

Kenmerken

Project	21134 Programma van Eisen ontwerp energievoorziening RWZI Eindhoven	Datum	5 september 2023
Auteur	ing. B.B. Hooghiemstra	Co-lezer	ing. L.H. den Dekker T.A. Boschma MSc.
Onderwerp	Bijlage III. Schetsontwerp buurt warmte centrum	Status	Definitief
		Kenmerk	21134-747451

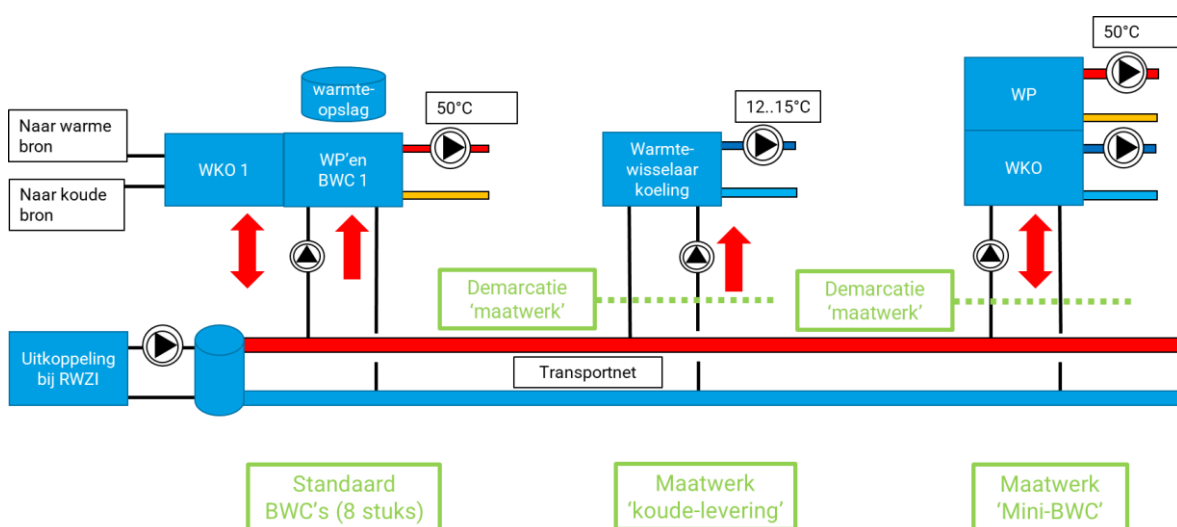
Bijlage III. Schetsontwerp buurt warmte centrum

1 Standaardisering en maatwerk

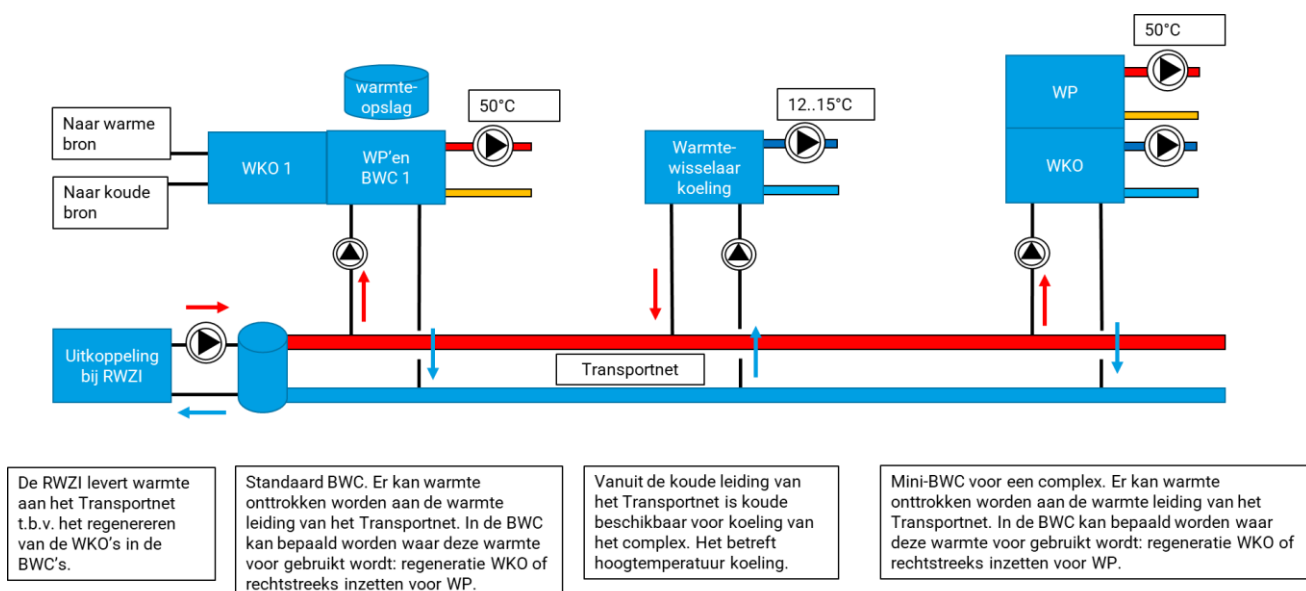
1.1 Afwegingen bij standaardiseren

- De buurt warmte centra moeten modulair worden opgebouwd. Hierdoor kunnen de BWC's gestandaardiseerd worden waardoor snelheid gemaakt kan worden in de buurten.
- Beperkt maatwerk mogelijk voor complexen naast het tracé die zich lenen voor een collectieve aansluiting. Per situatie kan bepaald worden welk maatwerk nodig is.
- Maatwerk ('specials'):
 - Complexen die in de zomer koeling af willen nemen vanuit het transportnet
 - Complexen die warmte en koude af willen nemen vanuit het transportnet. Dit zijn 'mini-BWC's' waarvan het leveringsgebied beperkt is tot een eigen complex (school, zorgcomplex, etc.).
 - Aansluiting andere, separate (rest)warmtebronnen zoals TEO, restwarmte Catharina Ziekenhuis, etc. Deze aansluitingen zijn hetzelfde als aansluitingen die koeling afnemen (koeling = levering van restwarmte). Verschil is dat hele jaar koeling afgenomen wordt.

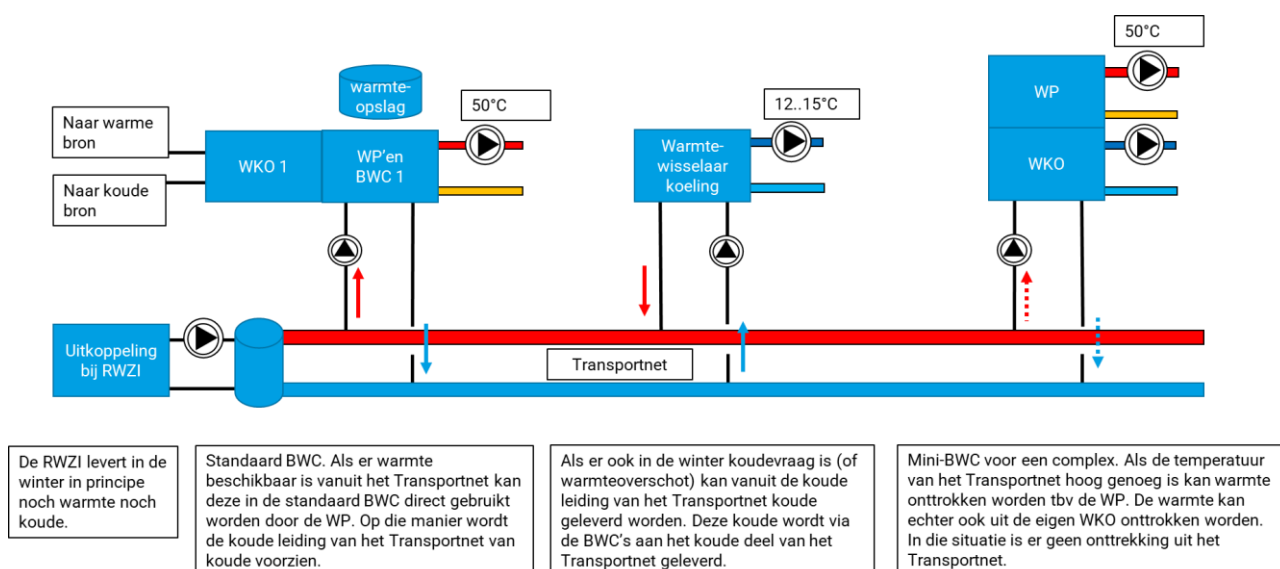
De volgende figuren geven schematisch weer hoe de 'specials' in het systeem passen.



Figuur 1-1: Schematische weergave principe, basis.



Figuur 1-2: Schematische weergave principe, zomersituatie.



Figuur 1-3: Schematische weergave principe, wintersituatie.

1.2 Consequenties maatwerk voor ontwikkeling en exploitatie

Totaalconcept:

- aansturing van totaal is complexer (regeltechniek) omdat er meer uitwisselingsmogelijkheden zijn; met name als er ook in de winter koude geleverd moet worden.

Specials:

- Krijgen alleen een aansluiting op het Transportnet;
- Achterliggende installaties voor koeling en/of verwarming moeten door complexeigenaren/beheerders verzorgd worden.

Tariefstelling voor aansluiting en levering vanuit het Transportnet:

- Eenmalige aansluitkosten;
- Jaarlijkse vastrecht.

2 Inzet warmte uit transportnet RWZI

2.1 Directe levering RWZI

- Om het systeem zo eenvoudig mogelijk te houden is het wenselijk om de warmtepomp direct te voeden vanuit RWZI zonder tussenkomst van opslag in de WKO.
- De temperatuur van het effluent kan dalen tot onder de 10°C. Dit betekent dat er na overdracht met warmtewisselaars de aanvoertemperatuur in het transportnet kan dalen tot ongeveer 8°C. Dit is een relatief lage aanvoertemperatuur voor de verdamper van de warmtepompen. Met een uittredetemperatuur bij de verdamper van de warmtepompen van minimaal 5°C zou er sprake zijn van een dT van 3 K over de verdamper. Dit is klein en niet wenselijk omdat dit leidt tot zeer grote leidingdiameters van zowel het verdampercircuit als ook van het transportnet.
- Daarnaast spelen nog de volgende redenen om niet te kiezen voor alleen directe voeding vanuit de RWZI zonder tussenkomst van opslag in de WKO:
 - Als de RWZI een calamiteit of langdurig onderhoud ondergaat (meer dan een uur) dan is er geen warmtelevering mogelijk.
 - Als het temperatuurverschil over de warmtewisselaar oploopt naar 3K werkt het systeem niet meer.

Om bovenstaande redenen is daarom gekozen voor een combinatie met opslag in WKO. Als de temperatuur in het transportnet hoog genoeg is worden de warmtepompen uiteraard wel rechtstreeks gevoed vanuit het transportnet. Op die momenten is de WKO niet in bedrijf om warmte te leveren.

Een alternatief voor WKO zouden droge koelers zijn. Droge koelers zijn lastig realiseerbaar bij een buitentemperatuur van -10°C. De verdampertemperatuur moet dan ongeveer -20°C zijn waardoor dit niet meer geschikt is voor het ZLT-net. Om dit mogelijk te maken moeten speciale warmtepomp in combinatie met droge koelers worden geplaatst om voldoende warmte te onttrekken. Nadeel is dat de warmtepomp dan geselecteerd moet worden op verdampertemperatuur van -20°C in plaats van + 14°C. Dit scheelt fors in investering, rendement, e-aansluiting, etc. Daarom is hier niet voor gekozen.

2.2 Levering via WKO

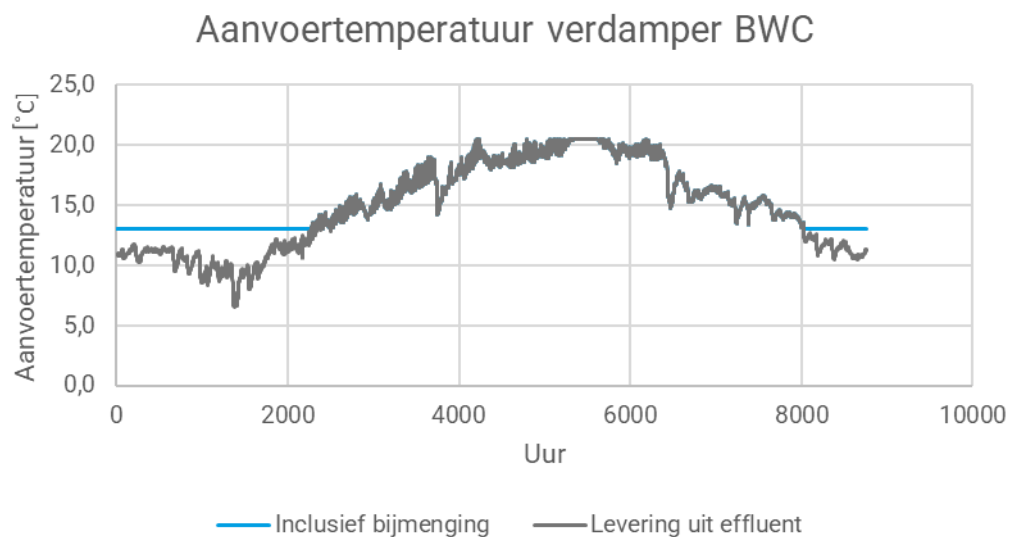
De WKO wordt in combinatie met de warmte uit de RWZI die via het transportnet geleverd wordt, optimaal ingezet. Omslagpunten zijn hiervoor bepaald aan de hand van de temperatuur van het effluent, optimale inzet van de warmtepomp, gebruik van de WKO's en energiepotentie van het effluent.

- Wanneer de temperatuur van het effluent >14°C is, wordt deze rechtstreeks ingezet voor warmtelevering aan de verdamper van de warmtepompen
- Wanneer de temperatuur van het effluent <14°C is, kan warmte bijgemengd worden uit de WKO zodat er per saldo een temperatuur van minimaal 14°C aan de verdamper van de warmtepompen wordt aangeleverd.
- In het theoretische geval dat de temperatuur van het effluent te laag is om ook na bijmenging met warmte vanuit de WKO de gewenste temperatuur van 14°C te bereiken, wordt de levering vanuit het transportnet gestopt; op dat moment wordt alleen warmte vanuit de WKO aan de verdamper van de warmtepompen geleverd
- Als de temperatuur van het effluent >19,5°C is, wordt deze warmte via het transportnet in de WKO's bij de BWC's geladen.

Doordat er in de zomer relatief weinig warmtevraag is, is er veel warmte uit de effluent beschikbaar van een hoge temperatuur om de WKO mee te laden. Door de WKO op een hoge temperatuur te laden kan deze efficiënt ingezet worden.

2.3 Warmte- en koudeopslag

Aan de hand van de energiepotentie van het effluent is de maximale temperatuur berekend om de WKO's mee te kunnen laden. Voordelen hiervan zijn grotere vermogens vanuit de WKO, waardoor er mogelijk minder WKO-doublers nodig zijn, en een hogere efficiëntie van de warmtepomp. In deze grafiek is weergegeven welke temperatuur het effluent aanlevert (in grijs), en wat de maximale temperatuur is die aangeleverd kan worden door bij te mengen vanuit de WKO (in blauw). Op basis van de beschikbare energie uit het effluent in de zomerperiode blijkt het haalbaar om 's winters ook een aanvoertemperatuur van 14,5 °C te kunnen leveren voor het hele systeem. Hierdoor zijn er minder WKO's noodzakelijk per BWC; een deel van het vermogen komt immers vanuit het effluent.



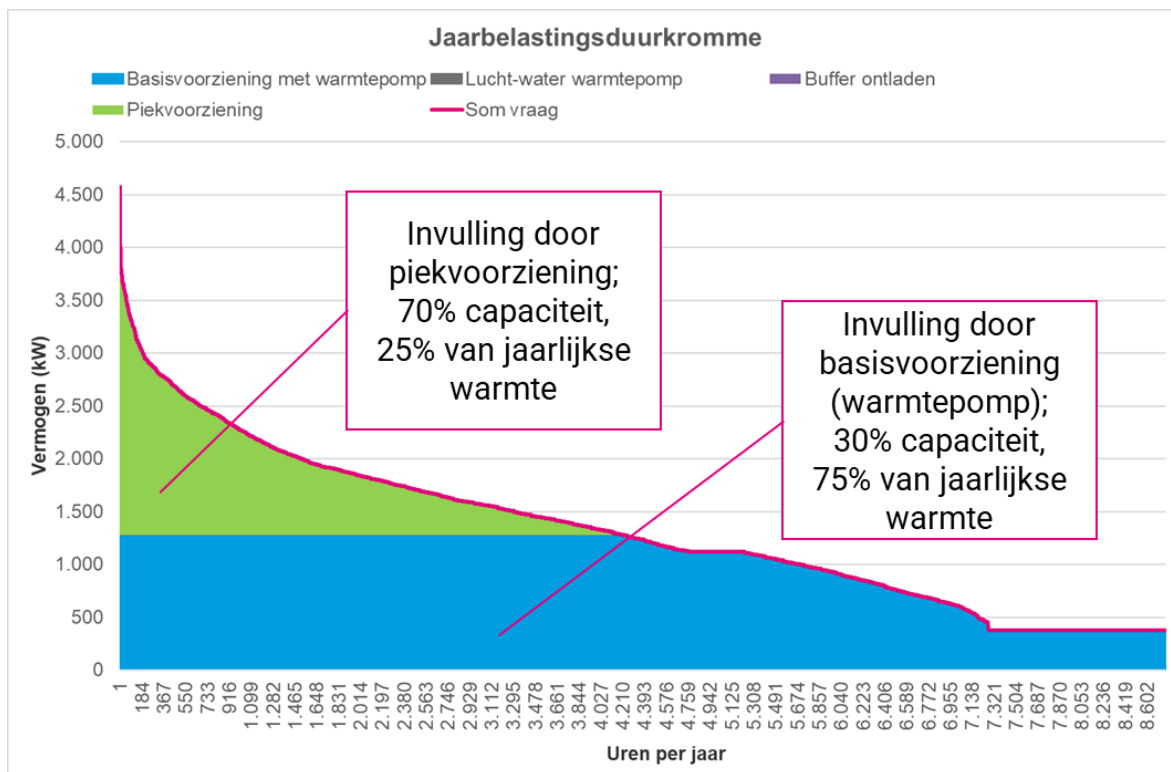
3 Basislast – pieklast

In een traditioneel warmtenet is de verdeling van basislast en pieklast altijd als volgt geweest:

- basislast klein (vanwege kosten);
- grote pieklast met goedkope gasgestookte ketels (zie figuur).

Voor nieuwe warmtenetten geldt dat de pieklast niet meer gasgestookt is, alternatieven zijn dan:

- Luchtwarmtepomp;
- Volledige WKO-warmtepomp (100%);
- E-ketel (let op piekvermogen);
- Warmtebuffer (combinatie met grotere basislast WKO-WP omdat anders de warmteopslag te groot wordt);
- Combinatie.



Figuur 3-1: Jaarbelastingduurkromme

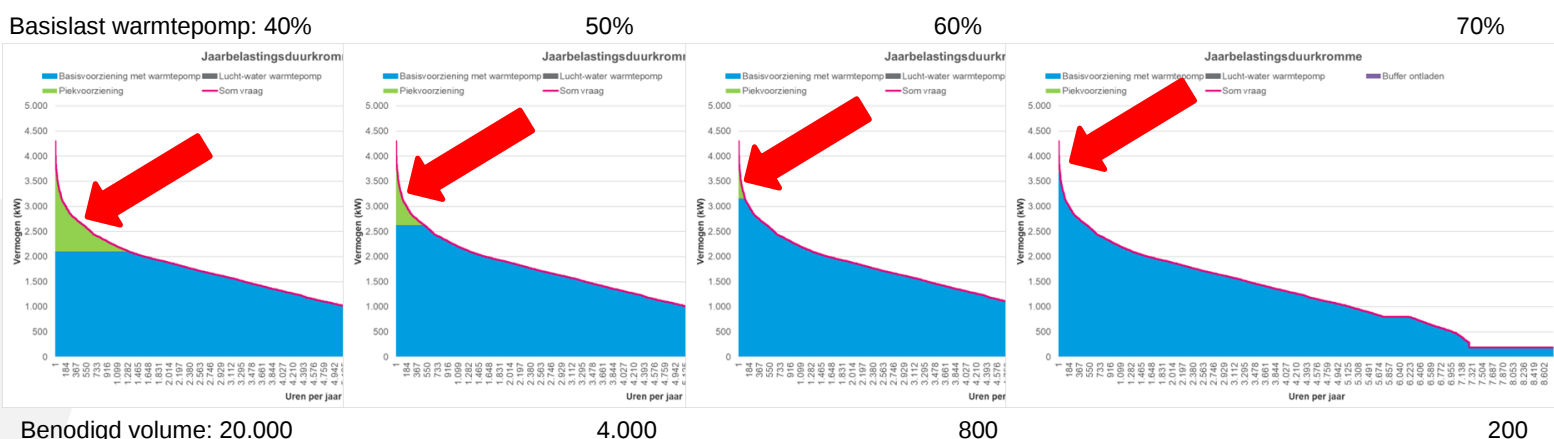
3.1 Voor- en nadelen voor invulling piekbelasting

	Voordeel	Nadeel
Luchtwarmtepomp	Redelijke COP ten opzichte van elektrische ketels.	Ruimtebeslag op dak technische ruimte, geluid en zichtbaarheid. Hoge investeringskosten.
Bodemwarmtepomp	Goede COP ten opzichte van elektrische ketels.	Ruimtebeslag in technische ruimte. Groot debiet WKO nodig. 2 tot 3 keer zoveel als voor basislast. Hoge investeringskosten.
Elektrische ketel	Relatief goedkope oplossing.	Slechte COP en groot elektrisch aansluitvermogen.
Warmtebuffer	Goede COP (de warmtebuffer wordt gevuld met bodemwarmtepomp). Geen extra warmtepompvermogen nodig en daardoor een laag aansluitvermogen. Extra flexibiliteit om warmtepompen slim aan te sturen (inzet warmtepompen als er overschot aan elektra is en bij dynamische tarieven de elektraprijs dus ook laag is).	Groot volume nodig (0,5 tot 1 m3 per woning). Inpasbaarheid. Hoge investeringskosten. Bij langdurige koude periode kan warmtebuffer leeg raken en kan de piekcapaciteit niet geleverd worden.

3.2 Analyse buffergrootte bij invulling piek met warmteopslag

Bij de variant met een warmtebuffer is de verhouding tussen basislast en pieklast anders (hogere basislast) om te voorkomen dat de warmtebuffer te groot (en te duur) wordt. Er kan een optimum bepaald worden:

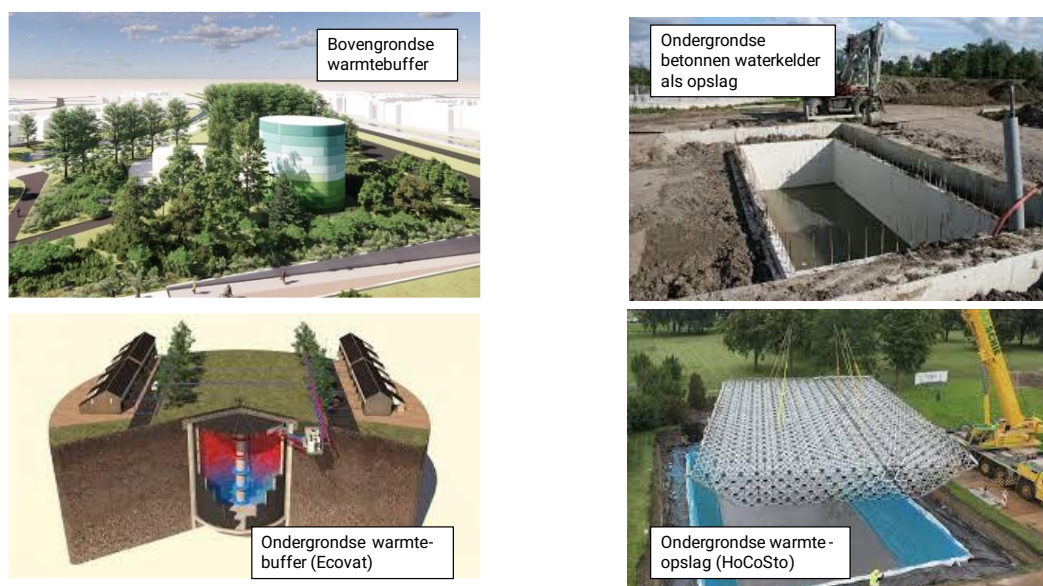
- Warmtepomp(en) levert grootste deel van de warmte;
- Capaciteit warmtepomp(en) variëren van 40 tot 70% (van maximaal op te stellen);
- Leveringsaandeel varieert dan van 94 tot 99% (van jaarlijkse productie);
- Het resterende deel dient vanuit de warmteopslag geleverd te worden. Deze moet dan uiteraard groot genoeg zijn om dit resterende deel te leveren;
- Vervolgens optimum bepalen op basis van investeringskosten (er van uit gaande dat energie en onderhoud niet zoveel van invloed zijn).



Omdat er een kans is dat in extreme perioden de warmtebuffer leeg is en omdat een deel van de warmtepompcapaciteit uit kan vallen, is gekozen voor 70% warmtepompcapaciteit in combinatie met een warmteopslag van tussen de 200 en de 800 m³. Bij de uitwerking van de dimensionering wordt dit verder toegelicht.

3.3 Uitvoeringsvormen warmtebuffer

Er zijn verschillende uitvoeringsvormen van de warmtebuffer denkbaar, in afbeelding 3-1 worden een aantal voorbeelden weergegeven.



Afbeelding 3-1: Vier verschillende voorbeelden van warmtebuffers

3.4 Afwegingen piekvoorzieningen bij BWC

Categorie	Eenheid	Luchtwarmtepomp 30%	Elektrische ketel 30%	Warmteopslag
Vermogen basis bodem warmtepomp	[kW]	2.880	2.880	2.880
Vermogen piekvoorziening	[kW]	1.235	1.235	-
Inhoud warmteopslag	[m3]	-	-	600
Aansluitvermogen elektrisch	[kW]	1.139	1.870	715
Elektriciteitsgebruik BWC	[MWh]	3.186	3.208	3.182
Investeringskosten totaal BWC	[€]	20.217.000, -	19.462.000, -	19.510.000, -
BAK (onrendabele top)		7.800, -	6.300, -	5.500, -
Leveringszekerheid				Extreem koude periode kan opslag leeg raken. Inhoud is echter met marge bepaald.
Geluid				
Ruimtebeslag ondergronds				Kelder onder TR.
Ruimtebeslag technische ruimte		Binnendeel van de lucht-warmtepomp in TR		
Ruimtebeslag dak technische ruimte	[-]	Buitendeel technische ruimte op dak. Qua zichtbaarheid nadelig.		

3.5 Keuze piekvoorziening

Op basis van de volgende voordelen is gekozen voor een combinatie van WKO/warmtepompen als basisvoorziening met een warmtebuffer als piekvoorziening:

- Warmtepomp(en) levert het grootste deel van de warmte.
- Flexibiliteit om warmtepompen in te zetten bij lage energietarieven of juist uit te zetten bij hoge energietarieven.
- Per saldo laagste kosten.

Bij de ontwerputwerking vraagt inpassing en uitvoering van de warmtebuffer extra aandacht.

4 Dimensionering

4.1 Uitgangspunten dimensionering

Bij het dimensioneren van het buurt warmte centrum zijn de volgende uitgangspunten aangehouden:

- Standaard opzet voor gemiddelde grootte van een BWC: 1.000 woningen.
- Isolatieniveau:
 - Gevel/dak: 2,0/4,0 m²K/W / u-raam 1,6 W/m²K / Ventilatie type C (natuurlijke toevoer, mechanische afvoer)
- Woningen (aantal / oppervlak / capaciteit ruimteverwarming):
 - 400 appartementen, 80 m², 4,4 kW
 - 400 rijwoningen 100 m², 5,8 kW
 - 200 hoekwoningen 120 m², 7,7 kW
- Totaal op te stellen capaciteit inclusief gelijktijdigheden: 4.113 kW, 55/35°C, 175 m³/h, leidingmaat DN200.

Dimensionering hoofdcomponenten: Warmtepompen leveren 70% van benodigde vermogen met vier units. Als één unit uitvalt kan het elektrisch vermogen ingezet worden voor een elektrische ketel. Deze levert samen met de drie andere warmtepompen dan 60% van het piekvermogen. Dit is samen met de inhoud van de warmteopslag (ongeveer 0,6 m³ per woning) voldoende om de koude perioden van het klimaatjaar 2005 door te komen. Het klimaatjaar 2005 is gekozen omdat dit een vrij lange aaneengesloten periode van kou kende.

4.2 Hoofdcomponenten

Bij de dimensionering van de hoofdcomponenten zijn de volgende uitgangspunten aangehouden:

- Aansluiting op distributienet: 240 m³/h.
- WKO:
 - 240 m³/h (check of dit mogelijk is met twee doubletten; inpassing uitwerken in VO/DO);
 - delta T van 8K; koude en warme brontemperatuur van respectievelijk 10 en 18°C.
- Warmtepompen: 2.900 kW (4x 725 kW), optimalisatie in aantal warmtepompen eventueel mogelijk.
- Elektrisch vermogen warmtepompen bij COP 4,5: 640 kW;
- Totaal elektrisch vermogen voor warmtepompen, pompen, etc.: 715 kW;
- Elektrische ketel: 640 kW (elektrisch vermogen dat beschikbaar komt bij volledige uitval van warmtepompen);
- Warmteopslag als piekvoorziening en voor sturing op lage energiekosten: 600 m³;
 - Uitvoering als betonnen bak onder technische ruimte (200 m² x 3...3,5 m). Nog nader te onderzoeken en uit te werken of dit civieltechnisch mogelijk is tegen acceptabele kosten.
 - Slim regelalgoritme uit te werken waarmee de warmteopslag geladen wordt met warmtepompen op momenten dat de energieprijis laag is. Ook kunnen er afspraken gemaakt worden met de netbeheerder dat het maximumvermogen op bepaalde momenten niet benut zal worden.

4.3 Leveringszekerheid

Met name bij combinatie warmtepomp-warmteopslag is het belangrijk om over leveringszekerheid na te denken in de volgende situaties;

- Wat als warmteopslag leeg is in een koude periode?
- Wat als WKO uitvalt?
- Wat als transportnet niet beschikbaar is?

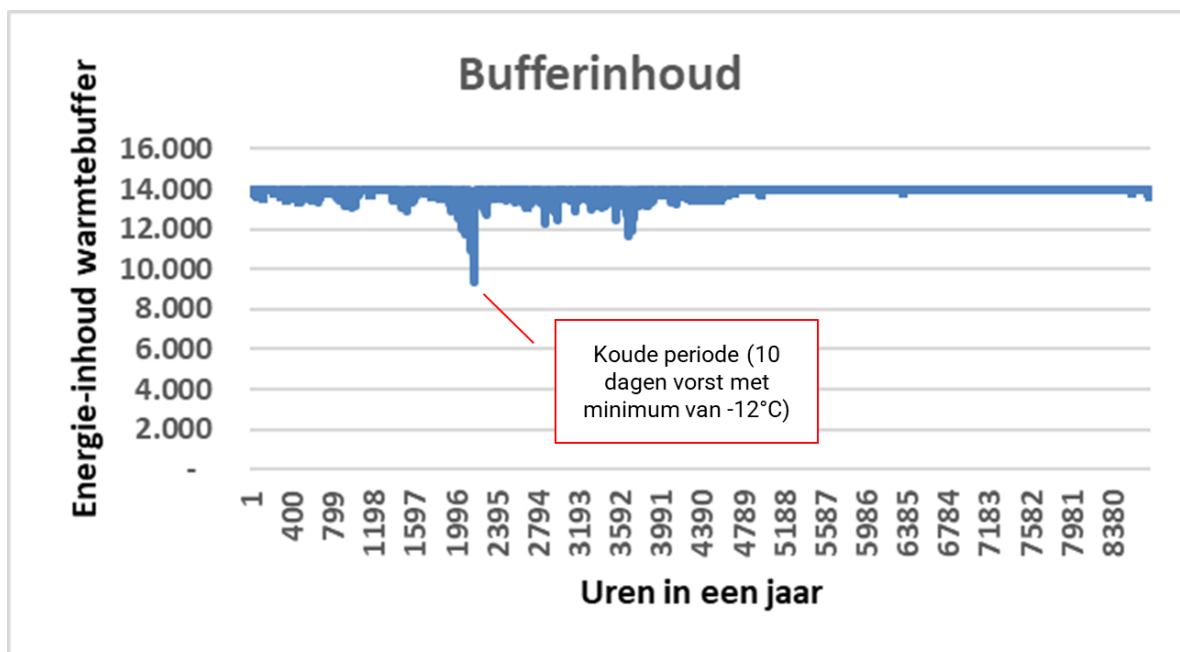
Een oplossing hiervoor is om de configuratie zodanig vorm te geven dat leveringszekerheid groot is:

- Meerdere warmtepompen, er wordt uitgegaan van vier warmtepompen. Als één van deze warmtepompen uitvalt kunnen de overige drie warmtepompen in combinatie met de warmtebuffer de benodigde warmte leveren.
- Als warmtepompen uitvallen => beschikbare elektrische vermogen inzetten via elektrische ketel
- Warmteopslag inzetten met optimale strategie zodat er altijd tijdelijk een situatie zonder warmteaanvoer overbrugd kan worden.

De configuratie is op uurbasis doorgerekend. Daarbij is uitgegaan van inzet van drie van de vier warmtepompen in combinatie met de warmtebuffer. De grafiek in hoofdstuk 4.4 laat zien dat de inhoud van de warmtebuffer ook in koude perioden op peil blijft (altijd > 0).

4.4 Verhouding basislast – piekvoorziening

Doorrekening klimaatjaar 2005, afweging bij het systeemconcept met een BWC voor 1000 woningen.



4.5 Warmte- en koudeopslag

Debiet

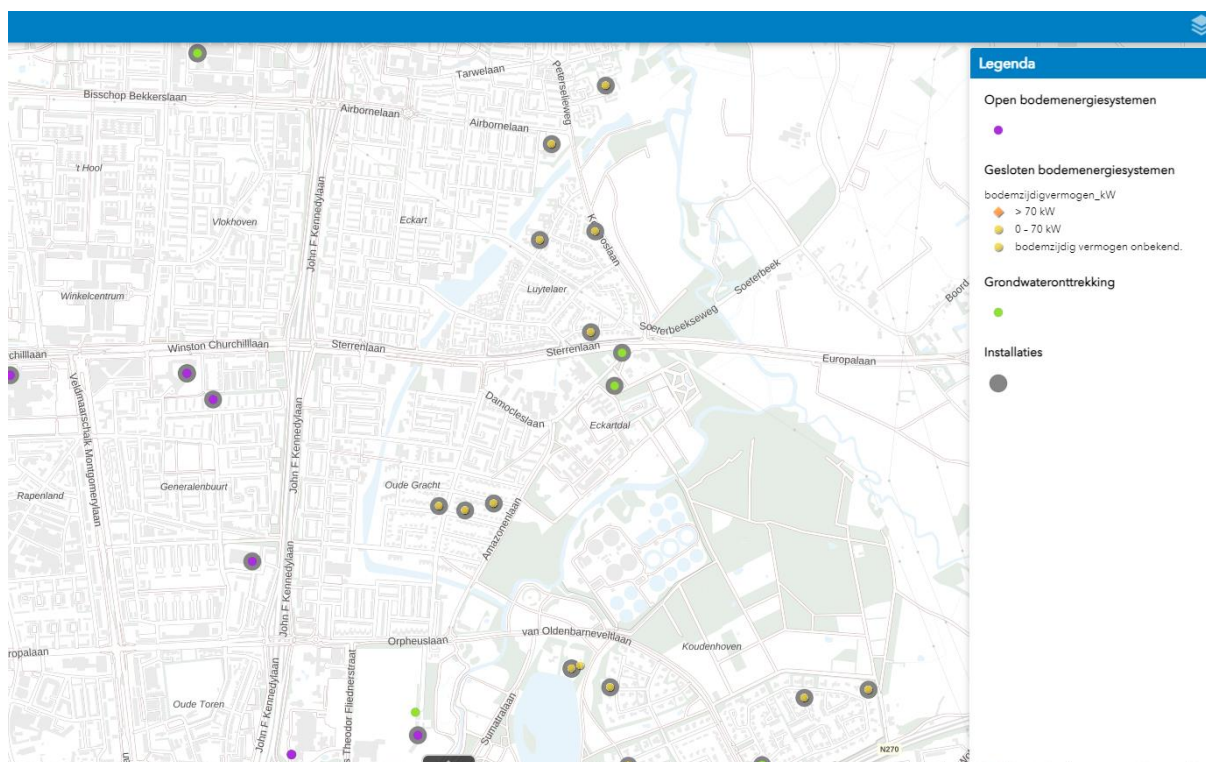
Op basis van omliggende systemen wordt er geschat dat er een debiet van ongeveer 100-120 m³/h beschikbaar is per bronpaar in het gebied. Vanwege de grote verspreiding van het gebied kan het echter mogelijk zijn dat er lokale verschillen optreden. Belangrijk is daarom om tijdens de planning van het BWC samen met een gespecialiseerd bedrijf de potentie te onderzoeken en geschikte bronlocaties aan te duiden.

Aantal doubletten

Het aantal doubletten is afhankelijk van de opstelling van het buurtwarmtecentrum en de vraag naar zekerheid in de levering. Doordat het huidige systeem is uitgerust met een grote buffer, is er minder piekvermogen noodzakelijk voor de water-water warmtepompen. Het huidige systeem vraagt naar verwachting ongeveer 240 m³/h voor een BWC met 1000 woningen. Hiervoor zijn, naar schatting op basis van omliggende WKO's 2 tot 3 doubletten noodzakelijk.

Inpassing in het gebied

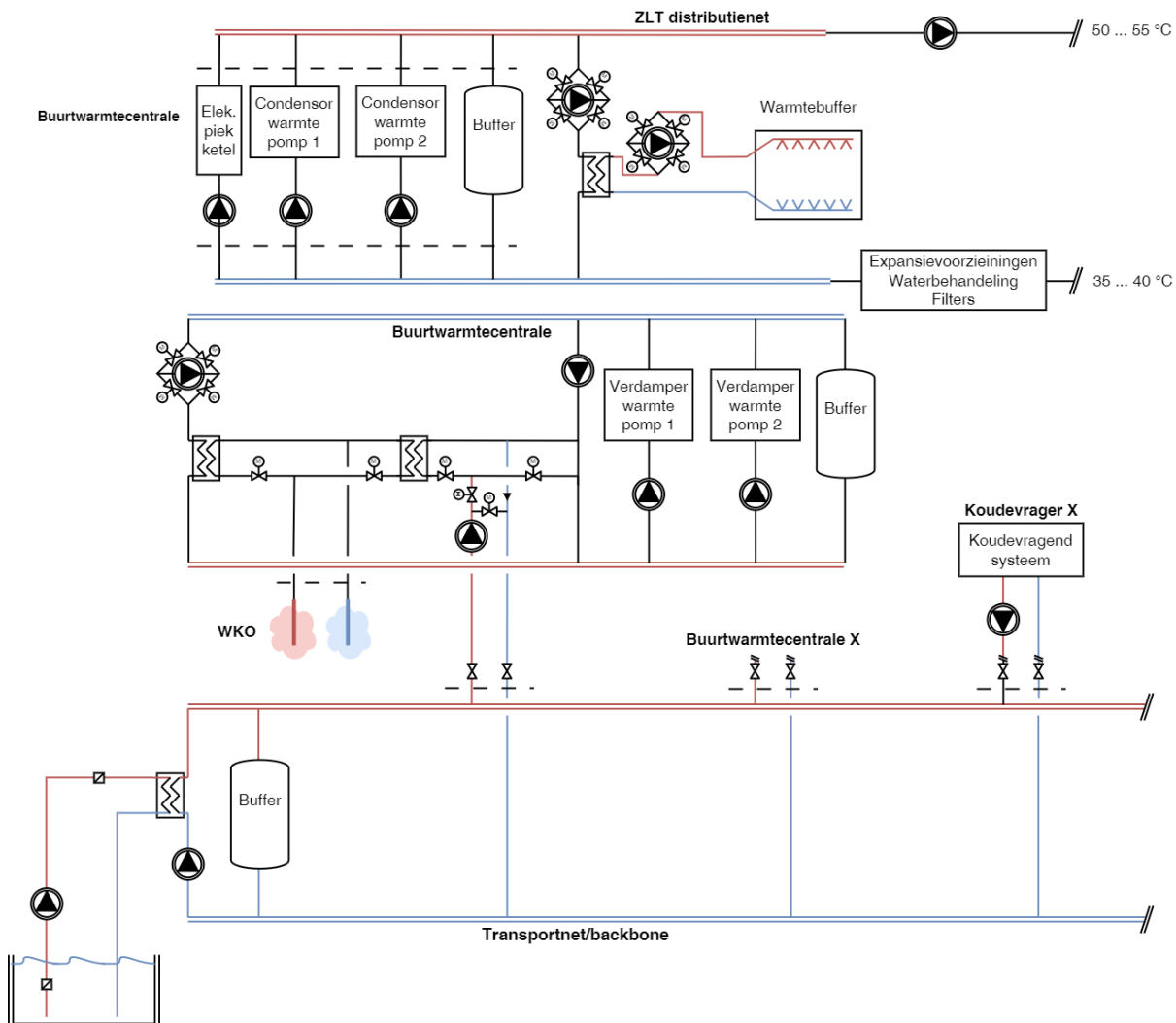
Onderstaand een uitsnede van de Bodem-energietool. Zichtbaar is dat er enkele systemen in de nabijheid van het plangebied zijn. In de uitwerking van BWC's zal rekening met de effecten hiervan gehouden moeten worden.



5 Principeschema

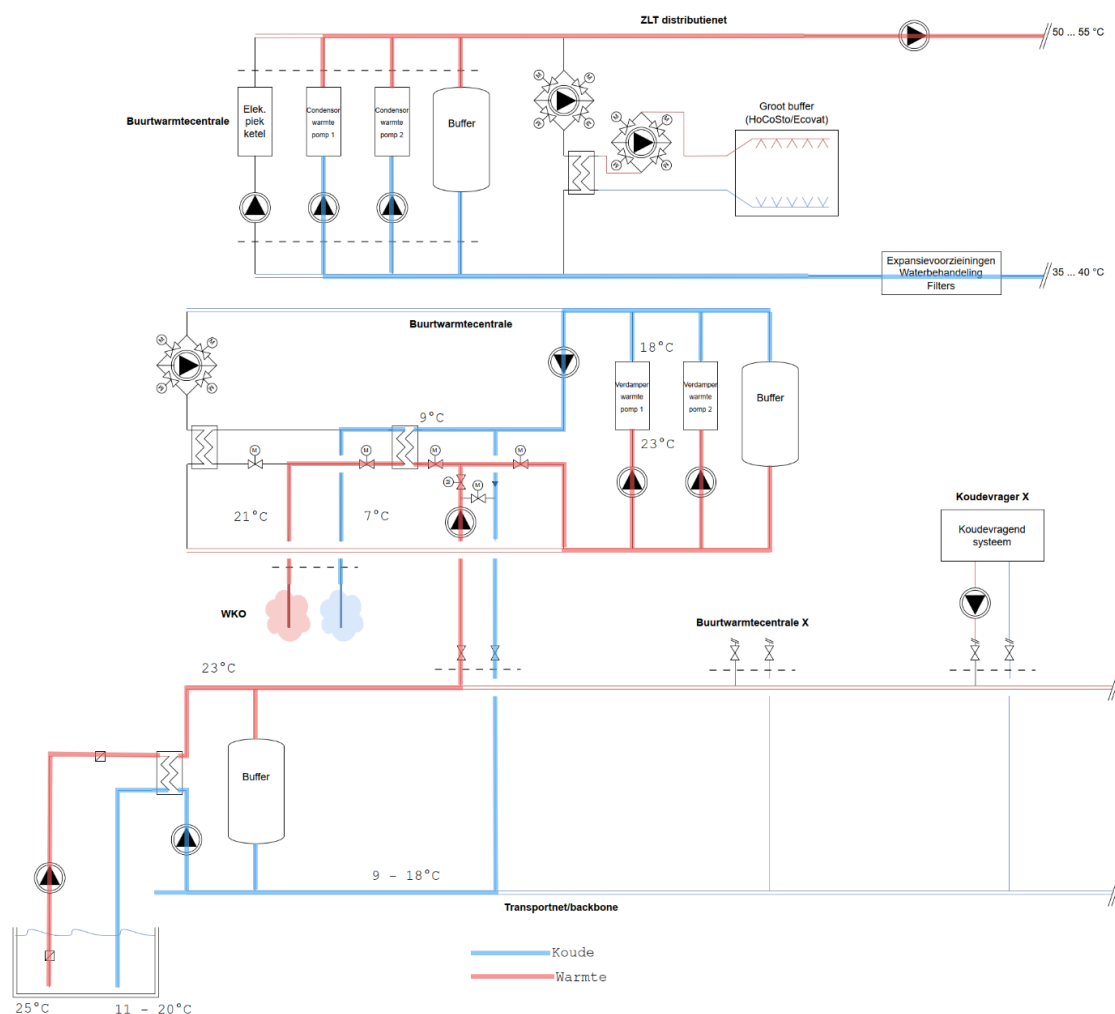
In dit hoofdstuk wordt voor een aantal bedrijfssituaties het principeschema weergegeven, met daarin de actieve warme en koude leidingen.

Basis – geen bedrijfssituatie



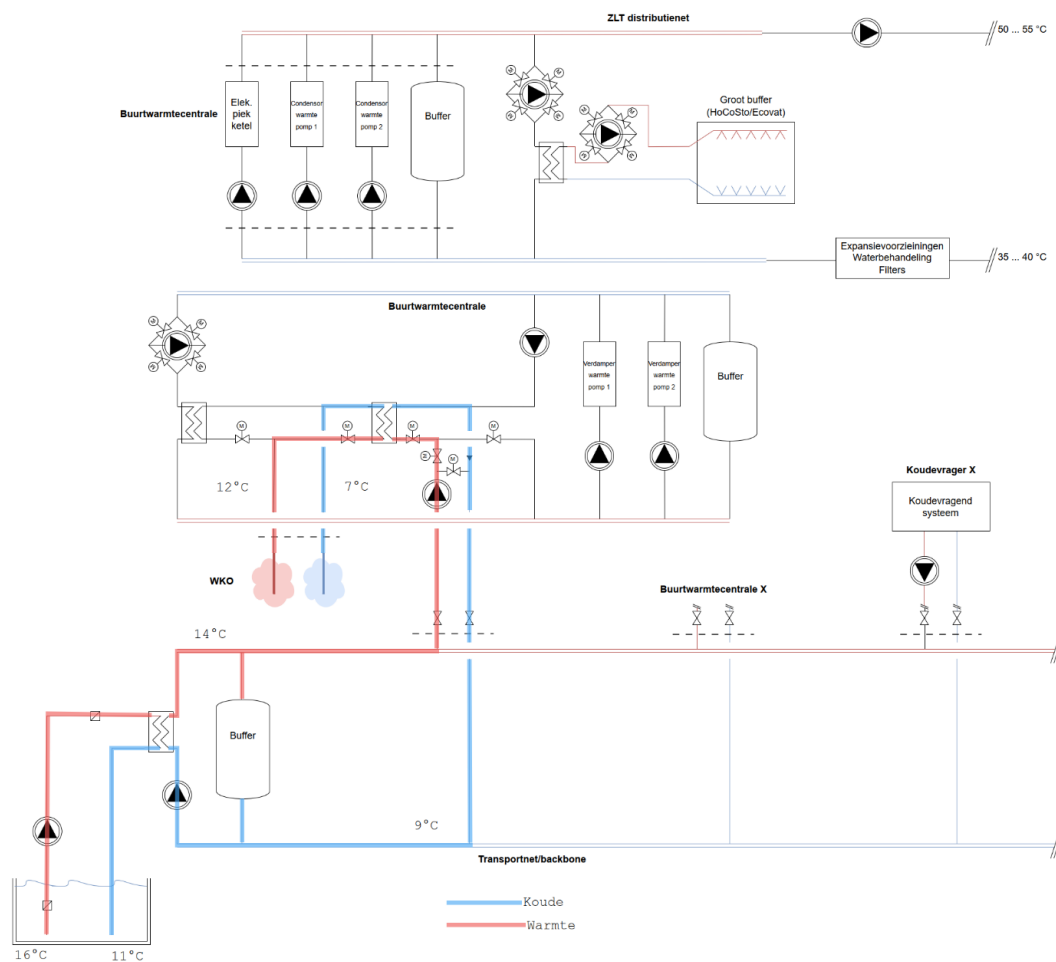
Bedrijfssituatie – zaterdag

- Warmte uit RWZI;
- Kleine warmtevraag uit gebouwen;
- WKO laden op hoogst mogelijke temperatuur.



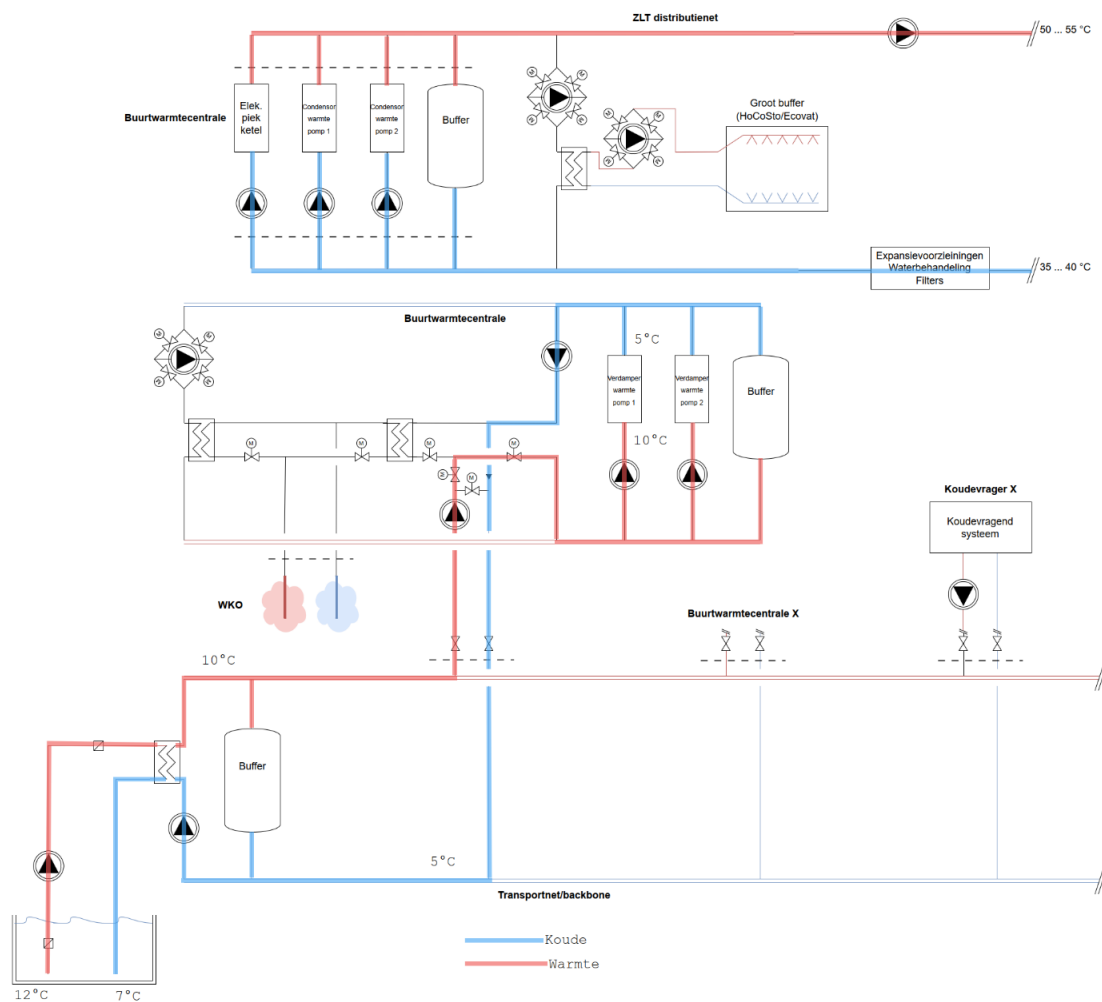
Bedrijfssituatie – lente/herfst (WKO laden)

- Warmte uit RWZI;
- Temperatuur hoog genoeg om WKO te laden;
- Direct leveren aan gebouwen ook mogelijk.



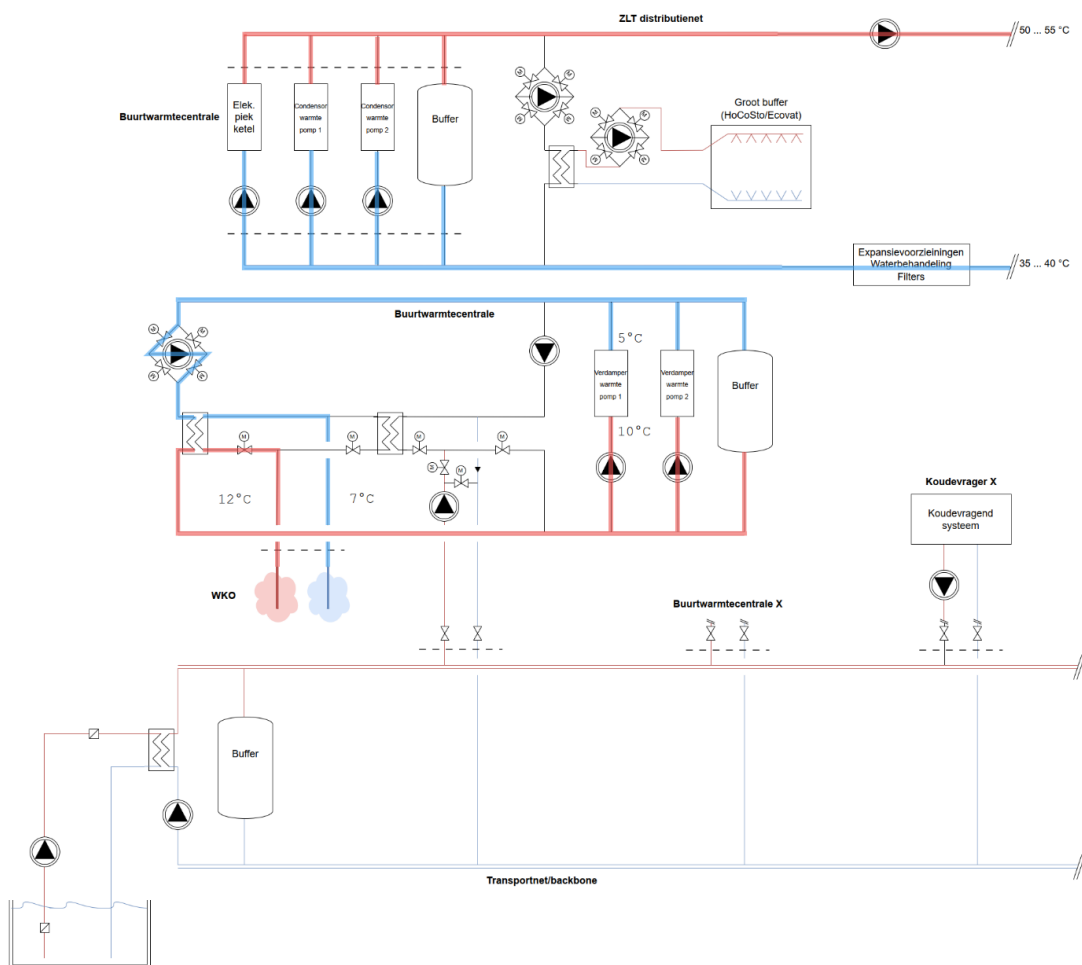
Bedrijfssituatie – lente/herfst (direct leveren aan gebouwen)

- Warmte uit RWZI
- Direct warmte leveren aan gebouwen
- Temperatuur te laag om WKO te laden



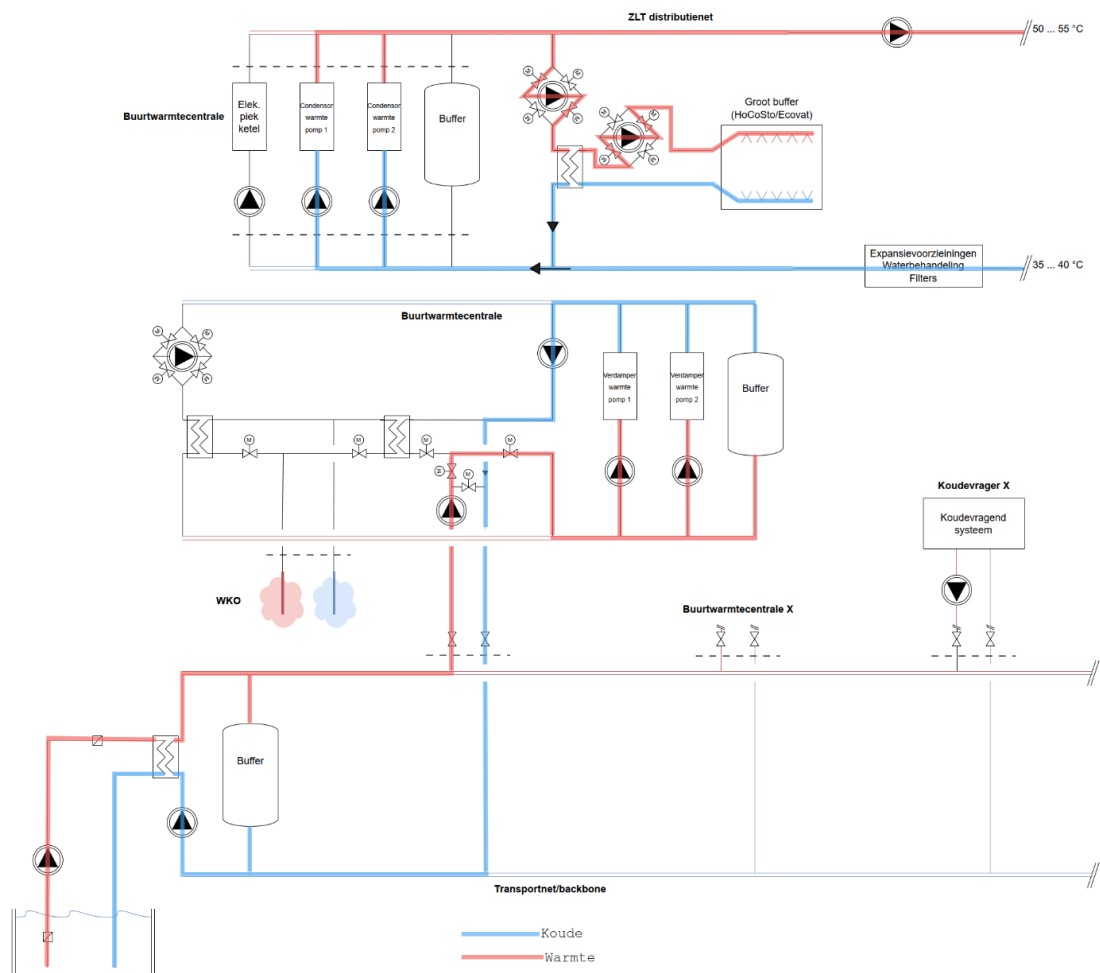
Bedrijfssituatie – winter

- Warmte uit WKO;
- Temperatuur RWZI te laag.



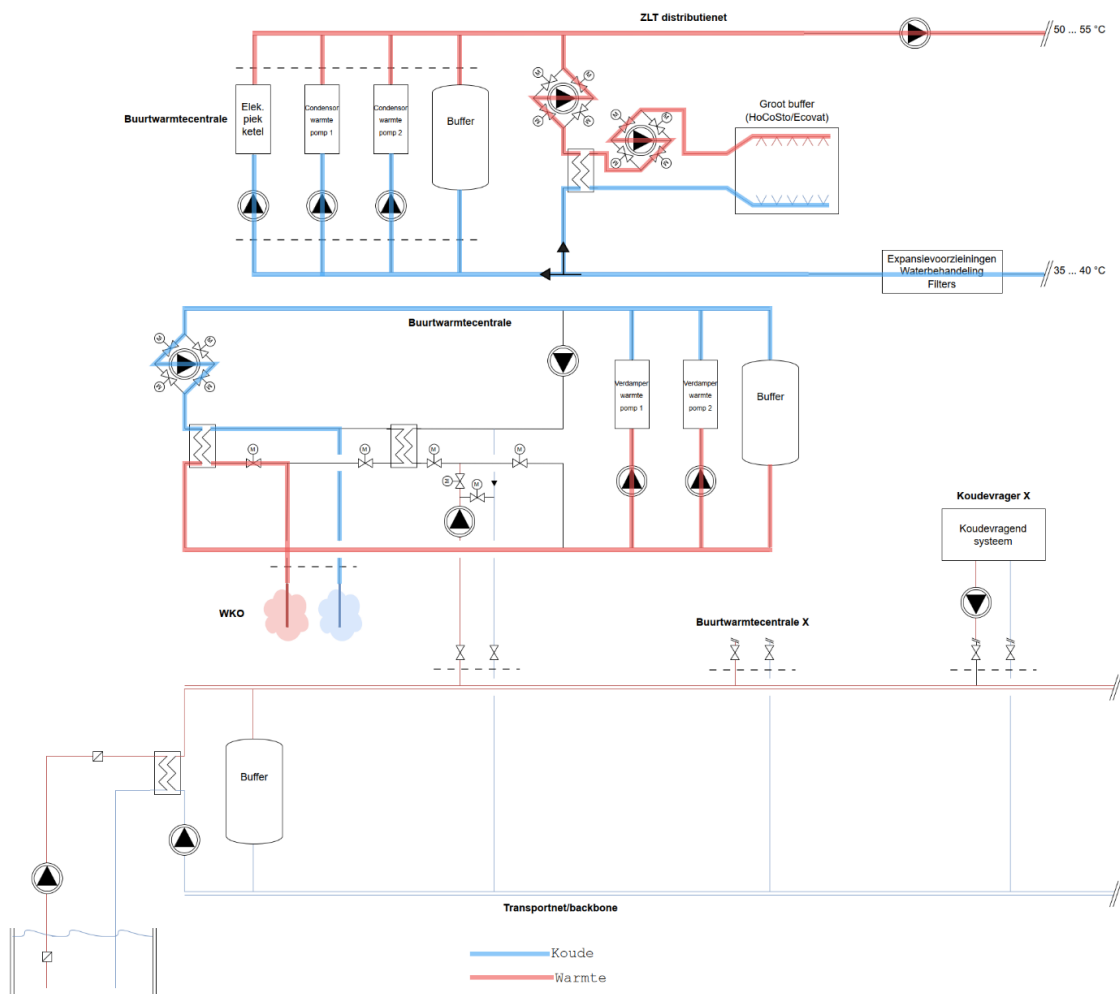
Bedrijfssituatie – buffer laden

- Warmte uit RWZI;
- Kan theoretisch ook vanuit WKO;
- Bij kleine warmtevraag;
- Doorgaans in de zomer.



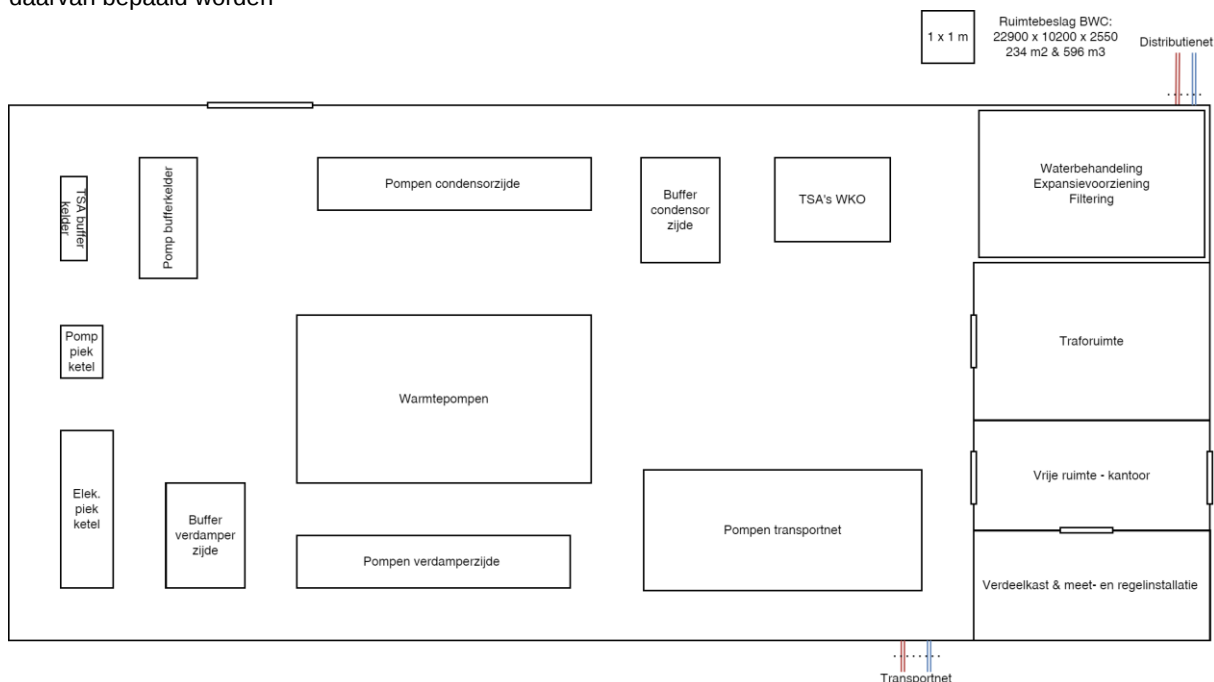
Bedrijfssituatie – buffer ontladen

- Warmte uit WKO;
- Kan theoretisch ook vanuit RWZI;
- Bij piek in warmtevraag;
- Doorgaans in de winter.



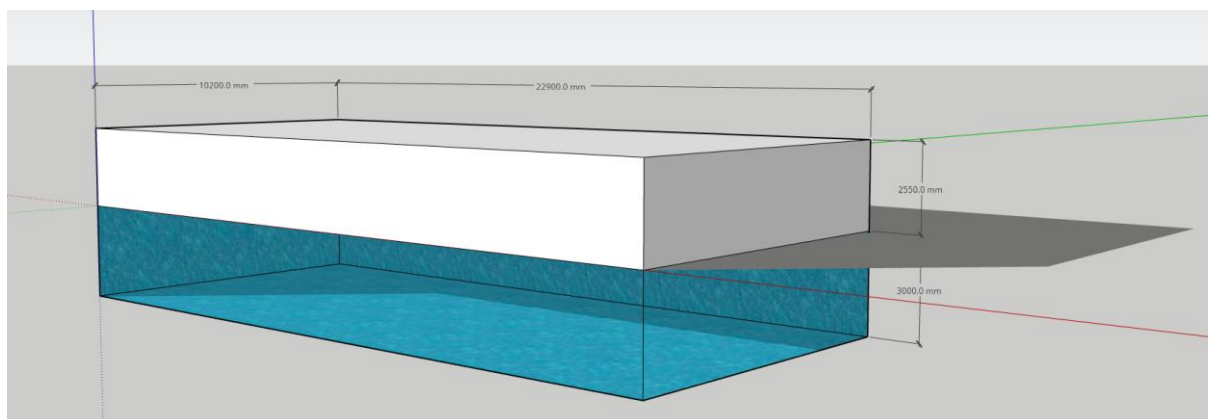
6 Technische ruimte – schetsmatig ruimtebeslag

In figuur 6-1 wordt een schematische weergave van de dimensionering en positionering van de hoofdonderdelen in een BWC weergegeven. Verwacht wordt dat het vloeroppervlak ongeveer 235 m² zal zijn. In de VO- en DO-fase zullen op basis van dimensionering en selectie van componenten de definitieve ruimte en de indeling daarvan bepaald worden



Figuur 6-1: Schematisch bovenaanzicht hoofdonderdelen BWC

In onderstaande figuur 6-2 is te zien hoe de warmtebuffer onder de BWC mogelijk gerealiseerd kan worden. Door een buffer van 3 meter onder het systeem uit te werken kan er een buffer van 600 m³ beschikbaar gemaakt worden. Deze is beschikbaar voor tijdelijke opslag van warmte. Door de buffer onder een BWC te plaatsen kan het ruimtebeslag van de installatie beperkt worden.



Figuur 6-2: Schematisch 3D aanzicht buffer onder BWC

7 Schaalgrootte van de BWC's

Uit eerder uitgevoerd onderzoek blijkt:

- een grotere BWC leidt tot een lagere TCO.
- Kosten voor een grotere warmtepomp stijgen niet lineair mee met vermogen warmtepomp, zo kost bijvoorbeeld een warmtepomp met een dubbel zo groot vermogen mogelijk maar 1,8x de prijs van twee losse warmtepompen.
- De bouwkundige kosten voor één groter BWC is goedkoper dan 3 kleinere BWC's.
- Onderhouden is eenvoudiger, en daardoor ook goedkoper: er is één ruimte, en er zijn minder installaties aanwezig in deze ruimte, dan wanneer er drie individuele ruimtes aangelegd zouden zijn (bijvoorbeeld waterbehandeling).
- De hogere energieverliezen in distributienet en bijbehorende kosten wegen niet op tegen voordelen hiervan.

Beperkende factoren voor grotere BWC's zijn vooral fysiek van aard: ruimtebeslag in openbare ruimte, werkbaarheid leidingnetten, wko's en buffering onder de technische ruimte.

Categorie	Eenheid	3x 500 BWC	1x 1500 BWC
TCO	[€]	€13.600.000	€12.200.000
Elektriciteitskosten	[€/jaar]	€486.000	€490.000
Onderhoudskosten	[€/jaar]	€200.000	€130.000
Aansluitkosten elektra	[€/jaar]	€4.500	€3.400
Flexibiliteit locatie	[-]	Meerdere kleine locaties noodzakelijk	1 grotere locatie nodig, mogelijk lastiger in te passen in gebied
Totaal ruimtebeslag	[-]	3 x ongeveer 250 m ²	Kleiner, door samenvoegen functies (bv. Filtering en expansievaten)

7.1 Conclusie grootte BWC's

- Minimale omvang van 800 tot 1000 woningen;
- Beschikbare locaties bepalen ruimte voor technische ruimten en daarmee de grootte daarvan en het aantal woningen dat aangesloten kan worden;
- Uit analyse van de gemeente zijn acht mogelijke locaties gekomen;
- In het vervolg dient per locatie het leveringsgebied bepaald te worden.

BWC	Aantal WEQ	Debiet [m ³ /h]
1	1062	358
2	1051	355
3	882	298
4	1056	356
5	1503	507
6	1535	518
7	949	320
8	722	244



8 Samenvatting

Standaard BWC voor 1.000 woningen bestaat uit de volgende onderdelen:

- Aansluiting op transportnet : 240 m3/h (0,24 m3/h per woning)
- Waterwarmtepompen : 2.900 kW (2,9 kW per woning)
- Elektrische ketel : 640 kW (0,64 kW per woning)
- WKO : 240 m3/h (0,24 m3/h per woning)
- Warmtebuffer : 600 m3 (0,6 m3 per woning)
- Elektrisch aansluitvermogen : 715 kW (0,715 kW per woning)
- Oppervlak technische ruimte : 235 m2 (0,235 m2 per woning)
- Aansluiting woningen : 180 m3/h (0,180 m3/h per woning)

8.1 Aandachtspunten vervolg

Standaard voor fictieve BWC voor 1000 woningen uitwerken voor eerste concrete BWC in Generalenbuurt en Hudsonlaan.

Aandachtspunten:

- Warmtebuffer: grootte, inpassing en uitvoering.
- WKO: aantal bronnen, bronlocaties, bronafwerking.

Overweging of vanwege schaarste in de ondergrond een Bodemenergieplan nodig is.