingsplantoets WKO perceel Dolderstraat

Het aan de orde zijnde perceel aan de Dolderstraat ligt binnen de plangrenzen van bestemmingsplan Buitengebied van de gemeente Wageningen. In dat bestemmingsplan, dat per 11 juni 2014 onherroepelijk is geworden, is aan het betreffende perceel de enkelbestemming Sport toegekend.

Op grond van de in artikel 17.1.1 van het bestemmingsplan opgenomen Algemene bestemmingsomschrijving zijn de voor Sport aangewezen gronden bestemd voor:

- sportvoorzieningen;
- ondersteunende horeca in de vorm van een kantine;
- het behoud en herstel van waarden, ter plaatse van de aanduiding 'specifieke vorm van sport - 4';
- instandhouding van waarden teneinde de toekomstige, via een wijzigingsbevoegdheid te realiseren ecologische verbindingzones, niet onmogelijk te maken, ter plaatse van de aanduiding 'wro-zone - wijzigingsgebied ecologische verbindingzone';



- wegen en paden;
- groenvoorzieningen;
- parkeervoorzieningen;
- water en waterhuishoudkundige voorzieningen;

één en ander met bijbehorende voorzieningen (...)

De functie (sec) van opslag van water in de ondergrond (c.q. warmtewisseling in de ondergrond) wordt getoetst aan de Waterwet. Dit valt buiten het kader van dit planologisch inpassingsadvies. (Besluit Bodemenergie).

De technische middelen die nodig zijn voor opslag dan wel onttrekking van water zijn wél planologisch relevant. Het gebruik en het bouwen van technische installaties t.b.v. een WKO zijn onderdelen van een bodemenergiesysteem. **De bestemming Sport voorziet niet in het gebruik van gronden voor aanleg en gebruik van een dergelijk systeem.** Daarbij moet worden opgemerkt dat een WKO niet kan worden beschouwd als een waterhuishoudkundige voorziening, omdat het geen (primair) waterhuishoudkundige functie heeft (maar energiefunctie). Ook kan een WKO niet als bijbehorende voorziening worden beschouwd, omdat de WKO geen (nagenoeg) exclusieve relatie heeft met de ter plaatse aanwezige dan wel geprojecteerde sportvoorziening. Op grond van de bouwregels mogen bovendien alleen gebouwen en bouwwerken worden gebouwd ten dienste van de bestemming.

Een voorziening kan niettemin zonder (planologische) omgevingsvergunning worden gebouwd indien deze voldoet aan de volgende eisen (bijlage II, artikel 2 Besluit omgevingsrecht):

een bouwwerk ten behoeve van een infrastructurele of openbare voorziening, voor zover het betreft:

a. een bouwwerk ten behoeve van een nutsvoorziening, de waterhuishouding, het meten van de luchtkwaliteit, het telecommunicatieverkeer, het openbaar vervoer of het weg-, spoorweg-, water- of luchtverkeer, mits wordt voldaan aan de volgende eisen:

1°. niet hoger dan 3 m, en

2°. de oppervlakte niet meer dan 15 m²,

Ingeval van grotere installaties kan wellicht de 'kruimelgevallenregeling' soelaas bieden (bijlage II, artikel 4 Besluit omgevingsrecht):

een gebouw ten behoeve van een infrastructurele of openbare voorziening als bedoeld in artikel 2, onderdeel 18, onder a, dat niet voldoet aan de in dat subonderdeel genoemde eisen, mits wordt voldaan aan de volgende eisen:

a. niet hoger dan 5 m, en

b. de oppervlakte niet meer dan 50 m²;

Indien ook hieraan niet kan worden voldaan is een bestemmingsplanherziening (6 maanden) nodig, dan wel een buitenplanse afwijking via de uitgebreide procedure (6 maanden).

Ingeval van een procedure (kruimelgevallenregeling, planherziening of afwijkingsprocedure) moet sprake zijn van een nadere planologische afweging. Deze mag bij toepassing van de kruimelgevallenregeling beperkt zijn. Ingeval van een planherziening moet sprake zijn van een zorgvuldige planvoorbereiding. Bij de afwijkingsprocedure vereist de wet een specifieke "goede ruimtelijke onderbouwing".

Welke zaken moeten dan bij de afweging c.q. onderbouwing worden betrokken?

- inpasbaarheid in beleid van het rijk, provincie, waterschap en gemeente;

- milieukundige inpasbaarheid (o.a. geluid, lucht, trillingen, geur, omgevingsveiligheid, bodemkwaliteit, waterhuishouding);
- bescherming van waarden (ecologie, flora en fauna, archeologie, cultuurhistorie);
- financiële uitvoerbaarheid (incl. planschaderisico);
- maatschappelijke uitvoerbaarheid;
- technische uitvoerbaarheid / aanlegfase.

Behalve de enkelbestemming Sport geldt ter plaatse van het perceel Dolderstraat ook de dubbelbestemming Waarde - Archeologie 4 (artikel 35). Onder meer voor het aanleggen van ondergrondse transport-, energie- of telecommunicatieleidingen en daarmee verband houdende constructies, installaties of apparatuur, is een **omgevingsvergunning vereist**. In dat kader moet via een archeologisch rapport of een oordeel van een archeologisch deskundige worden aangetoond dat archeologische waarden niet (onevenredig) worden geschaad.

Bestemmingsplantoets warmteleidingen

Een buisleiding voor een warmtenet is geen leiding als bedoeld in het Besluit externe veiligheid buisleidingen (want er vindt geen 'transport' van gevaarlijke stoffen plaats). In beginsel is de aanleg van buisleidingen t.b.v. een warmtenet dan **vergunningsvrij** (althans geen omgevingsvergunning voor gebruik en bouwen). Dit op grond van bijlage II, artikel 2, onderdeel 18, aanhef en letter d:

een bouwwerk ten behoeve van een infrastructurele of openbare() voorziening, voor zover het betreft: (..) d. ondergrondse buis- en leidingstelsels, met uitzondering van een buisleiding als bedoeld in artikel 1, eerste lid, van het Besluit externe veiligheid buisleidingen,*

(*) In dit geval is het leidingstelsel, indien het niet als openbaar zou kunnen worden beschouwd, in elk geval als infrastructurele voorziening beschouwd kunnen worden.

Het hiervoor vermelde inzake de archeologische dubbelbestemming is echter **wél van toepassing**.

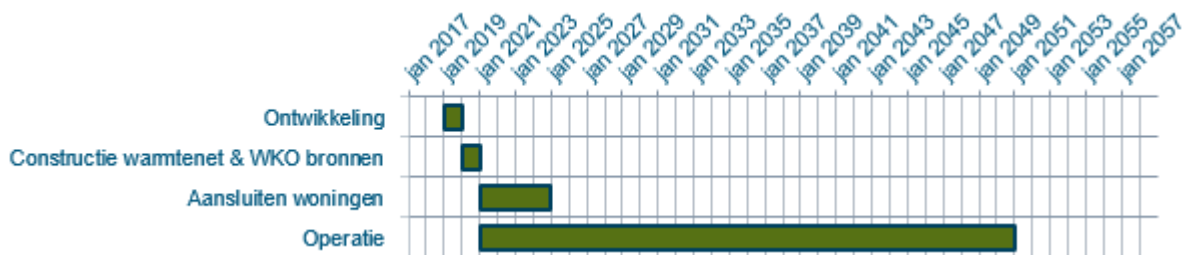
5 Business case

Het basisontwerp is doorgerekend in een business case. Een business case zet alle kosten en opbrengsten op een rij en berekent of / onder welke condities een project rendabel en/of financieerbaar is. Omdat dit project zich in een relatief vroege projectfase bevindt is er nog geen rekening gehouden met belastingen en financieringsstructuren. Wel is er een generieke aanname gedaan voor de vermogenskosten (WACC) en inflatie.

Een ander aspect van een business case in een dergelijk vroege projectfase is dat de onzekerheid rondom met name de investeringskosten zeer hoog is. Op dit moment wordt een onnauwkeurigheid van +/- 30% aangehouden. Bij het doornemen van onderstaande informatie dient daarom rekening gehouden te worden met deze onzekerheid. De ingeschatte kosten en gekozen aannames zijn altijd gemiddelde waarden.

5.1 Fasering

De uitrol van het warmtenet en de WKO bronnen zijn verdeeld in verschillende fases. Voor de business case is uitgegaan van een ontwikkelingsfase van een jaar, gevolgd door de constructie van het warmtenet en de WKO bronnen in het jaar daarna, waarna de woningen verspreid over vier jaar worden aangesloten. De operationele fase start zodra de eerste huizen zijn aangesloten.



Figuur 22 Fasering in business case

In de praktijk kan voor een meer gefaseerde aanpak worden gekozen met als doel risico's te spreiden. De fasering van het warmtenet en de bronnen wordt aangepast op het functioneren van de eerste WKO bron en het warmtenet wordt in verschillende clusters aangelegd, zoals in hoofdstuk 3 besproken. Een dergelijke fasering kan er als volgt uitzien.

Een eerste WKO bron wordt gerealiseerd bij de eerste fase van het warmtenet. De WKO bron moet zich enkele jaren ontwikkelen voordat duidelijk is wat de maximale capaciteit van de bron is. In de eerste fase zullen op basis van de ondergrens van de verwachte capaciteit van de WKO bron slechts enkele clusters woningen op het warmtenet aangesloten worden. Tijdens de ontwikkeling van de bron kunnen aanvullende clusters van woningen op het warmtenet aangesloten worden, voor zover de capaciteit van de WKO bron dit toelaat. In een tweede fase wordt de volgende WKO bron gerealiseerd waarbij de opvolgende clusters van woningen op het warmtenet worden aangesloten. Met deze fasering wordt het volloopriscio beperkt.

Nadere afstemming is nodig met de aannemer over het gefaseerd aanleggen. Het kan zijn dat de totale investeringskosten toenemen indien het warmtenet niet in een keer aangelegd kan worden. Daarnaast is nadere afstemming is met de gemeente Wageningen nodig over de gecombineerde aanleg met de riolering. Om deze redenen is een dergelijke fasering nog niet opgenomen in de business case.

A1 Bronnen voor binnen installatie

- Radiator vermogen per m² oppervlak (bron: <https://www.radson.com/be/producten/calculator-2.htm>)
 - Type 10: 1 kW/m²
 - Type 11: 1,8 kW/m²
 - Type 20: 1,7 kW/m²
 - Type 21: 2,5 kW/m²
 - Type 22: 3,3 kW/m²
 - Type 30: 2,6 kW/m²
 - Type 33: 4,8 kW/m²
- Benodigd vermogen woonkamer (bron: <https://www.radson.com/be/producten/calculator-1.htm>)

Uitgangspunten

 - Binnenland locatie, gelijkvloers met plafond, normale wind, 3 buitenmuren
 - Gemiddelde isolatie (Spouwmuur en dubbelglas; *geen spouwmuurisolatie*)
 - Maximaal 22 graden binnentemperatuur
 - Glas oppervlak tussen 10%-20%, Oud dubbelglas

Resultaten

 - Vermogen 42 – 45 watt/m³ *lager vermogen per m³ naarmate inhoud van de kamer groter wordt*
 - Reductie bij vervangen van *oud dubbelglas* naar *HR++* ~3%
 - Reductie bij isolatie van *gemiddeld* naar *goed* ~10% (spouwmuur isolatie)
 - Reductie bij isolatie van *gemiddeld* naar *zeer goed* ~20% (spouwmuur isolatie, vloer isolatie, dak isolatie)
- Benodigde capaciteit voor 80/50 en 70/40 (bron: Radson omreken tabel)
 - Uitgangspunt 80/60 of 75/65 → 100%
 - 80/60 → 120%
 - 70/40 → 173%

A2 Resultaten schouw

Op 4 juni 2019 zijn in de Benedenbuurt in Wageningen schouwingen uitgevoerd voor het geplande warmtenet. Het doel van de schouwingen is om de technische haalbaarheid te toetsen en de businesscase aan te scherpen.

Het merendeel van de huizen is in de jaren 50 gebouwd zonder centrale verwarming. Deze is in alle bezochte woningen later aangelegd. Dit zorgt voor een grote variëteit in locatie van de CV ketel en het CV systeem. Alle bezochte woningen waren inclusief een kelder gebouwd, dit lijkt een goede locatie voor de aflever-set.

Grof zijn er voor de aflever-set twee locaties geïdentificeerd:

3. In de kelder
4. In de bijkeuken/schuur wanneer hier al een CV voorziening is

Vanuit de aflever-set zijn 3 aansluitingen nodig:

4. CV aanvoer en retour
vaak of aanwezig in de kelder of via de kruipruimte naar bestaande radiator, hier is bij de geïnspecteerde huizen een grote diameter aanwezig
5. Koud water
Aanwezig in de kelder, direct van watermeter

6. Warmwater

Aanwezig in de keukens, waarschijnlijk zijn dit kleine diameters en is alleen geschikt voor lage comfort klasse.

- a. Keuken is vaak goed te bereiken, dichtbij de kelder
- b. Wanneer de leiding naar de CV ketel moet worden gelegd is de meest voordehand liggende optie via een bestaande ventilatie schacht.



Kamperfoelielaan 24

Dit is het huis van Wanka Lelyveld, de initiatiefnemer. Bij de verbouwingen heeft hij rekening gehouden met het warmtenet door een aansluiting in de schuur te voorzien. Hierdoor kan deze woning vrij eenvoudig worden aangesloten.



Kamperfoelielaan 5

Locatie CV: op de 2^{de} verdieping

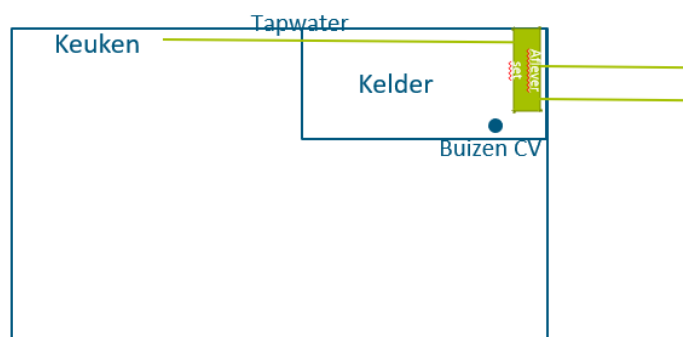
Logische plek afleverset: in de kelder komen alle leidingen binnen. Hier is ook ruimte voor de aflever-set.

Aansluiting CV: In de kelder lijkt ook een hoofdleiding van de verwarming langs te lopen, bij de schouw was alleen onduidelijk of deze leiding nog steeds in gebruik is. Wanneer in gebruik kan deze zonder breekwerk aangesloten worden.

Aansluiting warmwater: Deze bevindt zich in de keuken, in het verlengde van de kelder. Dit vergt het volgende:

- Doorvoer keukenwand
- Leiding achter de koelkast langs
- Leiding onder de keukenplint of achter de kasten tot de gootsteen waar de warmwaterleiding wordt opgepakt.

Aansluiting koud water: Aanwezig





Prunusstraat 7

Locatie CV: in de keuken op de BG

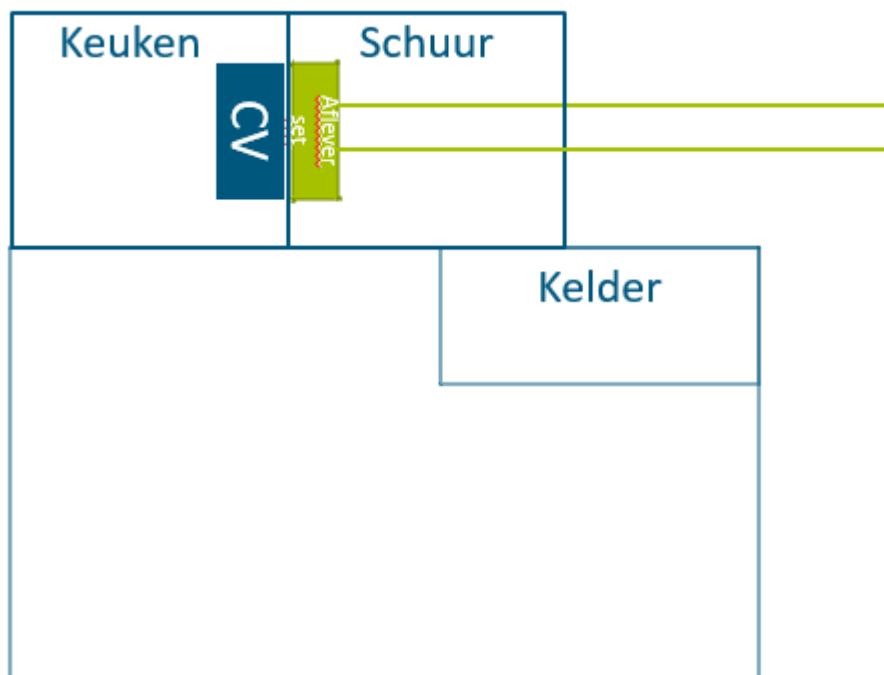
Logische plek aflever-set: er is een voorziening gemaakt in de schuur.

Aansluiting CV: In de schuur is een voorziening gemaakt voor om de verwarming te voeden.

Aansluiting warmwater: Deze bevindt zich in de keuken net aan de andere kant van schuur. Er moet een doorvoer door één muur gemaakt worden.

Aansluiting koud water: Idem warm water

Alternatief: Ook in de kelder is loopt een CV leiding en warmwateraansluiting. De warmwateraansluiting is 12mm, deze zou vervangen moeten worden voor 15 mm.





Pootakkerweg 10 (huurhuis)

Locatie CV: achter de keuken in aanbouw.

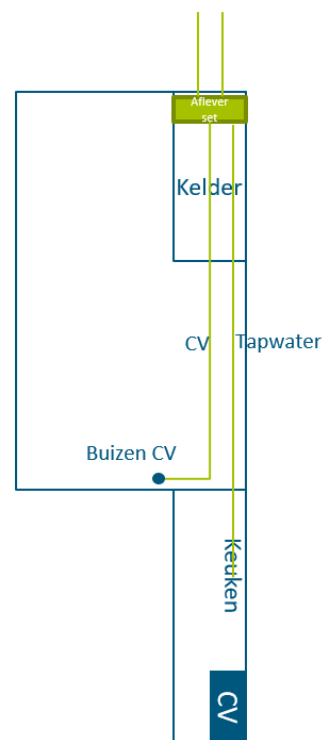
Logische plek aflever-set: Dit zou in de kelder kunnen dit is het meest dichtbij de weg en om de juiste hoogte.

Aansluiting CV: Onder de woonkamer is een kruipruimte. Hier ligt wel een laag EPS korrels. Aansluiting op de verwarmingen lijkt het makkelijkste via deze kruipruimte die vanuit de kelder toegankelijk is.

Aansluiting warmwater: Deze bevindt zich in de keuken, niet bekend of de kruipruimte zover doorloopt. Anders zou de leiding vanuit de kruipruimte naar de keuken moeten worden gebracht en daar achter de kastjes richting gootsteen.

Aansluiting koud water: Aanwezig

Alternatief: Direct naar de CV achter het huis. Hier is waarschijnlijk geen kruipruimte en de CV hangt aan de binnenmuur.





Ritzema Bosweg 45

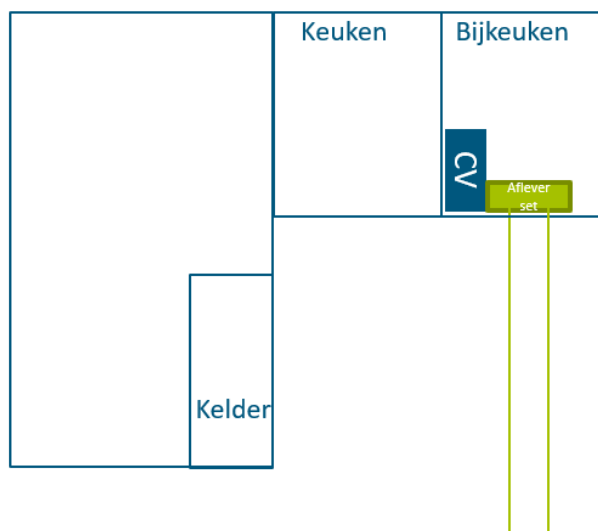
Locatie CV: In aanbouw aan de zijkant van het huis

Logische plek aflever-set: Op de locatie van de CV, zowel ruimte als aansluitingen aanwezig.

Aansluiting CV: aanwezig

Aansluiting warmwater: aanwezig

Aansluiting koud water: Aanwezig





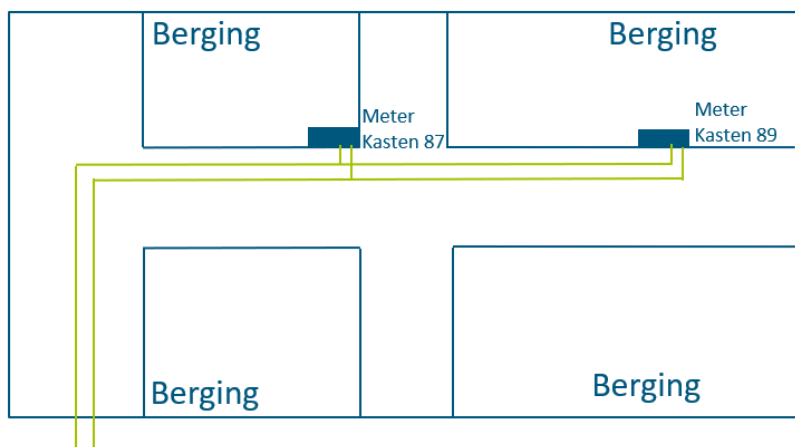
Diedenweg 87-89 (appartementen, VvE)

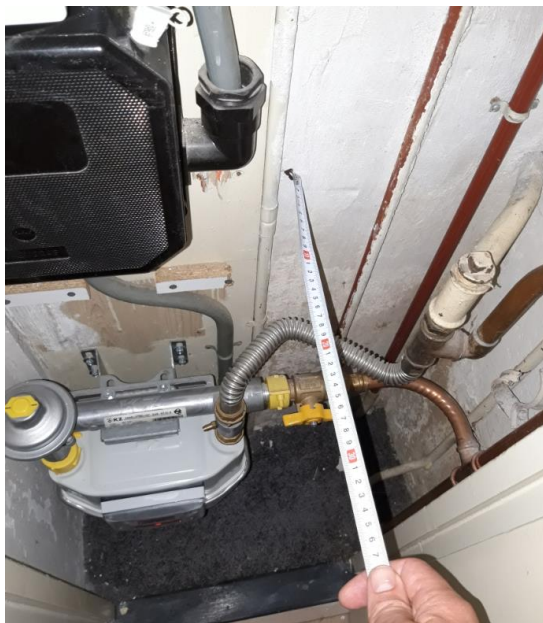
Per portiek is hier een VvE.

Locatie CV: Per appartement op verschillende locaties: badkamer, keuken, slaapkamer.

Logische plek invoer: De zuidkant van de berging licht onder het maaiveld. Hier kan een doorvoer gemaakt worden.

Aansluiting stijgleidingen: Via de berging kan de schacht bereikt worden waar de stijgleidingen omhoog gaan.





Diedenweg 87-1

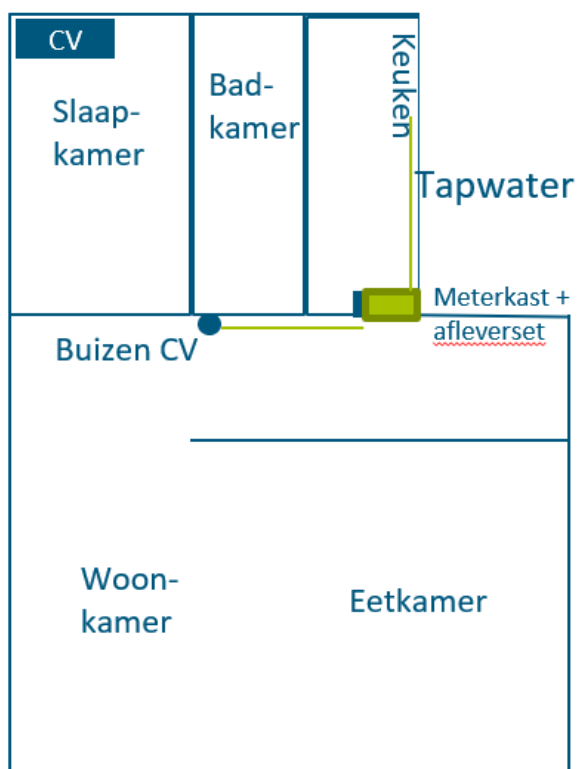
Locatie CV: Slaapkamer

Logische plek aflever-set: Er is een schacht /meterkast voor elektra en gas. De aflever-set past hier in als de gasmeter verwijderd wordt.

Aansluiting CV: Langs de plafonds, eenvoudig aan te sluiten. Of via de gang of via de keuken.

Aansluiting warmwater: In de keuken aanwezig, zou via plafond of achterlangs de keukenkasten kunnen

Aansluiting koud water: In de keuken





Diedenweg 87-2

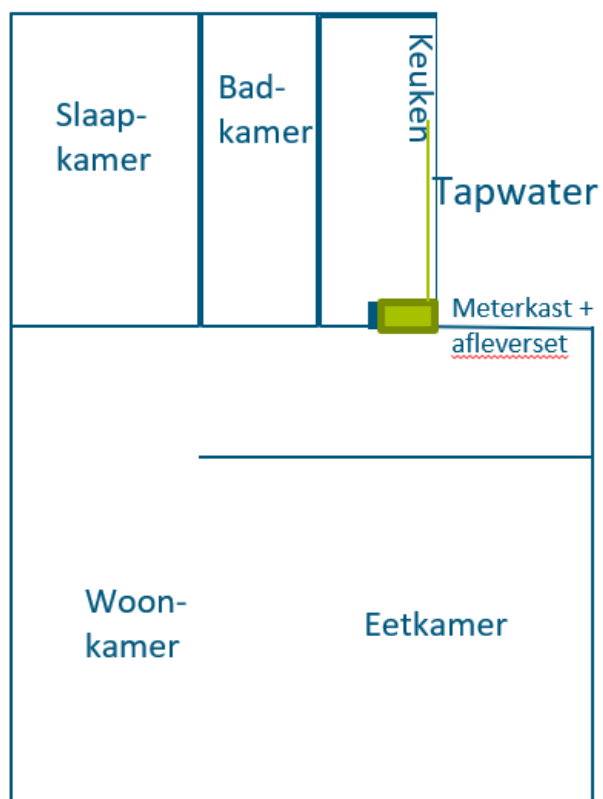
Locatie CV: geen, in aanleg

Logische plek aflever-set: Er is een schacht /meterkast voor elektra en gas. De aflever-set past hier in als de gasmeter verwijderd wordt.

Aansluiting CV: Worden via plafonds aangelegd, en dus eenvoudig aan te sluiten

Aansluiting warmwater: In de keuken aanwezig, zou via plafond of achterlangs de keukenkasten kunnen

Aansluiting koud water: In de keuken





Diedenweg 87

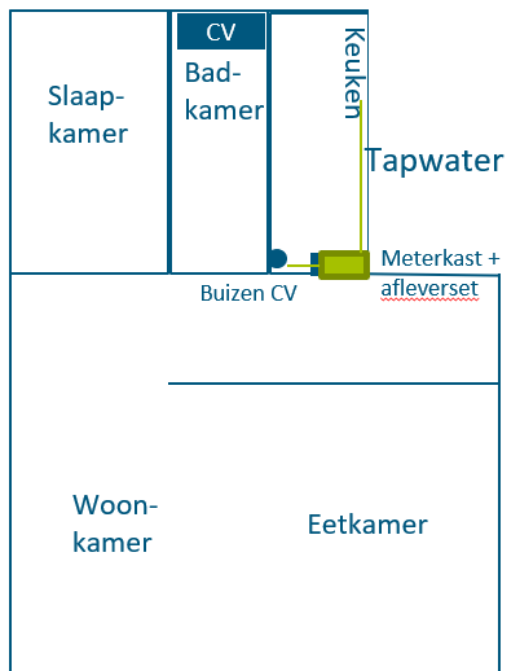
Locatie CV: In de badkamer

Logische plek aflever-set: Er is een schacht /meterkast voor elektra en gas. De aflever-set past hier in als de gasmeter verwijderd wordt.

Aansluiting CV: Via het plafond in de keuken, hier is een verlaagt plafond gepland wat de aansluiting moeilijker maakt.

Aansluiting warmwater: Via het plafond in de keuken, hier is een verlaagt plafond gepland wat de aansluiting moeilijker maakt.

Aansluiting koud water: Langs de schacht





Diedenweg 89

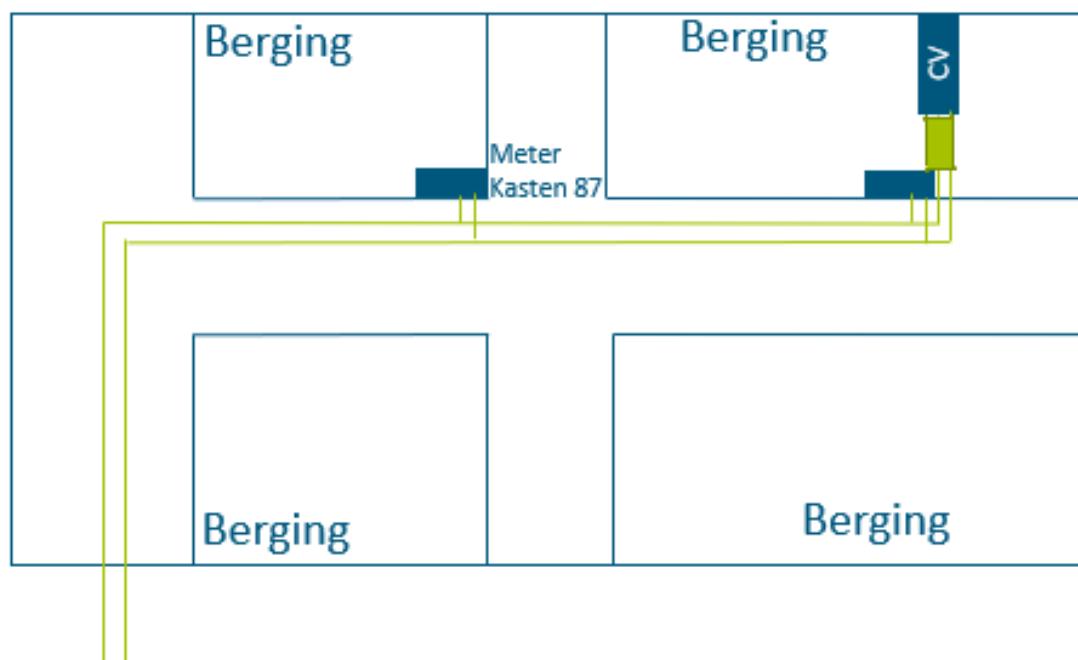
Locatie CV: In de berging, direct onder de woning

Logische plek aflever-set: In de berging, hier zal ook de warmte aanvoer het gebouw binnen komen.

Aansluiting CV: aanwezig

Aansluiting warmwater: Aanwezig

Aansluiting koud water: Aanwezig



A3 Scan Haalbaarheid WKO systeem

A3.1 Inleiding

Ten einde de haalbaarheid van een open WKO-systeem ter plaatse van de Benedenbuurt in Wageningen te onderzoeken is een quick scan uitgevoerd.

Het doel van de scan is drieledig:

- Bepalen in hoeverre wet- en regelgeving de implementatie van een WKO-systeem kunnen belemmeren;
- Bepalen of de lokale (hydrologische/hydrochemische) condities geschikt zijn voor een open WKO-systeem;
- Bepalen van de potentiële capaciteit van de bronnen en het aandragen van een bronnenconfiguratie.



Afbeelding 27. Regionale ligging onderzoekslocatie.

A3.2 Wet & regelgeving

De voorgenomen activiteiten vinden plaats in de Provincie Gelderland. Dit betekent dat de Provincie Gelderland bevoegd gezag is. De Provincie Gelderland staat niet afwijzend tegenover het toepassen van warmte koude opslag systemen vanwege positieve effecten voor het milieu. Echter om de bestaande grondwater afhankelijke belangen te kunnen waarborgen mogen er geen onaanvaardbare effecten in de omgeving optreden.

De locatie ligt niet in een beschermd- en interferentiegebied. Tevens is voor het gebied geen bodemenergieplan opgesteld. Met betrekking tot de bestaande grondwaterafhankelijke belangen mag de realisatie van het WKO systeem niet leiden tot:

- de verplaatsing van de zoet-zout grens (verzilting);
- aantasten van natuurwaarden;
- een negatieve beïnvloeding van WKO systemen en overige grondwateronttrekkingen;
- aantasting van monumenten en aardkundige waarden;
- verplaatsing van verontreinigingen;
- optreden van onaanvaardbare landbouwschade;
- optreden van onaanvaardbare zettingen.

Overige criteria waaraan een WKO moet voldoen zijn:

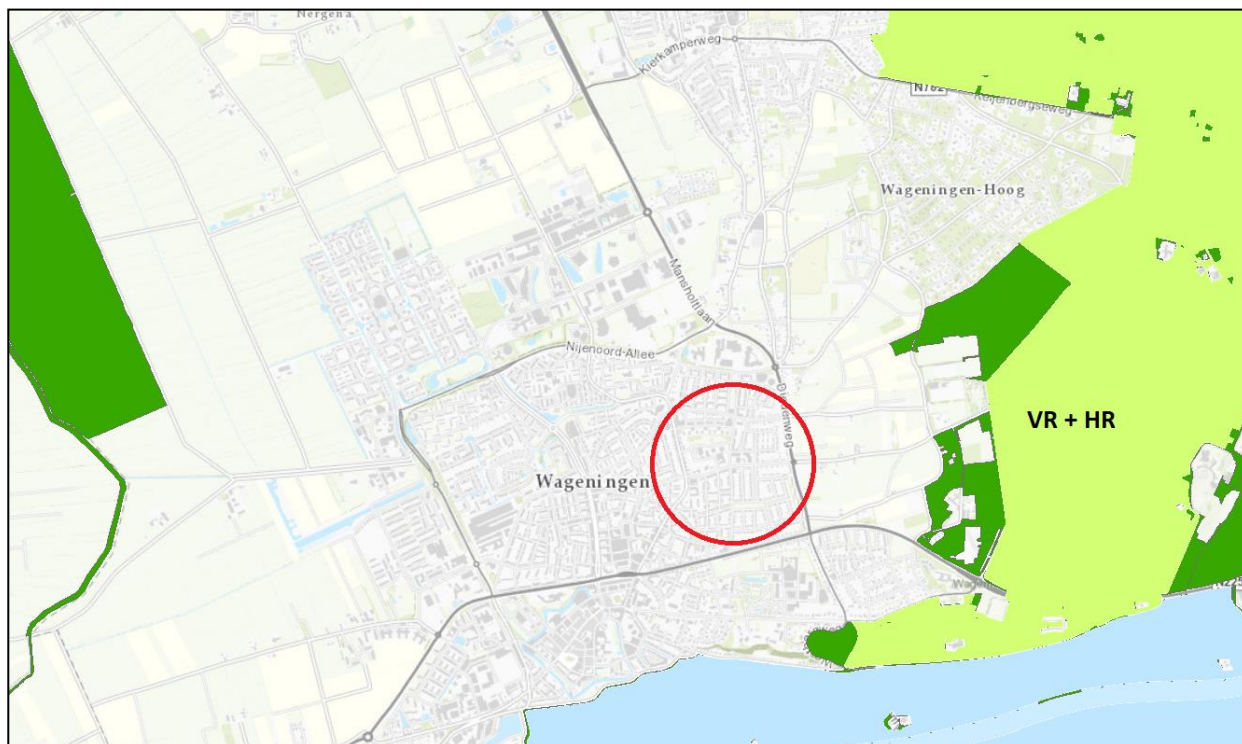
- Het WKO systeem moet gesloten zijn, het grondwater moet in hetzelfde pakket onttrokken en geïnjecteerd worden, dus op dezelfde diepte;
- De thermische balans moet neutraal zijn binnen een periode van 5 jaar;
- De maximale injectietemperatuur bedraagt 25 °C.

Ad. zoet-zout

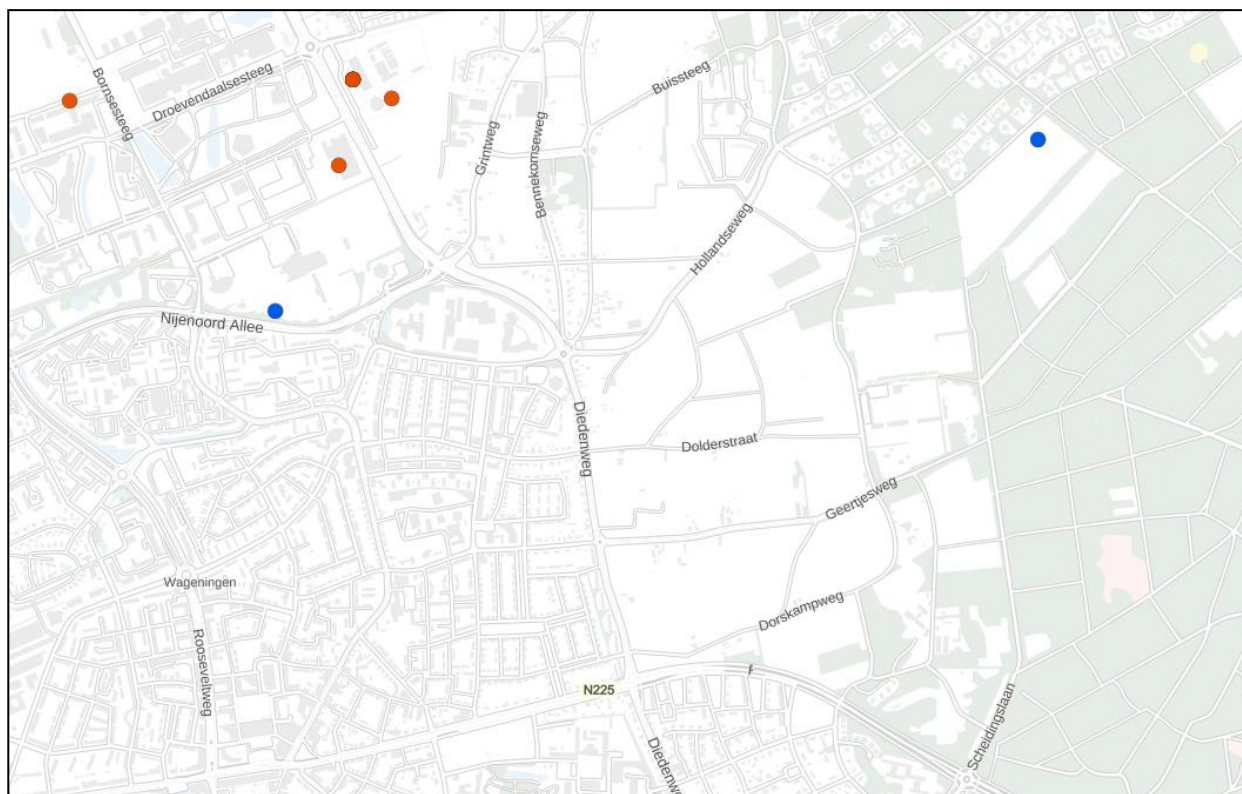
Volgens TNO ligt de diepte van het brak-zout grensvlak [150 mg/l] op een diepte van circa NAP -230 meter. Indien het WKO systeem in het eerste watervoerende pakket of het tweede watervoerende pakket wordt gerealiseerd dan zal er naar verwachting geen verzilting optreden.

Ad. Aantasting natuurwaarden

Afbeelding 2 geeft de situering van de natuurgebieden weer. Op circa 600 meter afstand tot de onderzoekslocatie worden natuurgebieden aangetroffen die deel uitmaken van het Gelders Natuurnetwerk (donkergroene kleur). Het natuurnetwerk bestaat uit bestaande en nieuwe natuurgebieden die door ecologische verbindingzones met elkaar verbonden zijn. Op circa 1200 meter ten oosten van de onderzoekslocatie is tevens een natura 2000 gebied aanwezig (lichtgroene kleur). Dit gebied is beschermd op grond van de Vogelrichtlijn van 1979 en de Habitatrichtlijn van 1992. De implementatie van een WKO-systeem op de onderzoekslocatie gaat gepaard met stijghoogteveranderingen in het eerste watervoerende pakket die kunnen doorwerken tot in de deklaag. Het WKO systeem kan dus, in potentie, invloed hebben op de ecologische waarden. Vooralsnog worden de bestaande natuurwaarden nog niet beschouwd als een beletsel voor een WKO-systeem maar deze vormen zeker een aandachtspunt in het vervolgtraject.



Afbeelding 2: Situering NNN-gebieden (donkergroen) en Natura 2000 gebieden (lichtgroen).



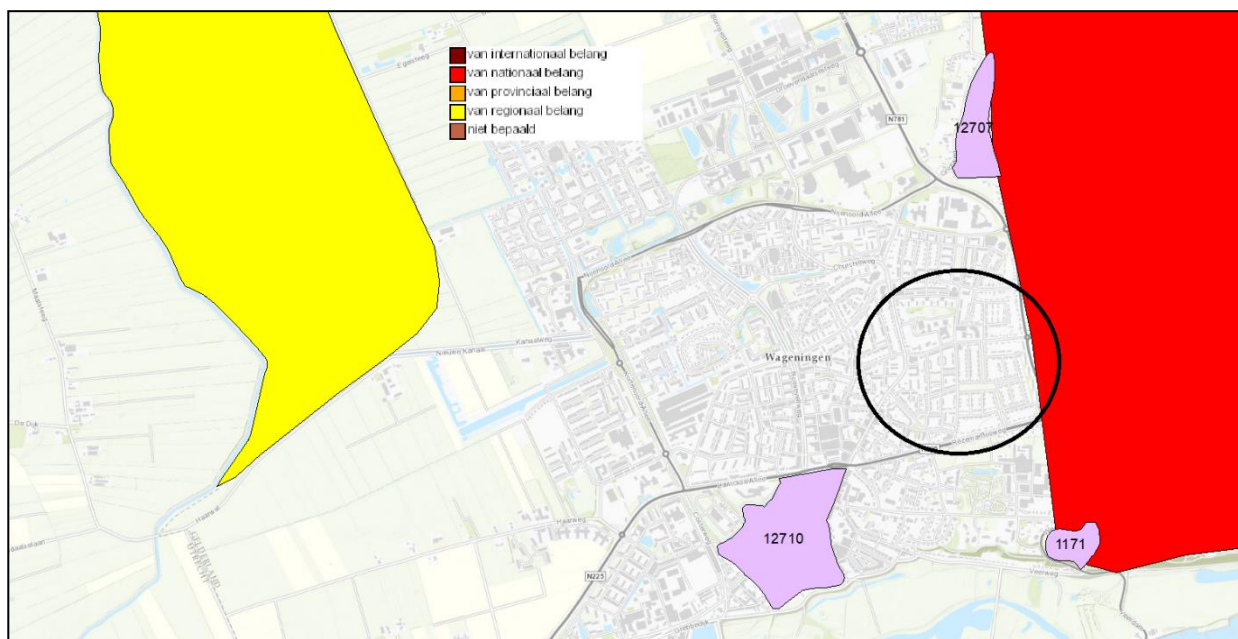
Afbeelding 3: Situering open (rood) en gesloten (oranje) WKO systemen en grondwateronttrekkingen (blauw).

Ad. Beïnvloeding WKO systemen en overige onttrekkingen

Afbeelding 3 geeft de situering van de bestaande WKO systemen en de grondwateronttrekkingen weer. Binnen een straal van 800 meter worden geen open en gesloten WKO systemen aangetroffen. De afstand tot de dichtstbijzijnde grondwateronttrekking bedraagt 540 meter. Gezien de grote afstand tot het onderzoeksgebied worden geen negatieve effecten verwacht op de bestaande WKO systemen en grondwateronttrekkingen.

Ad. Archeologische monumenten en aardkundige waarden

Afbeelding 4 geeft de situering van de archeologische monumenten weer alsmede de gebieden met aardkundige waarden. In de omgeving van het onderzoeksgebied worden drie archeologische monumenten aangetroffen. Het betreft twee terreinen met een archeologische waarde (monumentnummers 12707 en 12710) en één terrein met een zeer hoge archeologische waarde (monumentnummer 1171). Archeologisch monument 1171 heeft een beschermde status en betreft een terrein met resten in stuwwalmateriaal van het oude dorp Wageningen van voor de 13de eeuw. Op het terrein zijn resten van de oude kerspelkerk met begravingen aanwezig. De graven liggen hoger dan de bewoningssporen, en kunnen bij ploegen beschadigd raken. De conservering van het organisch materiaal is niet optimaal; de skeletten verkeren in slechte conditie.



Afbeelding 4: Situering aardkundige waarden en archeologische monumenten.

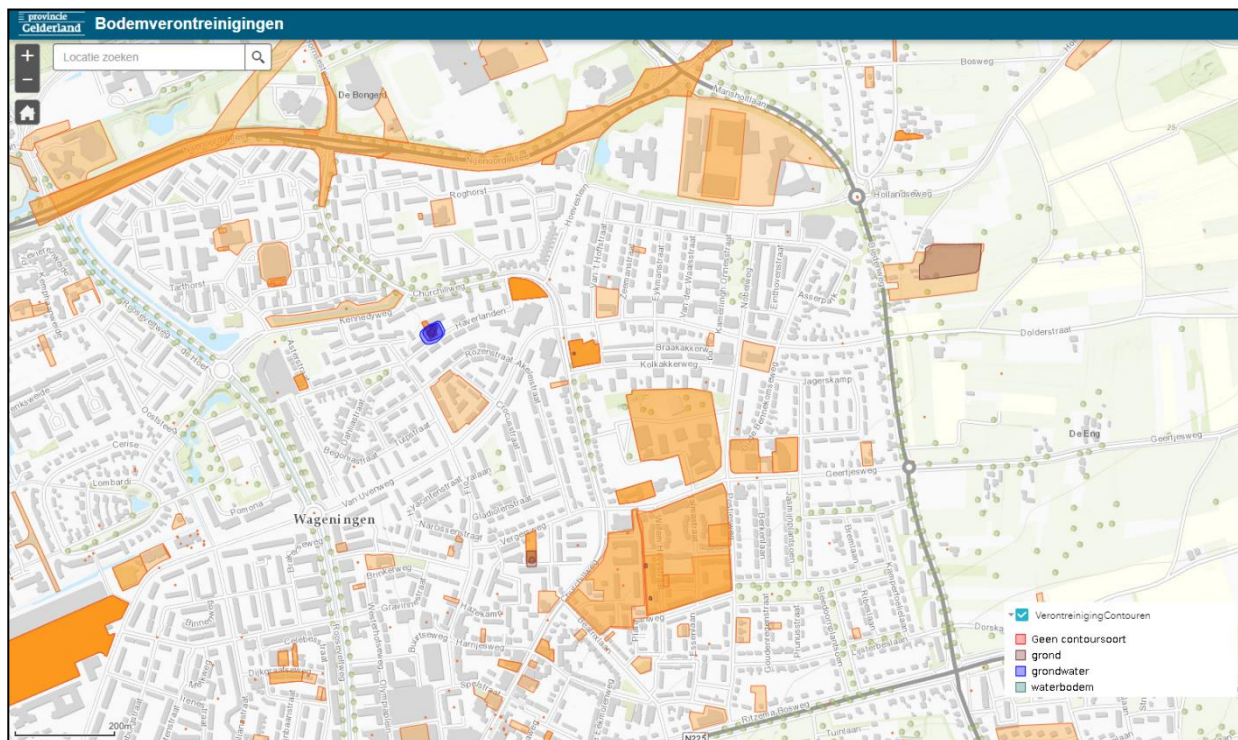
Grondwaterstandsverlagingen kunnen tot vertering van (dateerbaar) organisch materiaal. Het WKO systeem mag dus niet leiden tot te grote grondwaterstandsverlagingen ter plaatse van het monument.

Aan het gebied direct ten oosten van de onderzoeksgebied is door de provincie Gelderland een aardkundige waarde toegekend. Het gebied betreft de Stuwwal van Lunteren-Wageningen en is een object van nationaal belang. De provincie Gelderland streeft ernaar om de (inter)nationale aardkundige waarden te behouden. Aangezien aan de onderzoekslocatie geen aardkundige waarde is toegekend vormen aardkundige waarden geen beletsel voor de implementatie van een WKO systeem.

Ad. Verontreinigingen

In afbeelding 5 zijn de bodemverontreinigingen weergegeven. In de omgeving van het onderzoeksgebied is één geregistreerde grondwaterverontreiniging aanwezig. Het betreft de locatie Haverlanden 199 (BIS

code: AA028900017). De locatie is gesaneerd en volgens bodemloket is de restverontreiniging stabiel. De karakteristieken van de verontreiniging zijn verder onbekend.



Afbeelding 5: Situering bodemverontreinigingen.

Aangezien de grondwaterstroming halfjaarlijks omdraait (alternerend grondwater infiltreren en onttrekken) kan aangenomen worden dat de beoogde WKO niet gaat leiden tot een onacceptabele verspreiding van de verontreinigingen.

Ad. Landbouwschade

Ten oosten van de onderzoekslocatie wordt landbouw bedreven. Het beoogde WKO systeem kan in potentie tot landbouwschade leiden.

Ad. zettingen

Het optreden van zettingen is nooit geheel uit te sluiten. Echter gezien het zandige karakter van de ondergrond wordt het optreden van zettingen vooralsnog niet als een beletsel voor de implementatie van het beoogde WKO systeem beschouwd.

Resume wet en regelgeving

De locatie is niet gelegen in een gebied op basis waarvan WKO op voorhand kan worden uitgesloten. Met betrekking tot de afgeleide effecten worden geen problemen verwacht ten aanzien van verzilting, grondwateronttrekkingen, open- en gesloten WKO systemen en grondwaterverontreinigingen.

Het optreden van zettingen en een negatieve invloed op archeologische monumenten, natuur en landbouw is niet uit te sluiten. De daadwerkelijke invloed van het WKO systeem op deze grondwaterafhankelijke belangen is afhankelijk van de diepte waarop het WKO systeem wordt gerealiseerd, de bodemopbouw en het exploitatieschema. Meer inzicht in deze effecten kan verkregen worden met behulp van modelberekeningen. Vooralsnog worden deze effecten niet als een beletsel voor

de realisatie van een WKO systeem beschouwd onder voorwaarde dat de bronnen in het tweede watervoerende pakket worden geplaatst.

A3.3 Hydrologische- en hydrochemische condities

Voor het bepalen van de hydrologische- en hydrochemische geschiktheid zijn vier aspecten van belang: de kwaliteit van het grondwater, de aanwezigheid en dikte van scheidende lagen, de grondwaterstromingssnelheid en de opslagcapaciteit van de ondergrond. Tabel 2 geeft een overzicht van de relevante parameters.

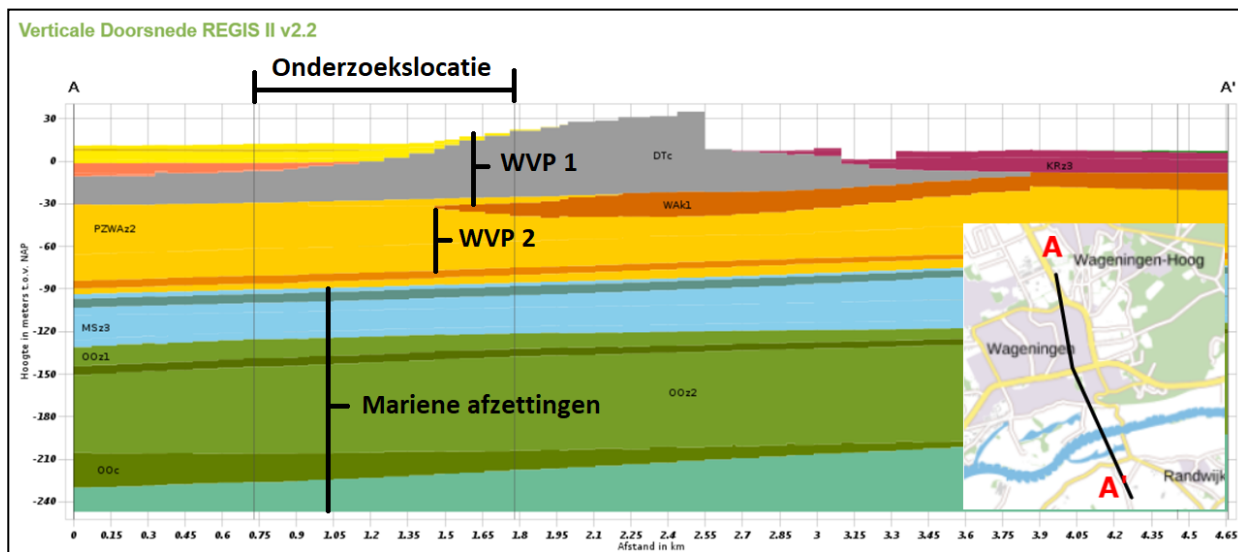
Tabel 1. Relevante hydrogeologische aspecten

Aspect	Toelichting	Kritieke parameters
Aanwezigheid en dikte scheidende lagen	De energieopslag moet voldoende beschermd zijn tegen ongewenste invloeden	<i>Weerstand lagen</i>
Stromingssnelheid grondwater	Met het oog op het rendement van de energieopslag mag de snelheid niet te groot zijn	<i>Stijghoogteverloop Doorlatendheid Porositeit</i>
Grondwaterkwaliteit	De filters mogen niet dicht slaan als gevolg van het mengen van grondwater met verschillende redoxniveaus	<i>Redoxkarakteristieken</i>
Opslagcapaciteit	De opslagcapaciteit moet voldoende groot zijn voor de beoogde volumestromen	<i>Dikte aquifer Laterale verbreiding aquifer Porositeit</i>

Tabel 2. Bodemopbouw en hydraulische karakteristieken (REGIS II.2)

Geohydrologie	Diepte [m t.o.v. NAP]	Formatie	Sediment	Kh [m/d]	C [d]
Deklaag	+20.0 tot +16.7	Formatie van Boxtel	Fijn tot grof zand, kleilaagjes	6-8	n.v.t.
WVP 1	+16.7 tot -25.5	Gestuwde afzettingen	Fijn tot grof zand	onbekend	n.v.t.
WVP 1	-25.5 tot -29.4	Formatie van Peize-Waalre	Grof zand	30	n.v.t.
SDL 1	-29.4 tot -35.7	Formatie van Waalre	Klei	n.v.t.	220
WVP 2	-35.7 tot -75.6	Formatie van Peize-Waalre	Grof zand	51-54	n.v.t.
SDL 2	-75.6 tot -80.8	Formatie van Waalre	Klei	n.v.t.	240

In afbeelding 6 is de bodemopbouw in een profiel weergegeven (ontleend aan de REGIS II.2 database; TNO, 2019). De Benedenbuurt ligt op een deklaag die voornamelijk uit zand bestaat, lokaal wordt de deklaag doorsneden door kleilagen. Op basis van de hydraulische karakteristieken (zie tabel 2) kan de ondergrond onderverdeeld worden in twee watervoerende pakketten die van elkaar gescheiden worden door slecht-doorlatende eenheden. De mariene afzettingen onder het tweede watervoerende pakket zijn niet beschouwd. Mariene zanden zijn in het algemeen goed gesorteerd maar worden tevens gekenmerkt door een negatieve scheefheid. De scheefheid geeft de mate van asymmetrie van een verdeling weer. Mariene zanden worden gekenmerkt door een relatief groot aandeel aan kleine korrels. Deze kleine korrels kunnen de poriën passeren en zo, op termijn, tot verstopping op de boorgatwand kan leiden.



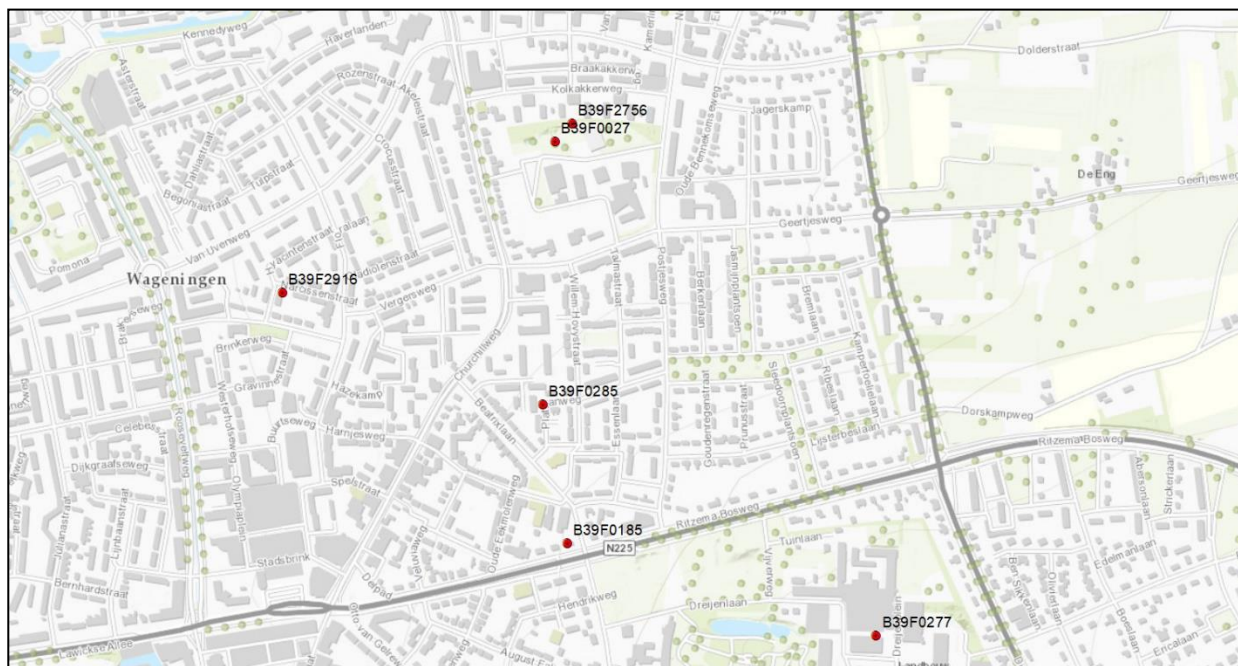
Afbeelding 6: Regionale bodemopbouw.

Het eerste watervoerende pakket is voornamelijk opgebouwd uit gestuwde zanden en heeft een dikte van circa 45 meter. Gezien het gestuwde karakter en de variabele samenstelling zijn door TNO geen hydraulische karakteristieken aan het deze zanden toegekend. Het onderste gedeelte van het eerste watervoerende pakket is opgebouwd uit matig grove zanden van de Formatie van Peize-Waalre met een doorlatendheid van 30 m/d. Het eerste watervoerende pakket wordt van het tweede watervoerende pakket gescheiden door een kleilaag die wordt aangetroffen op een diepte van circa NAP -30 meter. Het tweede watervoerende pakket bestaat uit zanden van de Formatie van Peize-Waalre. Het tweede watervoerende pakket heeft een dikte van circa 40 meter en door TNO is aan dit pakket een doorlatendheid van ruim 50 m/d toegekend.

Om meer inzicht te krijgen in de bodemopbouw zijn de lokale boringen geïnventariseerd en nader beschouwd. In de omgeving van de onderzoek locatie zijn diverse boringen aanwezig. Afbeelding 7 geeft de situering van de boringen weer, de boorbeschrijvingen zijn opgenomen in bijlage 1.

Uit de boorbeschrijvingen is op te maken dat de samenstelling van het eerste watervoerende pakket sterk varieert. De kleilaag tussen het eerste watervoerende pakket en het tweede watervoerende vertoont een variabele dikte. De dikte van de kleilaag varieert in het algemeen tussen de 3 en 12 meter (boorbeschrijvingen B39F0027, B39F2756 en B39F2916). Ter plaatse van boring B39F0277 is de kleilaag aanzienlijk dikker, in deze boring bedraagt de dikte van de kleilaag ruim 20 meter.

Gesteld kan worden dat de dikte van het tweede watervoerende pakket circa 45 meter bedraagt. Het tweede watervoerende pakket is voornamelijk opgebouwd uit grove zanden en wordt ter plaatse van boring B39F2756 aangetroffen tussen 43 en 89 meter beneden maaiveld.



Afbeelding 7: Situering diepe boringen.

Ten einde meer inzicht te krijgen in de hydraulische karakteristieken van de watervoerende pakketten zijn de doorlatendheden berekend aan de hand van de beschikbare M50-getallen (zie afbeelding 8).

Omrekening M50 getal naar K-waarde:

$$k = 150 * (D50/1000)^{1,65}$$

k = doorlatendheid (m/d)
 $D50$ = gemiddelde korrelgrootte (u m)

Afbeelding 8: Relatie M50-getal en doorlatendheid

Tabel 3 geeft voor het eerste en het tweede watervoerende pakket een overzicht van de potentiële filterlengtes en de berekende doorlatendheden. De potentiële filterlengte en de berekende doorlatendheid zijn bepaald aan de hand van boorbeschrijving B39F2756. Boring B39F2756 wordt het meest representatief geacht aangezien deze boring het dichtst bij de Dolderstraat ligt.

Tabel 3: Potentiële filterlengte en doorlatendheid

Boring	Potentiële filterlengte [m] WVP 1 / Doorlatendheid WVP 1 [m/d]	Potentiële filterlengte [m] WVP 2 / Doorlatendheid WVP 2 [m/d]
B39F2756	27 / 18	40 / 24

Op basis van de M50-getallen kan geconcludeerd worden dat de gemiddeld berekende doorlatendheid in het tweede watervoerende pakket (24 m/d) aanzienlijk lager is dan de waarde die in de REGIS II.2 database is opgenomen (52 m/d).

Zowel het eerste als het tweede watervoerende pakket zijn qua dikte en doorlatendheid geschikt voor de toepassing van WKO. Het tweede watervoerende pakket verdient echter de voorkeur aangezien zowel de dikte als de doorlatendheid van dit pakket hoger zijn dan van het eerste watervoerende pakket. Ook met het oog op de omliggende grondwaterafhankelijke belangen verdient het tweede watervoerende pakket de