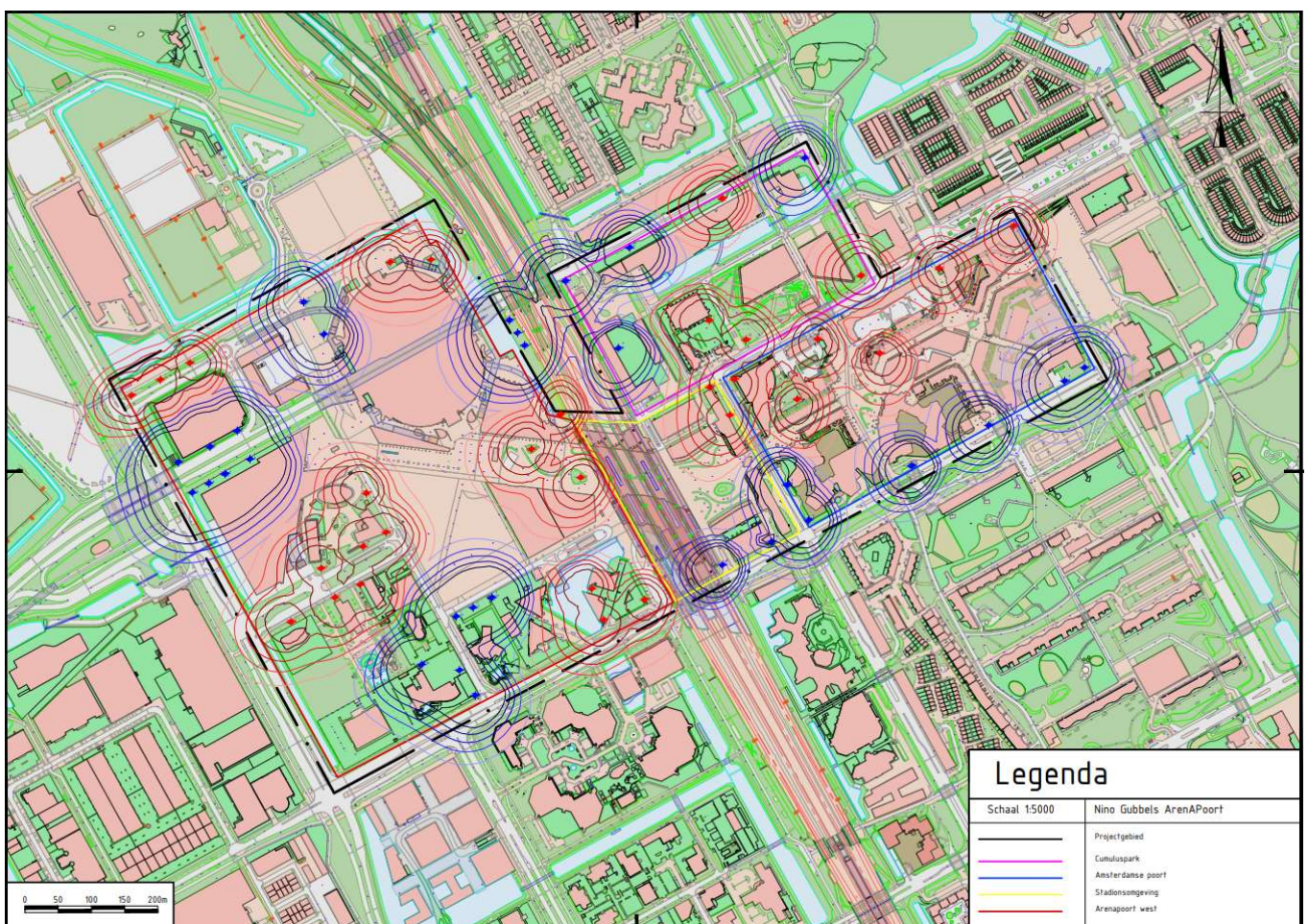


ArenAPoort energieneutraal door middel van grondwater

Eindrapport



Naam Auteur: Nino Gubbels
School: Hogeschool van Amsterdam
Opleiding: Built Environment: Water
Studentnummer: 500761330

14 februari 2022

Colofoon

Auteur	Nino Alexander Gubbels 500761330 06-19632080 nino.gubbels@hva.nl
Onderwijsinstelling	Built Environment: Civiele Techniek Water Hogeschool van Amsterdam Weesperzijde 190 1097 DZ Amsterdam
Opdrachtgever	Adviesbureau Hompe en Taselaar
Begeleidend docent	Pascal Bos
2^e lezer	Menno Blom
Studie deel	Afstudeerproject Atelier Klimaatbestendige Stad sept. 2021 – feb 2022

Voorwoord

Voor u ligt het onderzoeksrapport “ArenAPoort energieneutraal door middel van grondwater”. Dit onderzoek is uitgevoerd voor het adviesbureau “Hompe en Taselaar”. Dit document is geschreven in het kader van het afstuderen van de opleiding Built Environment: Civiele Techniek, de afstudeerrichting Water aan de Hogeschool van Amsterdam.

Binnen de HvA ben ik begeleid door Pascal Bos. In samenwerking met het adviesbureau “Hompe en Taselaar” heb ik begeleiding gekregen door F. Taselaar.

Ik wil beide heren graag bedanken voor het delen van hun kennis, tijd en begeleiding!

Ik wens u veel leesplezier.

Nino Gubbels

Amsterdam, 14 februari 2022

Samenvatting

De Gemeente Amsterdam heeft een ontwikkelingsstrategie opgesteld voor de ArenAPoort. In deze strategie zijn de ontwikkeling van het gebied tot 2030 opgenomen. In het kader van duurzaamheid en milieu is het van belang dat het vastgoed energieneutraal kan en gaat functioneren.

Dit rapport beschrijft of Warmte Koude Opslag (WKO) ingezet kan worden om een energieneutraal stadsdeel kan creëren.

Het onderzoek is in de kern kwalitatief. De methoden die zijn gebruikt bij het onderzoek en opstellen van dit rapport zijn:

1. Data verzameling in de vorm van Deskresearch;
2. Vergelijken van data;
3. Spreken/interviewen van specialisten;
4. Literatuuronderzoek.

Door het verzamelen van beschikbare data over de ondergrond, energieverbruik van panden, energie-eisen en de oppervlaktes van de ArenAPoort, is onderzocht of het projectgebied zich leent voor het gebruik van WKO.

Naast het verzamelen van relevante gegevens van het onderzoeksgebied, zijn er gesprekken gehouden met specialisten op het gebied van WKO. Aan hen is feedback gevraagd over de juistheid en toepassing van de verzamelde gegevens. Deze gegevens zijn in overleg toegepast en verwerkt tot een inpassingsplan.

Geconcludeerd kan worden dat al het vastgoed in ArenAPoort, door het gebruik van WKO, energieneutraal kan functioneren. In dit rapport is beschreven op welke manier dit mogelijk is en tot welk ontwerp dit heeft geleid.

Inhoud

Voorwoord	3
Samenvatting.....	4
Figuren- en tabellenlijst.....	7
1 Inleiding.....	8
2 Onderzoeksopzet.....	10
2.1 Probleemstelling.....	10
2.2 Doelstelling.....	10
2.3 Onderzoeksvraag.....	11
2.4 Deelvragen	11
2.5 Afbakening van het project	12
2.5.1 Gebiedsafbakening.....	12
2.5.2 Randvoorwaarde	14
2.5.3 Uitgangspunten	14
3 Wat is WKO.....	15
3.1 Verschillende types WKO	16
3.1.1 Open systemen.....	16
3.1.2 Gesloten systemen	18
3.2 Onderdelen van WKO.....	19
3.2.1 Wat is een WKO-systeem	19
3.2.2 Wat is een bron	19
3.2.3 Wat is een bel	20
3.2.4 Wat is een warmtewisselaar	20
3.2.5 Wat is een filter/filterlengte.....	20
3.2.6 Wat is een warmtepomp.....	20
4 Het energievraagstuk	21
4.1 Wat is energie?.....	21
4.2 BENG.....	22
4.3 BENG Amsterdam	24
4.4 BVO ArenAPoort.....	25
4.5 Energie onbalans	27
5 Grondonderzoek.....	30
5.1 Geohydrologie	32
5.2 Grondeigenschappen watervoerende pakket.....	33
5.3 Volumes water per deelgebied	34
6 Inpassing van de bronnen	37

6.1	Onttrekkingsregime.....	37
6.2	Hoeveel bronnen zijn er nodig per deelgebied.....	39
6.3	Negatieve interferentie.....	49
6.4	Eerste ontwerp WKO energieneutraal ArenAPoort.....	50
7	Definitief ontwerp WKO ArenAPoort.....	52
7.1	Redenen voor het ontwerp.....	52
7.2	Definitief ontwerp locatie bronnen.....	55
8	Conclusie.....	56
9	Discussie.....	58
	Bibliografie.....	59

Figuren- en tabellenlijst

Figuur 1.1: Veranderingen verhouding functie in de ArenAPoort (Gemeente Amsterdam, 2020, p. 29)	8
Figuur 2.1: Overzichtskaart deelgebieden ArenAPoort(Gemeente Amsterdam, 2020, p. 4)	12
Figuur 2.2: Ligging ArenAPoort in de omgeving Amsterdam	13
Figuur 3.1: Schematische weergave WKO (Rijkswaterstaat, 2021)	15
Figuur 3.2: Schematische weergave van een monobron (Rijkswaterstaat, 2021)	16
Figuur 3.3: Schematische weergave van een doublet (Rijkswaterstaat, 2021)	17
Figuur 3.4: Schematische weergave van een bodemwarmtewisselaar (gesloten systeem) (Rijkswaterstaat, 2021)	18
Figuur 3.5: Een WKO bron op maaiveldniveau (Wageningen university & research , 2022)	19
Figuur 3.6: Schematische tekening van een bel (Duurzame scheurkalender, 2022)	20
Figuur 4.1: Landelijke BENG-eisen voor utiliteitsbouw (Gemeente Amsterdam, 2021)	23
Figuur 4.2: BENG Landelijk - BENG Amsterdam (gemeente Amsterdam, 2021)	24
Figuur 4.3: BVO's per deelgebied ArenAPoort (Gemeente Amsterdam , 2021)	26
Figuur 5.1: Aangegeven boorpunten rondom ArenAPoort (Google Maps, 2022)	30
Figuur 5.2: Profiel ondergrond onderzoeksgebied	31
Figuur 5.3: Benodigde volumes Per deelgebied	36
Figuur 6.1: Thermische straal van bellen eerste WKO ontwerp	40
Figuur 6.2: Eerste ontwerp WKO minimale en maximale temperatuur	51
Figuur 6.3: Eerste ontwerp WKO locatie bronnen	51
Figuur 7.1: Definitief ontwerp WKO ArenAPoort	53
Figuur 7.2 Locatie bronnen definitieve ontwerp	55
Figuur 7.3: Definitief ontwerp WKO minimale en maximale temperatuur	55
Figuur 8.1: Definitief ontwerp maximale en minimale temperatuur	57
Tabel 2.1: Functies deelgebieden ArenAPoort	13
Tabel 4.1: Energievraag ArenAPoort op basis van BVO's	25
Tabel 4.2: verhoudingen warme en koudevraag per functie in het onderzoeksgebied	27
Tabel 4.3: Totale energieberekening per deelgebied	28
Tabel 4.4: Energieonbalans in kWh/jaar	29
Tabel 5.1: Porositeit van verschillende soorten zand (Grondwaterformules.nl, 2021)	33
Tabel 5.2: Grondeigenschappen ondergrond ArenAPoort (Dinoloket , 2021)	33
Tabel 5.3: Volume warme bel en volume koudebel per deelgebied	35
Tabel 6.1: Uitgangspunten onttrekkingsregime	37
Tabel 6.2: Volume per diameter buis	38
Tabel 6.3: Aansluitwaardes voor wamte en koude	41
Tabel 6.4: m2 BVO per deelgebied	41
Tabel 6.5: Aansluitwaardes voor warmte per deelgebied	43
Tabel 6.6: piekvermogen en debiet per deelgebied voor koude	44
Tabel 6.7: Berekende hoeveelheid warme bronnen	45
Tabel 6.8: Aansluitwaardes voor koude per deelgebied	46
Tabel 6.9: piekvermogen en debiet per deelgebied voor koude	47
Tabel 6.10: Berekende hoeveelheid koude bronnen	47
Tabel 6.11: Hoeveelheid benodigde Bronnen	48
Tabel 8.1: Hoeveelheid benodigde bronnen	56

1 Inleiding

Hompe & Taselaar is een adviesbureau dat gespecialiseerd is in het voorbereiden, plannen en uitvoeren van projecten in het stedelijk gebied, waar het inrichten van ondergrond een belangrijke rol speelt. Milieu, duurzaamheid en energie vormen samen de pilaren binnen deze strategie. Naast het opstellen van een visie, helpt het bedrijf ook in de realisatiefase van deze projecten.

Waar dit onderzoek over gaat is de ArenAPoort. De ArenAPoort verandert tot 2030 van een kantoren- en entertainmentlocatie naar een levendige, dynamische stadswijk waar wonen, werken en uitgaan centraal staan. (Gemeente Amsterdam, 2021)

De Gemeente Amsterdam heeft hiervoor een ontwikkelingsstrategie opgesteld waarin de te ontwikkelen projecten tot 2030 worden gesteld. In het kader van duurzaamheid en milieu, is het van belang dat deze projecten energie- en/of CO2-neutraal worden.

Om ArenAPoort om te vormen tot een centrum waar men graag voor langere tijd wil verblijven, is het plan om meer hoogbouw te creëren. Dit samen met het ontwikkelen van voorzieningen zoals winkels, sportvelden en gezondheidscentra zal zorgen voor een volwaardig stadsgevoel.

Om dit stadsgevoel te creëren, is naar schatting ruimte voor 5.700 woningen, 250.000m² aan nieuwe kantoorruimte beschikbaar en worden de functies van de bestaande gebouwen samengebracht/gemixt. In Figuur 1.1 is de huidige functie indeling en de toekomstige indeling van de ArenAPoort weergegeven. Aan de linkerkant van de afbeelding is de ArenAPoort afgebeeld in zijn huidige staat, terwijl aan de rechterkant van de afbeelding te zien is hoe de indeling van functies gaat veranderen.

Om de veranderingen in het gebied te realiseren is er vraag naar nieuwe of verbeterde energie en nutsvoorzieningen. Er zullen nieuwe rioleringen, elektriciteitsnetten, telecomnetwerken, warmte- en koudnetten en warmtebronnen gecreëerd moeten worden om de toenemende woningen en kantoorpanden in dit gebied te bedienen.



Figuur 1.1: Veranderingen verhouding functie in de ArenAPoort (Gemeente Amsterdam, 2020, p. 29)

Dit afstudeeronderzoek heeft zich voornamelijk gericht op het energievraagstuk van deze ontwikkelingen. De vraag naar de benodigde hoeveelheid warmte- en koude energie en vermogen voor de eindsituatie van de ArenAPoort zijn duidelijk in kaart gebracht. Deze cijfers zijn nauwkeurig voorspeld door met een aantal specialisten gesproken te hebben, die de energievraag van gebouwen kunnen berekenen. Samen met deze specialisten is gekeken op welke manier de energievraag zo laag mogelijk gehouden kan worden. Gezien de beperkte tijd voor dit afstudeeronderzoek, is er vanuit gegaan dat al het vastgoed zal voldoen aan de meest gunstige voorwaarden op het gebied van energiebesparing.

Door het ondertekende klimaatakkoord van 2016, door staatssecretaris Dijkema, zijn wet- en regelgeving de afgelopen jaren veranderd. (Rijksoverheid , 2021)

Sinds januari 2021 is de energieprestatiecoëfficiënt (EPC) vervangen door de nieuwe BENG normen. Deze BENG-normen houden in dat nieuwe gebouwen in Nederland bijna of geheel energieneutraal moeten zijn. (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland , 2021)

Omdat de gemeente Amsterdam als ambitie heeft de gebouwen in dit stadsdeel energieneutraal te laten functioneren, is in dit onderzoek de aannahme dat het gebruik van een warmte- en koudeopslag (WKO) wordt toegepast.

Warmte- en koudeopslag is een manier waarmee energie ondergronds opgeslagen kan worden. Koud grondwater wordt in de zomer omhoog gepompt en door een warmtewisselaar langs het water in de leidingen van gebouwen gepompt om zo voor verkoeling te zorgen. In de winter wordt dit proces omgedraaid en wordt er warm water door deze leidingen gepompt. Dit onderzoek zal concluderen of de ArenAPoort energieneutraal kan worden, door het gebruik van WKO.

Voor het toepassen van WKO-systemen is het belangrijk dat er beeld is van alle grondlagen en welke eigenschappen deze kennen. Geohydrologie, kavelinrichting, inrichting van het maaiveld en ondergrondse infrastructuur spelen bij het plaatsen van de bronnen een belangrijke rol. Deze gegevens zijn zowel belangrijk voor de toepasbaarheid en de effectiviteit van een WKO.

Bij het inzichtelijk maken van de energie die mogelijk opgeslagen kan worden zal een geohydrologisch model gemaakt moeten worden. Aan het eind van het onderzoek zijn drie onderdelen helder geworden:

1. Wat de energievraag en het benodigde vermogen wat nodig is voor al het vastgoed binnen het onderzoekgebied;
2. Hoeveel potentiële energie er kan worden opgeslagen in de ondergrond van het onderzoekgebied;
3. Welke effecten de aanleg van WKO op de ondergrond heeft;
4. Hoe een WKO-plan ontworpen wordt, waarmee de energievraag gelijk is aan de hoeveelheid die het systeem kan opslaan.

2 Onderzoeksopzet

In dit hoofdstuk wordt de opdracht en het gebied dat onderzocht is toegelicht. In paragraaf 2.1 wordt benoemd wat de probleemstelling van dit onderzoek is. In de paragraaf daarna, 2.2, worden de doelstellingen en wat er uiteindelijk bereikt moet worden vermeld.

2.1 Probleemstelling

De vraag naar energie voor alle gebouwen in het onderzoeksgebied moet worden opgevangen door WKO-systemen. WKO maakt gebruik van het opwarmen en afkoelen van grondwater. Dit grondwater zit diep in de ondergrond en zit tussen verschillende grondsoorten waardoor het weinig stroming kent. Het grondwater wordt in de zomer omhoog gepompt om voor verkoeling te zorgen. Het opgewarmde water uit deze leidingen wordt op een andere locatie in de ondergrond teruggepompt, om dit water warm te houden. In de winter wordt dit warme grondwater met een warmtepomp door leidingen in gebouwen gepompt en extra verhit, zodat er geen andere vorm van warmtesysteem nodig is.

Om de visie van de ArenAPoort een realiteit te maken moeten woningen en kantoren energieneutraal functioneren, daarbij kunnen warmte koude systemen een prominente rol spelen. Kennis over de potentiële toepassing van Warmte Koude Systemen in de ontwikkeling van de ArenAPoort ontbreekt en moet worden onderzocht.

De probleemstelling van dit onderzoek houdt in hoe de gemeente Amsterdam de energievraag van het vastgoed in de ArenAPoort op gaat vangen door het gebruiken van WKO en op welke manier dit een energieneutraal stadsdeel kan creëren. Dit onderzoek richt zich voornamelijk op het energievraagstuk van de ArenAPoort.

2.2 Doelstelling

De doelstelling van dit onderzoek is een WKO-plan ontwerpen dat ervoor zorgt dat al het vastgoed binnen het onderzoeksgebied “de ArenAPoort” energie neutraal gaat worden.

Om deze doelstelling te bereiken zijn drie onderdelen in dit onderzoek cruciaal:

1. Inzicht krijgen over de energievraag en het benodigde vermogen van het totale vastgoed binnen de ArenAPoort. Hierbij worden alle vormen van elektriciteit-gebruik meegenomen.
2. In beeld brengen van de aanwezige grondlagen. De eigenschappen van deze grondlagen en de mogelijke energieopslag voor het gebruik van een WKO-systeem zijn van belang.
3. Het maken van een passend WKO-plan, waarmee de gebouwen in de ArenAPoort energieneutraal gemaakt (kunnen) worden.

De uitwerking van deze punten vormen samen het onderzoeksrapport. De onderzoeksvraag en bijbehorende deelvragen zijn in de volgende paragraaf toegelicht.

2.3 Onderzoeksvraag

Om de doelstelling te realiseren is er een overkoepelende onderzoeksvraag opgesteld. De onderzoeksvraag kan alleen beantwoord worden wanneer de deelvragen van dit onderzoek voldoende zijn onderzocht en uitgewerkt. De hoofdvraag is als volgt opgesteld:

Hoe kan Warmte Koude Opslag worden toegepast om al het vastgoed in de te her ontwikkelen ArenAPoort na 2030 energieneutraal te laten functioneren?

2.4 Deelvragen

De volgende vier deelvragen zijn geformuleerd om de hoofdvraag te beantwoorden. Per deelvraag zijn subdeelvragen gesteld. De informatie uit deze subdeelvragen zijn nodig om uiteindelijk de deelvragen en uiteindelijk de hoofdvraag te beantwoorden.

- 1. Hoeveel energie en vermogen is er nodig om het vastgoed in de toekomstige ArenAPoort energieneutraal te maken?**
 - Definieer het begrip “energieneutraal”. Bepaal in welke eenheden de energievraag uitgedrukt gaat worden.
 - Hoeveel energie is er nodig om alle panden in de zomer te verkoelen?
 - Hoeveel energie is er nodig om alle panden in de winter van warmte voorzien?
 - Hoeveel elektriciteit verbruiken kantoorpanden en huishoudens? Bereken dit per huishouden of per m² om zo een professionele schatting te maken.
- 2. Wat is de grondopbouw in het projectgebied?**
 - Op basis van grondboringen een beeld krijgen van de ondergrond van het project.
 - Analyseer hoe het grondwater door deze lagen stroomt. Dit wordt gedaan door middel van een geohydrologisch model.
 - Benoem de eigenschappen van iedere grondlaag en beschrijf welke effecten deze op een WKO-systeem hebben.
- 3. Hoeveel energie kan er theoretisch worden opgeslagen met het gebruik van een WKO plan en wat is de meest gunstige inpassing van de WKO?**
 - Bereken met de gegevens uit deelvraag 2 hoeveel energie er maximaal in de ondergrond opgeslagen kan worden. Toets of de opslag/opbrengst hoger zijn dan de energievraag uit deelvraag 1.
 - Wat zijn de negatieve gevolgen voor het projectgebied na het plaatsen van de WKO?
 - Onderzoek welke optielocaties er mogelijk zijn bij het plaatsen van de bronnen van de WKO-systemen.

2.5 Afbakening van het project

In deze paragraaf wordt toegelicht wat de afbakening van het onderzoek gaat zijn.

2.5.1 Gebiedsafbakening

De ArenAPoort ligt in het Zuidoost deel van de gemeente. ArenAPoort bestaat zelf weer uit vier deelgebieden. Ieder deelgebied kent zijn eigen functie en heeft daarmee ook een aparte reikwijdte

ArenAPoort West, Amsterdamse Poort, Cumulus Park en Stationsomgeving zijn de vier deelgebieden binnen dit onderzoeksgebied. In Figuur 2.1 is te zien hoe het project is opgedeeld.

1. ArenAPoort West
2. Amsterdamse Poort
3. Cumulus Park
4. Stationsomgeving rondom Amsterdam Bijlmer Arena

Figuur 2.1: Overzichtkaart deelgebieden ArenAPoort(Gemeente Amsterdam, 2020, p. 4)



Alle functies die in een volwaardig stadscentrum thuishoren zijn al aanwezig in ArenAPoort. Het probleem van dit gebied is de verhouding tussen deze functies. De functies wonen, werken, ontspannen en winkelen zijn niet ideaal op elkaar afgesteld. ArenAPoort heeft te weinig bewoners vergeleken met een gemiddeld stadcentrum.

Een gemiddeld stadcentrum heeft een verhouding van 1 bewoner op 2 tot 4 werkplekken. In ArenAPoort is deze verhouding ongeveer 1 bewoner op de 24 werkplekken. Naast deze verhouding is er weinig samenhang tussen de vier deelgebieden. Ook ervaren de bewoners de ArenAPoort niet als volwaardig onderdeel van Zuidoost. (Gemeente Amsterdam, 2020)

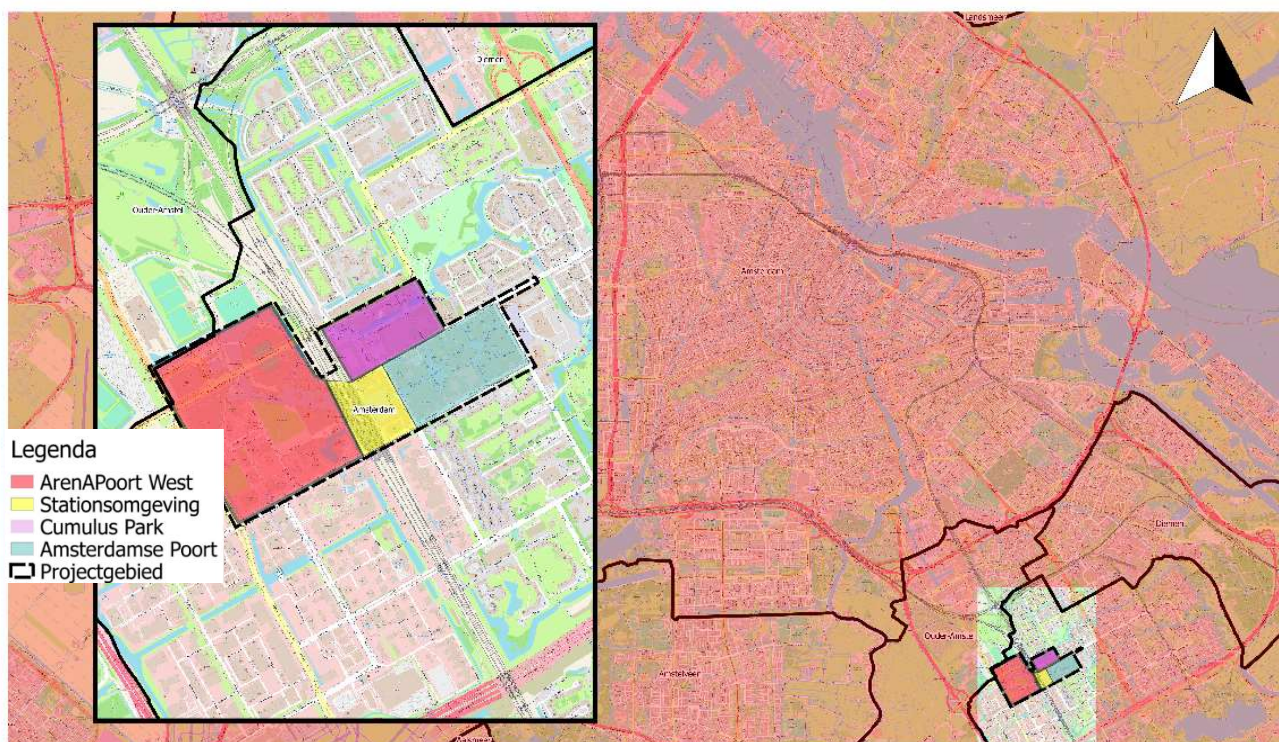
In tabel 2.1 staan de huidige functies van ieder deelgebied. De functie van een gebied zegt veel over hoe deze is opgebouwd en welke eigenschappen deze kent. Figuur 2.2 laat de scope en de grens van het onderzoeksgebied zien. Het is belangrijk om te weten dat de gebouwen buiten de grens niet worden meegenomen in de berekening van de energievraag.

Tabel 2.1: Functies deelgebieden ArenAPoort

Deelgebied	Functie gebied
ArenAPoort West	Wonen/Werken/ontspanning
Amsterdamse Poort	Wonen/Winkelen/werken
Cumulus Park	Leren/werken
Station Amsterdam Bijlmer ArenA	Reizen(nationaal)/werken

Figuur 2.2: Ligging ArenAPoort in de omgeving Amsterdam

Locatie onderzoeksgebied ArenAPoort



2.5.2 Randvoorwaarde

Het is van belang randvoorwaarden op te stellen om het onderzoek vorm te geven en in juiste banen te leiden. De randvoorwaarden voor het onderzoek zijn als volgt bepaald:

- Bestaande gebouwen die een andere functie krijgen worden alleen onderzocht op de energievraag door het in gebruik nemen van het gebouw. Het materiaalgebruik wordt hier buiten beschouwing gelaten.

2.5.3 Uitgangspunten

Naast uitgangspunten zijn er voor dit plan van aanpak drietal uitgangspunten bedacht die ervoor zorgen dat de kern van het onderzoek bij de energievraag en toepassing van WKO binnen de ArenAPoort blijft.

- Voor het onderzoek mag worden uitgegaan dat de gebouwen zijn uitgerust met goede isolatie en voldoen aan de BENG normen. Dit betekent dat de gebouwen voldoen aan de meest gunstige vorm van energieverbruik.
- Alleen gebouwen, bestaand en nieuw te bouwen, binnen het onderzoeksgebied worden onderzocht. Gebouwen die buiten de grens vallen worden niet meegenomen in de energieberekeningen.
- Gezien de tijd die beschikbaar is voor het afstuderen, wordt voor het onderzoek maar één plan gemaakt voor een mogelijke WKO-inpassing.

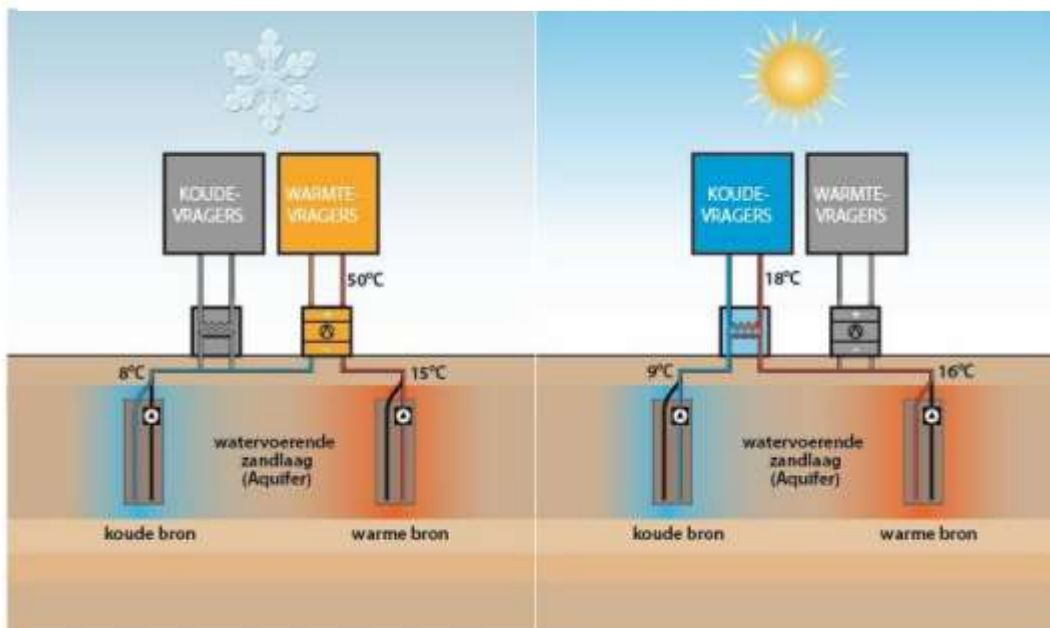
3 Wat is WKO

Een warmte-koudeopslag is een methode om ondergronds energie op te staan in de vorm van warm en koud water. Een WKO-systeem kan beschouwd worden als een grote batterij in de ondergrond. De techniek wordt gebruikt om gebouwen te verwarmen in de zomer en te verkoelen in zomer.

In een ideale situatie bestaat een WKO uit twee grondwaterbronnen die tussen de 30 tot 250m (in Noord-holland) diep zijn. Dit heeft alles te maken met de grondopbouw in het gebied. In de winter wordt warm grondwater van ongeveer 15 °C uit de warme bron onttrokken. Dit is in het beginsel de basis voor de verwarming. Door het gebruiken van een warmtepomp kan deze temperatuur verwarmt worden tot 50 °C. Met behulp van een warmtewisselaar wordt de warmte afgegeven aan het water van een gebouwssysteem en koelt deze temperatuur af tot ongeveer 8 °C. Het afgekoelde water wordt vervolgens weer in de koude bron geïnjecteerd.

Het afgekoelde water van ongeveer 8 graden °C wordt in de koude bron geïnfiltreerd. In de zomer wordt dit water uit de koude bron gepompt om te gebruiken voor comfortkoeling. Bij de verkoeling van de panden warmt dit water weer op tot ongeveer 18 °C en wordt in de warme bron geïnjecteerd. In Figuur 3.1 is schematisch weergegeven hoe dit systeem werkt.

Figuur 3.1: Schematische weergave WKO (Rijkswaterstaat, 2021)



3.1 Verschillende types WKO

Om energie op te slaan in de ondergrond zijn twee verschillende type systemen bekend. Een open systeem en een gesloten systeem.

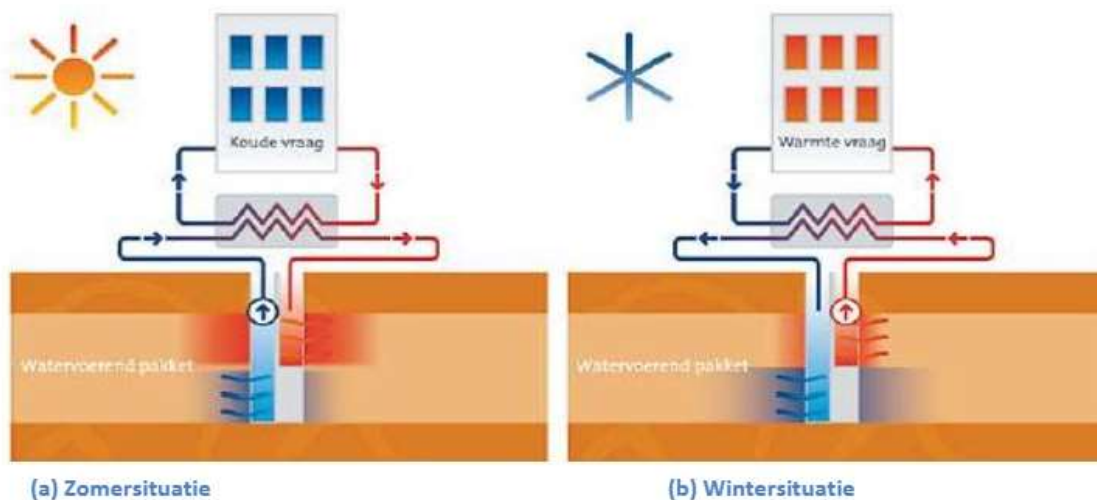
3.1.1 Open systemen

Open grondwatersystemen staan direct in verbinding met het grondwater in de aanwezige watervoerende pakketten in de ondergrond. Via buizen en filters wordt water uit de ondergrond onttrokken en geïnfiltrerd. Via warmtewisselaars wordt het grondwater geleid naar de locatie waar de energie afgegeven moet worden. Een open WKO systeem kent twee varianten: doubletten en monobronnen.

Monobron

Bij een monobron worden de warme en koude bron boven elkaar geplaatst. Dit staat schematisch weergegeven in Figuur 3.2. Het voordeel van een monobron is dat er maar één bronlocatie nodig is. Dit vermindert de boringskosten en minimaliseert het bodemgebruik. Monobronnen kunnen dicht naast elkaar gezet worden zonder dat dit de effectiviteit negatief beïnvloed. Omdat een monobron gebruik maakt van de bodem in het verticale vlak, hierdoor is dit systeem alleen toepasbaar bij kleinere (lokale) systemen.

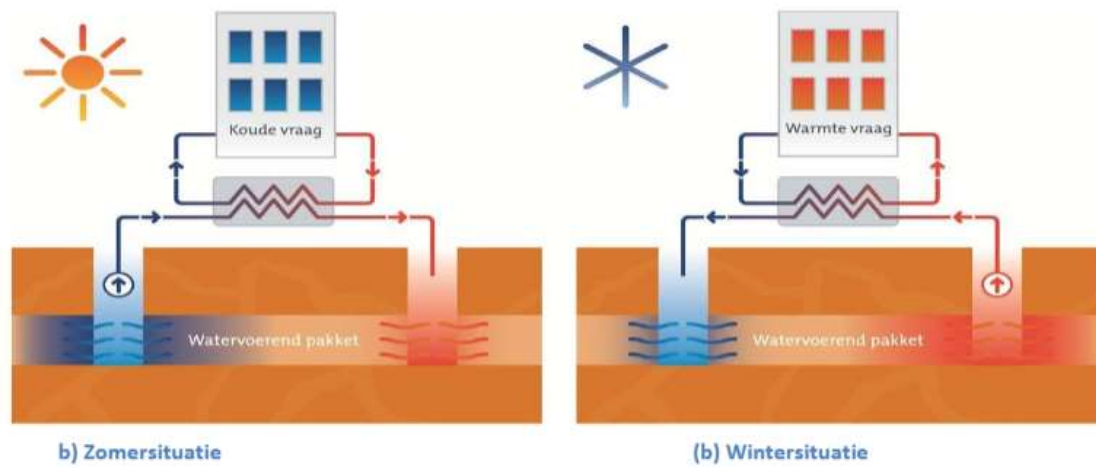
Figuur 3.2: Schematische weergave van een monobron (Rijkswaterstaat, 2021)



Doublet

Het doublet systeem is de meest gebruikte vorm van energieopslag. In de basis is de werking van een doublet hetzelfde als bij een monobron, alleen liggen de warmte en koude bronnen naast elkaar in het watervoerende pakket. In Figuur 3.3 staat schematisch te zien hoe zich dit vertaalt in de ondergrond. Het voordeel van dit systeem is dat de gehele dikte van het watervoerende pakket gebruikt kan worden. Op deze manier is het mogelijk om grotere bronnen te creëren, waarbij meer energie in de vorm van koud en warm water opgeslagen kan worden. Tussen de koude en warmte bron van een doublet dient een afstand van 3x de thermische straal aangehouden te worden, zodat beide bronnen elkaar niet thermisch beïnvloeden (NVOE, 2006).

Figuur 3.3: Schematische weergave van een doublet (Rijkswaterstaat, 2021)



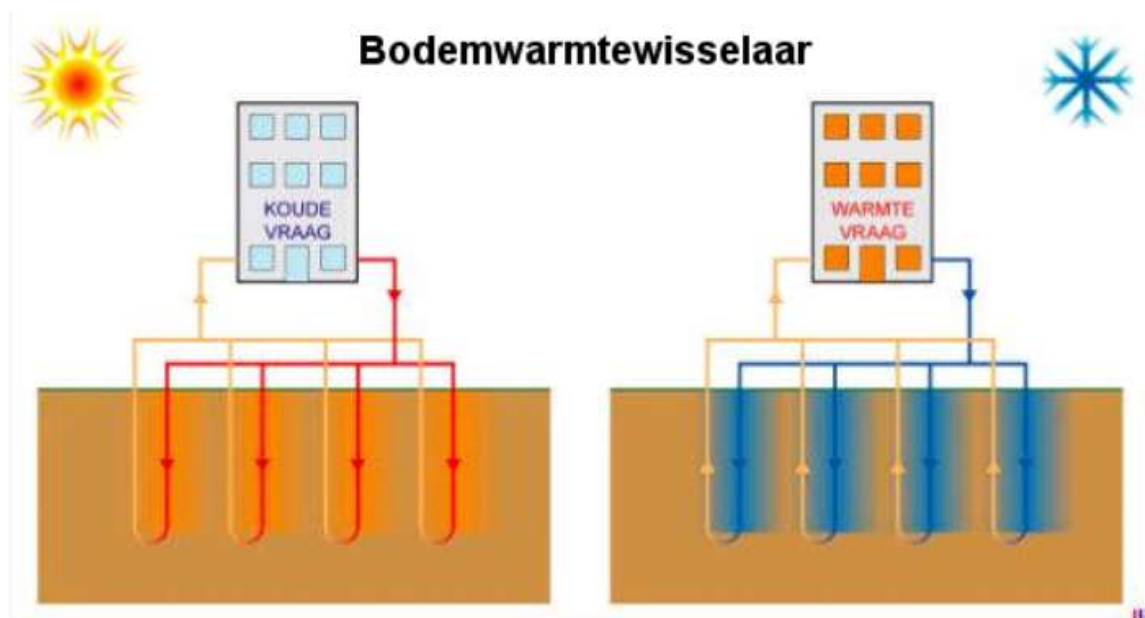
3.1.2 Gesloten systemen

In een gesloten WKO-systeem stroomt water door de buizen van het gesloten systeem. In het ondergrondse deel van dit systeem zijn warmtewisselaars geïnstalleerd om de thermische energie uit te wisselen met het grondwater buiten de buizen. Zo kan de temperatuur van het grondwater buiten het systeem gebruikt worden voor het koelen en verwarmen van de panden.

Wanneer de ondergrond zich niet leent voor een open WKO systeem, kan gekozen worden voor een gesloten systeem. Een gesloten systeem, liggen of horizontaal in de bovenste grondlaag (onder de vorstgrens) of verticaal in de ondergrond.

Bij horizontale bodemwarmtewisselaars is een relatief groot oppervlakte nodig. Dit betekent dat er veel grond moet worden afgegraven. In de stedelijke omgeving is het lastig om genoeg ruimte te vinden voor deze toepassing. Naast de problematiek rondom de ruimte die nodig is, is er bij een horizontaal gesloten systeem veel meer invloed van de seizoenen merkbaar. Deze invloeden van het seizoen zijn ongewenst om de effectiviteit van het systeem te waarborgen.

Figuur 3.4: Schematische weergave van een bodemwarmtewisselaar (gesloten systeem) (Rijkswaterstaat, 2021)



Bij een verticaal gesloten WKO-systeem, zoals te zien in Figuur 3.4, worden buizen in het verticale vlak onder panden geboord. Deze komen op een diepte van 20 tot zo'n 50 meter diep. Net als bij een open systeem zijn een warmtepomp en warmtewisselaars nodig.

3.2 Onderdelen van WKO

Om een duidelijker beeld te geven hoe WKO toegepast kan worden en om de rest van het rapport leesbaar en beter begrijpelijk te houden behandeld dit hoofdstuk de verschillende termen die gebruikt worden binnen dit onderzoek.

In de volgende paragrafen worden de onderdelen van WKO verklaard en uitgelegd. Dit maakt het behandelen van de hoofdstukken die hierop volgen beter te lezen.

3.2.1 Wat is een WKO-systeem

Een WKO-systeem zijn alle onderdelen om de techniek van WKO te bewerkstellen. Een WKO-systeem bestaat voornamelijk uit de onderdelen die in de ondergrond geplaatst worden. Een WKO-systeem bestaat uit een warmtebron en een koude bron. Deze bronnen onttrekken en infiltreren grondwater. Het water vanuit de ondergrond onttrekken en water in de ondergrond infiltreren, wordt gedaan via een buis waarin sleufvormige gaten zitten. Om genoeg energie per tijdseenheid te hebben zijn vaak meerdere bronnen nodig. De panden die aangesloten zijn op een systeem bepalen hoeveel vermogen, en daarmee hoeveel bronnen er nodig zijn per systeem.

Bij een WKO-systeem horen ook de warmtepomp en warmtewisselaar. Deze onderdelen bevinden zich op het maaiveld niveau en vaak in de technische ruimte van een pand.

Het water wat door de radiatoren in het pand stroomt hoort bij het gebouwssysteem en worden niet tot het WKO-systeem gerekend. De technieken en bijbehorende theorie worden in dit rapport niet verder onderzocht.

3.2.2 Wat is een bron

In de terminologie van WKO-systemen komt het begrip “bron” regelmatig voor. Als er tijdens dit verslag verwezen wordt naar een bron, betekent dit een put met bijbehorende buis. Dit kan een warmte of koude bron zijn. Een bron kan gezien worden als een buis met een filter. Bij een doublet systeem zijn een warmte bron en koude bron nodig. In Figuur 3.5 is te zien hoe een bron er op maaiveldniveau uit ziet.

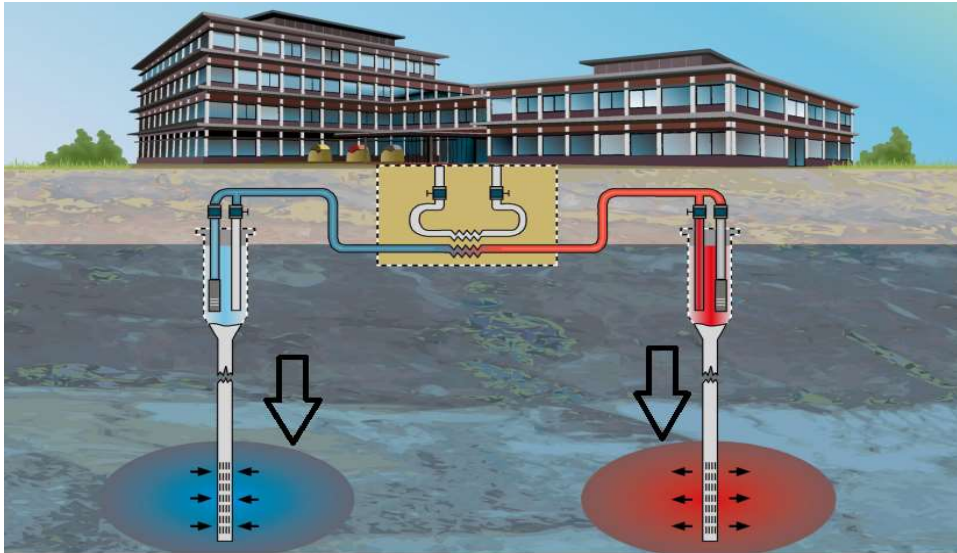
Figuur 3.5: Een WKO bron op maaiveldniveau (Wageningen university & research , 2022)



3.2.3 Wat is een bel

Een bel is een hoeveelheid koud of warm water en bevindt zich in het watervoerende pakket van de ondergrond. Deze bellen bevinden zich onder het freatisch vlak en hebben geen invloed op het oppervlaktewater. De bronnen die geplaatst zijn in deze bellen onttrekken en infiltreren water van deze bellen. In Figuur 3.6 staat met een pijl aangegeven hoe een bel er schematisch in de ondergrond uitziet.

Figuur 3.6: Schematische tekening van een bel (Duurzame scheurkalender, 2022)



3.2.4 Wat is een warmtewisselaar

Een warmtewisselaar bevindt zich aan het bovengrondse deel van een WKO-systeem. Dit onderdeel bevindt zich in de kelder of technische ruimte van een pand. De functie van een warmtewisselaar is het overdragen van energie van een WKO-systeem aan het water van het gebouwssysteem. Op deze manier worden de panden gekoeld en/of verwarmd.

3.2.5 Wat is een filter/filterlengte

Een filter is onderdeel van een buis die in de ondergrond gebracht is. Het filter bestaat uit kleine sleuven in de buis met daaromheen grind gestort. Hierdoor kan het water in of uit de buis stromen. De lengte van het filter is mede bepalend voor de grootte en vorm van de bel.

3.2.6 Wat is een warmtepomp

Een warmtepomp bevindt zich in de technische ruimte van een gebouw. Een warmtepomp zorgt ervoor dat er warmte of koude toegevoegd kan worden aan het water binnen de panden nadat het langs de warmtewisselaar is geweest.

4 Het energievraagstuk

In dit hoofdstuk staat de deelvraag “Hoeveel energie en vermogen is er nodig om vastgoed in de toekomstige ArenApoort energieneutraal te maken?” centraal. Om deze deelvraag te beantwoorden zijn er een aantal begrippen uitgelegd en subdeelvragen beantwoordt.

4.1 Wat is energie?

Om deelvraag 1 te beantwoorden is het belangrijk een aantal begrippen te omschrijven. Deze begrippen zijn nodig om de scope en de beantwoording van de deelvraag helder te hebben.

De begrippen waarom het gaat zijn:

1. Energie;
2. Energieneutraal;
3. CO2-neutraal.

1. Energie

Energie is de mogelijkheid om veranderingen te bewerkstellen. Veranderingen zijn meetbare eigenschappen van een natuurkundig verschijnsel. Energie is daarom ook een natuurkundige grootte. Een algemene definitie van het begrip is niet mogelijk omdat energie op veel verschillende manieren voorkomt.

Zo spreekt men van thermische energie, elektrische energie, mechanische energie, stralings(energie) et cetera. De eenheid die gebruikt wordt om energie te meten is Joule. Binnen dit onderzoek is vooral gerekend met Wattseconden, wat gelijk is aan 1 Joule.

2. Energieneutraal

Het begrip energieneutraal betekent dat er evenveel energie wordt opgewekt als dat er wordt gebruikt. Een woning of kantoor wordt gezien als energieneutraal als het energieverbruik op jaarbasis op 0 uitkomt. Dit kan als er evenveel energie wordt opgewekt als dat er wordt verbruikt. Om te voldoen aan de BENG-normen is het van belang dat gebouwen goed geïsoleerd zijn. Door het gebruik van vloer-, muur- en dakisolatie kost het minder energie om gebouwen in de winter warm te houden en in de zomer juist koel.

Het onderzoeksgebied wordt energieneutraal bevonden, wanneer door middel van het gebruik van grondwater en een warmtepomp er alleen nog maar energie nodig is voor het gebruiken van een warmtepomp. (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, 2021)

3. Energieneutraal vs CO2-neutraal

Energieneutraal en CO2-neutraal zijn verschillende begrippen. Het begrip energieneutraal gaat over de hoeveelheid energie die wordt verbruikt en tegelijkertijd wordt opgewekt. Als de opwekking en het verbruik van energie in balans zijn, spreekt men over “energieneutraal”.

CO2-neutraal gaat over de manier waarop energie wordt gegenereerd. Hierbij wordt onderzocht of er geen uitstoot van kooldioxide plaatsvindt. Door het vervangen van een reguliere CV-ketel door een WKO-systeem is het gebruik van (aard)gas niet nodig. (RVO, 2022)

Een CV-ketel maakt gebruik van de hitte die vrijkomt bij de verbranding van (aard)gas. Bij een WKO-systeem wordt water opgewarmd door een elektrische warmtepomp. Hierdoor is het gebruik van gas en daarmee de CO2 uitstoot onnodig voor het in gebruik nemen van de gebouwen.

4.2 BENG

Om de energievraag van de ArenAPoort te berekenen wordt gebruik gemaakt van de eisen van de BENG. Als gebouwen aan de BENG voldoen, worden 3 individuele eisen, die samen de BENG vormen, behaald. Deze eisen hebben te maken met de energieprestaties van een pand.

1. De maximale energiebehoefte in kWh per m² gebruiksoppervlak per jaar;
2. Het maximale primair fossiel energiegebruik, eveneens in kWh per m² gebruiksoppervlak per jaar;
3. Het minimale aandeel hernieuwbare energie in procenten.

Wat is BENG 1

BENG 1 is een eis die gesteld wordt aan nieuwbouw. Deze eis vermeldt wat het maximum aan energiegebruik mag zijn om de casco van een pand in gebruik te stellen. Deze energievraag komt vanuit het opwarmen en het verkoelen van het pand. In de basis betekent dit de energiebehoefte van een pand. (RVO , 2022)

Wat is BENG 2

De Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO , 2022) heeft vanuit het bouwbesluit aanvullende maatregelen genomen op de energiebehoefte van panden (BENG 1) door BENG 2 op te stellen.

BENG 2 is een indicator voor het primair fossiel energiegebruik. Dit is een optelsom van het primair energiegebruik voor verwarming, koeling, warmtapwater en ventilatoren. Bij utiliteitsbouw telt ook het primair energiegebruik voor verlichting en bevochtiging mee.

Wat is BENG 3

BENG 3 is de eis die gesteld wordt aan de functie van nieuwbouwpanden waarbij het gaat om het aandeel hernieuwbare energie. Dit percentage is te berekenen door de hoeveelheid zelf opgewekte hernieuwbare energie te delen door het totale energiegebruik. Omdat BENG 3 gaat over de energie die je toe moet voegen aan je warmte- en koudenet, wordt deze eis voor dit onderzoek buiten beschouwing gelaten.

Deze drie eisen kennen een andere norm per functie van het gebouw. Om de benodigde energievraag van de ArenAPoort vast te stellen is de eis voor het maximale energieverbruik vermenigvuldigd met de aanwezige vierkante meters van het onderzoeksgebied (Gemeente Amsterdam, 2021). De maximale energievragen voor verschillende functies staat in Figuur 4.1 beschreven.

Figuur 4.1: Landelijke BENG-eisen voor utiliteitsbouw (Gemeente Amsterdam, 2021)

Utiliteit (concept)	BENG 1 (ten hoogste kWh/m ² /jr)	BENG 2 (ten hoogste kWh/m ² /jr)	BENG 3 tenminste %
Kantoor 2022	90	40	30
Bijeenkomstfunctie			
a) kinderopvang	160	70	40
b) andere bijeenkomstfunctie	90	60	30
Celfunctie	160	120	30
Gezondheidsfunctie			
a) met bedgebied	350	130	30
b) andere gezondheidsfunctie	90	50	40
Logiesfunctie			
a) in een logiesgebouw	100	130	40
b) andere logiesfunctie	55	40	50
Onderwijsfunctie	190	70	40
Sportfunctie	40	90	30
Winkelfunctie	70	60	30

Omdat onderzoek gedaan is naar de haalbaarheid van een energie neutrale ArenAPoort, wordt de beng-2 eis op 0 gesteld. Dit betekent dat de maximaal benodigde energie niet opgevangen mag worden door fossiele brandstof.

Voor de ArenAPoort betekent dit dat de panden volgens de BENG-1 richtlijnen geheel voorzien moet worden door WKO. De WKO-systemen zelf hebben nog voor de werking zelf nog wel een energievraag. Deze restvraag zal worden opgevangen worden door het gebruik van hernieuwbare energie die de panden in de ArenAPoort zelf zullen opwekken. Het gedeelte van de restvraag naar energie is buiten beschouwing gelaten voor dit onderzoek.

4.3 BENG Amsterdam

Amsterdam heeft al jaren de ambitie om energieneutraal te bouwen. Dit heeft gevolgen voor de bouwnormen voor gebouwen in Amsterdam. De voormalige EPC-norm in Amsterdam is strenger dan de landelijke norm en bij het toepassen van de BENG heeft de gemeente (Amsterdam) besloten de strenge EPC normering te vervolgen.

Dit heeft als gevolg dat vanaf januari 2021 de landelijke BENG-eisen voor alle nieuwe panden gelden. In Figuur 4.2 staat de landelijke BENG aan de linkerkant en de BENG toegepast in Amsterdam aan de rechterkant. De BENG Amsterdam is strenger in zijn aandeel fossiele energiegebruik en hernieuwbare energie (Gemeente Amsterdam, 2021).

Dit onderzoek heeft zich volledig gericht op het energieneutraal maken van de ArenAPoort. Dit heeft als gevolg dat er géén fossiele brandstof gebruikt gaat worden. De strengere BENG normen in Amsterdam, hebben daardoor geen gevolgen voor dit onderzoek.

Figuur 4.2: BENG Landelijk - BENG Amsterdam (gemeente Amsterdam, 2021)

Utiliteit (concept)	BENG 1 (ten hoogste kWh/m ² /jr)	BENG 2 (ten hoogste kWh/m ² /jr)	BENG 3 tenminste %	Utiliteit (concept)	BENG 1 (ten hoogste kWh/m ² /jr)	BENG 2 (ten hoogste kWh/m ² /jr)	BENG tenminste %
Kantoor 2022	90	40	30	Kantoor 2022	90	20	80
Bijeenkomstfunctie				Bijeenkomstfunctie			
a) kinderopvang	160	70	40	a) kinderopvang	160	35	70
b) andere bijeenkomstfunctie	90	60	30	b) andere bijeenkomstfunctie	90	30	70
Celfunctie	160	120	30	Celfunctie	160	60	70
Gezondheidsfunctie				Gezondheidsfunctie			
a) met bedgebied	350	130	30	a) met bedgebied	350	65	70
b) andere gezondheidsfunctie	90	50	40	b) andere gezondheidsfunctie	90	25	70
Logiesfunctie				Logiesfunctie			
a) in een logiesgebouw	100	130	40	a) in een logiesgebouw	100	60	70
b) andere logiesfunctie	55	40	50	b) andere logiesfunctie	55	40	70
Onderwijsfunctie	190	70	40	Onderwijsfunctie	190	35	70
Sportfunctie	40	90	30	Sportfunctie	40	30	70
Winkelfunctie	70	60	30	Winkelfunctie	40	30	70

4.4 BVO ArenAPoort

De totale vraag aan energie voor de panden in de ArenAPoort zijn berekend door de bruto vloeroppervlakte (BVO) vermenigvuldigd met de grens van de BENG1 norm. Dit betekent dat er van uit is gegaan dat iedere functie in het gebied de maximale energie gebruikt om de panden te verwarmen en koelen. De totale energievraag per deelgebied staan gesommeerd in Tabel 4.1.

Tabel 4.1: Energievraag ArenAPoort op basis van BVO's

energievraag Arenapoort West			
Functie	m2 BVO	Energiebehoefte BENG1 (kWh/m2.jr)	Totale energiebehoefte BENG1 (kWh.jr)
wonen	108.750,00	65,00	7.068.750,00
kantoor	410.170,00	70,00	28.711.900,00
commercieel	159.600,00	70,00	11.172.000,00
voorzieningen	298.975,00	70,00	20.928.250,00
totaal	1.134.105,00		67.880.900,00
Energievraag Stationsomgeving			
Functie	m2 BVO	Energiebehoefte BENG1 (kWh/m2.jr)	Totale energiebehoefte BENG1 (kWh.jr)
Wonen	-	65,00	-
Kantoor	64.350,00	70,00	4.504.500,00
commercieel	21.370,00	70,00	1.495.900,00
Voorzieningen	-	70,00	-
Totaal	85.720,00		6.000.400,00
Energievraag Amsterdamse Poort			
Functie	m2 BVO	Energiebehoefte BENG1 (kWh/m2.jr)	Totale energiebehoefte BENG1 (kWh.jr)
wonen	186.850,00	65,00	12.145.250,00
kantoor	44.250,00	70,00	3.097.500,00
commercieel	48.650,00	70,00	3.405.500,00
voorzieningen	38.680,00	70,00	2.707.600,00
Totaal	318.430,00		21.355.850,00
Energievraag Cumulus park			
Functie	m2 BVO	Energiebehoefte BENG1 (kWh/m2.jr)	Totale energiebehoefte BENG1 (kWh.jr)
Wonen	72.400,00	65,00	4.706.000,00
Kantoor	127.500,00	70,00	8.925.000,00
Commercieel	-	70,00	-
voorzieningen	25.400,00	70,00	1.778.000,00
Totaal	225.300,00		15.409.000,00

Bij het bruto vloeroppervlak behoren ook de liftschaft, trapgaten, installatieruimtes en schalmgaten. Omdat deze ruimtes in de gebouwen ook verwarmd en/of gekoeld moeten worden, wordt voor de berekening van de totale energievraag gebruikt gemaakt van het bruto vloeroppervlak. Als de energievraag berekend is voor de BVO's, kan het systeem altijd te voldoen aan de maximale energievraag van de panden.

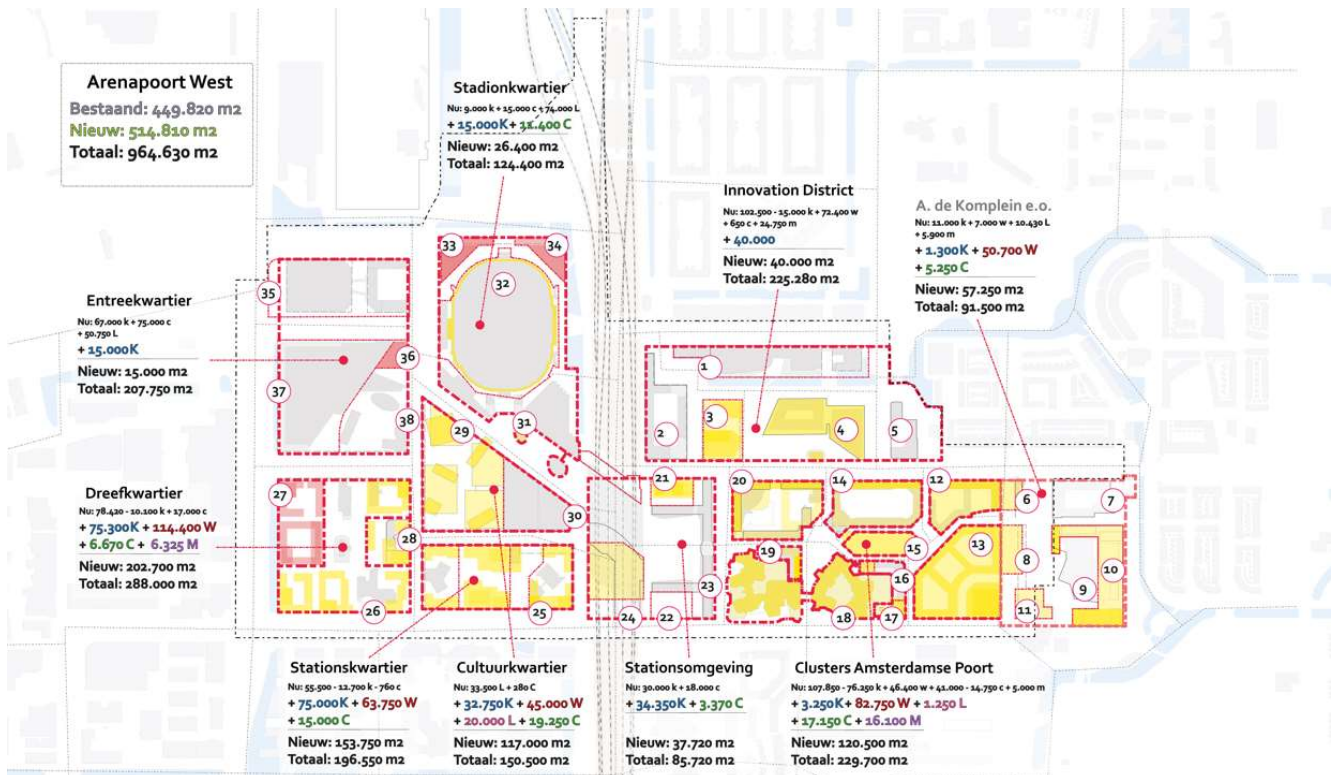
In Tabel 4.1 is aangegeven welke energiebehoefte (in kWh per jaar) er per deelgebied nodig zijn om deze te voorzien van warmte en koude. Deze energievraag is gebaseerd op de grens van de eerder genoemde BENG1 norm. Op deze manier is de maximale energievraag voor de gehele ArenAPoort geschat, na de herinrichting en veranderingen na 2030.

Alle BVO voor de ArenAPoort na 2030 zijn gebaseerd op de een projectoverzichtskaart van de gemeente Amsterdam. Figuur 4.3 geeft aan welke projecten er op dit moment bezig zijn en welke nog van start moeten gaan. De betreffende BVO's van deze projecten staat erbij vernoemd. In de figuur staan afkortingen voor de verschillende functies.

- K = kantoor
- W= wonen
- C= Commercieel
- M = Maatschappelijk (voorzieningen in de tabel 4.1)

De maximale energievraag voor de casco van alle panden samen, bedraagt **110.646.150,00 kWh** voor het gehele jaar. Afgerond is dit 110 gigawattuur (GWh).

Figuur 4.3: BVO's per deelgebied ArenAPoort (Gemeente Amsterdam, 2021)



4.5 Energie onbalans

De functies en de bijbehorende oppervlakte binnen de ArenAPoort verschillen van elkaar. De energievraag voor warmte en koude zijn per functie ook verschillend. Er kan niet worden aangenomen dat 50% van de totale energievraag bestaat uit warmte en 50% van deze vraag bestaat uit koude. In principe betekent dit dat de een WKO- systeem hierdoor niet volledig in balans gaat zijn (Taselaar, 2021).

In dit onderzoek zijn aannames gedaan voor de onbalans in energievraag. Deze aannames zijn gebaseerd op een interview met dr. ir. F. Taselaar. In dit interview is naar voren gekomen dat er onzekerheid ligt bij de hoeveelheden koude en warmte vraag. Omdat dit onderzoek zich voornamelijk specialiseert in het ontwerpen en inpassen van WKO systemen, is er minder aandacht besteed aan de energievraag van de panden. Voor een vervolg onderzoek kan er in detail onderzocht worden wat de werkelijk energievraag is.

In Tabel 4.2 is te zien welke verhoudingen zijn aangenomen voor de warmtevraag en koudevraag van de verschillende functies (Taselaar, 2021).

Tabel 4.2: verhoudingen warme en koudevraag per functie in het onderzoeksgebied

Functie	Percentage warme	Percentage koude
Wonen	75,00%	25,00%
Kantoor	40,00%	60,00%
Commercieel	50,00%	50,00%
Voorzieningen	30,00%	70,00%

In Figuur 4.3: BVO's per deelgebied ArenAPoort staan de BVO's van de ArenAPoort samen met de vierkante meters per functie. Door deze tabel te gebruiken samen met de verhoudingen aangegeven in de Tabel 4.2, is het mogelijk om de benodigde energie voor warmte en voor koude te berekenen.

Op de tabel in de volgende pagina, Tabel 4.3, is de warmtevraag en koudevraag berekend en de bijbehorende onbalans per deelgebied.

Tabel 4.3: Totale energieberekening per deelgebied

Energievraag Arenapoort West					
Functie	m2 BVO	Energiebehoefte BENG1 (kWh/m2.jr)	Warmtevraag (kWh/jaar)	Koudevraag (kWh/jaar)	Totale energiebehoefte BENG1 (kWh.jr)
wonen	108.750,00	65,00	5.301.562,50	1.767.187,50	7.068.750,00
kantoor	410.170,00	70,00	11.484.760,00	17.227.140,00	28.711.900,00
commercieel	159.600,00	70,00	5.586.000,00	5.586.000,00	11.172.000,00
voorzieningen	298.975,00	70,00	6.278.475,00	14.649.775,00	20.928.250,00
Totaal	977.495,00		28.650.797,50	39.230.102,50	67.880.900,00
			42,2%	57,8%	
Energievraag Stationsomgeving					
Functie	m2 BVO	Energiebehoefte BENG1 (kWh/m2.jr)	Warmtevraag (kWh/jaar)	Koudevraag (kWh/jaar)	Totale energiebehoefte BENG1 (kWh.jr)
Wonen	-	65,00	-	-	-
Kantoor	64.350,00	70,00	1.801.800,00	2.702.700,00	4.504.500,00
commercieel	21.370,00	70,00	747.950,00	747.950,00	1.495.900,00
Voorzieningen	-	70,00	-	-	-
Totaal	85.720,00		2.549.750,00	3.450.650,00	6.000.400,00
			42,5%	57,5%	
Energievraag Amsterdamse Poort					
Functie	m2 BVO	Energiebehoefte BENG1 (kWh/m2.jr)	Warmtevraag (kWh/jaar)	Koudevraag (kWh/jaar)	Totale energiebehoefte BENG1 (kWh.jr)
wonen	186.850,00	65,00	9.108.937,50	3.036.312,50	12.145.250,00
kantoor	44.250,00	70,00	1.239.000,00	1.858.500,00	3.097.500,00
commercieel	48.650,00	70,00	1.702.750,00	1.702.750,00	3.405.500,00
voorzieningen	38.680,00	70,00	812.280,00	1.895.320,00	2.707.600,00
Totaal	318.430,00		12.862.967,50	8.492.882,50	21.355.850,00
			60,2%	39,8%	
Energievraag Cumulus park					
Functie	m2 BVO	Energiebehoefte BENG1 (kWh/m2.jr)	Warmtevraag (kWh/jaar)	Koudevraag (kWh/jaar)	Totale energiebehoefte BENG1 (kWh.jr)
Wonen	72.400,00	65,00	3.529.500,00	1.176.500,00	4.706.000,00
Kantoor	127.500,00	70,00	3.570.000,00	5.355.000,00	8.925.000,00
Commercieel	-	70,00	-	-	-
voorzieningen	25.400,00	70,00	533.400,00	1.244.600,00	1.778.000,00
Totaal	225.300,00		7.632.900,00	7.776.100,00	15.409.000,00
			49,5%	50,5%	

Tabel 4.4: Energieonbalans in kWh/jaar

	Warmtevraag (kWh/jaar)	Koudevraag (kWh/jaar)	Energie onbalans (kWh/jaar)
Arenapoort West	28.650.797,50	39.230.102,50	10.579.305,00
Stationsomgeving	2.549.750,00	3.450.650,00	900.900,00
Amsterdamse Poort	12.862.967,50	8.492.882,50	4.370.085,00
Cumulus Park	7.632.900,00	7.776.100,00	143.200,00

Een onbalans in energievraag geeft een beperking in opslagrendement van het WKO-systeem. Deze onbalans kan door een zelfversterkend effect uitlopen tot een grote onbalans. Het debiet en de warme en koude bel kunnen verder uiteenlopen door deze verschillen. Dit betekent dat de opgeslagen energie niet volledig meer terug te winnen is. Het is van belang maatregelen te treffen om de energievraag dichter naar een balans te laten komen.

In Tabel 4.4 is aangegeven welke energieonbalans er optreden per deelgebied. In het blauw is aangegeven welke energie er gegenereerd moet worden voor de koude en in het rood staat aangegeven welke energie er gegenereerd moet worden voor warmte.

De volgende maatregelen kunnen genomen worden de betreffende onbalans tegen te gaan.

1. Koppelen van functies die elkaars onbalans aanvullen tot een balans
2. Extra regeneratie van kou en/of warmte (koeltoren/zonnecollector)
3. Verschuiven van infiltratietemperatuur

Door gebouwen met een overheersende koudevraag, denk aan kantoorpanden, te combineren met gebouwen die een overheersende warmtevraag hebben. Oppervlaktes woningen combineren met oppervlaktes kantoorpanden. Zorg dat de kantoorpanden en woningen samen zorgen voor een gelijke vraag aan koude en warme energie en koppel deze samen in eenzelfde WKO-bron.

In het geval dat de koudevraag aanzienlijk hoger ligt dan de warmtevraag kan er gekozen worden door extra koude te regenereren door middel van koeltorens. In het omgekeerde geval, als de warmtevraag hoger is dan de koudevraag, kan door middel van zonnecollectors warmte gegenereerd worden door het WKO-systeem meer te laten functioneren naar een optimum.

Een andere oplossing kan zijn, door te spelen met de infiltratie en onttrekkingstemperatuur. In een gebruikelijke situatie waarbij de energievraag in balans is, wordt veelal gekozen voor een temperatuur van 8 °C en 16 °C.

Als je de temperatuur verschuift naar 10 °C en 18 °C wordt de ene energie beter terugwinbaar dan de andere. Bij een overheersende warmtevraag kan bijvoorbeeld de infiltratietemperatuur verlaagd worden. Dit zorgt ervoor dat de warmte beter behouden blijft dan koude, dit heeft het effect dat het debiet uit de warme- en koudebron redelijk gelijk kan blijven. Dit heeft als impact dat er meer energie nodig is vanuit externe systemen als een warmtepomp.

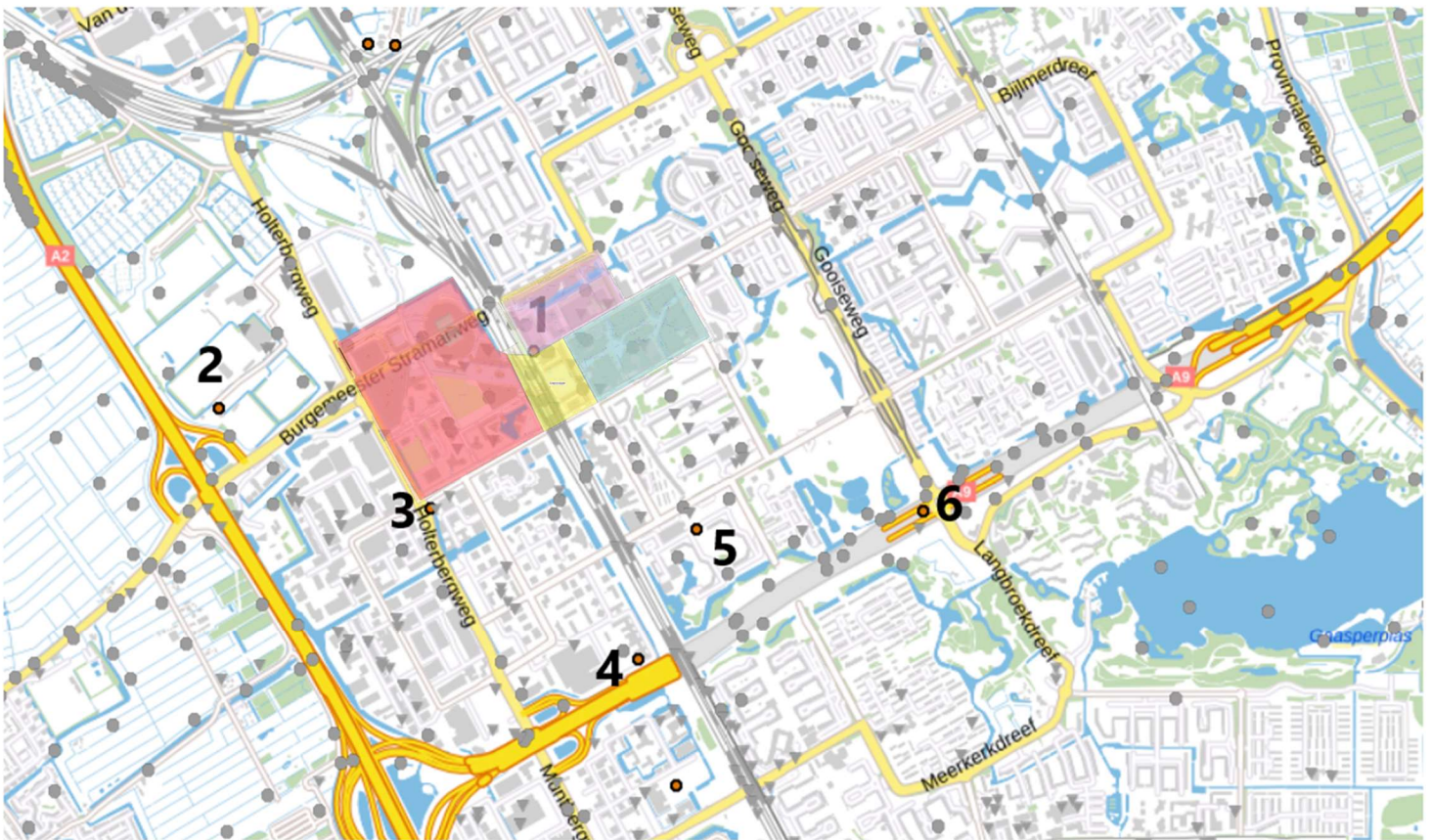
De verdere uitwerking van de te nemen maatregelen en het oplossen van de onbalans wordt verder niet aanschouwd en verder onderzocht in dit rapport.

5 Grondonderzoek

Om een beeld te krijgen van de grondlagen in het projectgebied, wordt gebruik gemaakt van gegevens uit grondboringen. DINOlaket (data en informatie van de Nederlandse ondergrond) is een website waar veel gegevens van de Nederlandse ondergrond beschikbaar zijn.

DINOlaket biedt hoofdzakelijk informatie over de ondiepe ondergrond. Hierbij gaat het om de grondlagen op diepte van minder dan 500 meter. Omdat WKO-systemen op een diepte van maximaal 200 meter diep aangebracht worden, zijn de gegevens van deze website uiterst geschikt voor het onderzoek.

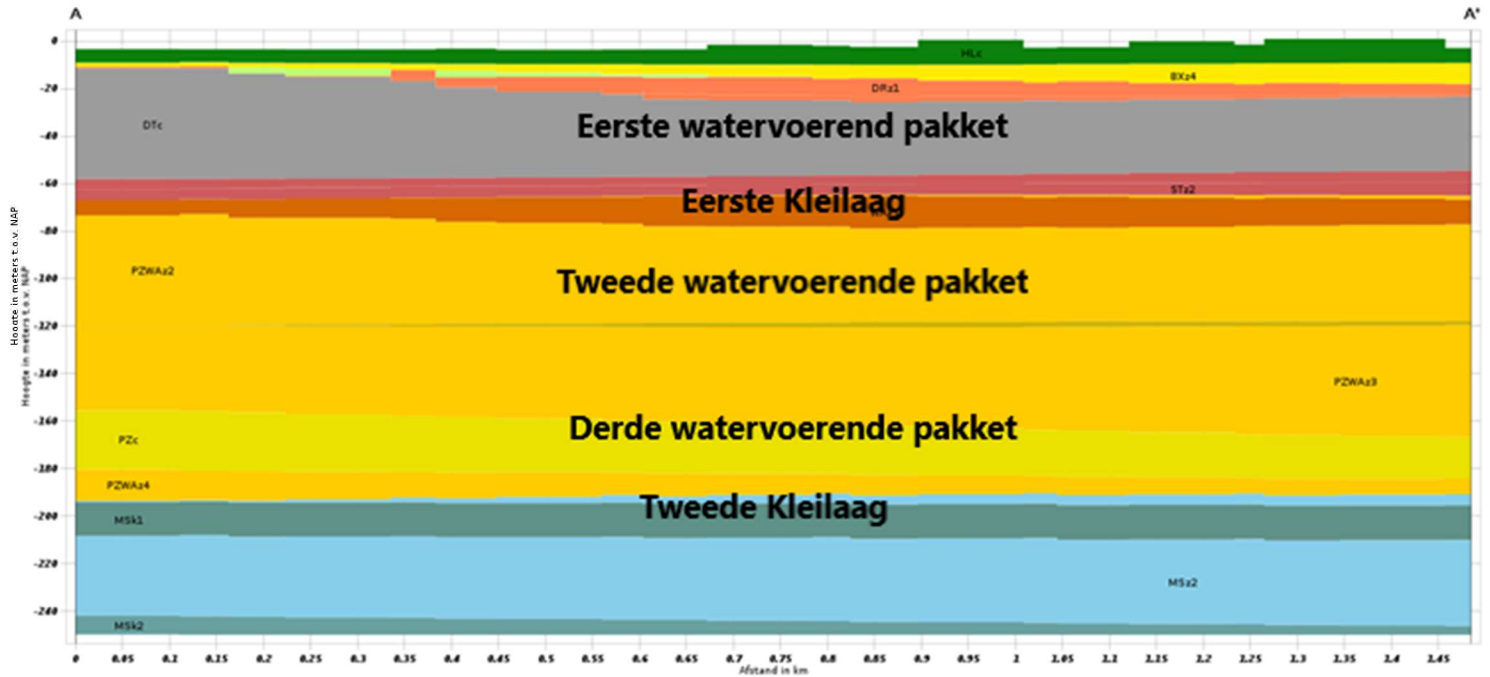
Figuur 5.1: Aangegeven boorpunten rondom ArenAPoort (Google Maps, 2022)



In Figuur 5.1 is te zien waar het projectgebied ligt, deze is aangegeven met de kleuren op de kaart. De nummers in de afbeelding zijn de locaties van de boorpunten. Deze boorpunten hebben samen met een dwarsdoorsnede ervoor gezorgd de ondergrond van het onderzoekgebied in kaart te brengen.

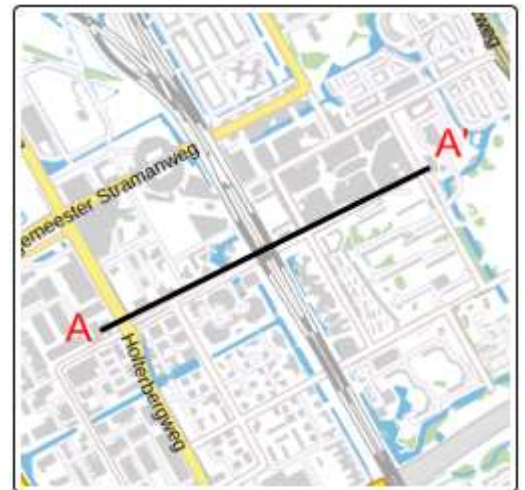
Deze dwarsdoorsnede en de gegevens zijn opgevraagd bij DINOloket die gebruik maken van het programma REGIS II. Op deze manier is te zien welke grondlagen en eigenschappen er tot op een diepte van 250 meter onder het maaiveld aanwezig zijn. In Figuur 5.2 rechts onderin is te zien waar de doorsnede van het projectgebied genomen is.

Figuur 5.2: Profiel ondergrond onderzoeksgebied



Hydrogeologie

HLc	PZWAz1	MSk2
BXz3	WAK1	MSz3
BXz4	PZWAz2	
EEz1	PZk1	
EEz3	PZWAz3	
DRz1	PZc	
DRz3	PZWAz4	
DTc	MSz1	
STz1	MSk1	
STz2	MSz2	



5.1 Geohydrologië

De belangrijkste voorwaarde is dat in de bodem een watervoerende zandlaag aanwezig is. Deze zandlaag biedt de meeste capaciteit voor de opslag van koude en warmte. De grootte en richting van grondwaterstroming zijn daarnaast van belang bij het bepalen van de warmte- en koude-bronnen. De interactie tussen de grondwaterbellen dient minimaal mogelijk te zijn, om thermische rendementsverlies te voorkomen. De genoemde aspecten worden in deze paragraaf behandeld.

Uit Figuur 5.2 op de vorige bladzijde, is te concluderen dat er drie watervoerende lagen aanwezig zijn. De eerste watervoerende laag, de tweede watervoerende laag en een derde watervoerende laag.

De eerste kleiige eenheid is te vinden op 68m tot 73m onder maaiveld(m-mv) . Omdat grondwater niet door deze laag heen kan stromen is het noodzakelijk om onder of juist boven een kleilaag een de bronnen te plaatsen.

De tweede kleiige laag is een heel dun pakket in de tweede en derde watervoerende pakketten. Deze kleiige eenheid is zo minimaal dat het tweede en derde watervoerende pakket als één laag beschouwd kan worden.

Eerste watervoerende pakket

De eerste dikke laag die te zien is in de ondergrond van het gebied is de DTc. Deze laag loopt van 10 m-mv tot 60 m-mv en is een mix van allemaal verschillende grondtypes maar wel met een watervoerende eigenschap. Het volume van deze dit pakket is erg klein en is niet geschikt voor het plaatsen van een WKO-systeem.

Tweede en derde watervoerende pakket

Bovenin het watervoerende pakket van 80m-mv tot 120m-mv bevindt zich een type ondergrond genaamd: "Pzwaz2". Dit staat voor formatie van Peize en formatie van Waarlrre en kent de eigenschappen van uiterst grof zand. Deze laag gaat door tot ongeveer 160m-mv.

De onderkant van het derde watervoerende pakket bestaat uit de grondlagen PZc (Formatie van Peize, complexe eenheid) en PZWaz4 (formatie van Peize en formatie van Waarlrre 4^e zandige eenheid)

De combinatie van het tweede en derde watervoerende pakket biedt gezien de voorwaarde van een WKO-systeem de beste mogelijkheden voor het toepassen van energieopslag. In het verslag wordt vanaf nu uitgegaan van energieopslag in het watervoerende pakket van 75 m-mv tot 190m-mv.

5.2 Grondeigenschappen watervoerende pakket

Grondlagen in de bodem bestaan uit verschillende soorten zand, grind, klei en of veenkorrels. Samen met de gegevens uit dinoloket is er een beeld geschetst van de grondopbouw en de bijbehorende eigenschappen van de ondergrond van het projectgebied de ArenAPoort.

In de tabel Tabel 5.1 en Tabel 5.2 zijn de grondtypes met bijbehorende eigenschappen genoemd. Deze eigenschappen zijn voor het berekenen van de benodigde volumes in de ondergrond van belang. Verder in deze paragraaf worden de begrippen uit de tabel verklaard.

Porositeit is het percentage lege ruimte in een totale volume van een bepaalde materiaal. Porositeit voor zandlagen en ondergrond heeft te maken met hoeveel water of lucht er tussen de zandkorrels past. De gegevens uit deze tabel komen direct uit de gegevens van Dinoloket en een tool voor grondwatergegevens. (Dinoloket, 2021)

Hoe groter de porositeit van een materiaal, des te meer “lege” ruimtes er tussen de (zand)korrels past. Porositeit is het volume van de lege ruimtes/ het volume van het totale (grond)materiaal. Een porositeit van 0,36 betekent dat 36% van het volume “gevuld” kan worden met water.

Tabel 5.1: Porositeit van verschillende soorten zand (Grondwaterformules.nl, 2021)

korrelgrootte (mm)	Porositeit	zandfractie
0,09 - 0,30	0,038	uiterst fijn tot matig grof
0,39 - 0,55	0,41	matig grof tot zeer grof
0,85 - 1,41	0,42	zeer grof zand
1,68 - 2,08	0,44	zeer grof zand en grind

Tabel 5.2: Grondeigenschappen ondergrond ArenAPoort (Dinoloket, 2021)

	Zandfractie	Porositeit van de grondlagen	Laag dikte
Pzwaz2 (2 ^e watervoerende laag)	Uiterst grof zand	0,38 – 0,41	40 m
Pzwaz3 (3 ^e watervoerere laag)	Uiterst grof zand	0,38 – 0,41	40 m
Pzc (3 ^e watervoerende laag)	Matig tot uiterst grof zand	0,38 – 0,41	20m
PZWAz4 (3 ^e watervoerende laag)	Uiterst grof zand	0,38 – 0,41	15m

5.3 Volumes water per deelgebied

Om het volume van de WKO-systemen te berekenen, is er een verdeling gemaakt in de ArenAPoort. In deze fase van het verslag is besloten om te onderzoeken wat er nodig is om één systeem per deelgebied toe te passen.

Op basis van de genoemde BVO's en de daarbij horende energievraag voor koude en warmte in paragraaf 4.4, is berekend hoeveel volume water er nodig is om de warmte en koudevraag op te vangen.

De formule die gebruikt is om deze berekening te maken is hieronder verklaard.

1 kilocalorie is de hoeveelheid energie die nodig is om 1 liter water 1°C in temperatuur doen stijgen of dalen.

1 kcalorie is gelijk aan 4,184 kW. Voor de toepassing op de ArenAPoort is het handig om te werken met kWh/m³.

$$1 \text{ kilocalorie} = 4,184 \text{ kilojoule}$$

$$1 \text{ kWh} = 3600 \text{ Kilojoule}$$

$$\frac{\text{kJ}}{3600 * 1000 \text{ L}} \text{ per } ^\circ\text{C} = \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} \text{ per } ^\circ\text{C}$$

$$\frac{4,184}{3600} * 1000 = 1,1622 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} \text{ per } ^\circ\text{C}$$

Met deze eenheid en met de informatie hoeveel vermogen er nodig is voor het koelen en/of verwarmen van alle panden in de ArenAPoort, kan berekend worden hoeveel m³ aan water er nodig voor het verwarmen van het grondwater. Energieverlies in de bodem wordt hier buiten beschouwing gelaten.

In paragraaf 4.5 is uitgelegd welke percentages onbalans gebruikt zijn voor het berekenen van de energievraag. Als voorbeeld wordt hieronder het volume aan warmte wat nodig is voor cumuluspark aangenomen.

$$\text{totale vermogen voor warmte in } \frac{\text{kWh}}{\text{Jaar}} = 7.632.900,00 \frac{\text{Kwh}}{\text{jaar}}$$

$$\frac{\text{kWh}}{\frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} \text{ per } ^\circ\text{C}} = \text{m}^3 \text{ per } ^\circ\text{C}$$

Per

$$\frac{7.632.900,00}{1.162} = 6.542.485,71 \text{ benodigde m}^3 \text{ per } ^\circ\text{C}$$

Omdat het verschil in grondwater niet 1 °C maar 7°C is, tijdens de ontrekking in de winter, moet deze eenheid nog gedeeld worden door 7 (°C).

$$\frac{6.542.485,71 \text{ benodigde m}^3 \text{ per } ^\circ\text{C}}{7 ^\circ\text{C}} = 934.640,82 \text{ m}^3$$

934.640,82 m³ (water) dat nodig is voor de warmtevraag van cumuluspark.

Deze formule is toegepast per deelgebied voor zowel de warmte als de koude. De formules zijn in een Excel-bestand gestopt. In Tabel 5.3 is per deelgebied aangegeven om welke volumes het gaat..

Tabel 5.3: Volume warme bel en volume koudebel per deelgebied

Arenapoort West

	Volume warmte	Volume Koude
kWh	28.650.797,50	39.230.102,50
kWh/m3 per °C	1,166666667	1,166666667
m3 per °C	24.557.826,43	33.625.802,14
Aantal graden °C	7	7
m3 aan water	3.508.260,92	4.803.686,02

Stationsomgeving

	Volume warmte	Volume Koude
kWh	2.549.750,00	3.450.650,00
kWh/m3 per °C	1,166666667	1,166666667
m3 per °C	2.185.500,00	2.957.700,00
Aantal graden °C	7	7
m3 aan water	312.214,29	422.528,57

AmsterdamsePoort

	Volume warmte	Volume Koude
kWh	12.862.967,50	8.492.882,50
kWh/m3 per °C	1,166666667	1,166666667
m3 per °C	11.025.400,71	7.279.613,57
Aantal graden °C	7	7
m3 aan water	1.575.057,24	1.039.944,80

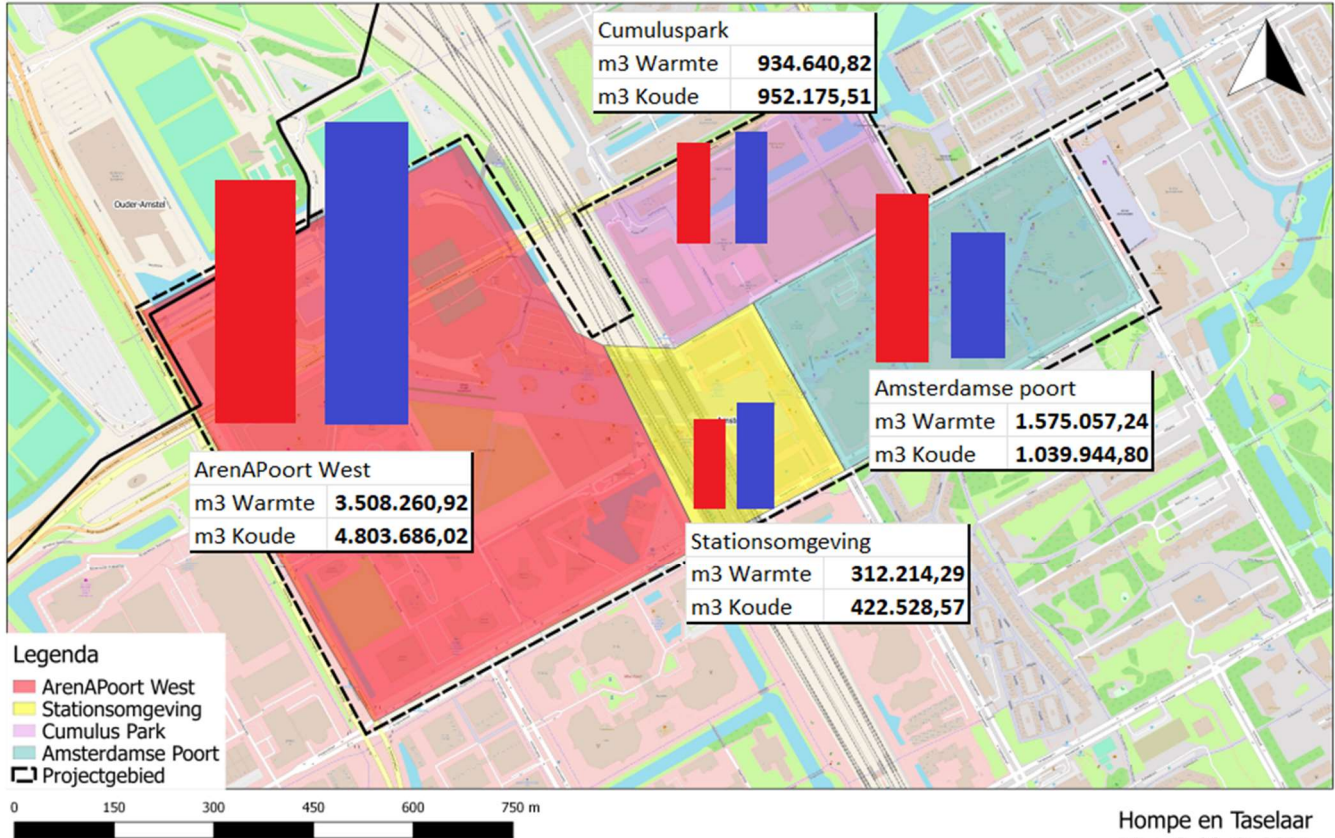
Cumulus Park

	Volume warmte	Volume Koude
kWh	7.632.900,00	7.776.100,00
kWh/m3 per °C	1,166666667	1,166666667
m3 per °C	6.542.485,71	6665228,571
Aantal graden °C	7	7
m3 aan water	934.640,82	952.175,51

Als deze gegevens vertaald zouden worden naar een afbeelding zouden de benodigde volumes water er zo uit komen te zien. In de afbeelding zijn de benodigde warmte volumes te zien in de rode balken en de koude volumes in de blauwe balken.

Figuur 5.3: Benodigde volumes Per deelgebied

Plattegrond Amsterdam ArenAPoort



In Figuur 5.3 is te zien dat deelgebied ArenAPoort veruit de grootste energievraag en daarmee de meeste volumes nodig heeft.

6 Inpassing van de bronnen

In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe de ondergrondse ordening kan worden vormgegeven in de vorm van een plan. De randvoorwaarde van de positionering van de koude en warmte bronnen worden per deelgebied onder de loop genomen. Het plan is opgesteld om zoveel mogelijk gebouwen als een collectief systeem mee te nemen.

6.1 Onttrekkingsregime

Om te bepalen hoeveel bronnen er per systeem en per deelgebied nodig zijn, is het van belang de vraag naar het vermogen van de aangesloten panden te vertalen naar de mogelijkheid van energie te onttrekken uit de bodem. Dit wordt gedaan aan de hand van filters en pompen die in de warmte en/of koudebel aanwezig zijn.

Aan de vraag van het vermogen, valt te bepalen welk debiet er onttrokken moet worden aan het WKO-systeem. Dit debiet kan vertaald worden naar filterlengtes en de hoeveelheid bronnen per systeem.

Voordat er berekend kan worden hoeveel bronnen er nodig zijn per gebied, is het van belang een aantal uitgangspunten op te stellen. Deze uitgangspunten hebben invloed op het debiet wat uit een bron gepomp en geïnfilteerd kan worden. In Tabel 6.1 staan de uitgangspunten.

Tabel 6.1: Uitgangspunten onttrekkingsregime

Diameter buis	300 mm
Stroomsnelheid van het water in de buis	0,5 m/s
Onttrekkingstijd	1 seizoen (365/4 dagen)

$$\text{Debiet} = Q$$

$$\text{Oppervlakte buis} = A$$

$$v_{\max} = \text{maximale stroomsnelheid}$$

$$r = \text{straal van de buis} \left(r = \frac{A}{2} \right)$$

$$Q = A * v_{\max}$$

$$A = \pi * r^2$$

$$A = \pi * 0,5 * 0,3^2 \text{ (m)} = 0,141 \text{ m}^2$$

$$v_{\max} = 0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Q_{\text{buis 300mm}} = 0,141 \text{ m}^2 * 0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 0,071 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Q_{\text{buis 300 mm}} = 0,071 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 60 \text{ sec} * 60 \text{ min} = \mathbf{254,47} \frac{\text{m}^3}{\text{uur}}$$

Naast het nemen van deze uitgangspunten is ook gerekend wat de invloed is bij de keuze van een grotere diameter onttrekkings/infiltratiebuis.

Tabel 6.2: Volume per diameter buis

Diameter Buis (mm)	A (m ²)	Q (m ³ /s)	Q (m ³ /uur)
300,00	0,14	0,07	254,47
350,00	0,19	0,10	346,36
400,00	0,25	0,13	452,39
450,00	0,32	0,16	572,56
500,00	0,39	0,20	706,86

In Tabel 6.2 staan verschillende diameter buizen met bijbehorende debieten. Op basis van de onttrekkingspotentie is gekozen voor een buis met een diameter van 300 mm.

6.2 Hoeveel bronnen zijn er nodig per deelgebied.

Inpassen van de warme en koude bellen.

Om te bepalen hoeveel bronnen er nodig zijn per deelgebied, is het van belang eerst een berekening te maken van de staal die de (grondwater)bel gaat vormen. De straal kan berekend worden omdat het benodigde oppervlakte bekend is.

In het vorige hoofdstuk is berekend hoeveel energie elk deelgebied nodig heeft per jaar. Deze energievraag is omgerekend naar het aantal m³ water wat er in de ondergrond opgeslagen moet worden.

Doordat de porositeit van de aanwezige ondergrond bekend is, kan de hoeveelheid m³ aan “grond” die er in de bodem nodig is voor de WKO berekend worden.

Omdat de buis waar het water geïnfiltreerd en onttrokken wordt cirkelvormig is, krijgt het oppervlakte en de vorm van de bel ook een cirkel.

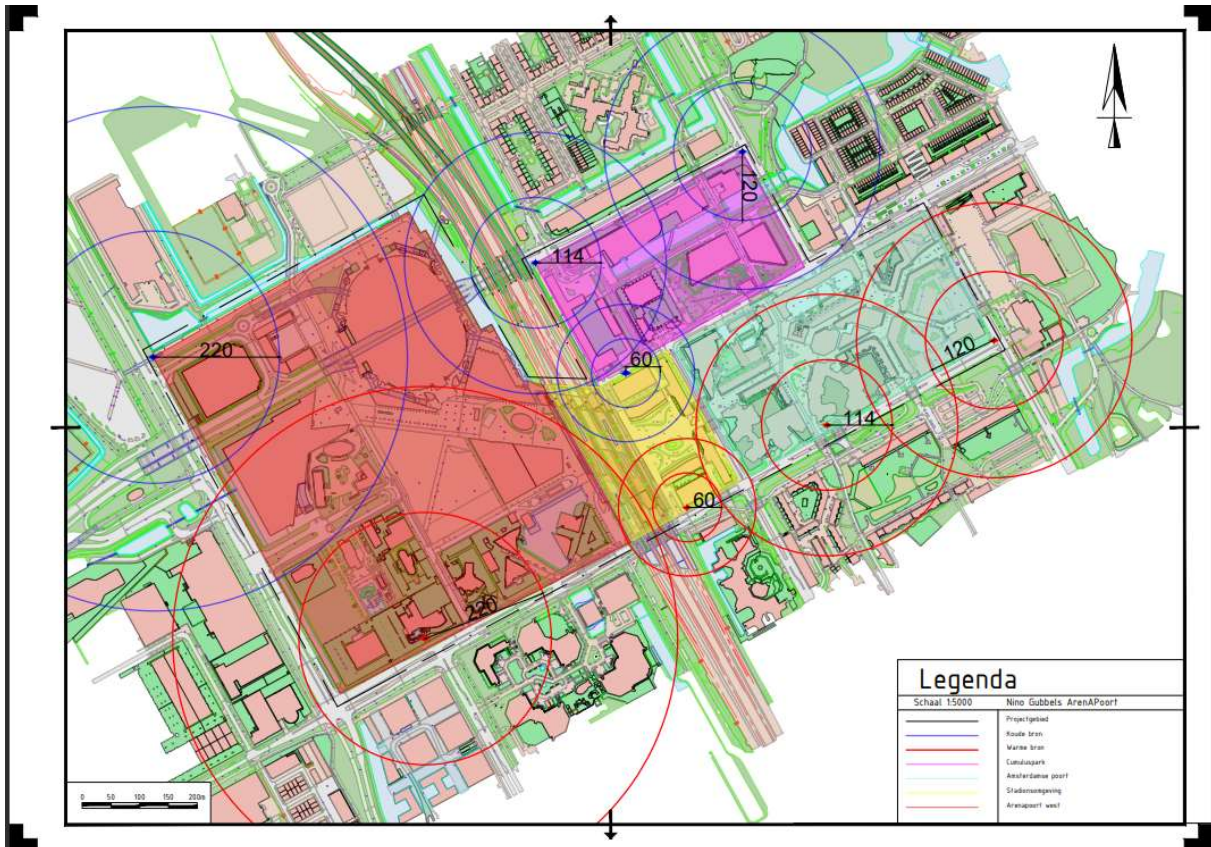
De formule hiervoor luidt:

$$\text{oppervlakte (cirkel)} = \pi * r^2$$

Deze formule kan omgeschreven worden om de straal van een bron te berekenen.

$$r = \sqrt{(\pi / \text{oppervlakte})}$$

Figuur 6.1: Thermische straal van bellen eerste WKO ontwerp



Voordat het eerste WKO ontwerp gemaakt kan worden, is in Figuur 6.1 de thermische staal per deelgebied geschetst. Deze straal kan gebruikt worden om een schatting te doen naar de thermische raakvlakken van bronnen in de ondergrond.

Volgens Bot, B., & Zwamborn, M. (2017) blijkt een minimale bronafstand van 2x de thermische straal nog toelaatbaar voor grotere systemen. Voor kleine systemen is het is verstandiger de bronafstand niet kleiner dan 3x de thermische straal te nemen. Omdat het thermische rendement al afneemt zonder negatieve interferentie.

Hoeveel bronnen zijn er nodig om het gebied te voorzien van het gevraagde vermogen?

Uit de literatuur is het lastig te vinden welke aannames er worden genomen voor het bepalen van de vermogensvraag per functie. Uit een interview met ingenieur H.J. Lammers, die werkt voor adviesbureau Hompe & Taselaar, zijn verschillende kentallen besproken. De berekeningen van WKO-systemen waar gebruik van wordt gemaakt staan in Tabel 6.3 genoemd (Lammers, 2022).

De aansluitwaarde van een gebouw is de vraag naar energie per tijdseenheid. De aansluitwaarde van gebouwen met verschillende functies en de vraag naar vermogen heeft te maken met de gelijktijdigheid. In de kern betekent dit hoeveel pander en m² er tegelijk energie (warmte of koude) vragen. (Lammers, 2022)

Tabel 6.3 laat de uitkomsten van het interview zien. Deze kentallen zijn gebruikt voor het verdere ontwerp van het WKO ontwerp.

Tabel 6.3: Aansluitwaardes voor wamte en koude

Functie	Warmte		Koude	
	Aansluitwaarde	gelijktijdigheid	Aansluitwaarde	gelijktijdigheid
Wonen	60 W/m ²	60%	30 W/m ²	70%
Kantoor	50 W/m ²	75%	50 W/m ²	96%
Commercieel/voorzieningen	45 W/m ²	70%	40 W/m ²	80%

Deze gegevens zijn toegepast voor het onderzoeksgebied “de ArenAPoort”. Om vanuit deze gegevens aan het aantal benodigde bronnen te komen, is het berekende piekvermogen per deelgebied uitgewerkt. Deze aansluitwaarde uit de tabel is vermenigvuldigd met de functies die binnen de deelgebieden aanwezig zijn.

In Tabel 6.4 hieronder staan nogmaals de m² per functie per deelgebied.

Tabel 6.4: m² BVO per deelgebied

	ArenAPoort West	Stationsomgeving	Amsterdamse Poort	Cumuluspark
Functie	m ² BVO	m ² BVO	m ² BVO	m ² BVO
Wonen	223.150,00	-	186.850,00	72.400,00
Kantoor	409.260,00	64.350,00	44.250,00	127.500,00
Commercieel	158.560,00	21.370,00	48.650,00	-
voorzieningen	343.135,00	-	38.680,00	25.400,00

Door het vermenigvuldigen van het aantal m² met de aansluitwaarde en de gelijktijdigheid hiervan, wordt bepaald hoeveel Watt er per deelgebied nodig is. Deze vraag naar vermogen, wordt weer met de omrekenconstante $1,1622 \frac{kWh}{m^3}$ per °C (bekend in paragraaf 5.3) en het gebruik van temperatuurverschillen gekoppeld aan de benodigde m³ (water) wat nodig is per uur. Dit is het debiet wat nodig is om de piekvraag naar energie te bedienen.

Het is mogelijk dat de vraag naar warmte of juist de vraag naar koude een hogere piek heeft. Dit heeft te maken met de gelijktijdigheid en het vermogen van de verschillende functies in het onderzoeksgebied. In de volgende paragraaf wordt er onderscheid gemaakt in de benodigde hoeveelheid warme bronnen en de benodigde hoeveelheid koude bronnen. Als eerst zijn de hoeveelheid warme bronnen berekend, vervolgens is beschreven hoeveel koude bronnen er per deelgebied gekozen moeten worden.

De berekende aansluitwaarde voor de warmtevoorziening

Om de aansluitwaarde te berekenen voor de warmte vraag, zijn de BVO's per deelgebied vermenigvuldigd met de aansluitwaarde en de gelijktijdigheid hiervan. In Tabel 6.5 staan de uitkomsten van deze berekening.

Tabel 6.5: Aansluitwaardes voor warmte per deelgebied

ArenAPoort West

Functie	m2 BVO	Aansluitwaarde (W)
Wonen	223.150,00	8.033.400,00
Kantoor	409.260,00	15.347.250,00
Commercieel	158.560,00	4.994.640,00
voorzieningen	343.135,00	10.808.752,50
		39.184.042,50

Stationsomgeving

Functie	m2 BVO	Aansluitwaarde (W)
Wonen	-	-
Kantoor	64.350,00	2.413.125,00
Commercieel	21.370,00	673.155,00
voorzieningen	-	-
		3.086.280,00

Amsterdamse Poort

Functie	m2 BVO	Aansluitwaarde (W)
Wonen	186.850,00	6.726.600,00
Kantoor	44.250,00	1.659.375,00
Commercieel	48.650,00	1.532.475,00
voorzieningen	38.680,00	1.218.420,00
		11.136.870,00

Cumuluspark

Functie	m2 BVO	Aansluitwaarde (W)
Wonen	72.400,00	2.606.400,00
Kantoor	127.500,00	4.781.250,00
Commercieel	-	-
voorzieningen	25.400,00	800.100,00
		8.187.750,00

Benodigde debiet voor warmte vermogen

Voor het omrekenen van de vermogensvraag naar het benodigde debiet, is de volgende formule gebruikt.

$$\text{Benodigd debiet wat onttrokken/geïnfiltreerd moet worden} = \frac{P}{\rho * T * 1,167}$$

ρ = dichtheid van water in de ondergrond (zout water)

T = temperatuurverschil tussen warme bel en koude bel

1,167 = omrekenconstante die in paragraaf 5,3 beschreven is

P = vermogensvraag van deelgebied (in Watt)

Als voorbeeld voor de berekening wordt de ArenAPoort uitgewerkt in dit rapport.

$$\text{Benodigd debiet wat onttrokken/geïnfiltreerd moet worden} = \frac{39.184.042,50}{1025 * 7 * 1,167}$$

$$\frac{39.184.042,50}{1025 * 7 * 1,167} = 4.679,68 \text{ m}^3/\text{uur}$$

In Tabel 6.6 is berekend welke debiet er nodig is per deelgebied om deze vermogensvraag op te vangen.

Tabel 6.6: piekvermogen en debiet per deelgebied voor koude

	Piek vermogen (W)	Benodigd debiet (m ³ /uur)
ArenAPoort West	39.184.042,50	4.679,68
Stationsomgeving	3.086.280,00	368,59
Amsterdamse Poort	11.136.870,00	1.330,06
Cumuluspark	8.187.750,00	977,85

Met het berekende (benodigde) debiet, kan met de diameter buis berekend worden hoeveel bronnen er nodig zijn.

In paragraaf 6.1 staat beschreven hoeveel water er per buis onttrokken en geïnfiltreerd kan worden. Berekend is dat er met een buis met een diameter van 300mm een debiet van 255 m³/uur onttrokken en geïnfiltreerd kan worden.

Door het benodigde debiet uit Tabel 6.6 te delen door het debiet van deze buis, is bepaald hoeveel warme bronnen er nodig zijn per deelgebied. De uitkomsten van deze berekening staan op de volgende pagina in Tabel 6.7.

Tabel 6.7: Berekende hoeveelheid warme bronnen

	Benodigd debiet (m3/uur)	Hoeveelheid bronnen
ArenAPoort West	4.679,68	18,35
Stationsomgeving	368,59	1,45
Amsterdamse Poort	1.330,06	5,22
Cumuluspark	977,85	3,83

Om de tabel hierboven extra toe te lichten wordt de ArenAPoort weer als voorbeeld genomen voor de berekening.

$$\frac{\text{debiet}}{\text{maximaal debiet uit buis}} = \text{benodigd aantal bronnen}$$

Benodigde debiet = 4.679,68 m3/uur

Maximaal debiet in 300mm buis = 255 $\frac{\text{m}^3}{\text{uur}}$

$$\frac{4.679,68}{255} = 18,35 \text{ bronnen die nodig zijn voor de warmte}$$

In Tabel 6.7 is te zien dat het benodigde vermogen in de ArenAPoort West aanzienlijk groter is dan de rest van de deelgebieden. Dit komt omdat de ArenAPoort veruit de grootste hoeveelheden m2 kantoorpanden, woningen en commercieel/voorzieningen heeft. De energievraag van dit deelgebied is dan ook het grootst van het hele onderzoeksgebied.

De berekende aansluitwaarde voor de koude bronnen

Om de aansluitwaarde te berekenen voor de koude vraag, zijn de BVO's per deelgebied vermenigvuldigd met de aansluitwaarde en de gelijktijdigheid hiervan. In Tabel 6.8 staan de uitkomsten van deze aansluitwaarde. Deze gegevens zijn nodig voor het berekenen van het benodigde debiet (water) wat er uit de bellen onttrokken moet worden.

Tabel 6.8: Aansluitwaardes voor koude per deelgebied

ArenAPoort West

Functie	m2 BVO	Aansluitwaarde (W)
Wonen	223.150,00	4.686.150,00
Kantoor	409.260,00	19.644.480,00
Commercieel	158.560,00	5.073.920,00
voorzieningen	343.135,00	10.980.320,00
		40.384.870,00

Stationsomgeving

Functie	m2 BVO	Aansluitwaarde (W)
Wonen	-	-
Kantoor	64.350,00	3.088.800,00
Commercieel	21.370,00	683.840,00
voorzieningen	-	-
		3.772.640,00

Amsterdamse Poort

Functie	m2 BVO	Aansluitwaarde (W)
Wonen	186.850,00	3.923.850,00
Kantoor	44.250,00	2.124.000,00
Commercieel	48.650,00	1.556.800,00
voorzieningen	38.680,00	1.237.760,00
		8.842.410,00

Cumuluspark

Functie	m2 BVO	Aansluitwaarde (W)
Wonen	72.400,00	2.606.400,00
Kantoor	127.500,00	4.781.250,00
Commercieel	-	-
voorzieningen	25.400,00	800.100,00
		8.187.750,00

Benodigde debiet voor koude vermogen

Net als bij de berekening voor het benodigde debiet voor de warmte, is dezelfde formule gebruikt voor het berekenen van het koude vermogen.

$$\text{Benodigd debiet wat onttrokken/geïnfiltreerd moet worden} = \frac{P}{\rho * T * 1,167}$$

ρ = dichtheid van water in de ondergrond (zout water)

T = temperatuurverschil tussen warme bel en koude bel

1,167 = omrekenconstante die in paragraaf 5,3 beschreven is

P = vermogenvraag van deelgebied (in Watt)

In de vorige vraag is een voorbeeld gegeven van deze berekening. In deze paragraaf worden gelijk de uitkomsten van deze berekening getoond. De uitkomsten van deze berekeningen staan hieronder in Tabel 6.9

Tabel 6.9: piekvermogen en debiet per deelgebied voor koude

	Piek vermogen (W)	Benodigd debiet (m ³ /uur)
ArenAPoort West	40.384.870,00	4.823,10
Stationsomgeving	3.772.640,00	450,56
Amsterdamse Poort	8.842.410,00	1.056,03
Cumuluspark	8.187.750,00	977,85

Met de gegevens uit de tabel hierboven kan de stap worden gemaakt om de benodigde koude bronnen te berekenen. Deze staan beschreven in Tabel 6.10.

Tabel 6.10: Berekende hoeveelheid koude bronnen

	Benodigd debiet (m ³ /uur)	Hoeveelheid koude bronnen
ArenAPoort West	4.823,10	18,91
Stationsomgeving	450,56	1,77
Amsterdamse Poort	1.056,03	4,14
Cumuluspark	977,85	3,83

Door aparte berekeningen te maken voor de benodigde warmte bronnen en de benodigde koude bronnen, is er een verdiepingsslag gemaakt bij het inpassen van de WKO-systemen. Door deze berekeningen is er een optimum gecreëerd waarbij er met zo min mogelijk bronnen, het onderzoeksgebied energieneutraal kan functioneren.

In de Tabel 6.11 hieronder staat het overzicht van de hoeveelheden warme en koude bronnen die nodig zijn om het gebied te voorzien van de juiste hoeveelheid energie en het bijbehorend vermogen.

Tabel 6.11: Hoeveelheid benodigde Bronnen

	Hoeveelheid warmte bronnen	Hoeveelheid koude bronnen
ArenAPoort West	18,22	16,56
Stationsomgeving	1,40	0,95
Amsterdamse Poort	5,32	5,94
Cumuluspark	3,80	3,80

In de tabel is te zien dat er in sommige deelgebieden minder warmte of koude bronnen nodig zijn. Omdat er gekozen is voor doublet WKO-systemen is het van belang evenveel warmtebronnen als koude bronnen te hebben. Het piek vermogen bepaald of de koude of warmte bronnen juist maatgevend zijn voor de gekozen hoeveelheid. In de tabel hierboven zijn de maatgevende hoeveelheden (en daarmee de gekozen hoeveelheid bronnen) in het rood aangegeven.

6.3 Negatieve interferentie

De volgende stap in het proces van het inpassen van de bronnen is het bepalen van de locatie. In deze paragraaf wordt beschreven welke stappen er zijn gemaakt om tot de uiteindelijke inpassing te komen.

Als een warme en koude bron te dicht op elkaar staan, wordt tijdens de onttrekking en infiltratie de zandkorrel in de ondergrond verwarmt en gekoeld. Als dezelfde korrel in het zelfde gebied ligt van zowel de warme bel als koude bel ontstaat er energieverlies. Deze vorm van energieverlies wordt negatieve interferentie genoemd.

Om deze negatieve interferentie te bepalen, wordt gerekend met de thermische straal van een bron. De thermische stralen uit het eerste ontwerp zijn berekend en vermenigvuldigd maal twee. Uit de literatuur is naar voren gekomen dat bronnen geen negatieve interferentie ondervinden zodra deze twee keer de thermische straal van elkaar verwijderd zijn.

6.4 Eerste ontwerp WKO energieneutraal ArenAPoort

Om een gevoel te krijgen van het ontwerpen van een energieneutrale ArenAPoort zijn alle voorgaande stappen van belang. In afgelopen hoofdstukken is berekend hoeveel energie en hoe groot de warmte en koude bellen moeten zijn, hoe de ondergrond zich leent naar WKO en hoeveel bronnen er nodig zijn om de juiste vermogens uit de grond te pompen om het gebied te voorzien van energie.

Samen met al deze gegevens is het mogelijk om een WKO ontwerp te bedenken voor de ArenAPoort. Voor het eerste ontwerp is gekozen om de bronnen zo dicht mogelijk bij elkaar in te passen. Op deze manier is het bereken van de thermische straal en het maken van kaartmateriaal duidelijk geworden.

Voor het eerste ontwerp van de WKO-systemen is een model gemaakt in de programmeertaal python. In dit programma zijn alle informatie uit de vorige hoofdstukken ingeladen en zijn handmatig de bedachte coördinaten in het model gezet. In de afbeelding hieronder staat een kaart met alle benodigde bronnen per deelgebied en de locaties hiervoor.

Er zijn drie redenen die te maken hebben met deze eerste versie van het ontwerp.

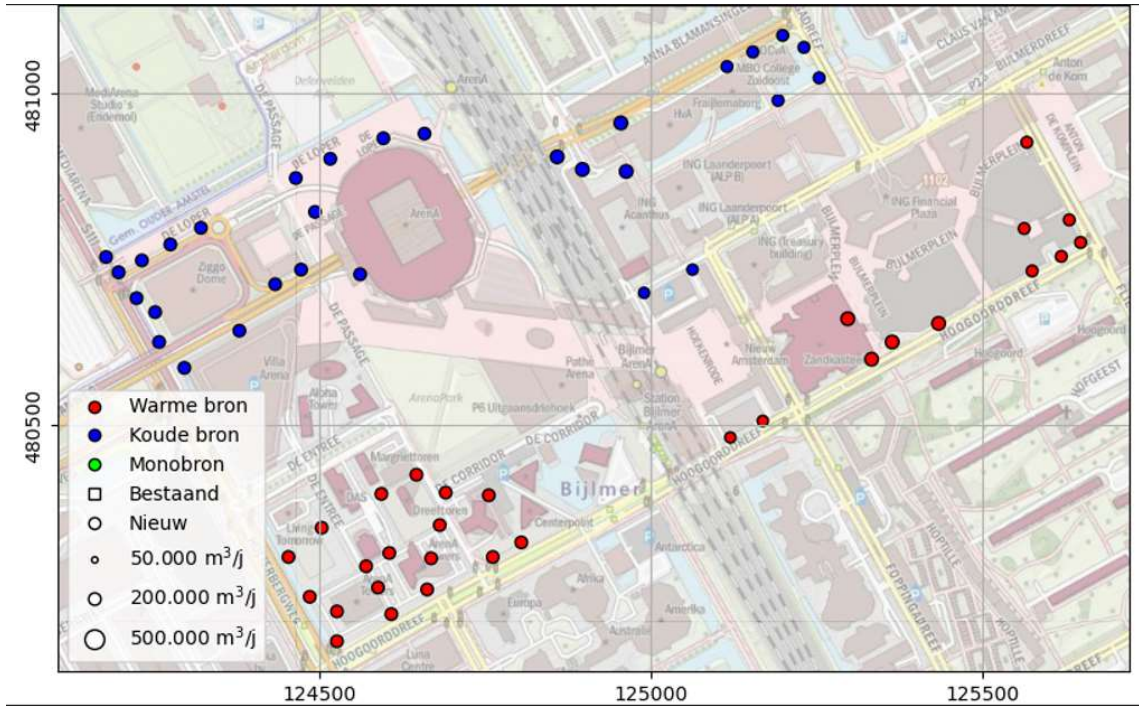
1. In dit ontwerp zijn alle warmte en alle koude bronnen zo dicht mogelijk bij elkaar geplaatst om zo een hoogst mogelijke efficiëntie te behalen. Met deze efficiëntie wordt bedoeld dat het water in de ondergrond minder snel afkoelt of opwarmt in vergelijking met kleinere bronnen.
2. Daarnaast is gekozen om de bronnen te plaatsen in de openbare ruimte zo dicht mogelijk bij het deelgebied.
3. Als laatste is berekend dat alle bronnen samen acht bellen in de ondergrond creëren die zo veel mogelijk van elkaar verwijderd zijn, om zo negatieve interventie te voorkomen.

In afbeelding Figuur 6.3 is te zien op welke locaties de bronnen ontworpen zijn. Op de x-as staan de x-coördinaten en op de y-as de y-coördinaten van het projectgebied. De kleine cirkels in het figuur zijn de bronlocaties. Hierbij zijn de blauwe cirkels de koude bronnen en de rode cirkels de warme bronnen. Des te groter de cirkel is, des te meer water er onttrokken en geïnfiltrerd wordt.

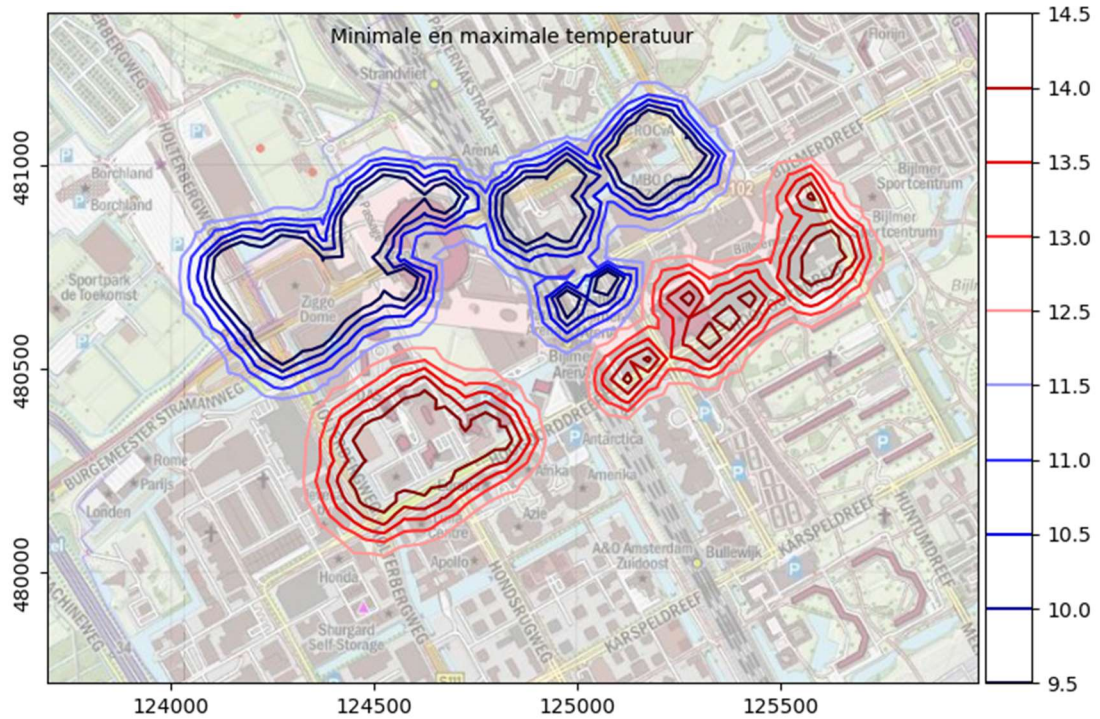
In Figuur 6.2 staat een kaart met dezelfde bronlocaties als in Figuur 6.3, alleen laat deze kaart zien wat het thermische effectgebied van al deze bronnen zijn. Er is te zien dat er in de ondergrond zo'n acht bellen ontstaan. Dit komt omdat er per deelgebied de bronnen zo dicht mogelijk bij elkaar zijn geplaatst. Hierdoor is te zien dat er zo'n 4 warmte bellen in het noorden, als vier koude bellen in het zuiden van het onderzoeksgebied ontstaan.

Daarnaast geeft deze figuur aan wat de temperatuurgrenzen zijn, op de rechterzijde van de y-as is te zien om welke temperaturen het gaat in graden C. Omdat de grenzen van de warme en koude bellen elkaar niet raken, valt te concluderen dat er geen, tot minimale negatieve interferentie plaatsvindt tussen de bronnen.

Figuur 6.3: Eerste ontwerp WKO locatie bronnen



Figuur 6.2: Eerste ontwerp WKO minimale en maximale temperatuur



7 Definitief ontwerp WKO ArenAPoort

Voor het definitieve ontwerp is net als bij het eerste ontwerp gebruik gemaakt van de programmeertaal python in combinatie met de gegevens uit autocad.

7.1 Redenen voor het ontwerp

In autocad is de ondergrond van het onderzoeksgebied geladen en is een kaart gemaakt waarom de grenzen van de deelgebieden te zien zijn. Vervolgens is de thermische straal per bron berekend. Met deze thermische straal is duidelijk geworden hoe ver de reikwijdte is van de effecten van de bron.

Vervolgens is het maken van de puzzel en het inrichten van het onderzoeksgebied begonnen. De keuze van de locatie van alle bronnen is gebaseerd op de gevolgen die het plaatsen van WKO heeft. De volgende redenen zijn als uitgangspunt genomen voor de keuze van het ontwerp.

1. Grondwateronttrekking en infiltratie verloopt meer geleidelijk
2. Grotere pomphoogte als veel bronnen dicht bij elkaar geplaatst zijn.
3. Fasering van de bebouwing.
4. Gemak van bron op eigen kavel

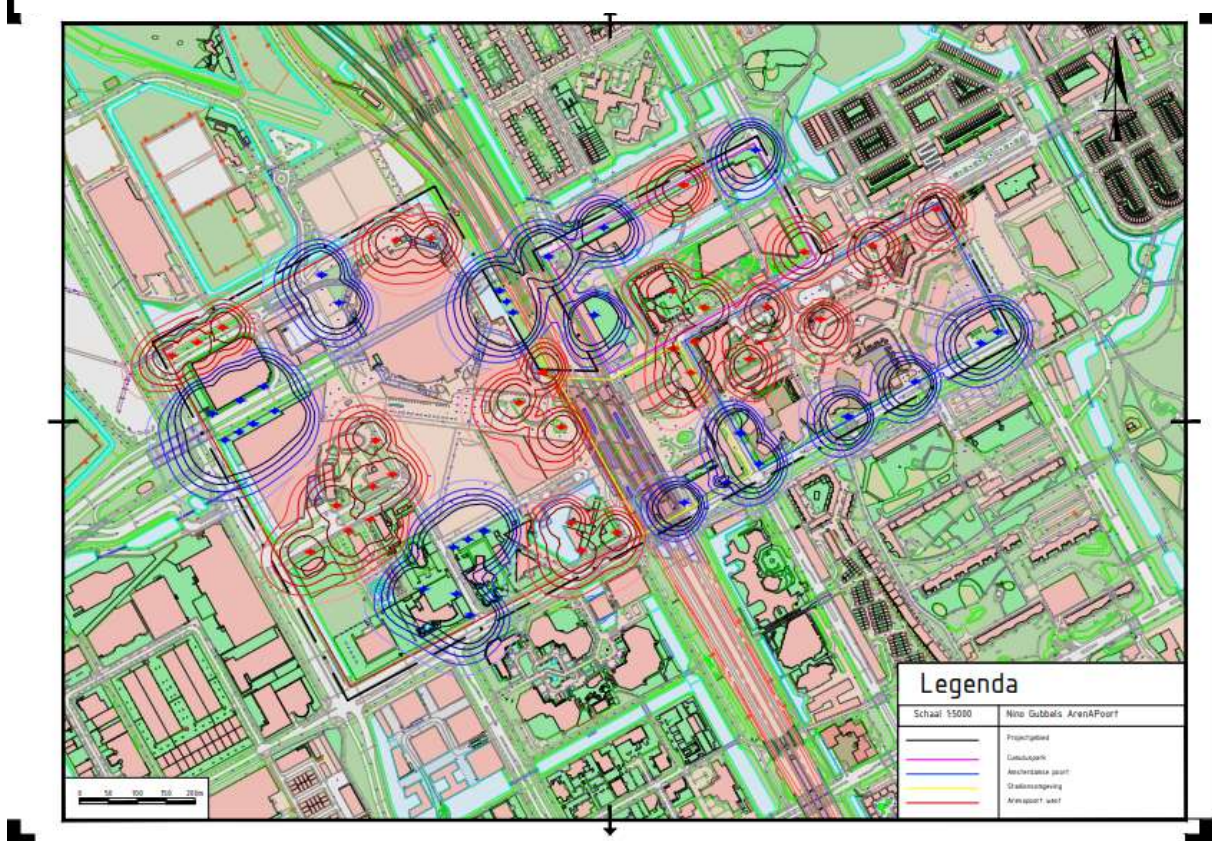
Op het moment dat alle bronnen dicht op elkaar staan wordt er een enorme hoeveelheid water onttrokken of juist geïnfiltreerd op één bepaald punt in de ondergrond. Normaal gesproken als er water wordt onttrokken in de diepe ondergrond, heeft dit geen invloed op het freatisch vlak door de scheidende kleilagen. Op het moment dat er enorme hoeveelheden water onttrokken of geïnfiltreerd wordt, ervaart het grondwater in het freatisch vlak gevolgen hierdoor.

Bij het onttrekken van enorme hoeveelheid water zal de waterstand in de bodem zakken. Op locatie van de buis waar het water onttrokken wordt zal deze het meest dalen. De andere kant van het WKO verhaal betekent juist dat op de locaties waar in korte tijd grote hoeveelheden water geïnfiltreerd wordt, zal een ophoging/opbolling van het grondwater plaatsvinden.

Deze effecten op het grondwater zullen in het eerste ontwerp voor de ArenAPoort gegarandeerd plaatsvinden. Dit komt omdat alle koude en alle warme bronnen bij elkaar geplaatst zijn. Dit zorgt voor een hoge efficiëntie van het systeem, alleen heeft dit grote effecten op de grondwaterstanden.

Bij het ontwerpen van het definitieve ontwerp is er rekening gehouden met dit ongewenste effect. In Figuur 7.1 is te zien dat de bronnen meer verspreid zijn. De warme en koude bronnen zitten per deelgebied meer verspreid en gescheiden in de oppervlakte. Dit heeft als effect dat het grondwater in het freatisch vlak niet extreem zal schommelen.

Figuur 7.1: Definitief ontwerp WKO ArenAPoort



Een voordeel van de beperkte schommelingen in het grondwater betekent dat de stijghoogte in het freatisch vlak ook niet enorm zullen veranderen.

Bij het oppompen van grondwater is het van belang dat het grondwater op een zo hoog mogelijk niveau blijft. Bij een grote stijghoogte hoeft een pomp minder hard te werken om water omhoog te pompen dan bij een lage stijghoogte.

Als bronnen dicht bij elkaar geclusterd staan, wordt er een enorme hoeveelheid grondwater op één plek onttrokken. Naarmate de ondergrond zijn grondwater op deze locatie kwijt raakt, heeft het grondwater enige tijd nodig om uit zijn omgeving naar de bronnen te stromen. Het kan zelfs zo zijn dat een deel van de buis niet meer volledig gevuld is door deze onttrekking. Het grondwaterniveau in de buis kan dan gaan zakken.

Als het waterpeil zakt onder het niveau van de pomp, kan er (tijdelijk) geen water meer onttrokken worden. Dit heeft als gevolg dat de pomp lager in het grondwater zal moeten liggen.

Een pomp die lager in de ondergrond ligt zal grondwater met een groter afstand moeten verpompen. Bij een grotere afstand waarop water omhoog gepompt wordt, is ook meer energie nodig om het water te verplaatsen. Het is voor een WKO verstandig om deze afstand zo laag mogelijk te houden, om zoveel mogelijk energie te besparen.

Om dit proces zo veel mogelijk te voorkomen zijn in het definitieve ontwerp de bronnen zo veel mogelijk uit elkaar gezet, terwijl de thermische effecten zo weinig mogelijk negatieve gevolgen ondervinden, om zo de pompen van de WKO-bronnen zo min mogelijk te belasten. Dit heeft uiteindelijk het effect dat de pompen minder energie nodig hebben voor het oppompen van het water uit de bodem.

Reden drie voor de keuze van het definitieve ontwerp is gebaseerd op de manier van bouwen. De projecten tot aan 2030 worden gefaseerd gebouwd. Dit betekent dat sommige panden eerder gebouwd en afgerond worden dan andere. Niet alle panden kunnen tegelijkertijd gebouwd en gerestaureerd worden. De projecten in de ArenAPoort zullen in fases wordt opgebouwd.

Zodra een pand gebouwd is en in gebruik genomen kan worden, is het gewenst dat het pand aangesloten in op de WKO. Omdat de panden en projecten gefaseerd uitgevoerd worden, is het gewenst dat de WKO bronnen dicht bij het pand komen te staan, zodat deze direct aangesloten kan worden.

De bronnen en het gehele WKO ontwerp worden net als de projecten in de ArenAPoort gefaseerd in de grond geboord en opgeleverd. Door de manier van bouwen is het gunstig om de bronnen wat meer gespreid te ontwerpen zodat de panden gelijk kunnen aansluiten op het WKO systeem wanneer deze panden klaar zijn voor gebruik.

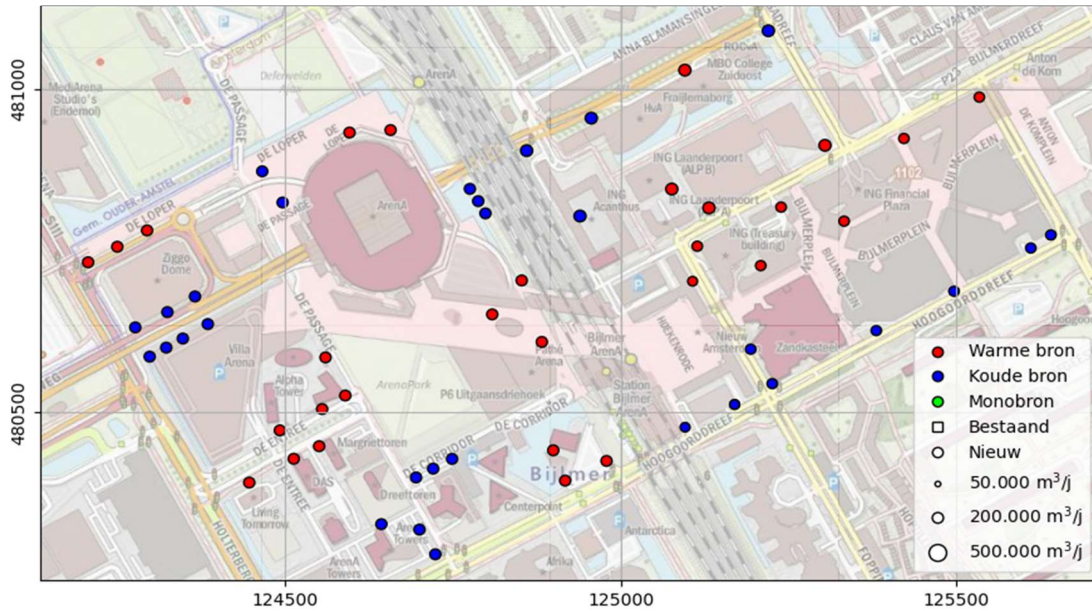
Voor het gemak van de panden is het gemakkelijk om de bronnen die gebruikt worden door een pand, zo dicht mogelijk bij het pand te hebben. Bij calamiteit of onderhoud, is het handig als de bronnen waar een pand gebruik van maakt, dicht bij het pand staan. Op deze manier blijven de bronnen beter toegankelijk. Ten tweede zorgt dit voor een korte transportafstand. Het water in de leidingen hoeft hierdoor zo min mogelijk te reizen.

Daarnaast zijn de leidingen die nodig zijn voor de aansluiting van de panden op de bronnen ook relatief kort en is het niet nodig om een heel leidingennet aan te leggen in de openbare ruimte. Voor de vergunningen en overlast op het gebied van bereikbaarheid, leefbaarheid en veiligheid is dit gunstig. Op deze manier blijft de hinder van de werkzaamheden beperkt voor de bewoners en passanten.

7.2 Definitief ontwerp locatie bronnen

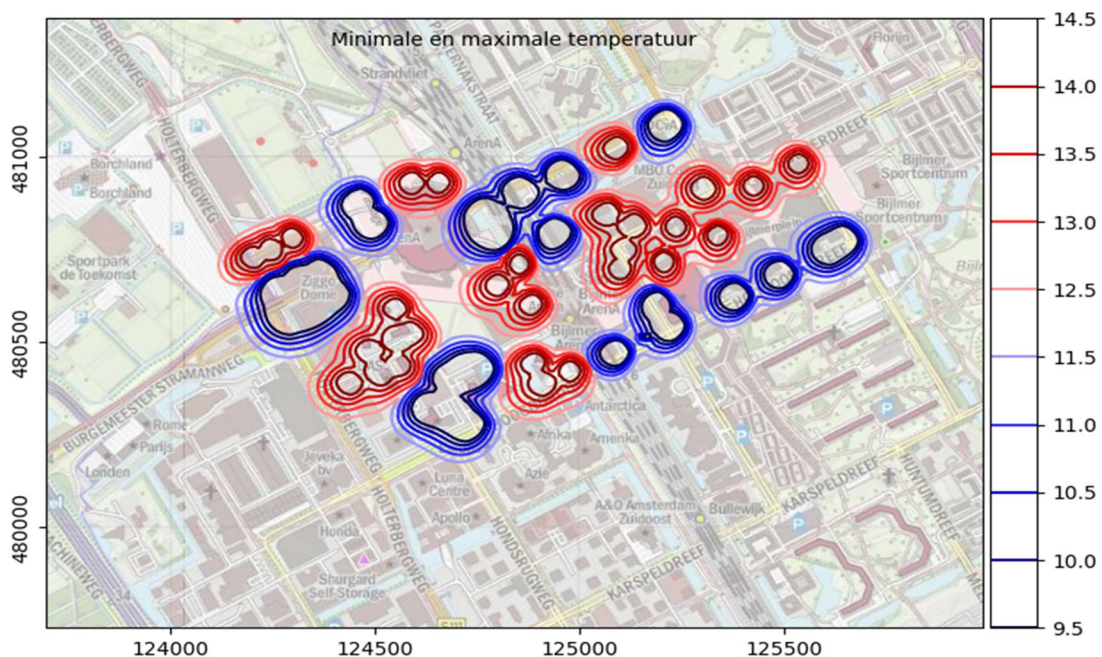
In Figuur 7.2 is te zien wat de locaties van zowel de warme al koude bronnen zijn in het definitieve ontwerp van de ArenAPoort

Figuur 7.2 Locatie bronnen definitieve ontwerp



Deze bronnen op deze locatie zorgen voor het ontstaan van waterbellen in de ondergrond. Het is gewenst dat deze bellen zo weinig mogelijk effect op elkaar hebben. In Figuur 7.1 en in Figuur 7.3 is te zien hoe deze bellen in de ondergrond vormen en hoe groot het gebied is waar ze thermische invloed op hebben.

Figuur 7.3: Definitief ontwerp WKO minimale en maximale temperatuur



8 Conclusie

Om antwoord te geven op de hoofdvraag, wordt deze nog een keer herhaald. De hoofdvraag van het onderzoek luidde als volgt: **“Hoe kan Warmte koude Opslag worden toegepast om al het vastgoed in de te her ontwikkelen ArenAPoort na 2030 energieneutraal te laten functioneren?”**

Het beantwoorden van deze hoofvraag is een itererend proces geweest. De kennis die gehaald is uit de literatuur, gesprekken met specialisten op het gebied van WKO, energie en thermodynamica, zijn toegepast op de ArenAPoort.

De energievraag voor zowel de warmte als de koude zijn berekend en bijbehorende volumes zijn berekend. Uit de grondopbouw van het onderzoeksgebied is gebleken dat deze zich goed leent voor het gebruik van WKO. De scheidende kleilagen in het watervoerende pakket kunnen het grondwater vasthouden en de aanwezige zandfractie is geschikt voor het onttrekken en infiltreren van grondwater. In paragraaf 5.3 is beschreven hoe groot de betreffende bellen zouden worden op basis van gebruikte temperatuur. Uit dit hoofdstuk kan worden geconcludeerd dat de ArenAPoort genoeg oppervlakte en voldoende ruimte in de ondergrond kent, waardoor de gehele vraag van energie opgeslagen kan worden in het onderzoeksgebied zelf.

Na het trekken van deze conclusie is onderzocht welke hoeveelheden water er per diameter buis onttrokken kan worden uit de ondergrond van het onderzoeksgebied. Gekozen is voor een diameterbuis van 300mm die een debiet van 255 m³ per uur kan leveren. In paragraaf 6.1 staan de berekeningen en de keuze hiervoor beschreven.

Het is van belang een debiet voor onttrekking en infiltratie te hebben voor het verder inpassen van de bronnen. Het debiet is het uitgangspunt voor hoeveel bronnen er aanwezig moeten zijn om de vraag van energie per tijdseenheid te leveren aan het vastgoed in de ArenAPoort.

In de volgende paragraaf, paragraaf 6.2, is berekend welk vermogen er nodig is van de panden in het onderzoeksgebied. Deze energievraag per tijdseenheid is berekend door de aansluitwaarde en gelijktijdigheid van alle panden met elkaar te vermenigvuldigen. Door deze berekening is de piekvraag aan vermogen duidelijk geworden.

Nu de piekvraag van alle deelgebieden in beeld zijn gebracht, kan gebrekend en geconcludeerd worden hoeveel bronnen er nodig zijn om deze vraag op te vangen. Omdat de aansluitwaarde voor warmte verschilt van de koude, zijn er berekeningen gemaakt voor beiden.

Tabel 8.1: Hoeveelheid benodigde bronnen

	Hoeveelheid warme bronnen	Hoeveelheid koude bronnen
ArenAPoort West	18,22	16,56
Stationsomgeving	1,40	0,95
Amsterdamse Poort	5,32	5,94
Cumuluspark	3,80	3,80

In Tabel 8.1 is staat beschreven hoeveel bronnen er nodig zijn voor de koude en voor de warme. Omdat er met doublet WKO-systemen gewerkt wordt, zijn er evenveel koude als warme bronnen ontworpen. Het aantal bronnen zijn ontworpen op basis van de maatgevende vermogensvraag. De maatgevende hoeveelheid bronnen staat in de tabel aangegeven in het rood.

Met deze gegevens is eerste ontwerp gemaakt van de grootte en locatie van de bronnen. In paragraaf 6.4 staan bronnen waar dit ontwerp te zien is. Uit paragraaf 6.4 kan geconcludeerd worden dat dit ontwerp gezien de efficiëntie van WKO op deze manier groot is. De gevolgen en de manier van bouwen zijn daarentegen zijn minder gewenst.

De gevolgen op het gebied van grondwaterzakking en ecologie, samen met het feit dat de ArenAPoort gefaseerd verbouwd gaat worden, is er gekozen om een ander ontwerp te maken die hier meer rekening mee houdt.

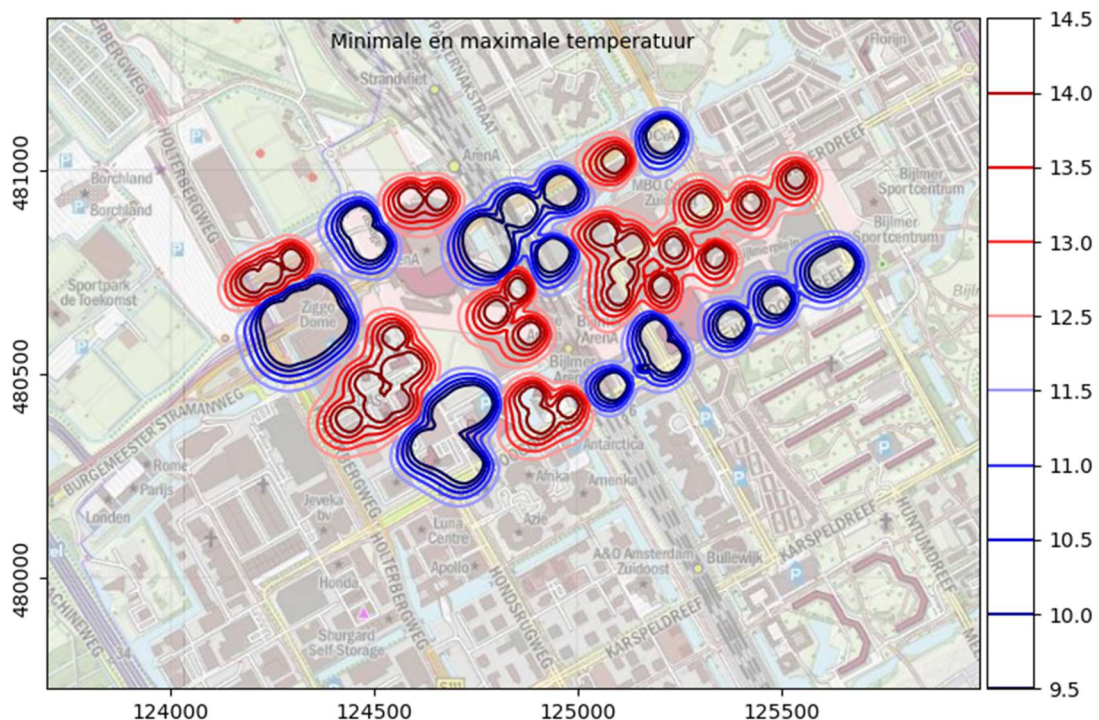
In hoofdstuk 7 staat het definitieve ontwerp van de WKO in de ArenAPoort. In dit ontwerp staan de volgende uitgangspunten centraal:

1. Grondwateronttrekking en infiltratie verloopt meer geleidelijk als de warme en koude bronnen verspreid van elkaar liggen;
2. Als bronnen minder dicht bij elkaar gehoopt zijn, is er minder energie nodig om het water ophoog te pompen;
3. De fasering van de bebouwing;
4. Gemak van bron op eigen kavel.

In hoofdstuk 7 staan deze uitgangspunten en effecten verder uitgelegd. Verder kan geconcludeerd worden dat de negatieve interferentie minimaal is. Dit is nogmaals te zien in Figuur 8.1 hieronder. Op deze afbeelding is te zien dat de thermische randen elkaar nauwelijks raken en dat het ontwerp goedgekeurd bevonden kan worden om WKO toe te passen in de ArenAPoort om het gebied op deze manier energieneutraal te maken.

Als slotconclusie kan geconcludeerd worden dat de het vastgoed in de ArenAPoort, door het gebruik van WKO, energieneutraal kan functioneren.

Figuur 8.1: Definitief ontwerp maximale en minimale temperatuur



9 Discussie

De lezer moet er rekening mee houden dat deze studie gebaseerd is op aannames. In dit onderzoek zijn de gebruikte getallen voor de warmte en koudevraag niet de werkelijke cijfers. De aannames die hiervoor zijn genomen, zijn besproken met specialisten op het gebied van kabels en leidingen.

Dit onderzoek heeft de focus gelegd op de berekeningen van rondom WKO en het ontwerp hiervan in de ondergrond. De gebouwssystemen met hun werkelijke energie- en vermogensvraag zijn kunnen verder worden onderzocht.

Het advies voor een vervolgonderzoek is dan ook om te achterhalen wat het werkelijke energieverbruik en de piekvraag van de panden in de ArenAPoort zijn. Dit kan gedaan worden met behulp van monitoring. Het toepassen van (slimme) gasmeters en het bijhouden van het elektriciteitsverbruik kan een gedetailleerd beeld geven van de energievraag van de panden.

Daarnaast is het definitieve ontwerp van het WKO-plan gebaseerd op de collectiviteit van de ArenAPoort. De projectontwikkeling van de ArenAPoort is nog niet definitief. Hiermee zijn de vierkante meters van de kavels gebaseerd op een visie van de gemeente Amsterdam. De ArenAPoort is voor dit onderzoek in vier deelgebieden gesplitst. Voor ieder deelgebied is een WKO-systeem ontworpen. Alle panden die zich in het respectievelijke deelgebied bevonden zijn aangesloten op het WKO-systeem van dat deelgebied.

In de realiteit gebeurt het vaak dat ieder pand zijn eigen systeem heeft. Voor een vervolgonderzoek kan gekeken worden of de ondergrond van de ArenAPoort zich nog steeds leent voor een WKO-plan waar ieder pand een individueel systeem krijgt.

Een soortgelijk onderzoek kan gedaan worden op de effectiviteit van een individueel WKO-plan in vergelijking met een collectief WKO-plan. Op deze manier krijgt het onderzoek naar WKO in de ArenAPoort een verdiepingsslag.

De laatste beperking in dit onderzoek heeft te maken met de energie die nodig is om de WKO-systemen in operatie te houden. De benodigde energie voor de verplaatsing van het grondwater, de (warmte)pompen en de installaties zijn in dit onderzoek buiten beschouwing gelaten. Dit onderzoek kan versterkt worden door te berekenen hoeveel energie er nodig is om de WKO-systemen draaiende te houden en op welke manier hier energie voor gebruikt gaat worden. Door de inzet van hernieuwbare energie kan de ArenAPoort met een soortgelijk ontwerp energieneutraal worden.

Bibliografie

- Bot, B., & Zwamborn, M. (2017). *Open WKO-systemenB: Thermisch gedrag*.
- Taselaar, F. (2021, november 20). verhoudingen Warmte Koude. (N. Gubbels, Interviewer)
- Lammers, ir. H.-J. (2022, januari 20). Aansluitwaarde vermogensberekening.
- Wageningen university & research . (2022, januari 14). *Warmte Koude Opslag*. Opgehaald van <https://www.wur.nl/nl/show/warmte-koude-opslag.htm>
- Dinoloket . (2021, november 28). *Boven-Noordzee groep*. Opgehaald van <https://www.dinoloket.nl/stratigrafische-nomenclator/boven-noordzee-groep>
- Duurzame scheurkalender*. (2022, februari 14). Opgehaald van <https://duurzamescheurkalender.nl/?p=101>
- Gemeente Amsterdam . (2021). *ArenAPoort Projectoverzichten* . Amsterdam: Gemeente Amsterdam .
- Gemeente Amsterdam. (2021, oktober 11). Opgehaald van <https://www.amsterdam.nl/projecten/arenapoort-stadshart-zuidoost/>
- gemeente Amsterdam. (2021, november 2). *BENG, de nieuwe manier van bouwen* . Opgehaald van <https://www.amsterdam.nl/wonen-leefomgeving/beng-nieuwe-manier-bouwen/>
- Google Maps. (2022, februari 11). *Google Maps*. Opgehaald van <https://www.google.com/maps>
- Grondwaterformules.nl. (2021, november 28). *Grondwaterformules.nl*. Opgehaald van <http://grondwaterformules.nl/index.php/vuistregels/ondergrond/doorlatendheid-per-grondsoort>
- Noord-Holland Nieuws. (2021, september 4). Opgehaald van nhnieuws: <https://www.nhnieuws.nl/nieuws/232877/het-lifeplan-moet-van-arenapoort-een-levendig-gebied-maken>
- Rijksdienst voor Ondernemend Nederland . (2021, juli 19). *Energieprestatie - BENG*. Opgehaald van <https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/gebouwen/wetten-en-regels/nieuwbouw/energieprestatie-beng>
- Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. (2021, december 4). *Energieprestatie- BENG*. Opgehaald van <https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/gebouwen/wetten-en-regels/nieuwbouw/energieprestatie-beng>
- Rijksoverheid . (2021, 10 11). *Rijksoverheid klimaatbeleid* . Opgehaald van <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/klimaatverandering/klimaatbeleid>
- Rijkswaterstaat. (2021, december 13). *Welke bodemenergiesystemen*. Opgehaald van kenniscentrum Infomil: <https://www.infomil.nl/onderwerpen/lucht-water/handboek-water/activiteiten/grondwater-ander/bodemenergiesystemen/welke/>
- RVO . (2022, januari). *Energieprestatie indicatoren - BENG*. Opgehaald van <https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/gebouwen/wetten-en-regels/nieuwbouw/energieprestatie-beng/indicatoren>