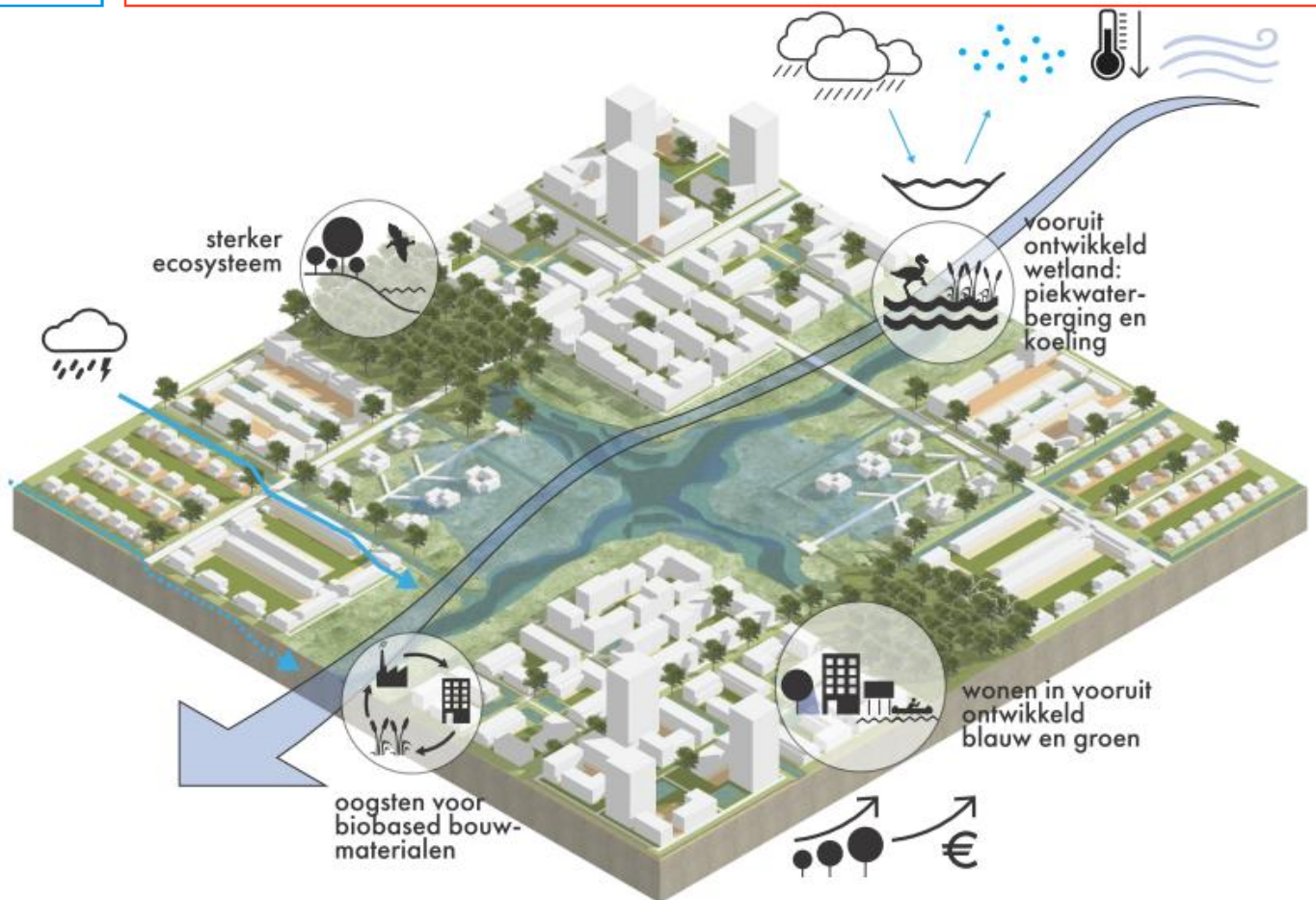


WARMINGUP

Innovatief Duurzaam Warmtecollectief



Haalbaarheid aquathermie voor Almere Pampus

Fase 1

22 november 2022

Deltares

Gemeente Almere



Auteur: Anton de Fockert, Rob Nieuwenhuis

22 november 2022

review: Ronald Roosjen, Johan Valstar

Dit project is uitgevoerd als onderdeel van het Innovatieplan WarmingUP. Dit is mede mogelijk gemaakt door subsidie van de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO) in het kader van de subsidieregeling Meerjarige Missiegedreven Innovatie Programma's (MMIP), bij RVO bekend onder projectnummer TEUE819001. WarmingUP geeft invulling aan MMIP-4 – Duurzame warmte en koude in gebouwde omgeving en levert daarmee een bijdrage aan Missie B – Een CO₂-vrije gebouwde omgeving in 2050.

Projectnummer

11205153

Keywords

Greenfield, Almere Pampus, aquathermie, haalbaarheid, potentie

Jaar van publicatie

2022

Meer informatie

Anton de Fockert

T 06 469 111 71

E anton.defockert@deltares.nl

aug/2022 ©

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevens bestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Inhoudsopgave

Samenvatting	5
1 Inleiding	6
1.1 Achtergrond	6
1.2 Doelstelling	7
1.3 Aanpak	7
1.4 Leeswijzer	7
2 Almere Pampus ontwikkeling	9
2.1 Tegel bouwstenen	10
2.2 Voorbeeldwijken op basis van tegels	11
3 Warmte en koude vraag en aanbod	12
3.1 Warmte en koude vraag	12
3.1.1 Warmte en koudevraag per tegel	12
3.1.1.1 Warmtevraag	12
3.1.1.2 Koudevraag	12
3.1.1.3 Overzicht warmte en koude vraag per tegel	13
3.1.2 Totale warmte en koude vraag	14
3.2 Warmteaanbod	14
4 Capaciteit benodigde warmte- en koudebronnen	16
4.1 Verdeling warmte en koudevraag	16
4.2 Jaarbelastingduurkromme	17
5 WKO mogelijkheden	20
5.1 Benodigde WKO capaciteit	20
5.2 Bodemopbouw Almere Pampus	20
5.3 Geologie en Bodemopbouw	21
5.4 Kwel en opbarstrisico's	22
5.4.1 Relatie kwel en opbarsting WKO	23
5.4.2 Relatie kwel en opbarsting met kanalen en watergangen	23
6 Schetsontwerpen aquathermievarianten	24
6.1 Variant 1: Eigen Water	26
6.1.1 Achtergrond	26
6.1.2 Schetsontwerp	26
6.2 Variant 2: koppeling met Noorderplassen	27
6.2.1 Achtergrond	27

6.2.2	Schetsontwerp	28
6.3	Variant 3: koppeling met IJmeer	29
6.3.1	Achtergrond	29
6.3.2	Schetsontwerp	30
6.4	Overzicht varianten	31
7	Conclusies	33
8	Aanbevelingen voor 2^e fase	35
9	Referenties	37

Samenvatting

In deze haalbaarheidsstudie is een analyse gemaakt van de mogelijkheden om warmte en koude te leveren voor de nieuw te bouwen wijk op de greenfield Almere Pampus, middels aquathermie. In deze haalbaarheidsstudie is een eerste analyse gedaan naar de benodigde energievraag voor zowel warmte als koude, de benodigde ruimte voor het aquathermiesysteem en de warmte en koudeopslag aangevuld met een aantal schetsontwerpen voor mogelijke scenario's voor inpassingen. De kosten worden nog niet in de eerste fase onderzocht, dit is onderdeel van de vervolgfase.

Uit de studie blijkt dat aquathermie op meerdere manieren kan worden toegepast in Almere Pampus. Met behulp van een slim ontwerp van de doorstroming van het oppervlaktewater van de wijk, kan aquathermie zelfs worden toegepast met water dat in de eigen wijk beschikbaar is.

Doordat er in Almere Pampus goed geïsoleerde huizen gebouwd gaan worden, is de verdeling tussen de warmte en koude vraag anders dan bij minder goed geïsoleerde huizen in bestaande wijken. Uit de huidige analyse blijkt dat er nog steeds een netto warmtevraag is, maar dat de koudebehoefte ook aanzienlijk is. Door het toepassen van warmte-koude opslagbronnen kan de warmte en koudevraag goed worden gecombineerd om een efficiënt energiesysteem te creëren. Zo wordt het opgewarmde water bij koeling gebruikt om de warme bron aan te vullen.

De ondergrond bij Almere Pampus is zeer geschikt voor de toepassing van WKO's omdat er een diepe zandlaag beschikbaar is waar warmte kan worden opgeslagen. Doordat Almere kampt met de indringen van kwelwater langs de randen van de provincie dient de aanleg van de bronnen voor de WKO's zorgvuldig te gebeuren, om risico van versterkte kwel te voorkomen. Door reeds beschikbare regelgeving omtrent de afdichting van de WKO boorputten lijkt dit geen probleem te vormen voor de toepassing van WKO's.

In deze schetsontwerpen zijn een aantal ideeën gegeven voor de toepassing van aquathermie in het nieuwe stadsdeel. Hierbij is het te ontwikkelen oppervlaktewatersysteem geoptimaliseerd zodat aquathermie kan worden toegepast. Als het water met behulp van kanalen door het gebied heen wordt geleid, dan is er een goede mogelijkheid om het aquathermiesysteem te integreren met de groen/blauwe structuur. Dit leidt tot een geoptimaliseerd stedelijk water systeem ten behoeve van aquathermie met een hoge waterkwaliteit.

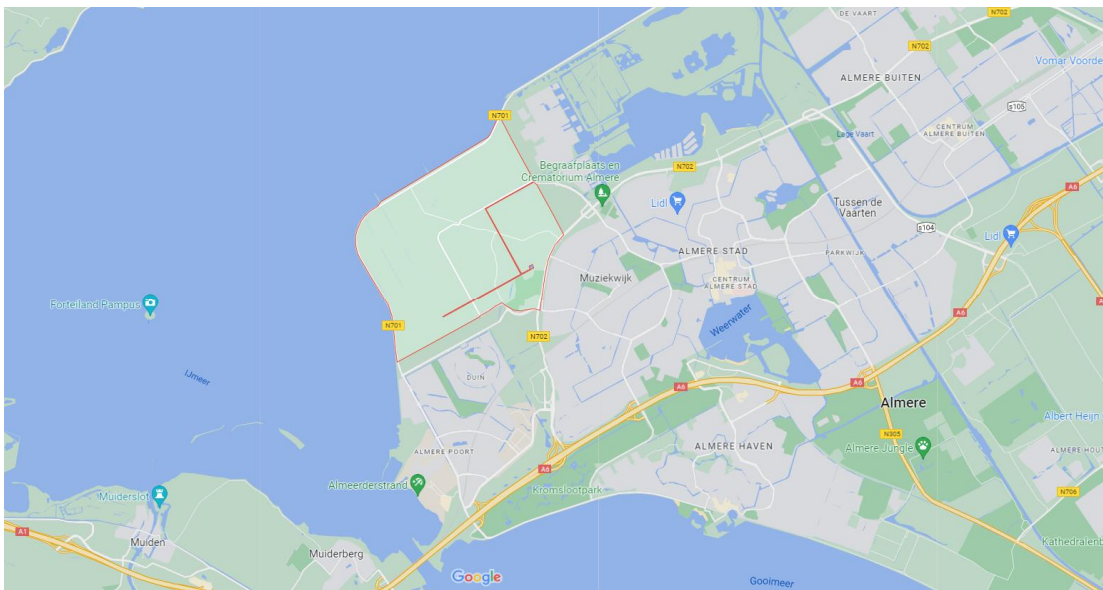
Het huidige haalbaarheidsonderzoek laat zien dat aquathermie een goede bron kan zijn voor de warmte en koudelevering voor Almere Pampus. In tegenstelling tot andere bronnen is het voor aquathermie wel mogelijk om zowel warmte als koude te kunnen leveren. Bovendien biedt het kansen om het te integreren met de groen blauwe structuur die ontwikkeld wordt voor een prettig leefklimaat. Het is daarom ook aan te raden om dit verder uit te werken in een vervolgfase waarbij het kan worden geïntegreerd in de bestaande wijkontwerpen.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Almere Pampus wordt een van de grote stadsuitbreidingen van Almere. De start van de woningbouw voor deze nieuwe wijk wordt voorzien in 2030. Hierbij is de doelstelling om dit stadsdeel duurzaam te verwarmen en te koelen. Binnen thema 3 van het WarmingUP kennisprogramma worden een aantal pilots uitgevoerd naar de toepasbaarheid van aquathermie. Een van deze pilots is de haalbaarheid van aquathermie voor Almere Pampus, voor het duurzaam verwarmen en koelen.

Omdat er geen afvalwaterzuivering in Almere Pampus ligt en omdat er geen drinkwaterdistributieleidingen door het gebied heen lopen, lijken aquathermie uit afvalwater (TEA) en aquathermie uit drinkwater (TED) niet haalbaar. Aquathermie uit oppervlaktewater (TEO) is echter wel kansrijk gezien de watergangen die in het nieuwe gebied zijn voorzien en het feit dat de Noorderplassen en het IJmeer naast het gebied liggen. Indien er bij de aanleg van het watersysteem rekening wordt gehouden met aquathermie dan kan de groen/blauwe structuur hierop worden geoptimaliseerd. Mogelijk kan door integraal ontwerp, ook de waterkwaliteit van het stedelijk water in het gebied hierdoor verbeterd worden. Met Almere Pampus als case laat deze studie zien in hoeverre aquathermie kan worden ingepast door het vroegtijdig mee te nemen in het ontwerp van een nieuwe wijk.



Figuur 1: Locatie van de greenfield Almere Pampus in de zuidwestelijke hoek van Flevoland (bron: google maps).

Naast warmte wordt de koude vraag voor nieuwbouwwoningen ook steeds belangrijker. Door beter isolatie van huizen en gebouwen en een gemiddelde temperatuurstijging zal de vraag naar koude ook relevant worden voor de wijk Almere Pampus, aangezien de planning laat zien dat de wijk pas in 2050 volledig zal zijn aangelegd. Deze koudevraag wordt daarom ook specifiek meegenomen in deze haalbaarheidsstudie.

1.2 Doelstelling

De doelstelling van het project is om in te schatten of de nieuwe wijk Almere Pampus duurzaam te koelen en te verwarmen is middels aquathermie. In deze haalbaarheidsstudie wordt verder onderzocht welke varianten er mogelijk zijn en wat de aandachtspunten zijn voor verdere uitwerking.

1.3 Aanpak

Het haalbaarheidsonderzoek voor aquathermie door middel van thermische energie uit oppervlaktewater is opgedeeld in 2 fases:

- 1^e fase: Is aquathermie (in combinatie met WKO en levering van koeling) inderdaad technisch haalbaar voor de greenfield Almere Pampus, en welke ecologische effecten zijn te verwachten?
- 2^e fase: Verdieping van haalbare opties: opleveren van een passend integraal ontwerp, uitwerking van kritische aspecten uit fase 1 en orde-grootte private en maatschappelijke kosten per toekomstbeeld/optie.

De werkzaamheden voor fase 2 worden pas uitgevoerd als uit de werkzaamheden voor fase 1 blijkt dat aquathermie een kansrijke optie is voor Almere Pampus. Dit rapport beschrijft alleen de werkzaamheden van fase 1. Het rapport bevat een hoofdstuk waarin verder onderzoek voor fase 2 wordt beschreven (hoofdstuk 8).

1.4 Leeswijzer

In deze studie worden een aantal stappen doorlopen. Allereerst wordt de energiebehoefte voor de nieuwe wijk Almere Pampus in kaart gebracht door de warmte en koude behoefte te inventariseren. In hoofdstuk 3 wordt aan de hand van de bestaande stedenbouwkundige ontwerpen een warmte en koude vraag afgeleid. Deze energievraag wordt vergeleken met het beschikbare warmteaanbod vanuit het oppervlaktewater, om te onderzoeken of er voldoende energie gewonnen kan worden met behulp van aquathermie.

Op basis van deze energiebehoefte is een onderverdeling gemaakt naar de grootte van de bronnen en de capaciteiten die nodig zijn. Dit is in hoofdstuk 4 verder uitgewerkt in een jaarbelastingduurkromme.

Met behulp van een warmte koude opslag kan de warmte en koude gebruikt worden in het seizoen wanneer het nodig is. Door de drooglegging van Flevoland zijn er nog wel invloeden van kwel in het gebied. In hoofdstuk 5 wordt ingegaan op de effecten op de kwel door het aanleggen van warmte koude opslag bronnen.

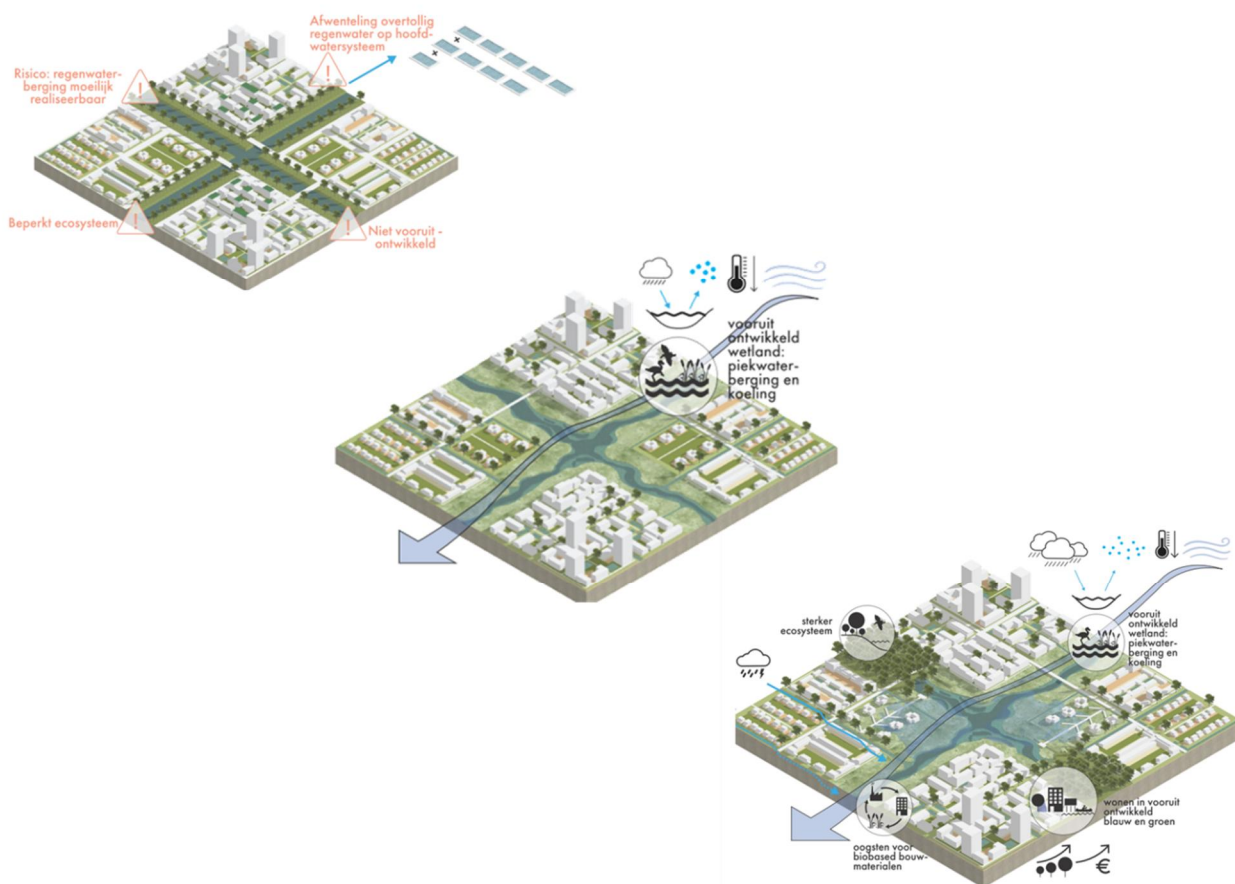
Als laatste zijn in hoofdstuk 6 een aantal schetsontwerpen gemaakt voor verschillende varianten van een aquathermie-systeem. Dit is uitgewerkt voor drie situaties: waarbij het water in Almere Pampus zelf wordt gebruikt, door een koppeling te maken met de Noorderplassen of het IJmeer. Deze schetsontwerpen zijn gemaakt door het basisontwerp aan te passen zodat het geschikt wordt voor de toepassing van aquathermie

In de hoofdstukken 7 en 8 zijn conclusies gegeven over de toepasbaarheid van aquathermie in Almere Pampus en het aanbevelingen benodigde uitwerking om tot een definitief ontwerp te komen.

2 Almere Pampus ontwikkeling

Almere Pampus ligt zo'n 4 meter onder zeeniveau. Om het laaggelegen Almere Pampus toekomst bestendig te ontwikkelen zijn er verschillende strategieën uitgewerkt door het stedenbouwkundige ontwerp bureau Urhahn (ref [2]). Dit ontwerp bureau heeft een ontwikkeling geschetst voor de gehele zogenoemde Amsterdam Bay Area, wat reikt tot aan Amsterdam. Hierbij is de IJmeerverbinding de verbinding tussen Amsterdam IJburg en Almere Pampus. De IJmeerlijn zou een uitbreiding vormen op het bestaande Amsterdamse metronetwerk.

De gemeente Almere, het architecten bureau One Architecture en Smartland landschapsarchitecten hebben een uitwerking gemaakt voor een klimaatrobuuste maatregelen voor deze wijk. Deze ontwerpen zijn samengevat in een wijkontwerp met groen blauwe zones waar de meest vooruitstrevende ontwerpen veel natuurlijk omgevingswater hebben (ref [1]), wat gebruikt zou kunnen worden voor aquathermie. De verschillende ontwerpen zijn geschetst in Figuur 2.

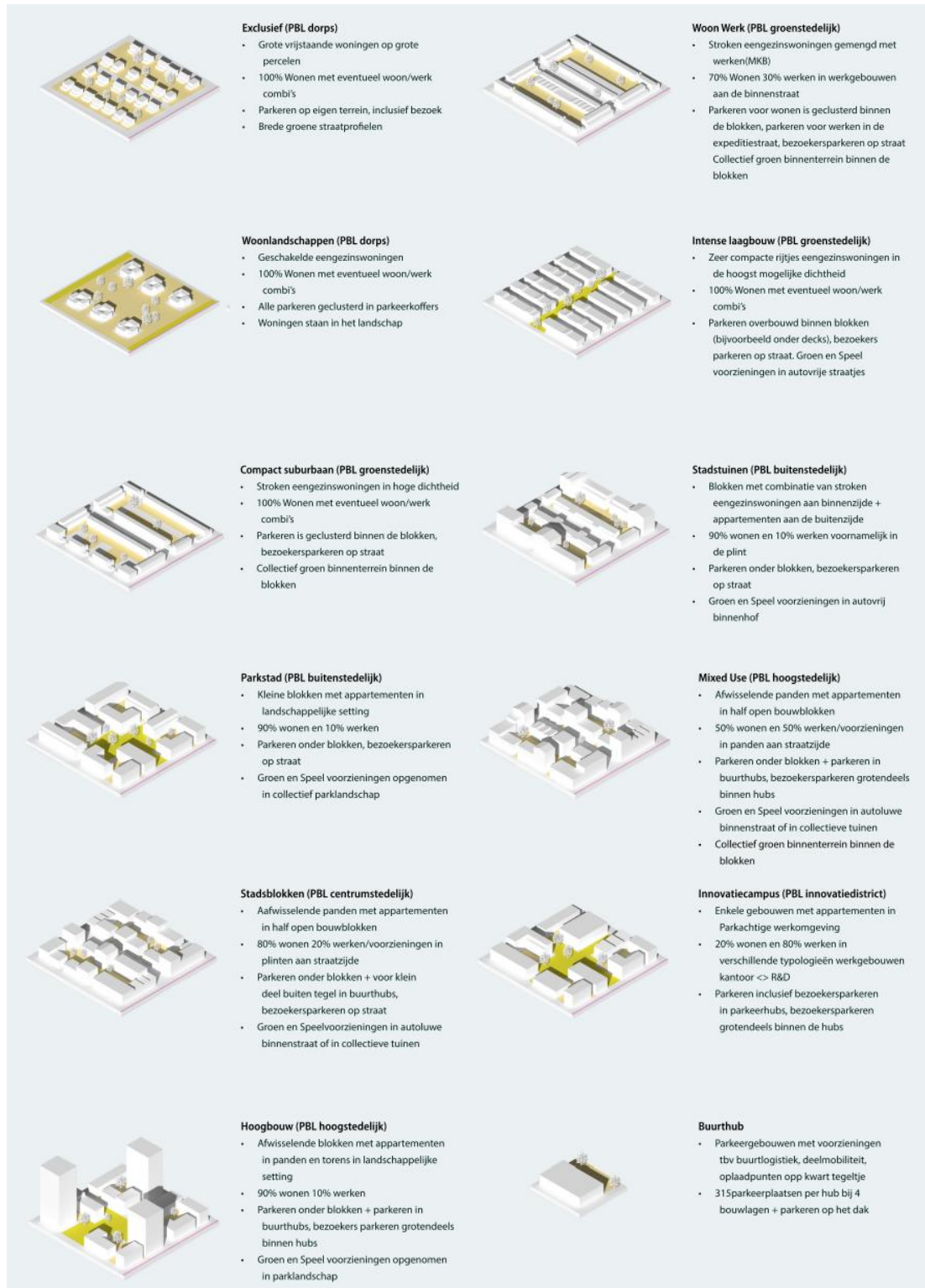


Figuur 2: Verschillende scenario's voor de groen-blauwe zone in Almere Pampus (ref [1])

Voor de ontwikkeling van de woningbouw in Almere Pampus is er door Urhahn een plan gemaakt met 12 verschillende tegels (zie paragraaf 2.1) voor verschillende woon-werk milieus in Almere Pampus. Deze tegels dienen als bouwstenen voor de verdere ontwikkeling van de wijk. Met deze tegels zijn een aantal voorbeeld uitwerkingen gemaakt die in deze haalbaarheidsstudie worden gebruikt om de warmte/koude vraag te bepalen (zie hoofdstuk 3).

2.1 Tegels bouwstenen

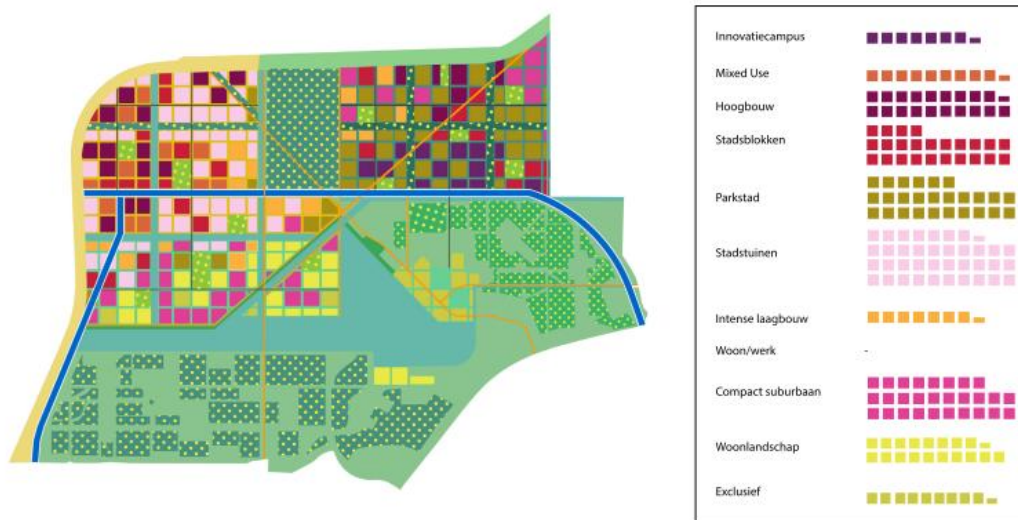
De tegels zoals geschetst in de ontwikkel strategieën van Urhahn (ref [2]) zijn opgebouwd uit combinaties van eengezinswoningen, meergezinswoningen en utiliteitsgebouwen. Een korte beschrijving per tegel is te vinden in de onderstaande figuren.



Figuur 3: Tegels zoals geschetst door Urhahn (ref [2])

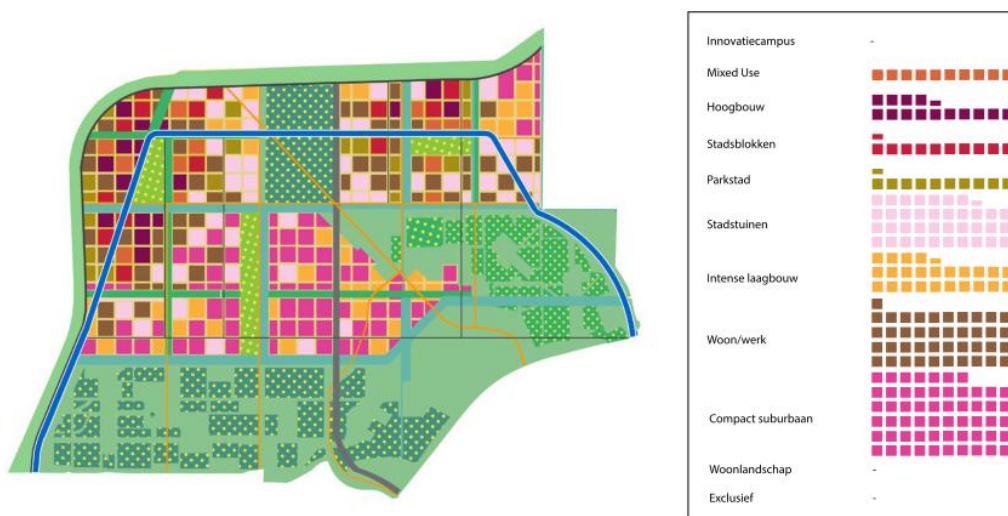
2.2 Voorbeeldwijken op basis van tegels

De tegels zoals weergegeven paragraaf 2.1, zijn gecombineerd tot voorbeeldwijken van Almere Pampus. Het alternatievenboek geeft 2 indelingen van Almere Pampus afhankelijk van de ontwikkelingen van de IJmeerlijn. De eerste optie is de voorbeeldwijk met de IJmeerlijn. In dit ontwerp is de woningbouw geconcentreerd in een aantal blokken met veel groen ertussen. Het gebied bevat een groot openwater voor neerslag welke zijn aangesloten is op de afwateringskanalen die leiden naar de Noorderplassen en het gemaal: de Blocq van Kuffeler. De grote open water partijen in dit ontwerp kunnen worden gebruikt voor de winning en buffering van thermische energie uit oppervlaktewater.



Figuur 4: Voorbeeldwijk A: ontwikkelstrategie met IJmeermetro

In de ontwikkelstrategie 4-sporen bij de Hollandse Brug, wordt de bestaande verbinding met het vaste land verder ontwikkeld. Hierbij worden autoknooppunten en treinverbindingen vergroot. De bereikbaarheid van Almere Pampus is daarbij minder robuust dan met de IJmeerlijn die door Pampus heen loopt. In dit ontwerp is geen grote waterpartij voorzien. De verdeling tussen hoogbouw en laagbouw is anders verdeeld, waarbij de hoogbouw voornamelijk dicht bij de dijk wordt gesitueerd. In het volgende hoofdstuk wordt ingegaan op de warmtevraag en warmteaanbod voor de verschillende deelgebieden.



Figuur 5: Voorbeeldwijk B: Ontwikkelstrategie 4-sporen Hollandse Brug

3 Warmte en koude vraag en aanbod

3.1 Warmte en koude vraag

3.1.1 Warmte en koudevraag per tegel

Om de toekomstige warmte en koude vraag voor Almere Pampus te bepalen is de warmte en koude vraag per tegel bepaald. Het alternatievenboek (ref [2]) geeft voor de verschillende woontegels een het aantal eengezinswoningen, het aantal meergezinswoningen en de oppervlakte voor utiliteitsbouw. Deze woontegels zijn gebruikt als uitgangspunt voor de bepaling van de warmte en koude vraag voor Almere Pampus. Voor een eengezinswoning is een bruto vloer oppervlak van 120 m² gedefinieerd en voor appartementen een bruto vloeroppervlak van 110 m².

3.1.1.1 Warmtevraag

Om tot de warmte en koude vraag per tegel te komen is er gerekend met verschillende waarden voor warmte en koude vraag voor de toekomst. Bij warmtevraag een onderscheid gemaakt tussen benodigde warmte voor ruimteverwarming en benodigde warmte voor tapwater. Omdat nieuwbouwhuizen steeds beter worden geïsoleerd is er minder warmte nodig voor de ruimteverwarming. De ruimteverwarming is daarom ook gebaseerd op de BENG eisen (ref [5]) waar alle nieuwbouwprojecten vanaf 2021 aan moeten voldoen. De BENG bestaat uit 3 eisen: 1) de maximale energiebehoefte per m², 2) het maximale primaire fossiele energiegebruik en 3) het minimale percentage hernieuwbare energie. Voor een nieuwbouwwijk als Almere Pampus gaan we uit van 100% hernieuwbare energie, waardoor alleen het eerste criterium van belang is. De maximale energiebehoefte voor woningbouw is hierbij gezet op 25 kWh/m²*jaar (ref [7]). Dit resulteert in een energievraag voor een eengezinswoning van 10.8 GJ/jaar.

Naast de warmtevraag voor ruimteverwarming is er ook een warmtevraag voor tapwater. In deze studie wordt aangenomen dat deze gelijk blijft. De warmtevraag voor tapwater is vastgezet op 6.6 GJ/jaar¹.

Ook bij utiliteitsbouw is de warmtevraag op te delen in benodigde warmte voor tapwater en benodigde warmte voor ruimteverwarming. De kentallen van het Vesta Mais (energie per vierkante meter bruto vloer oppervlak) zijn gebruikt voor de benodigde energievraag van utiliteit (ref [3]). Hierbij zijn de waarden voor kantoren met bouwjaar 1995-2015 gehanteerd, hetgeen conservatief is aangezien de warmtevraag voor winkels kleiner is. Daarnaast zal de warmtevraag waarschijnlijk nog iets kleiner zijn door betere isolatie van nieuwbouw en door verdere opwarming van de aarde in de komende eeuw.

3.1.1.2 Koudevraag

Door betere isolatie neemt de koudevraag toe in de toekomst. Tot op heden is de koudevraag voor woningen nog niet specifiek gedefinieerd. Het internationale panel voor klimaatverandering (IPCC) voorspelt dat de koudevraag snel gaat toenemen, maar dat de koudevraag in de toekomst niet meer dan 3% van de totale energievraag van huishoudens is in 2050². W/E adviseurs heeft in opdracht van de RVO een verdere uitwerking gemaakt van de koudevraag voor nieuwe woningen in relatie tot de

¹ <https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/inzicht-in-je-energierekening/gemiddeld-energieverbruik/>

² <https://www.topsectorenergie.nl/tki-urban-energy/kennisdossiers/factsheets-koudetechnieken/koudevraag-in-Nederland>

voorgenomen BENG eisen (ref [8]). Deze waarde is daarom ook gebruikt voor de koudevraag van woningen in de toekomst te bepalen. Omdat de koudevraag gerelateerd is aan de kans op oververhitting, wordt hiervoor als indicator TO_{juli} (Temperatuur Overschrijding juli) voor gehanteerd. W/E adviseert een TO_{juli} van 1.4 te hanteren, wat overeenkomt met een GTO (gewogen temperatuuroverschrijding) van 450 uur. Voor deze waarden is de benodigde koudevraag (BENG1-C) berekend per vierkante meter voor 3 verschillende woontypen (zie Tabel 3.1). De koudevraag wordt sterk beïnvloed door de toepassing van buitenzonwering, infiltratie (isolatiegraad en luchtdichtheid) en spui ventilatie (openen van ramen bij hoge binnentemperatuur). In deze studie wordt gebruik gemaakt van de koudevraag voor de “zware” eengezinswoning met spui ventilatie, zonnenschermen en goede isolatie. Dit levert een koudevraag van zo’n 1.3 kWh/m². In de huidige ontwerpen uit het alternatievenboek (ref [2]) is nog geen verdere invulling gegeven aan het type gebouwen. De koudevraag zou hierop aangepast moeten worden.

Tabel 3.1: Koudevraag BENG1-C voor 3 referentiewoningen (zie ref [8])

woontype (ref [8])		beschrijving	BENG1_C [kWh/m ²]
eengezinswoning S	tussen licht	hout skelet bouw (HSB) gevels, vloeren en woningscheidende wanden	10.7
	tussen zwaar	spouwmuren als gevel, ankerloze spouwmuren als woningscheidende wand en breedplaatvloeren	1.3
woongebouw M	appartement	spouwmuren als gevel, ankerloze spouwmuren als woningscheidende wand en breedplaatvloeren	2.3

Het rapport van W/E adviseurs gaat alleen in op de koudevraag voor woningen. Voor de koudevraag van utiliteit is in deze studie gebruik gemaakt van de kentallen van het Vesta Mais model voor de benodigde energievraag van utiliteit (ref [3]). Net als de warmtevraag is er voor de koudevraag ook gerekend met de waarden voor kantoren met bouwjaar 1995-2015. De koudevraag bestaat uit koude voor koeling en koude voor apparatuur.

3.1.1.3 Overzicht warmte en koude vraag per tegel

De randvoorwaarden zoals beschreven in de eerdere paragrafen hebben geleid tot een warmte en koudevraag per tegel. Deze energiebehoeften per tegel zijn weergegeven in Tabel 3.2.

Tabel 3.2: Overzicht warmte en koude vraag voor de verschillende woonmilieus (EGW: eengezinswoningen en MGW: meergezinswoningen).

Tegels woonmilieus	type woning		oppervlakte		warmtevraag		koudevraag	
	EGW	MGW	woning	utiliteit	woning	utiliteit	woning	utiliteit
	aantal		m ²		TJ/jaar		TJ/jaar	
Exclusief	23		2760	0	0.4	0.0	0.0	0.0
Woonlandschap	25		3000	0	0.4	0.0	0.0	0.0
Compact suburbaan	99		11880	0	1.7	0.0	0.1	0.0
Woon werk	74		8880	3803	1.3	1.2	0.0	1.1
Intense laagbouw	127		15240	0	2.2	0.0	0.1	0.0
Stadstuinen	57	145	22790	2535	3.4	0.8	0.2	0.8
Parkstad		207	22770	2535	3.4	0.8	0.2	0.8
Stadsblokken		184	20240	5070	3.0	1.6	0.2	1.5
Hoogbouw		369	40590	10140	6.1	3.1	0.3	3.0
Mixed use		154	16940	16900	2.5	5.2	0.1	5.0
Innovatiecampus		46	5060	20280	0.8	6.3	0.0	6.0

3.1.2 Totale warmte en koude vraag

De warmte en koude vraag per tegel kunnen voor de voorbeeldwijken zoals beschreven in paragraaf 2.2 worden omgezet in een totale warmte en koudevraag voor de hele wijk. Deze totale warmte en koudevraag is weergegeven in Tabel 3.3. Uit deze tabel blijkt dat de warmtevraag voor beide voorbeeldwijken zo'n 3x zo groot is als de koudevraag. De totale warmte en koudevraag voor voorbeeldwijk A: ontwikkelstrategie met IJmeermetro is groter dan voor voorbeeldwijk B: 4-sporen Hollandse Brug.

Tabel 3.3: Totale warmte en koudevraag voor de voorbeeldwijken zoals weergegeven in paragraaf 2.2

Tegels woonmilieus	IJmeer metro				4-sporen Hollandse Brug			
	aantal tegels	aantal woningen	warmtevraag	koudevraag	aantal tegels	aantal woningen	warmtevraag	koudevraag
			TJ/jaar				TJ/jaar	
Exclusief	9.5	219	4	0	0	0	0	0
Woonlandschap	18.5	463	8	0	0	0	0	0
Compact suburbaan	28	2772	48	2	57	5643	98	3
Woon werk	0	0	0	0	41	3034	101	48
Intense laagbouw	7.5	953	17	1	24.5	3112	54	2
Stadstuinen	37.5	7575	156	34	37.5	7575	156	34
Parkstad	26	5382	109	24	10.5	2174	44	10
Stadsblokken	24	4416	111	40	10.5	1932	48	18
Hoogbouw	19.5	7196	180	65	14.5	5351	134	48
Mixed use	9.5	1463	74	49	10	1540	78	51
Innovatiecampus	7.5	345	53	45	0	0	0	0
Totaal		30784	760	260		30361	714	214

3.2 Warmteaanbod

Het warmteaanbod is bepaald op basis van een eerdere studie van Deltares, waarin de potentie van de meeste wateren in Nederland is bepaald bij een bepaald warmtewinnings regime. Dit winningsregime houdt in dat er warmte onttrokken mag worden als de watertemperatuur boven de 15°C is. Daarbij mag de watertemperatuur afkoelen tot minimaal 12°C worden afgekoeld en mag de warmteonttrekking (bij hogere watertemperaturen) maximaal leiden tot een daling van 6°C van de watertemperatuur. Deze resultaten van de potentieberekeningen zijn beschikbaar via landelijke potentiekaart aquathermie (ref [16]).

In de wateren rondom Almere Pampus is voldoende warmte beschikbaar om de wijk Almere Pampus van warmte te voorzien. De warmtevraag voor voorbeeldwijk A en B (zie Tabel 3.3) bedraagt ongeveer 750 TJ per jaar. Zowel de Noorderplassen (minimum potentie groter dan 2000 TJ/jaar) als het IJmeer (minimum potentie groter dan 767.000 TJ/jaar) bevatten meer potentie dan benodigd voor Almere Pampus.



Figuur 6: Warmteaanbod rondom Almere Pampus (ref [16]).

4 Capaciteit benodigde warmte- en koudebronnen

Op basis van de energievraag per jaar kan worden bepaald hoe het aquathermiesysteem ontworpen kan worden. Hierbij wordt in kaart gebracht hoe groot de bronnen en de opslag moet zijn en welk deel door een piekvoorziening geleverd zou kunnen worden.

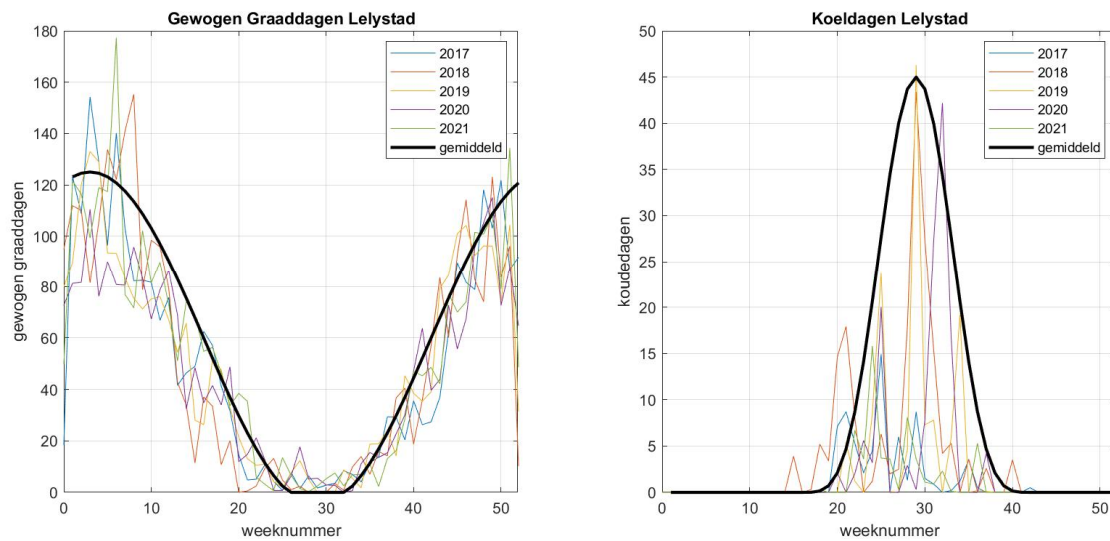
4.1 Verdeling warmte en koudevraag

Om een verdeling van de warmte- en koudevraag over het jaar te bepalen is een analyse gemaakt op het aantal graaddagen per jaar voor de warmtevraag en het aantal koeldagen voor de koudevraag. Het aantal graaddagen en het aantal koeldagen is gebaseerd op de buitentemperatuur³.

In Figuur 7 is het aantal graaddagen en het aantal koeldagen te zien voor het meetstation Lelystad Airport voor de jaren 2017-2021 (ref [9]). In deze grafieken is te zien dat het aantal graaddagen en koeldagen per jaar behoorlijk kan variëren. Om hier verder mee te rekenen is het aantal graaddagen en koeldagen gerepresenteerd in een curve voor het gehele jaar. De graaddagen geven een goed beeld van de warmtevraag voor ruimteverwarming gedurende het jaar. Als deze warmtevraag voor ruimteverwarming wordt gecombineerd met de warmtevraag voor tapwater is de totale warmtevraag af te leiden. De warmtevraag voor tapwater is constant aangenomen in deze studie. De graaddagen kunnen redelijk worden gerepresenteerd door een curve waarbij het aantal graaddagen in de winter hoog is en in de zomer terugloopt naar 0 als de temperatuur boven de 18 graden uitkomt.

De koeldagen variëren tussen de verschillende jaren. De piek van de koeldagen kan op een ander moment liggen, maar ook de hoogte van het aantal koeldagen kan sterk variëren tussen de verschillende jaren (Figuur 7). Het is lastig om hier een goede gemiddelde curve voor te definiëren. De gemiddelde curve zoals te zien in Figuur 7 is gebaseerd op het maximaal aantal koeldagen, maar ook op de periode van het aantal koeldagen (d.w.z. koeldagen kunnen optreden van week 20 tot week 40: mei-oktober). Anders dan de warmtevraag, kan de koelvraag behoorlijk variëren gedurende het jaar. Echter door opwarming van de aarde is het te verwachten dat het aantal koeldagen toe zal gaan nemen en dat de koudevraag constanter wordt in de zomermaanden. Naast de koelvraag voor woningen is er ook een koelvraag voor utiliteit. Het verloop van deze koelvraag is anders dan voor woningen, omdat apparatuur een koelvraag gedurende het hele jaar kan hebben. De koelvraag van apparatuur in utiliteiten is bijvoorbeeld zo'n 5 keer zo groot als de koelvraag voor gebouwen (ref [3]). Voor Almere Pampus wordt deze koelvraag constant aangenomen gedurende het gehele jaar.

³ Een graaddag is een dag relatief ten opzichte van de referentietemperatuur 18°C. Bij een daggemiddelde temperatuur van 10 °C spreekt men van 8-graaddagen. Als de buitentemperatuur hoger is dan 18 °C telt dat als nul graaddagen. Ditzelfde geldt voor het aantal koeldagen. Dit is een dag met een gemiddelde referentietemperatuur boven de 17°C.



Figuur 7: Het aantal graaddagen en het aantal koudedagen per week voor meetstation Lelystad Airport voor de jaren 2017-2021

Om het vermogen te berekenen van de koude en de warmtevraag moet de dag/nacht variatie worden meegenomen in de warmtevraag. Om het dag nacht ritme toe te voegen aan het aantal graaddagen en koudedagen is een analyse gemaakt op basis van de warmte en koudevraag voor een nieuwbouwwijk in Blaricum: Blaricummermeent (Eteck, ref [10]). Deze wijk bevat zo'n 1000 woningen met gestapelde bouw en grondgebonden woningen. Per maand is een dagprofiel afgeleid wat is samengevoegd met de warmte en koudevraag op basis van het aantal graaddagen en koudedagen.

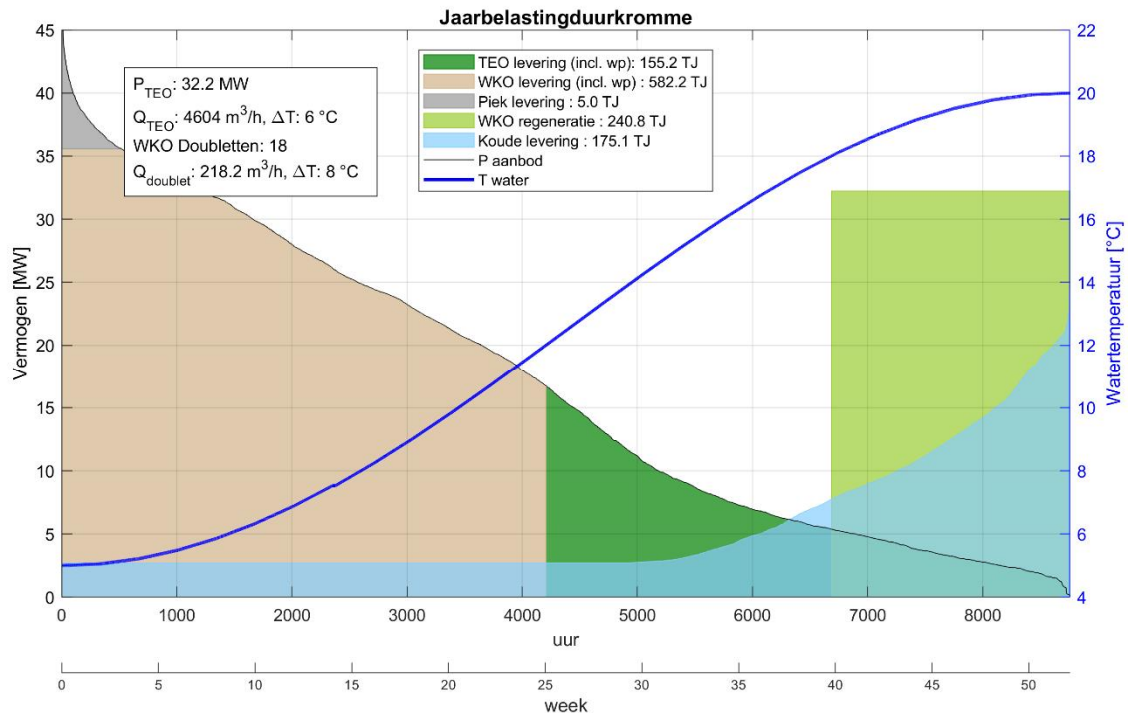
In een warmtenet zullen niet alle verbruikers gelijktijdig het maximaal vermogen vragen. Om hier rekening mee te houden is een gelijktijdigheidsfactor toegepast. Deze gelijktijdigheidsfactor drukt de verhouding uit van de gelijktijdige maximale belasting van alle verbruikers tot de som van hun individuele maximumbelastingen. Volgens ISSO publicatie 7 kan er bij meer dan 205 aansluitingen uit worden gegaan van een gelijktijdigheidsfactor van 0,55 (ref [11]). KoWaNet (ref [12]) geeft echter aan dat bij goed geïsoleerde huizen de gelijktijdigheidsfactor minder daalt met het aantal huizen. Uit praktijkvoorbeelden blijkt dat de gelijktijdigheid op 0.7 uitkomt. Omdat Almere Pampus een nieuwe wijk is met goed geïsoleerde huizen wordt een gelijktijdigheidsfactor van 0.7 gehanteerd voor zowel warmte als koude levering.

4.2 Jaarbelastingduurkromme

De warmte en koude vraag (zie paragraaf 3.1.2) voor Almere Pampus is weergegeven in een jaarbelastingduurkromme. Een jaarbelastingduurkromme geeft aan welk deel van de energie door welke bron wordt geleverd en wat het benodigde vermogen daarbij is. In Figuur 8 is de jaarbelastingduurkromme gegeven voor voorbeeldwijk A: ontwerpstrategie met de IJmeermetro. Omdat de energiebehoefte tussen de 2 voorbeeldwijken relatief vergelijkbaar is, is alleen de benodigde warmte en koude voor voorbeeldwijk A uitgewerkt.

In de jaarbelastingduurkromme wordt vaak ook de temperatuur van het oppervlaktewater gegeven, omdat deze temperatuur gerelateerd is aan de warmte en koude die geleverd moet worden. Dit is in Figuur 8 ook gedaan met de blauwe lijn die gerelateerd is aan de rechter verticale as van de grafiek.

Hierin is bijvoorbeeld te zien dat de temperatuur van het oppervlaktewater varieert tussen de 5°C en 20°C



Figuur 8: Jaarbelastingduurkromme voorbeeldwijk A en B

De energiebronnen in het systeem zijn aangeduid met kleurvlakken in Figuur 8. In het systeem wordt onderscheid gemaakt tussen verschillende bronnen:

1. TEO levering (donker groene vlak). Tijdens dit deel van het jaar wordt er direct water uit het oppervlaktewater gebruikt om warmte te kunnen leveren. Vanaf een temperatuur van 12°C wordt het oppervlaktewater direct geleverd aan de warmtepomp waar er bruikbare warmte mee wordt geleverd. Omdat een deel van de geleverde warmte van elektriciteit afkomstig is, is de geleverde hoeveelheid warmte groter dan de warmte uit de TEO bron alleen⁴.
2. Piek levering (grijze vlak). Dit is de punt van de JBK waar het grootste vermogen in zit. Het doel van de piekvoorziening is om de kosten te beperken, aangezien er slechts een korte periode een groot vermogen nodig is. Het is economisch interessanter om dit met een de piekvoorziening te doen, dan om het aquathermiesysteem met de warmtepomp hierop te dimensioneren. In dit systeem is ervoor gekozen dat 70% van de piek door de piekvoorziening wordt verzorgd. De piekvoorziening kan op verschillende manieren ingevuld worden, zoals elektrische ketel, biogas, gasketel, biomassa, of het bestaande warmtenet van Almere. In de vervolgfase kan worden uitgewerkt hoe deze piek het best geleverd zou kunnen worden. .
3. WKO levering (beige gebied). De WKO wordt gebruikt als de temperatuur van het oppervlaktewater onder de 12°C is. De warmte wordt in dat geval geleverd vanuit het opslag systeem (warmte WKO bron).
4. Koude levering (licht blauwe gebied). De koude bron van de WKO wordt gebruikt voor het leveren van koude. Hier komt warmte bij vrij. Deze warmte wordt weer opgeslagen in de

⁴ Bij een (seizoens) coëfficiënt of performance (S)COP van 3 komt 2/3^e deel van de geleverde thermische energie uit de TEO bron en 1/3^e deel van de geleverde thermische energie uit elektriciteit.

WKO warme bron. Doordat de koudevraag gedurende het hele jaar aanwezig is, loopt dit vlak ook over alle weken van het jaar. Deze vorm is in lijn met de grafieken zoals te vinden in ISSO 39 (ref [13]).

- Omdat er een netto warmtevraag is en de WKO in balans moet worden gehouden, moet de warme bron van de WKO worden geregenereerd met het TEO systeem. De temperatuur van de warme bron in dit voorbeeld is 17°C. De TEO regeneratie vindt plaats wanneer de temperatuur van het oppervlaktewater hoger is dan 18°C, aangezien er ongeveer 1°C verloren gaat met het uitwisseling van temperatuur in de warmtewisselaar. Om dit te realiseren is een vermogen van 31.8 MW nodig voor de regeneratie van de warme bron (light groene gebied). Omdat dit vermogen groter is dan het vermogen van de TEO levering zelf (donker groene vlak), is dit het maximaal benodigde vermogen voor het TEO systeem.

De vermogens zoals genoemd in Figuur 8 in de JBK zijn kleiner dan de benodigde vermogens zoals genoemd in Tabel 3.3. De vermogens zijn kleiner door de gelijktijdigheidsfactor van 0.7 die kan worden toegepast voor warmte en koude levering aan grote hoeveelheden woningen.

In de jaarbelastingduurkromme in Figuur 8 zijn de volumes voor het TEO systeem gegeven en het aantal WKO bronnen dat nodig is om de benodigde energie op te kunnen slaan. Om een vermogen van 31.8 MW te kunnen leveren met een temperatuur van 6°C is een debiet van 4550 m³/h nodig. De meeste grotere pompleveranciers hebben standaard pompen voor dit soort capaciteiten.

Het aantal WKO bronnen dat gebruikt wordt om de energie op te slaan zijn 18 doubletten. Hierbij is de capaciteit per bron gebaseerd op een lengte van 125m en hebben de bronnen een diameter van 0.8m. De diepte van de laag in de ondergrond is gebaseerd op ondergrondmodellen zoals beschikbaar in de geologische databases van het DINOloket (ref [14]).

De benodigde elektriciteit van de warmtepomp hangt af van de benodigde leveringstemperatuur van het water. Zo is er voor tapwater een minimale temperatuur benodigd ter voorkoming van legionella. Voor ruimteverwarming van goed geïsoleerde huizen hoeft deze temperatuur niet zo hoog te zijn. Hierbij volstaat vaak al een temperatuur van 45°C. Dit zorgt voor een hoger rendement van de warmtepomp. De gebruikstemperatuur bepaald daarom de benodigde capaciteit van de warmtepomp moet zijn. Als het water een middentemperatuurnet (MT) in moet dan moet de temperatuur van het water worden opgekrikt tot 70°C, terwijl het met een lagetemperatuurnet (LT) maar tot 45°C op hoeft te worden gewaardeerd. Hierbij is dan wel weer een naverwarming nodig voor het tapwater. In Tabel 4.1 staan de benodigde vermogens van de warmtepomp voor verschillende configuraties.

Tabel 4.1: Benodigd elektrisch vermogen warmtepomp. Indien de warmte wordt geleverd aan een LT net, dient er voor het tapwater een extra opwaardering te worden toegepast. De COP is bepaald op basis van een aanvoertemperatuur van 17° en een systeemrendement voor de warmtepomp van 55%.

warmtenetconfiguratie	COP	WKO vermogen	Elektrisch vermogen
	[-]	MWth	MWe
LT (45°C)	6.0	34.7	7
MT (70°C)	3.5	35	14

5 WKO mogelijkheden

5.1 Benodigde WKO capaciteit

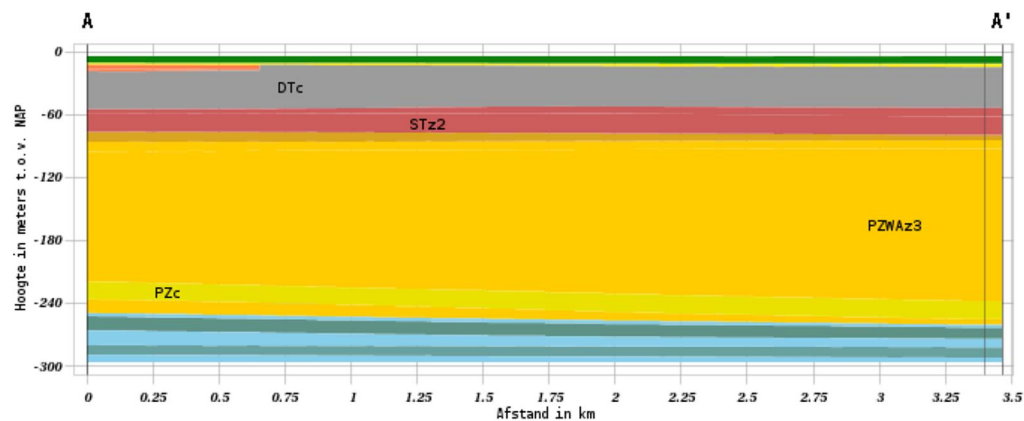
Achttien warmte koude opslagbronnen zijn voldoende voor de opslag van warmte en koude voor de gebiedsontwikkeling Almere Pampus. Afhankelijk van het ontwerp van het aquathermiesysteem kan er voor gekozen worden of de WKO-velden centraal of decentraal worden geplaatst. Als er meer WKO doubletten bij elkaar worden geplaatst, dan kunnen deze systemen worden gekoppeld, waarbij de warme bronnen en de koude bronnen geclusterd worden. Dit heeft als voordeel dat er minder warmte verloren gaat door warmte/koude verlies aan het omringende grondwater. Echter bij clustering van bronnen is er kans op ongewenste grondwaterstromingen door grondwaterstandstijging/daling tussen de warme en koude bron (thermische kortsluiting). In de winter wordt er bijvoorbeeld water aan de warme bron onttrokken en teruggebracht in de koude bron. Dit kan grondwaterstijgingen/dalingen tot gevolg hebben. Bij meerdere decentrale WKO locaties is dit risico kleiner. In de schetsontwerpen voor aquathermie in Almere Pampus in hoofdstuk 6 zijn verschillende opties voor centrale en decentrale opslag ingetekend.

5.2 Bodemopbouw Almere Pampus

De geologische bodemopbouw in het gebied laat zien dat er een grote zandige laag beschikbaar is voor de toepassing van warmte en koude opslag Figuur 9. Onder de holocene afzettingen zijn er meerdere zandlagen beschikbaar in het gebied. Door het toepassen van relatief diepe bronnen is de capaciteit per bron relatief hoog.



Verticale Doorsnede BRO REGIS II v2.2

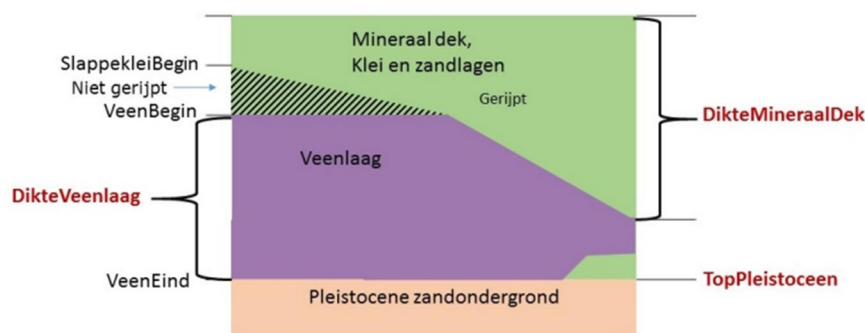


Figuur 9: Geologische bodemopbouw in Almere Pampus (bron: www.dinoloket.nl)

Omdat de bodem van Almere Pampus de voormalige bodem van de Zuiderzee is, brengt het doorboren van deze bovenste bodemlaag als risico met zich mee dat er risico is op kwel en opbarsting. Deze aandachtspunten zijn in de volgende paragrafen verder uitgewerkt.

5.3 Geologie en Bodemopbouw

Op hoofdlijnen bestaat de opbouw van het gebied uit een Pleistoceen zandpakket, waarop in het Holoceen een 8 a 9 meter dik pakket met overwegend klei en veen is afgezet (zie Figuur 10).



Figuur 10: Schematische voorstelling van de bodemopbouw in Flevoland [20]

Het in het gebied aanwezige dekzand bestaat uit matig fijne eolische zanden, die zijn afgezet onder periglaciale klimaatomstandigheden. Toen aan het begin van het Holoceen het klimaat warmer werd raakte het dekzandoppervlak met bos begroeid en vond bodemvorming in het dekzand plaats.

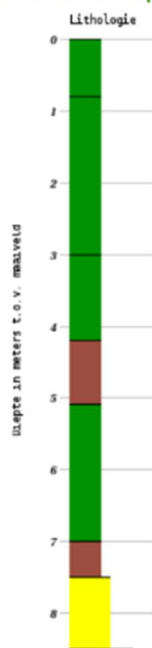
Na de laatste ijstijd begon ca. 10.000 jaar geleden het Holoceen. De temperatuur steeg en de zeespiegel kwam omhoog. Het pleistocene landschap kwam onder invloed te staan van de Noordzee en stijgend grondwater. In de laagste delen zorgde moerasvegetatie voor veenvorming, het zogenaamde Basisveen ontstond. Op de hogere delen kwamen uitgestrekte bosgebieden voor.

Vanaf 5000 voor Chr. brak een fase aan met een wisselende invloed van de zee. Er waren perioden met sedimentatie en perioden met overwegend veenvorming en soms erodeerde er veen onder sterke invloed van de zee.

Daarna overheerste gedurende een lange periode de veengroei. Nagenoeg het totale gebied raakte bedekt met veen, totdat rond 1900 voor Chr. vanuit Bergen een nieuwe getijdengeul ontstond, met invloed tot diep in Flevoland. Er werd weer klei afgezet. Tegen 1500 voor Chr. was het zeegat bij Bergen weer dichtgeslibd. Een landschap met meren resteerde. Door afslag en erosie werden deze meren steeds groter tot er uiteindelijk een aaneengesloten meer ontstond, het Flevomeer. De erosieproducten van het aangrenzende veenland sedimenteerden op de bodem van dit meer. Deze afzettingen staan bekend als detritus (organische stof gesedimenteerd met dynamiek/stroming) en gyttja (organische stof gesedimenteerd zonder dynamiek/neerdwarrelend).

Omstreeks het begin van de jaartelling besloeg het Flevomeer een groot deel van het oorspronkelijke veengebied. Geleidelijk ontstond er vanuit het noorden een verbinding met de zee, waardoor de Zuiderzee ontstond. Door de invloed van de zee én van de IJssel sedimenteerde er zand en klei. Ook afslag en erosie ging door, de Zuiderzee breidde zich steeds verder uit. Op de bodem van de Zuiderzee is een pakket zand en klei gesedimenteerd.

Boormonsterprofiel



Identificatie : B25F1736
Coördinaten : 137036 , 487895 (RD)
Maaiveld: -3.20 m t.o.v. NAP
Beschikbare informatie: Gescande documenten en
Digitale opnamegegevens
Beschrijfmethode: Onbekend

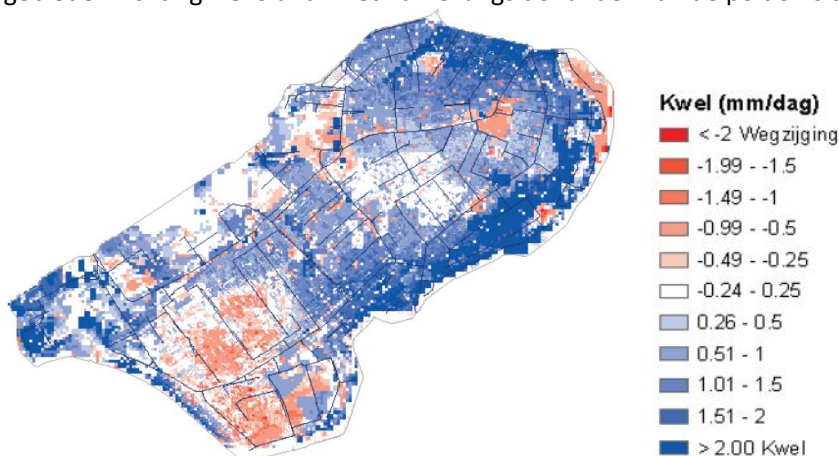
Lithologie

- Klei
- Zand fijne categorie
- Veen

Figuur 11: Bodemopbouw Almere Pampus, nabij de Oostvaardersdijk [14]

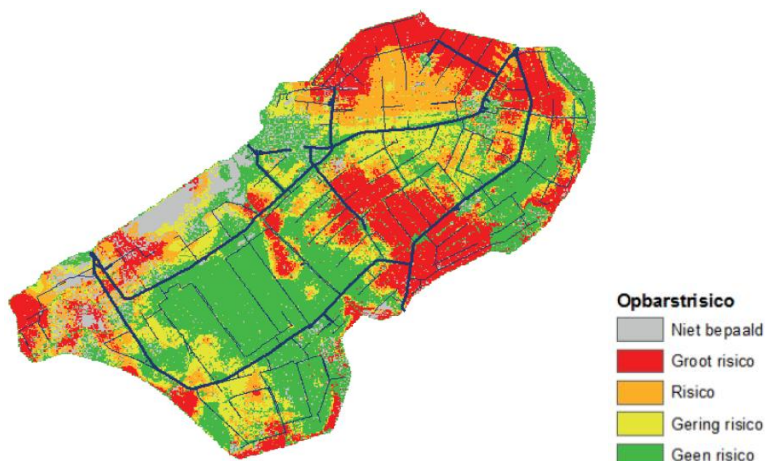
5.4 Kwel en opbarstrisico's

Met de drooglegging van de Flevopolder is er een kunstmatig waterpeil gecreëerd dat 5 a 6 meter lager ligt dan het omliggende water. Hierdoor is een kwelstroom aanwezig vanuit de omliggende gebieden richting Flevoland. Met name langs de randen van de polder is de kwel het sterkst.



Figuur 12: Kwel en wegzijging in Flevoland [19]

In gebieden met een sterke kwel en een dunne deklaag bestaat het risico van opbarstende (water)bodems. Het opbarstrisico wordt bepaald op basis van de verhouding tussen de opwaartse druk van de kwel en de neerwaartse druk van het bodemmateriaal. Bij het ontgraven van grond, of het verdiepen van de watergangen vermindert de neerwaartse druk en kunnen bodems dus gaan opbarsten. Figuur 13 geeft het opbarstrisico weer bij het ontgraven van 1m. Almere Pampus valt in de categorie met het hoogste risico.



Figuur 13: Opbarstrisico bij 100 cm ontgraving [19]

5.4.1 Relatie kwel en opbarsting WKO

Om te voorkomen dat het kwelwater via de WKO bronnen naar boven komt, is de afdichting van de boorgaten van groot belang. Naast het voorkomen van kwel, is dit ook belangrijk om verzakkingen te voorkomen. Omdat WKO's al enkele tientallen jaren worden toegepast in de praktijk, zijn er voor het afdichten van boorgaten normen (ref [21] en [22]) verschenen door het SIKB (Stichting infrastructuur kwaliteitsborging bodembeheer).

In deze haalbaarheidsstudie wordt uitgegaan dat de 3^e zandlaag van Peize/Waalre (Tussen de -90m NAP en -220m NAP) gebruikt zou kunnen worden voor injectie vanuit de WKO. Indien dit het geval is, dan zal het risico op een hogere stijghoogte beperkt zijn. Als de WKO in een andere hoger gelegen zandlaag gaat injecteren, dan is het risico op een hogere stijghoogte niet verwaarloosbaar.

5.4.2 Relatie kwel en opbarsting met kanalen en watergangen

Omdat er kanalen nodig zijn om het water door het gebied te transporteren is er een risico op extra kwel en opbarsting. Dit kan beperkt worden door de kanalen en watergangen niet te ontgraven maar aan te leggen op huidige waterdichte laag. Dit betekent wel een ophoging van het gebied, wat weer tot extra zettingen zou kunnen leiden in de toekomst. Indien er toch voor wordt gekozen om te ontgraven is er risico op verhoogde kwel. Om deze verhoogde kwelstroom te mitigeren kunnen er maatregelen worden getroffen om dit te beperken .

Indien de geplande watergangen ondieper zijn de huidige sloten in Almere Pampus, dan zal het risico op opbarsting beperkt zijn. Ondiepe watergangen hebben als extra voordeel dat het risico op verticale stratificatie beperkter is.

6 Schetsontwerpen aquathermievarianten

Om voldoende capaciteit uit het oppervlaktewater in Almere Pampus te kunnen halen zijn er een aantal ontwerpvarianten opgesteld om de benodigde warmte uit oppervlaktewater te leveren. Allereerst zijn er een aantal vrijheidsgraden opgesteld voor de verschillende varianten. Op basis van deze vrijheidsgraden zijn 3 varianten ontwikkeld waarin deze vrijheidsgraden zijn toegepast.

Bij de hoofdverdeling tussen de aquathermievarianten is de TEO onttrekking. Daarna zijn er variaties te maken in het opslag systeem (WKO) en de warmte en koude distributie (transportnet en distributienet). De variaties voor Almere Pampus zijn gegeven in Tabel 6.2.

Tabel 6.1: Mogelijke variaties voor varianten voor aquathermie in Almere Pampus

TEO onttrekking	Ontwikkelstrategie	WKO veld	Transportnet (naar wijkniveau)	Distributienet (naar woningen)
Eigen water	Hollandse brug 4 sporen	centraal	kanalensysteem	MT net Koudenet naar intensieve bouw
Noorderplas	IJmeer metrolijn	decentraal op wijkniveau	MT net Koudenet naar intensieve bouw	ZLT bronnet
IJmeer			ZLT bronnet	

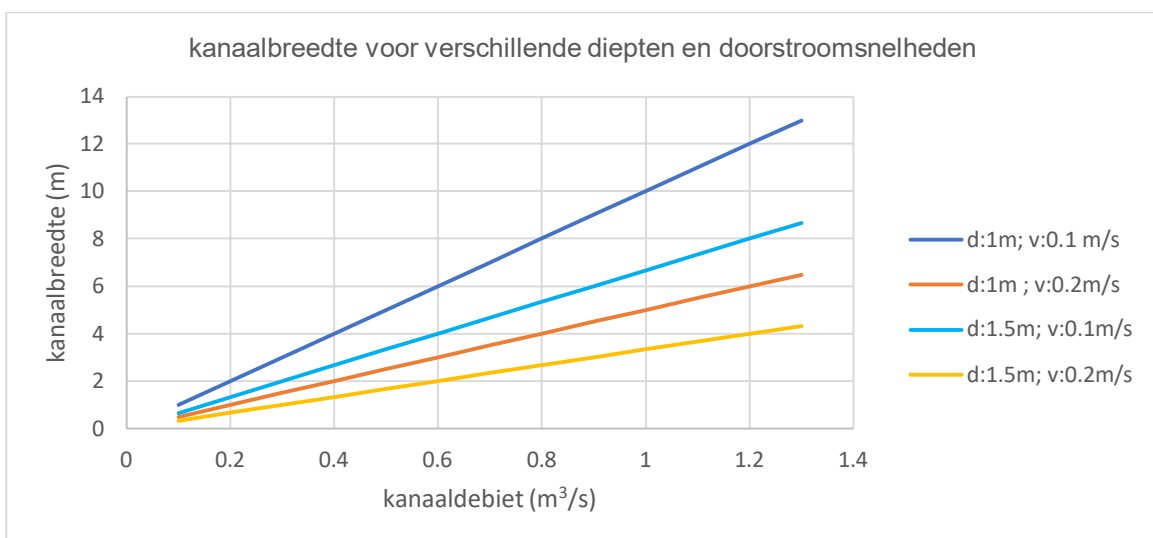
Op basis van de mogelijke variaties zijn 3 schetsen van ontwerpvarianten opgesteld waarbij een schets is gemaakt voor een mogelijk ontwerp van een aquathermiesysteem. Deze varianten zijn:

1. Eigen water. voor deze situatie wordt de ontwikkelstrategie van de IJmeermetrolijn gehanteerd zoals te zien in Figuur 4. In deze variant stroomt het water via het watergangensysteem naar de wijken waar de WKO's geplaatst zijn. Met behulp van een bronnet (ZLT) wordt het water door de wijk getransporteerd en wordt de warmte per woning opgewaardeerd (voor hoogbouw: centraal in het gebouw).
2. Noorderplas. Bij deze variant wordt de ontwikkelstrategie Hollandse brug 4 sporen gehanteerd (Figuur 5). Het water stroomt via een kanalensysteem de wijk in waar de warmte wordt gewonnen waarna het systeem weer terug stroomt naar de Noorderplassen. Per wijk wordt de warmte onttrokken waar het met een middentemperatuurnet en een koudenet door de wijk heen wordt getransporteerd.
3. IJmeer. Bij deze variant wordt de warmte uit het IJmeer gewonnen. Dit gebeurt met een warmtewisselaar buitendijks. Met deze warmtewisselaar wordt de warmte naar het centrale WKO veld getransporteerd waar het wordt opgeslagen. Vanuit het centrale warmtestation wordt de warmte met een MT net en een koudenet door de wijk heen getransporteerd. De zonnecollectoren kunnen worden aangesloten op het centrale WKO systeem om de temperatuur van de warme bron verder op te waarden. Door een connectie te maken met het bestaande warmtenet van Almere kan de piek levering vanuit het warmtenet worden geleverd.

De bovenstaande varianten zijn verder uitgewerkt in schetsen voor iedere variant. In deze schetsen zijn een aantal algemene aandachtspunten gehanteerd om tot een schets te komen. Deze aandachtspunten zijn:

- De varianten moeten van elkaar verschillen zodat een breed beeld ontstaat van de mogelijke configuraties van aquathermie
- Het watersysteem in Almere Pampus moet bijdragen aan het aquathermiesysteem. Dat wil zeggen dat er kanalen worden aangelegd zodat er zo min mogelijk dode zones ontstaan waar de waterkwaliteit achteruit gaat. Vandaar dat er in een aantal schetsen wordt aangeraden om een aantal watergangen af te sluiten om zo dode zones te voorkomen
- Het watersysteem moet doorstromen, zodat het water wat door het aquathermiesysteem zo goed mogelijk mengt met het omringende water. Hiervoor moet de weglengte tussen de uitlaat en de inname locatie zo lang mogelijk zijn.
- Indien er decentraal wordt opgewekt, dan mogen de verschillende wijksystemen niet interfereren met elkaar.
- Het aquathermiesysteem ligt zo dicht mogelijk bij de WKO opslag
- De pompen van het aquathermiesysteem kunnen worden gebruikt om het water in Almere Pampus rond te pompen
- De technische ruimte vanwaar de warmte en koude aan het net wordt geleverd ligt zo dicht mogelijk bij de WKO opslaglocatie
- Een koudenet wordt alleen naar intensieve bebouwing (hoogbouw en utiliteit) toegeleid. Enkele woningen moeten op een eigen systeem worden aangesloten. Bij een bronnet naar de woningen kan er wel koude uit het bronnet worden gewonnen
- De warme en koude bronnen van de WKO liggen geclusterd om een minimaal warmteverlies te hebben per bron. Deze bronnen liggen wel afgewisseld, zodat er geen grote sprongen ontstaan in de grondwaterstand.

In de verschillende schetsontwerpen zijn kanalen getekend om het debiet door de wijken heen te transporteren. Met behulp van Figuur 14 kan de kanaalbreedte worden bepaald uitgaande van een debiet van $1.3\text{m}^3/\text{s}$ voor kanalen met een beperkte diepte en stroomsnelheid. Bij een decentraal systeem moet het totale debiet door de hoofdwatergangen stromen, maar een beperkt debiet naar de decentrale opwekkingspunten. De kanaalbreedtes kunnen op daarop worden aangepast.



Figuur 14: kanaalbreedte ten opzichte van de afvoer door de kanalen voor kanalen met een beperkte diepte (d) en stroomsnelheid (v).

6.1 Variant 1: Eigen Water

6.1.1 Achtergrond

Om aquathermie te winnen uit een plas moet de zoninstraling in evenwicht zijn met het vermogen wat wordt gewonnen. Boderie en Dardengo (ref [15]) geven een warmteuitwisseling van tussen de 30 en 45 W/m²°C voor de zomerperiode onder gemiddelde meteorologische condities (windsnelheid en luchtvochtigheid). Omdat de regeneratie van de warme bron in de zomer plaats vindt, is alleen de warmteuitwisseling voor deze periode van belang. De hoeveelheid warmte die te winnen is, hangt ook af van de temperatuur waarmee het oppervlak uit het natuurlijke evenwicht mag worden gehaald. In de

Tabel 6.2: benodigd oppervlak om het TEO vermogen (31.8MW) op te wekken bij verschillende temperatuurafwijkingen ten opzichte van de achtergrond

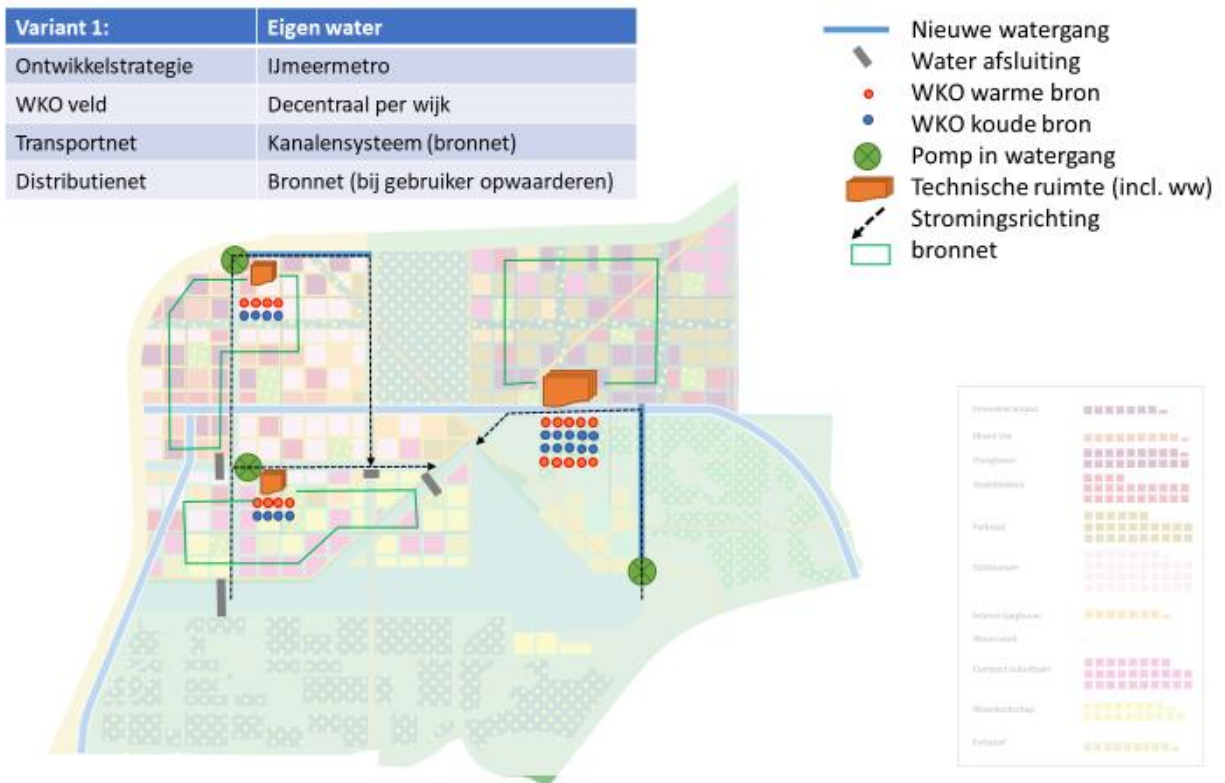
temperatuurafwijking (t.o.v natuurlijke achtergrondtemperatuur)	oppervlak	
	ha	km x km
°C		
1	106	1.03 x 1.03
2	53	0,73 x 0.73
3	35	0,59 x 0.59

Uitgaande van een conservatieve warmteuitwisseling van 1°C aan het oppervlak, is een wateroppervlak van 106ha (ongeveer 1km x 1km) nodig.

Hierbij wordt uitgegaan van een volledige menging van het water. Omdat koud water zwaarder is dan warm water, is het mogelijk dat de koud water lozing onder het warme oppervlakte water komt te liggen. Dat zou betekenen dat de plas stratificeert. Als dit het geval is, dan komt het water niet met de zonnearmte in aanraking en warmt het koude water niet verder op. Het is daarom bij deze variant van essentieel belang dat er geen stratificatie optreedt in de plas. Dit kan bijvoorbeeld voorkomen worden door een ondiepe plas te maken (1~1.5m), door een geoptimaliseerd ontwerp van het lozingspunt, of door extra turbulentie in het water aan te brengen, zodat het water beter opmengt.

6.1.2 Schetsontwerp

In de schets in Figuur 15 is een voorbeeld gegeven van aquathermie in Almere Pampus op basis van eigen water in het gebied. De plas die door Urhahn [2] in het gebied is getekend is heeft ongeveer de grootte om heel Almere Pampus van aquathermie te voorzien.



Figuur 15: variant 1 aquathermie op basis van eigen water in Almere Pampus

Het water uit deze plas wordt via een kanalsysteem de wijk in getransporteerd. Hierbij nemen de pompstations het water in uit de watergangen die direct met de plas zijn verbonden. Door een fysieke afscheiding te maken tussen de inlaat en de uitlaat kan het geloosde water niet naar de inlaat terugstromen. Het water van de uitlaten komt samen in de noordelijkste punt van de grote plas, waar het door de plas moet stromen om weer bij de inlaatkanalen te komen. Hierdoor is de weglengte tussen de inlaat en de uitlaat van het water voldoende lange zodat het geloosde water goed kan mengen met het water in de plas.

De warmte wordt direct bij de pompsystemen gewonnen waarna het opgeslagen kan worden in de WKO bronnen in de wijk. Vanuit de WKO bronnen kan de warmte met behulp van een bronnet door de wijk worden getransporteerd waar lokale systemen de warmte tot aan de huizen kan brengen. In de huizen kan de koude direct worden gebruikt en kan de warmte worden opgewaardeerd met een warmtepomp voor de ruimteverwarming (40-55°C) en tapwater (60-70°C). Het is goed mogelijk om de decentraliseerde systemen onafhankelijk van elkaar aan te leggen. Dit geeft voordelen bij de aanleg van de wijk. De kanalen in het watersysteem voor deze variant zijn tussen de 4 en 8m breed.

6.2 Variant 2: koppeling met Noorderplassen

6.2.1 Achtergrond

In de 2^e variant moet het water vanuit de Noorderplassen worden aangevoerd. Om het vermogen voor het TEO systeem te kunnen leveren is er in de zomer een doorstroming nodig van 4550 m³/hr. Om dit debiet te realiseren, is een pompstation nodig om het debiet door Almere Pampus heen te pompen. Met een gemiddelde stroomsnelheid van 0.1 m/s, is een doorstroomoppervlak van 12.6 m² nodig. Bij een waterdiepte van 1m betekent dit een breedte van de watergangen van minimaal

12.6m. De watergangen moeten naar de WKO-doubletten worden gegraven, zodat het opgewarmde water gebruikt kan worden voor het regenereren van de warme bron.

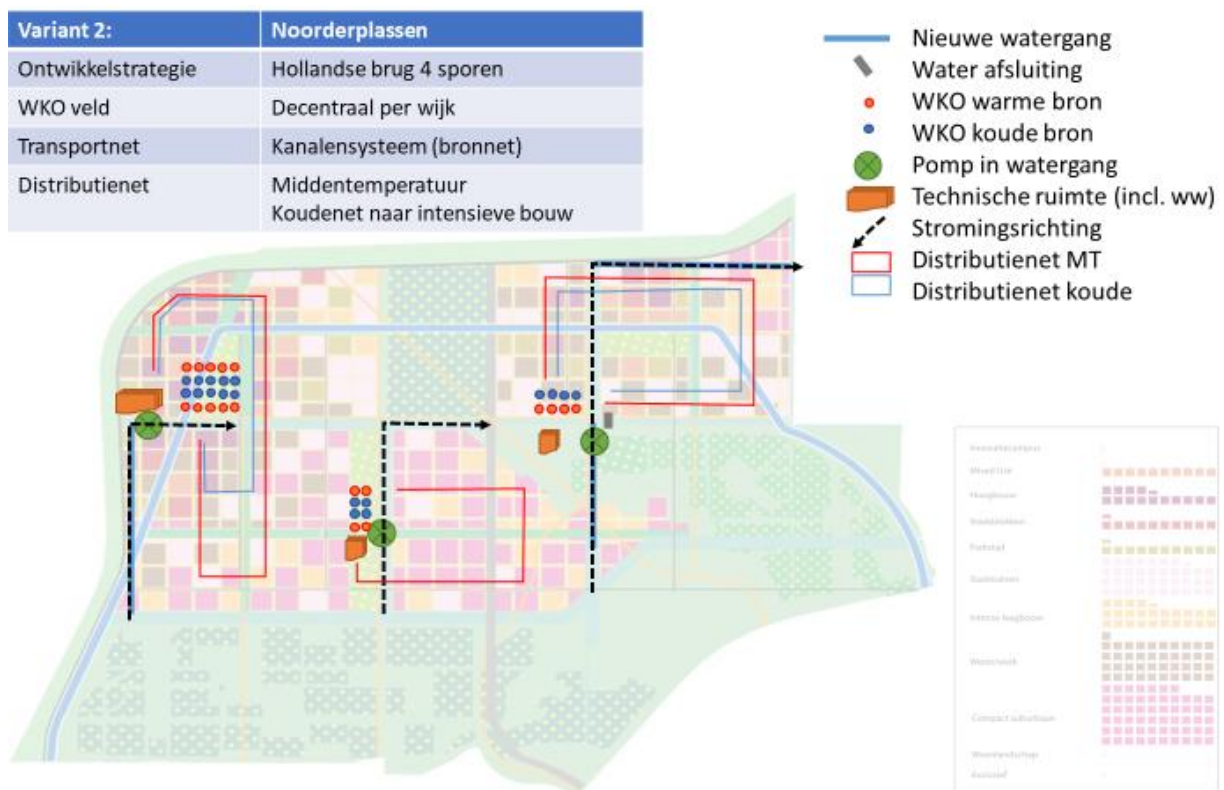
Bij de terugstroom van het water in de Noorderplassen is het ook bij deze variant van groot belang dat het water opmengt (zie ook variant 1) met de rest van het water van de Noorderplassen. Als het geloosde koude water naar de bodem zinkt, dan is er geen sprake van regeneratie en zal het ingenomen water uiteindelijk steeds kouder worden.

6.2.2 Schetsontwerp

In Figuur 16 is een schetsontwerp gegeven voor variant 2. In deze variant wordt het water uit de Noorderplassen via het zuidelijke kanaal de wijk ingelaten. Via 3 kanalen stroomt het water naar de 3 pompstations in de wijken waar de warmte wordt onttrokken. Deze pompstations lozen op het uitstroomkanaal (langs de weg: bezaan) wat uiteindelijk via naar de Noorderplassen west stroomt. De fysieke scheiding tussen de inlaat en de uitlaat in de Noorderplassen zorgt voor een zo groot mogelijke menging van het water met de Noorderplassen. Het bestaande kanaal moet wel worden afgesloten, zodat het water niet via deze route terug kan stromen naar de Noorderplassen.

In de wijken wordt het water gebruikt om de WKO te regenereren met warmte. Als het water uit de WKO wordt opgepompt wordt het in de technische ruimte door een warmtepomp verder opgewaardeerd naar de benodigde temperatuur voor ruimteverwarming (55°C). Het tapwater wordt lokaal verder opgewaardeerd met behulp van een boiler.

In dit ontwerp is er ook een koudenet ingetekend naar de intensieve bebouwing (o.a. hoogbouw en utiliteit). Het is ook voor deze variant mogelijk om het aquathermiesysteem gefaseerd aan te leggen in de gedecentraliseerde wijken. De kanalen in het watersysteem voor deze variant zijn tussen de 4 en 8m breed, terwijl het aanvoer en afvoerkanaal van een naar de Noorderplassen breder zou moeten zijn om de volledige 1.3 m³/s af te voeren.



Figuur 16: variant 2 aquathermie door koppeling met Noorderplassen

6.3 Variant 3: koppeling met IJmeer

6.3.1 Achtergrond

Bij variant 3 moet een connectie gemaakt worden tussen het IJmeer en het watersysteem in Almere Pampus. Door het niveauverschil in Almere Pampus (5m lager) is het wenselijk om het water niet helemaal door de wijk naar het warmtepompstation te laten stromen, maar om alleen de warmte te winnen en het IJmeer water meteen weer te lozen op het IJmeer.

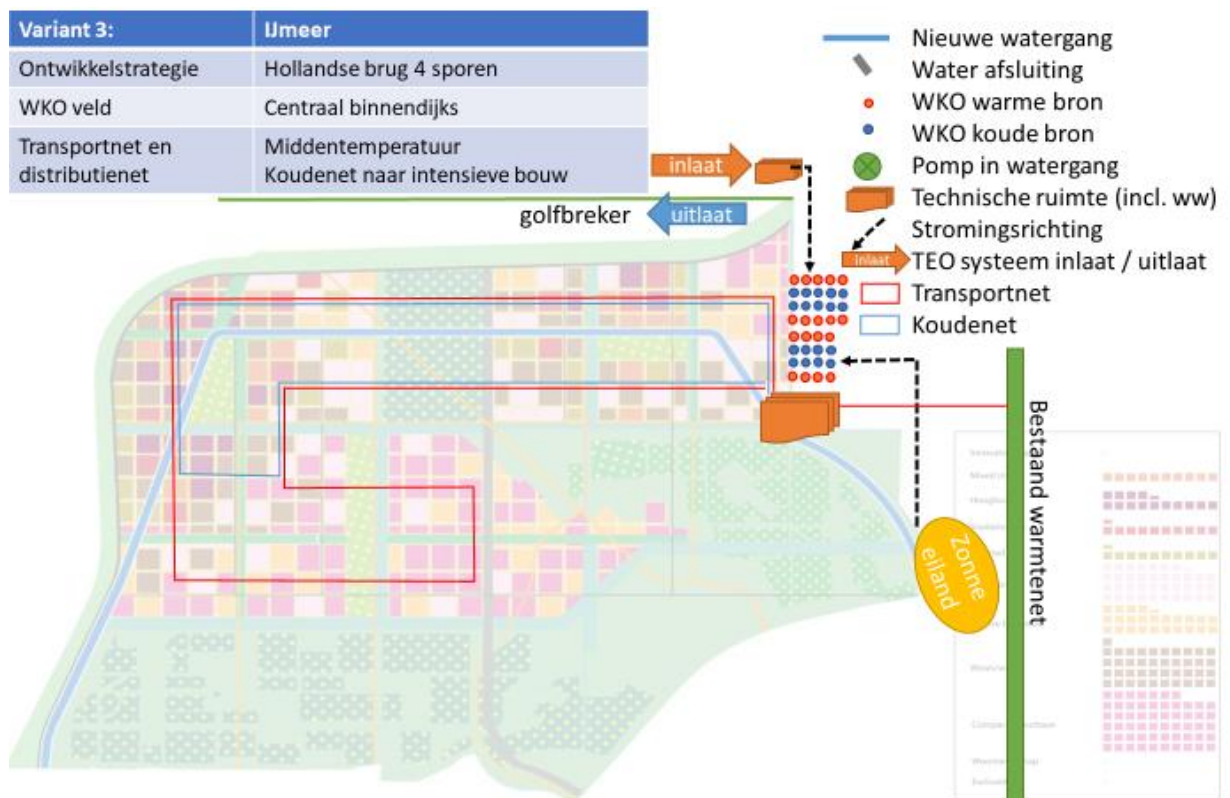
De leiding van de centrale opslag moet dan wel een dijk passeren. Aangezien er een provinciale weg over de dijk loopt (N701), moet er een behoorlijke hevel constructie worden gebouwd om de warmte te transporteren of er moet een kering worden doorkruist. Dit stelt extra eisen aan de leidingen door de waterkering, maar wordt in de praktijk vaker gedaan (NEN 3650 en de leidraad kunstwerken [23]).

Vlak bij de Noorderplassen wordt zonnewarmte opgewekt met zonnecollectoren op het zonne-eiland. Omdat zonnewarmte vaak beschikbaar is op momenten dat de warmtevraag laag is, is opslag van zonnewarmte wenselijk. Doordat er in Variant 3 een grote WKO nabij het zonne-eiland wordt aangelegd, is het wenselijk om deze WKO ook te gebruiken voor de opslag van zonnewarmte. De temperatuur van de warme bron kan met behulp van zonnewarmte verder worden opgewaardeerd, waardoor de warmtepomp uiteindelijk een hogere aanvoertemperatuur kan gebruiken, en daarmee efficiënter werkt. Omdat de maximale temperatuur die in de warme bron van de WKO mag worden opgeslagen (30°C – ref [18]) hoger is dan het oppervlaktewater, kan de warme bron dus door de zonnecollectoren verder worden opgewarmd.

Naast het zonne-eiland is er een bestaand warmtenet dat langs de Noorderplassen loopt. Door aan te takken op dit warmtenet kan het piekvermogen worden geleverd door het bestaande warmtenet. Dit scheelt aanzienlijk in het vermogen wat benodigd is in de WKO (zie jaarbelastingduurkromme in Figuur 8)

6.3.2 Schetsontwerp

In Figuur 17 is de inlaat en uitlaat van de TEO installatie getekend aan beide zijden van de golfbreker. Dit heeft als voordeel dat er meer stroming ontstaat in de haven en dat dit de doorstroming en de waterkwaliteit ten goede komt. Daarnaast moet het geloosde water een lange afstand afleggen voordat het de inlaat bereikt, waardoor het water veel kans heeft om te mengen met het omringende water.



Figuur 17: Variant 3 aquathermie door koppeling met IJmeer

In deze schets zijn de WKO bronnen allemaal bij elkaar geplaatst bij de centrale opwekinstallatie waar de warmte wordt opgewaardeerd voor het middentemperatuurnet. Naast het middentemperatuurnet is er ook een koudenet wat net als in de vorige variant vooral langs de hoogbouw en utiliteit loopt.

In deze schets wordt optimaal gebruik gemaakt van aansluitingen op de reeds bestaande systemen: de golfbreker, het warmtenet en het zonne-eiland.

Omdat er in deze variant gebruik wordt gemaakt van een centrale opslag en een warmtetransportnet door de wijken is het lastiger om deze variant gefaseerd aan te leggen. Hier zou in het ontwerp verder aandacht aan besteed moeten worden.

De diameter van de hoofdtransportleidingen van het warmtenet waarbij de warmte op midden-temperatuur door de wijk wordt getransporteerd zijn tussen de 200 en 400mm exclusief isolatie om de buis. Dit zijn gangbare buisdiameters voor warmtenetten.

6.4 Overzicht varianten

In Tabel 6.3 is een samenvatting gegeven voor de verschillende varianten zoals beschreven in dit hoofdstuk. Per variant zijn aandachtspunten weergegeven waar de verschillende ontwerpen van elkaar verschillen. Vanuit het perspectief van aquathermie is er geen voorkeur voor een specifiek ontwerp. Daarom zijn er geen plus of min punten aan de tabel toegekend. Alle drie varianten zijn technisch haalbaar om in te passen in de wijk. Door integraal te ontwerpen kunnen koppelingen gemaakt worden tussen aquathermie en ander functies in de wijk, waardoor het mogelijk is om functies op elkaar af te stemmen (denk o.a. aan de inpassing van de groen/blauwe structuur of de wateropvang in het gebied). Hierdoor kunnen bepaalde varianten wenselijker zijn dan andere.

Tabel 6.3: samenvatting varianten met aandachtspunten per onderwerp

	variant 1	variant 2	variant 3
Warmte	Eigen water	Noorderplassen	IJmeer
warmtewinning	Om voldoende capaciteit te halen dient het eigen water voldoende groot te zijn	Ruim voldoende door interactie met water Noorderplassen	Capaciteit meer dan voldoende. Dijkdoorkruising nodig
kortsluitstroming	Door kortsluitstroming te voorkomen kan de weglengte tussen inlaat en uitlaat voldoende groot worden	Weglengte ruim voldoende doordat het water via de Noorderplassen moet.	kans op kortsluitstroming minimaal door gebruik van golfbreker als fysieke scheiding tussen inlaat en uitlaat
wateropvang	Wateropvang mogelijk in eigen gebied	Geen retentie in gebied	Geen retentie in gebied
WKO velden	Decentraal bronnen dicht bij de afnemers	Decentraal bronnen dicht bij de afnemer	Centraal groot WKO veld. Koppeling met zonnecollectoerveld kan extra capaciteit leveren in WKO warme bron
Transportnet	Kanalensysteem integratie met groen/blauwe structuur	Kanalensysteem integratie met groen/blauwe structuur	MT net + koude net Geïsoleerde leidingen nodig. Geen koppeling met groen/blauwe structuur
Distributienet	ZLT net ongeïsoleerde leidingen Opwaardering op gebouwniveau: aanpassingen in/nabij gebouwen om leveringstemperatuur te realiseren	MT net + koude net geïsoleerde leidingen nodig geen aanpassingen in woning	MT net + koude net geïsoleerde leidingen nodig geen aanpassingen in woning
Groen/Blauwe structuur	goed in te passen	vooral groene structuur	vooral groene structuur

Omdat de wijk gefaseerd aangelegd zal gaan worden, kan het ook van belang zijn om het aquathermiesysteem gefaseerd aan te leggen om de voorkosten te beperken. Dit is niet verder uitgewerkt in deze studie en dient verder te worden uitgewerkt in een vervolgstudie. Voor het aquathermiesysteem is het mogelijk interessant om het globale kanalsysteem en het eigen water al vast in een vroege fase aan te leggen en het aquathermiesystemen er daarna in te passen. Bij een kleine capaciteit van het TEO systeem kan er voor worden gekozen om tijdelijk voor een andere locatie te kiezen dan voor een TEO systeem met een grotere capaciteit en dus een grotere uitstroom. De WKO bronnen kunnen ook gefaseerd aangelegd worden.

7 Conclusies

In deze haalbaarheidsstudie is een analyse gemaakt voor de technische haalbaarheid van aquathermie voor de nieuw te bouwen wijk op de greenfield Almere Pampus. In deze studie is een eerste analyse gedaan naar de benodigde energievraag voor zowel warmte als koude, de benodigde ruimte voor het aquathermiesysteem en de warmte en koudeopslag aangevuld met een aantal schetsontwerpen voor mogelijke scenario's voor inpassingen. De financiële haalbaarheid is niet meegenomen in deze haalbaarheidsstudie. Dit dient in het vervolgonderzoek verder uitgezocht te worden.

De conclusies van deze haalbaarheidsstudie zijn beschreven in algemene conclusies en mogelijkheden voor varianten:

Haalbaarheid aquathermie voor Almere Pampus

- Het is technisch haalbaar om aquathermie toe te passen in Almere Pampus. De benodigde warmte en koude is uit het water in het gebied of rondom het gebied te onttrekken. Doordat Almere Pampus een nieuwbouwwijk is waar de koudevraag ook een significant aandeel zal hebben, kan een WKO effectief worden ingezet om de warmte en koude vraag te balanceren. Tussen de -90m NAP en -220m NAP is een uniforme zandlaag beschikbaar die geschikt is voor WKO opslag. De koudevraag beperkt uiteindelijk ook de benodigde capaciteit van het aquathermie onderdeel, welke wordt gebruikt om de WKO te regenereren. De overige warmte wordt geleverd door de retourstroom van de koudelevering in de zomer. De ondergrond in het gebied heeft ruim voldoende capaciteit om een WKO opslag toe te passen.
- Het aquathermiesysteem biedt kansen om het ontwerp voor de groen/blauwe structuur te optimaliseren. Door een geoptimaliseerd aquathermie met een goede doorstroming, verbetert de waterkwaliteit in het hele gebied.
 - Met de drooglegging van de Flevopolder is er een kunstmatig waterpeil gecreëerd dat 5 a 6 meter lager ligt dan het omliggende water. Hierdoor is een kwelstroom aanwezig vanuit de omliggende gebieden richting Flevoland. Om deze kwelstroom te beperken moeten er niet te veel worden ontgraven in het gebied. Bij de doorboring van de waterdichte lagen voor de installatie van WKO velden is de afdichting van de boorgaten van groot belang. Hier is reeds bestaande regelgeving voor, waar op gehandhaafd moet worden.
 - Voor de aanleg van kanalen is het belangrijk om bij ontgravingen van meer dan 1m een detailstudie uit te voeren naar het risico op kweltoename en opbarsting. Een verhoogde kwel kan acceptabel zijn als het gemitigeerd kan worden. Indien de geplande kanalen ondieper zullen zijn dan de bestaande sloten, dan is het risico op opbarsting door kwel beperkt. Een alternatief is om het kanalsysteem niet te ontgraven, maar op de waterdichte laag aan te leggen. Hierbij moet het risico op extra zettingen worden meegenomen.

Mogelijke configuraties voor aquathermie:

- Door het water op een slimme manier door Almere Pampus te laten stromen, kan het geloosde water goed in contact komen met het omringende water en kan het effectief worden opgewarmd door de zoninstraling. In de schetsontwerpen zoals te zien in hoofdstuk 6, is het mogelijk om de weglengte tussen het inlaat en uitlaatpunt zo lang mogelijk te maken.

- Bij het toepassen van veel open kanalen om het water door de wijk te laten stromen is het logisch om het aquathermiesysteem integraal toe te passen met de groen/blauwe structuur. Dit leidt tot een geoptimaliseerd stedelijk water systeem ten behoeve van aquathermie. De doorstroming die door het aquathermiesysteem wordt geïnduceerd, kan bijdragen aan een verbeterde waterkwaliteit. Hierbij dient in het detail ontwerp het filter en warmtewisselaar ontwerp te worden geoptimaliseerd, zodat de ecologische impact beperkt blijft.
- Het is mogelijk om aquathermie toe te passen met behulp van eigen water in het gebied. De plassen die in het ontwerp van Urhahn zijn ingetekend, zijn voldoende groot om de hele wijk van aquathermie te voorzien.
- Aquathermie systemen worden vaak toegepast om de basislast te leveren. De pieklast wordt vaak op een alternatieve manier toegepast. Doordat een koppeling te maken met het reeds bestaande warmtenet in Almere zou de pieklast door het bestaande warmtenet geleverd kunnen worden.
- Door de zonnecollectoren van het zonne-eiland te koppelen met de WKO-bronnen, kan de temperatuur van de warme WKO bron verder worden opgewaardeerd, waardoor de warmtepomp minder vermogen gaat vragen en het gehele systeem efficiënter wordt.

De benodigde elektriciteit voor de warmtepompen moet worden opgewekt door andere duurzame bronnen (denk aan zonnepanelen of windmolens). Doordat de energiemix in 2050 CO2 vrij moet zijn, is daarmee het aquathermiesysteem ook CO2 vrij.

8 Aanbevelingen voor 2^e fase

Om tot een definitief integraal ontwerp te komen moeten de kritische aspecten uit fase 1 verder worden uitgewerkt voor de toepassing van aquathermie in Almere Pampus. Hieronder zijn een aantal aanbevelingen gegeven voor verdiepend onderzoek in de 2^e fase.

- De warmte, maar vooral de koudevraag voor de toekomst moet verder worden uitgewerkt. Voor de inschattingen van de benodigde energie voor woningen zijn realistische voorspellingen gevonden, maar voor utiliteitsbouw zijn de voorspellingen nog beperkt. Hiervoor zijn in de huidige studie de getallen van 1995-2015 gebruikt. Hierbij dient ook een verdere uitsplitsing te worden gemaakt naar typen utiliteit (o.a. kantoor, ziekenhuis, winkels, etc). . Daarnaast hangt dit sterk af van de uiteindelijk te realiseren hoeveelheid woningen en utiliteit, en in welke dichtheden.
- Het aquathermiesysteem biedt kansen om het ontwerp voor de groen/blauwe structuur te optimaliseren. Door een geoptimaliseerd aquathermie met een goede doorstroming, verbetert de waterkwaliteit in het hele gebied. Aanbevolen wordt een integraal ontwerpproces op te tuigen om deze aspecten (zoals waterbeheersing, aquathermie, recreatie en ecologie) elkaar te laten versterken, alsmede klimaatrobustheid van het nieuwe stadsdeel. (hittestress, piekbuien, droogte, etc).
Vanwege de netto warmtevraag dient er warmte door het aquathermiesysteem te worden onttrokken aan het oppervlaktewater. Dit zorgt voor een kouder oppervlaktewater in de zomerperiode en heeft mogelijk effect op het ecosysteem dat wordt aangelegd in dit gebied. Omdat er nog geen uitgebreid watersysteem in het gebied aanwezig is, speelt een verandering van bestaande ecologische waarden geen rol en kan het ecologische systeem worden aangepast op de integrale wensen voor aquathermie, wateropvang, recreatie, etc.
- De koudevraag is op dit moment afgeleid op basis van het aantal koeldagen. Door de sterke variatie in het aantal koeldagen zouden hier ook meerdere scenario's kunnen worden toegepast.
- In deze studie worden kortsluitstromingen (het inzuigen van geloosd kouder water in de inlaat van het aquathermiesysteem) in het oppervlaktewater voorkomen door het toepassen van lange weglengtes in het ontwerp. In een verdiepend onderzoek zou gekeken moeten worden of het water voldoende mengt met het omgevingswater.
- De WKO velden kunnen verder worden geoptimaliseerd door clustering van bronnen. Door veel koude en warme bronnen te clusteren kan er een grondwaterpeilverschil optreden tussen het cluster warme bronnen en het cluster koude bronnen. De warmte uit de warme bron wordt immers vooral in de winter uit de warme bron gehaald en teruggepompt in de koude bron. Dit leidt tot veranderingen in grondwaterdruk in de lagen waar de WKO bronnen zich in bevinden. Of dit invloed heeft op de druk in bovenliggende lagen moet nader worden onderzocht.
- In de huidige haalbaarheidsstudie is nog niet gekeken naar het gefaseerd aanleggen van de warmtenetten van de wijk. Voor de systemen waarbij de opwaardering decentraal plaats vindt en de WKO bronnen ook decentraal zijn opgesteld hoeft dit geen probleem te zijn. Voor het centrale alternatief moet het verder worden uitgewerkt. Bij een gefaseerde aanleg kan het wenselijk zijn om het kanalsysteem alvast in grote lijnen aan te leggen, terwijl de TEO systemen er later in kunnen worden ingepast.
- In de schetsontwerpen worden de pompen voor het aquathermiesysteem gebruikt om ook een rondstroming door de wijk te creëren. In het detailontwerp van de filters en de warmtewisselaars van het aquathermiesysteem moet rekening worden gehouden met de ecologische impact van deze systemen zodat de ecologische impact beperkt blijft.

- Bij het centrale alternatief wordt water ingenomen van uit het IJmeer/Markermeer. Het aquathermiesysteem in Almere Pampus zou een positieve invloed kunnen hebben op de waterkwaliteitsproblemen in het Markermeer. Door het beperkte debiet van het aquathermiesysteem (ongeveer 1.3 m³/s) en de grootte van het IJmeer/Markermeer (ongeveer 700 km²), zal deze invloed waarschijnlijk zeer beperkt zijn.
- De huidige studie laat zien dat kwelindringing en opbarsting van de waterdichte lagen een risico is voor Almere Pampus. Het is daarom aan te bevelen om de nieuwe watergangen ondieper te ontgraven dan de huidige sloten, waardoor het risico op kwelopbarsting beperkt blijft. Ondiepe watergangen hebben als extra voordeel dat het risico op verticale stratificatie door de aquathermielozingen beperkt blijft. Bij beoogde ontgravingen dieper dan 1 m is het belangrijk om een detailstudie naar opbarstrisico's uit te voeren.

Voor een detailontwerp is het van belang om het warmtenet verder te schetsen. Hierbij is het belangrijk om het aquathermiesysteem tezamen met het warmtenet te ontwerpen.

9 Referenties

- [1] One Architecture, Smartland, gemeente Almere, (2021), *“Vooruit ontwikkelen van bodem, groen en blauw”*
- [2] Urhahn (2021), *“Alternatievenboek ontwikkelstrategie Amsterdam Bay Area - samen bouwen aan bereikbaarheid, het gebiedsgerichte bereikbaarheidsprogramma Metropoolregio Amsterdam en Almere 2.0”*. oktober 2021
- [3] CE Delft (2015), *“Energiekentallen utiliteitsgebouwen Vesta 2.0”*, Notitie ref: 3.E51.1
- [4] CPB / PBL (2016), *“Klimaat en Energie – toekomstverkenning Welvaart en Leefomgeving 2030 en 2050”*, achtergronddocument, PBL-publicatienummer: 1775
- [5] RVO (2022), <https://www.rvo.nl/onderwerpen/beng>
- [6] Deltares (2021), *“Grootschalige aquathermie: realistisch of niet? – casus Nijmegen”*. WarmingUP rapport
- [7] Techniplan (2016), *“Energie neutraal bouwen: BENG voor ontwerpers”*, Presentatie Esther Gerritsen
- [8] W/E adviseurs (2018), *“Temperatuuroverschrijding in nieuwe woningen in relatie tot voorgenomen BENG eisen”*, ref: W/E 9604, RVO publicatienummer: RVO-213-1801/RP-DUZA
- [9] KWA (2022), *“Graaddagen en Koeldagen”*, <https://www.kwa.nl/diensten/graaddagen-en-koeldagen>
- [10] Eteck (2022), *“Projecten ZLT-netwerken - Blaricummermeent”*
- [11] ISSO 07 (2012), *“Grondleidingen voor warmte en koudetransport”*, ISBN: 978-90-5044-232-9
- [12] KoWaNet (2021). *“Technisch handboek koele warmtenetten”*, Deliverable 1.1 en D1.3, versie 1.1, Maart 2021
- [13] ISSO 39 (2017), *“Energiecentrale met warmte- en koudeopslag (WKO) – ontwerp, realisatie en beheer”*, versie 2017 aangepast met regelgeving SPF en communicatietabellen, Deel A: Normatieve teksten en Deel B: Informatieve teksten, ISBN: 978-90-5044-307-4
- [14] TNO (2022), *“DINOloket – data en informatie van de Nederlandse Ondergrond”*, <https://www.dinoloket.nl/>
- [15] Boderie P., Dardengo L. (2003), *“Warmtelozing in oppervlaktewater en uitwisseling met de atmosfeer – een inventarisatie van rekenmethodieken en modellen”*, WL Delft Hydraulics rapport Q3315
- [16] Deltares (2021). *“Potentiekaarten aquathermie”* - www.aquathermieviewer.nl
- [17] Agentschap NL (2013), *“Beheer Warmte Koude opslag – maximale benutting van uw WKO”*, Publicatie-nr. 2MJAP1302
- [18] Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden, (2013), *“Besluit van 25 maart 2013 tot wijziging van een aantal algemene maatregelen van bestuur in verband met regels inzake bodemenergiesystemen en enkele technische verbeteringen”*, staatsblad 2013, 112
- [19] Waterschap Zuiderzeeland. Waterkader voor ruimtelijke plannen, juli 2013
- [20] Basisregistratie Ondergrond (BRO), Actualisatie bodemkaart, Herkartering van de bodem in Flevoland, F. Brouwer, F. de Vries en D.J.J. Walvoort, december 2018
- [21] SIKB (2018), *“Mechanisch boren”*, versie 4.0, Protocol 2101
- [22] SIKB (2019), *“Ontwerp, realisatie, beheer en onderhoud ondergronds deel van bodemenergiesystemen”*, versie 3.0, Protocol 11001
- [23] Technische Advies Commissie voor de waterkeringen 2003), *“Leidraad kunstwerken”*, https://puc.overheid.nl/rijkswaterstaat/doc/PUC_57188_31/

Adres

Princetonlaan 6
3584 CB Utrecht

Postadres

Postbus 80015
3508 TA Utrecht

Telefoon

088 866 42 56

E-mail

contact@warmingup.info

Website

www.warmingup.info