

Grondwater effecten van onderkeldering in Amsterdam

modelstudie vier deelgebieden

J. de Jong (Ingenieursbureau Amsterdam)
E. Bekking (Waternet)

Met bijdragen van:
D. de Vries (Ingenieursbureau Amsterdam)
J. Beemster (Waternet)
I. van Wielink (Waternet)

Inhoud

Inhoud	3
1 Aanleiding	6
2 De ondergrond van Amsterdam	8
2.1 Bodemopbouw	8
2.2 Waterhuishouding	9
2.3 Grondwateroverlast en -onderlast	10
2.4 Grondwaterzorgplicht	12
2.5 Rainproof	12
3 Onderzoeksgebieden	14
3.1 Keuze onderzoeksgebieden	14
3.2 Beschrijving onderzoeksgebieden	15
3.2.1 Slotervaart Zuid	15
3.2.2 Frederik Hendrikbuurt	16
3.2.3 Museumkwartier West	17
3.2.4 Middenmeer	18
4 Berekening en scenario's	19
4.1 Berekeningsmethode	19
4.2 Scenario's	20
5 Resultaten grondwatermodel	22
5.1 Modelresultaten	22
5.2 Toelichting op resultaten per wijk	23
6 Conclusies en aanbevelingen	28
7 Bijlage 1 modelparameters	29
8 Bijlage 2 Modelresultaten (uitgebreid)	31
8.1 Slotervaart Zuid	32
8.2 Frederik Hendrikbuurt	35
8.3 Museumkwartier West	43
8.4 Middenmeer	46
9 Bijlage 3 Kaart gebieden met hoog grondwater	51

Bijlage 1 Grondwatermodel uitgangspunten

Bijlage 2 Resultaten per wijk (uitgebreid)

Bijlage 3 Kaart gebieden met hoog grondwater

Samenvatting

Gemeente Amsterdam en Waternet hebben de afgelopen maanden onderzoek gedaan naar de grondwatereffecten van het aanleggen van kelders in de stad. Dit is één van de onderdelen uit de motie 447 van 16 mei 2018 van raadsleden Van Renssen (GroenLinks), De Heer (PvdA), Hammelburg (D66) en Flentge (SP) over de gevolgen van onderkeldering en andere vormen van verstening van binnentuinen in Amsterdam.

De resultaten van het onderzoek geven aan dat de cumulatieve effecten van kelderbouw in de stad op middellange termijn tot lange termijn tot ernstige (grond)wateroverlastsituaties kunnen leiden. Door de barrièrewerking van kelders kan de grondwaterstand bij bouwblokken stijgen en/of dalen. Overlast door te hoge of onderlast door te lage grondwaterstanden is dan een gevolg. Daarnaast kan hemelwater dat in gesloten woonblokken met kelders valt onvoldoende afstromen naar de omgeving. Door de grondwaterstijging die optreedt kan hier de bodem minder hemelwater bufferen, waardoor de klimaatbestendigheid afneemt. In de stad zijn de bovenstaande effecten per wijk nader te specificeren waarbij de meest negatieve effecten optreden in gesloten bouwblokken in de bestaande wijken binnen de ring A10.

De noodzaak voor het opstellen van een, zo generiek mogelijk, afwegingskader voor het aanleggen van kelders is dan ook een van de belangrijkste generieke aanbevelingen uit het onderzoek. Op grond van de Wet ruimtelijke ordening stelt de gemeente bestemmingsplannen en straks omgevingsplannen vast. Hierin kunnen regels voor het realiseren van kelders opgenomen worden. Meer buiten de ring A10 is er een keuze om wel/geen maatregelen voor te schrijven. Vanuit klimaatbestendigheid en vanuit het uitgangspunt om bij bouwaanvragen de grondwaterstanden niet negatief te beïnvloeden (stand-still) wordt aanbevolen ook deze gebieden mee te nemen in het afwegingskader.

Opgemerkt moet worden dat naast een generiek afwegingskader er in specifieke aandachtsgebieden toch specifieke advisering op vergunningsaanvragen nodig is en blijft, zoals in polderrioleringsgebieden.

De oplossing ligt in het grondwaterneutraal aanleggen van de kelders. Dit is het zodanig bouwen van een kelder waarbij het grondwater na de aanleg duurzaam en ongehinderd kan blijven stromen. Een eerste concrete maatregel in deze richting is het vrijhouden van 30 cm grond aan weerszijden van de kelders. Deze maatregel helpt op korte termijn om de grondwateruitwisseling in stand te houden. Op de langere termijn is het alleen treffen van deze maatregel onvoldoende om het totale effect goed te kunnen bestrijden.

Om helemaal grondwaterneutraal te bouwen zullen aanvullende of andere haalbare maatregelen verkend, gespecificeerd en uitgewerkt moeten worden. Voorgesteld wordt om de kennis hiervoor op te halen bij de bouwers en constructeurs van de kelders. Hiervoor wordt op korte termijn een kennissessie kelders en grondwater georganiseerd.

Daarnaast wordt geadviseerd om de bestaande ondergrondse constructies in de stad te inventariseren en vast te leggen. Deze informatie is in Amsterdam wel bekend in de vorm van afgegeven vergunningen maar het is nog niet procesmatig geborgd dat geografische informatie wordt ontsloten en/of systematisch wordt vastgelegd. Hiermee kan het ondergronds bouwen in openbare en particuliere ruimte beter gestuurd worden.

Tot slot verkent de gemeente momenteel de mogelijkheden om een hemelwaterverordening tot stand te brengen waarin het realiseren van waterberging op eigen terrein wordt verplicht. Hiermee kunnen nieuwe gebouwen en indien wenselijk ook aanbouwen, waarvoor een omgevingsvergunning nodig is, verplicht zijn om een waterbergende voorziening op te nemen.

1 Aanleiding

In Amsterdam neemt het aanleggen van kelders onder particuliere woningen de laatste jaren toe. Het aanleggen van een kelder zorgt voor meer woonoppervlakte waardoor gezinnen in de stad kunnen blijven wonen. Hierdoor wordt de beschikbare ruimte beter benut en dit sluit aan op het Amsterdamse beleid van verdichting. Het extra woonoppervlak zorgt ook voor een waardestijging. Met het aanleggen van een kelder wordt ook vaak de fundering vervangen, waardoor de woningvoorraad van Amsterdam weer stevig verankerd staat in de slappe ondergrond.

Maar het aanleggen van kelders zorgt ook voor overlast. Door de forse toename van het aantal bouwprojecten ontstaat er in de straten wijk overlast door de vele bouwactiviteiten. Deze overlast bestaat uit de aanwezigheid van bouwcontainers tot geluids- en stankoverlast. Daarnaast ervaren direct aangrenzende huiseigenaren soms schade aan hun woning door de bouwactiviteiten en ingrepen aan de gezamenlijke fundering. In de eindsituatie kan het grondwatersysteem hinder ondervinden door (gedeeltelijke) afsluiting van de ondergrond. Regenwater dat normaal in de tuin valt en afgevoerd wordt via het grondwater kan hierdoor moeilijker of niet meer weg, met overlast tot gevolg. Andersom kan het grondwatersysteem in de omgeving de binnentuinen in droge perioden moeilijker voeden, waardoor grondwaterstanden uitzakken waardoor schade kan optreden aan beplanting/bomen en funderingen. Dit wordt grondwater onderlast genoemd.

Op 18 mei 2018 heeft de gemeenteraad een motie aangenomen over het inzichtelijk maken van de gevolgen van onderkeldering en andere vormen van verstening in de binnentuinen van Amsterdam (motienummer 447). In de motie is toegezegd de volgende acties uit te voeren.

1. Nader onderzoek te laten doen naar de gevolgen van onderkelderingen in de gehele stad Amsterdam
2. Een afwegingskader op te stellen voor de behandeling van aanvragen voor omgevingsvergunningen voor onderkeldering van tuinen.
3. Voor zover mogelijk hierbij te kijken naar de samenhang met het oprukkend aantal uitbouwen van gevels in Amsterdam.

Voor het doen van nader onderzoek naar de gevolgen van onderkeldering op het grondwateraspect hebben gemeente Amsterdam Ingenieursbureau (IB) en Waternet (WN) een aantal grondwaterberekeningen uitgevoerd. De berekening geeft een beeld van de structurele stijging en daling van de grondwaterstand door het aanleggen van kelders onder bestaande woningen. Hierbij wordt uitgegaan van een conservatief scenario waarbij de kelders de gehele bodemlaag afsluiten waar grondwater doorheen stroomt.

De berekeningen zijn uitgevoerd voor vier wijken in Amsterdam. Deze wijken zijn gekozen op basis van een aantal representatieve kenmerken die in Amsterdam voorkomen. Op deze manier kan er voor andere wijken met ongeveer dezelfde karakteristieken een beeld worden verkregen over de omvang van de effecten op de waterhuishouding.

Bij de berekening zijn verschillende scenario's doorgerekend; huidige situatie, 50% kelders en 100% kelders. Om een relatie te leggen met de toename van uitbouwen wordt in de berekening ook aandacht gegeven aan het aanleggen van een kelder onder een potentiële uitbouw in de tuin. Ook is de eerder geformuleerde oplossingsrichting, het vrijhouden van 30 cm grond aan weerszijden van de nieuwe kelder, doorgerekend. Hiermee krijg je inzicht in de effectiviteit van deze ingreep en kun je beoordelen of dit mogelijk afdoende is als maatregel. Daarnaast wil Amsterdam toekomstbestendig bouwen. Eén aspect is dat de stad, conform het Deltaplan Ruimtelijke Adaptatie, beter bestand moet zijn tegen klimaatverandering. Indien de effecten bij een 100% situatie gering zijn wordt deze ook uitgezet tegen het klimaatscenario om te bepalen of de effecten in de toekomst beperkt blijven.

Doel

Met de resultaten van de berekening wordt de lange termijn omvang en het effect van het bouwen van kelders op de grondwaterhuishouding in Amsterdam inzichtelijk gemaakt. Met deze informatie kan afgewogen worden of het opstellen van een afwegingskader vanuit dit thema nuttig en nodig is en of extra maatregelen nodig zijn. Hierbij moet ook de afweging gemaakt of -, en wat voorgeschreven moet/kan worden en welke mogelijke beleidskaders hiervoor geschikt zijn (bijvoorbeeld Bestemmingsplan, verordening of Omgevingsvisie/-plan).

Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt ingegaan op de opbouw van de ondergrond van Amsterdam en de werking van het grondwatersysteem en hoe de verantwoordelijkheden van het grondwater zijn geregeld. Hoofdstuk 3 geeft een beschrijving en onderbouwing van de gebieden die in dit onderzoek zijn onderzocht. In Hoofdstuk 4 worden de uitgangspunten voor de grondwaterberekening toegelicht, inclusief de verschillende scenario's die doorgerekend zijn. In Hoofdstuk 5 volgen de resultaten van de grondwaterberekening en een uiteenzetting van de lokale grondwatereffecten van de onderkeldering in de onderzoeksgebieden. Het rapport wordt afgesloten met conclusies en aanbevelingen.

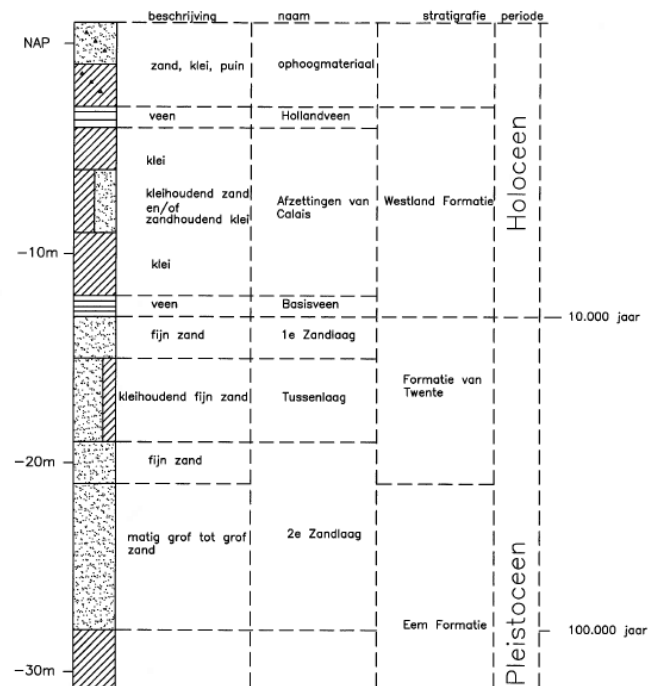
2 De ondergrond van Amsterdam

Om iets te kunnen zeggen over de effecten van kelders op de waterhuishouding is het belangrijk om te weten hoe het (grond)watersysteem in Amsterdam werkt. Belangrijke factoren bij de werking van het (grond)watersysteem is de bodemopbouw en de inrichting van het watersysteem. Bij de bodemopbouw gaat het over de diepere ondergrond en de bovengrond. Bij het watersysteem gaat het over de grachten en singels (oppervlaktewater) en het water in de bodem (grondwater).

2.1 Bodemopbouw

Geohydrologische opbouw

De globale indeling van de bodem onder Amsterdam staat hiernaast weergegeven. Het bestaat grofweg uit een variabele ophoog laag die kan bestaan uit zand, klei en puin, zie paragraaf 2.2.2., waar het ondiepe (freatische) grondwater stroomt. Daaronder ligt een veen/kleilaag op 4-8 meter diep. Deze laag laat maar een geringe hoeveelheid water door. Op circa 12 meter zit de eerste zandlaag. Dit is de zandlaag waar huizen meteen paalfundering meestal op rusten. Heipalen zijn in Amsterdam dus circa 10-15 meter lang. In deze eerste zandlaag stroomt het diepe grondwater, net zoals in de tweede zandlaag gebeurt. Eerste en tweede zandlaag samen worden het eerste watervoerend pakket genoemd.



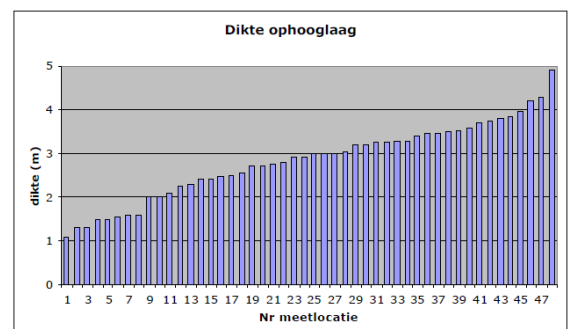
Figuur 1 Globale bodemopbouw Amsterdam

Ophoog laag

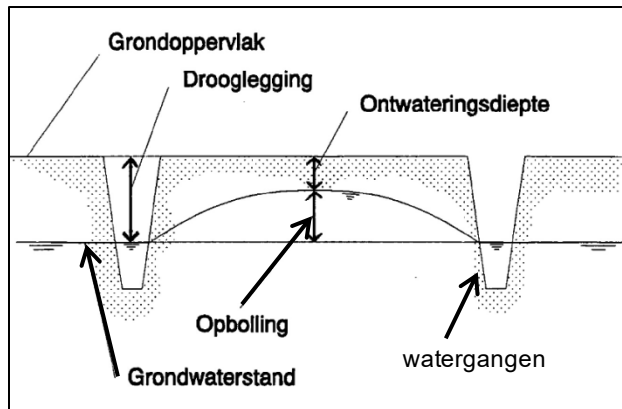
De ophoog laag is een belangrijke laag in Amsterdam. Dit is een laag grond die opgebracht is om het gebied bouwrijp te maken. Hierop zijn de straten en huizen aangelegd en zijn de grachten en singels gegraven.

De ophoog laag was nodig omdat de originele bodem uit slap veen en klei bestond. In Amsterdam vind je de relatief laag gelegen en slecht draagkrachtige grond nog terug in de verschillende stadsparken zoals het Vondelpark, Sarphatipark en het Oosterpark.

De dikte en de samenstelling van het ophoogmateriaal is per locatie verschillend. Dit is afhankelijk van welk materiaal er bij het bouwrijp maken aanwezig was. Idealiter bestond het ophoogmateriaal uit zand, dat goed doorlatend is voor het grondwater, maar er kan ook sprake zijn van een mengsel van verschillende materialen. Ook de dikte loopt flink uiteen. Als voorbeeld staat in de afbeelding hiernaast de dikte van de ophoog laag in de Jordaan weergegeven. De dikte varieert tussen 1 en 5 meter. In Amsterdam komen ook plaatsen voor waar de ophoog laag kleiner is dan 1 meter en incidenteel groter dan 5 meter.



Figuur 2 Jordaan voorbeeld dikte ophoog laag (m)



Manier van ophogen

In Amsterdam zijn verschillende wijken ook op verschillende manieren opgehoogd. Onderscheid wordt gemaakt tussen integraal ophogen of gedeeltelijk ophogen. Bij integraal ophogen wordt er ophoogmateriaal over de gehele te ontwikkelen wijk verspreid. Overal is de ophoog laag aanwezig met wellicht variatie in dikte en samenstelling. Delen van het centrum van Amsterdam en de wijken in omliggende polders (Nieuw-West en Zuidoost) zijn zo opgehoogd.

Figuur 3 Enkele begrippen grondwater

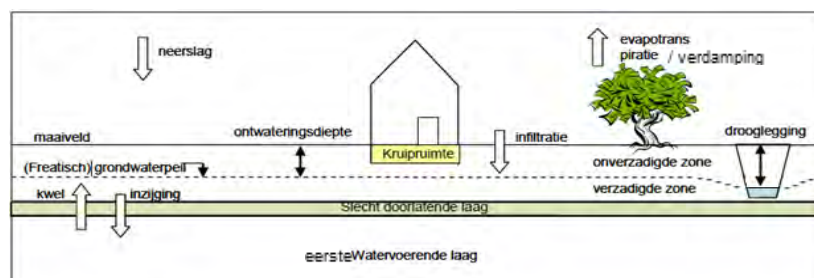
Wijken ontwikkeld tussen 1920-1940 zijn niet allemaal integraal opgehoogd. Dit zijn in Amsterdam de wijken binnen de ring maar buiten het centrum. Hier komen woonblokken voor waar alleen de openbare ruimte opgehoogd is en de tuinen aan de achterzijde niet of zeer gering. De huizen hebben hier vaak een souterrain en de tuinen zijn vaak drassig, door de lage ligging.

2.2 Waterhuishouding

In de ophoog laag zijn ook de grachten en singels van de stad gegraven. In Amsterdam hebben de grachten en singels van het boezemsysteem (Stadsboezem Amsterdam en Amstellands Boezem) een vast waterpeil van NAP – 0,40 m. In de omliggende poldergebieden zijn de peilen anders. Het Stadsdeel Nieuw-West ligt voor een groot deel in de Sloterbinnenpolder. In deze polder hebben de watergangen een vast waterpeil van NAP – 2,10 m. De Watergraafsmeer is een diepe polder met waterpeilen variërend tussen NAP -5,50 m tot plaatselijk NAP -6,20 m.

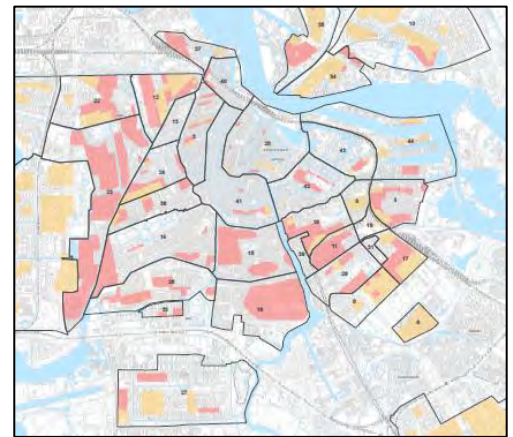
Grachten, singels en sloten worden aangelegd om de ophoog laag te ontwateren. Hierdoor stroomt de neerslag, die in een gebied valt, ondergronds via het grondwater af naar de grachten en singels. De dikte, samenstelling en de integraliteit van de ophoging bepaalt de effectiviteit van deze afwatering. Is een dikke goed doorlatende ophoog laag van zand aanwezig, dan stroomt het regenwater makkelijk weg en is de opbolling van het grondwater beperkt. Bij een dunnere en slechter doorlatende ophoog laag is de ontwatering lastiger en trager en kunnen er hogere grondwaterstanden voorkomen.

De grondwaterstand wordt ook voor een deel beïnvloed door toestroming of wegzijging van grondwater uit of naar dieper gelegen zandlagen. In diepere polders stroomt er vaak water vanuit de ondergrond toe: dit wordt kwel genoemd. In het grootste deel van Amsterdam vindt er echter een geringe hoeveelheid wegzijging plaats. Hierbij zakt het grondwater langzaam weg richting diepere grondlagen, zie onderstaand plaatje.



Figuur 4 Enkele grondwaterbegrippen

De grondwaterstanden worden gemeten in peilbuizen/ peilfilters. In de hele stad staan circa 2.500 peilfilters die 6 tot 7 keer per jaar worden gemeten. De gebieden waar hoge grondwaterstanden voorkomen staan globaal in figuur 5 weergegeven. De kaart is ook in groter formaat in bijlage 3 toegevoegd. Zowel de rode als gele vlekken geven globaal de gebieden aan waar de ontwatering (grondwaterstand ten opzichte van maaiveldhoogte) kleiner dan 0,90 m is. Een ontwatering van kleiner dan 0,90 m kan in de openbare ruimte en aangrenzende bebouwing zorgen voor overlast. Geel zijn globaal de gebieden waar door het meeleggen van drainage de ontwatering verbeterd kan worden. In de rode gebieden is extra ontwatering lastig door de indicatieve hoogteligging van de houten fundering*: meer draineren zou hier mogelijk kunnen leiden tot droogstand van houten funderingen. Nadere analyse van grondwatergegevens en funderingen zal hier moeten plaatsvinden.



Figuur 5 gebieden met hoog grondwater

*Nu bepaald op basis van een globale eenmalige inventarisatie historische bouwarchief met wisselende betrouwbaarheid

2.3 Grondwateroverlast en -onderlast

Een (te) hoge grondwaterstand kan leiden tot grondwateroverlast, een (te) lage grondwaterstand tot grondwateronderlast. Hieronder wordt toegelicht waaruit overlast en onderlast kan bestaan en hoe een grondwaterstandverandering het risico hierop kan vergroten.

Overlast uit zich vooral in:

- Grondwater in kruipruimten, eventueel leidend tot optrekkend vocht in de woning of muggenoverlast
- Grondwater in (lekke) kelders en souterrains. Deze bouwwerken moeten waterdicht zijn, maar zijn dat in praktijk niet altijd. Scheuren boven de grondwaterspiegel die nu niet lekken, zouden bij een grondwaterstandstijging wel kunnen gaan lekken.
- Natte tuinen.
- Verminderde bomengroei. Bomen wortelen alleen boven de grondwaterspiegel. Bij een grondwaterstandstijging wordt de wortelruimte kleiner en kunnen bestaande wortels onder water komen en afsterven. In het uiterste geval sterft een boom af.
- Opvriezen van wegen. Hiermee wordt bedoeld dat de grondwaterspiegel stijgt



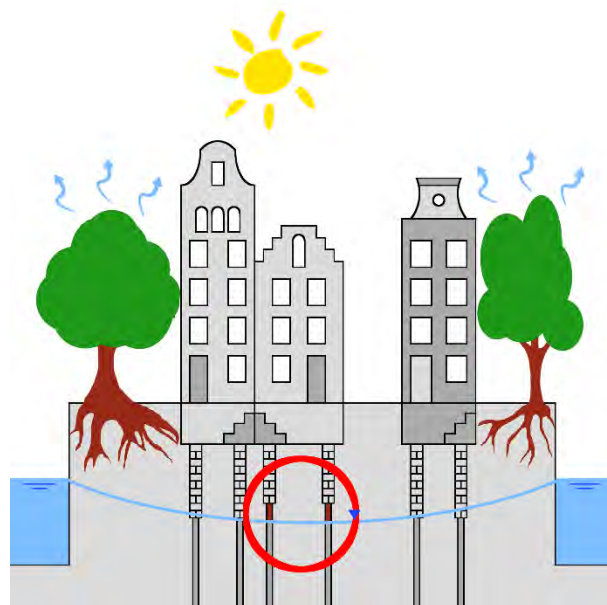
Figuur 6 Voorbeeld overlast van grondwater bron: Waternet, Pytrik Graafstra

tot boven de diepte waar de vorst kan indringen (circa 0,7 m onder maaiveld). Het grondwater kan in de winter bevriezen. Hierdoor kunnen wegen scheuren en is er meer wegonderhoud nodig.

- Grondwater op maaiveld. Dit kan ontstaan wanneer de grondwaterstandstijging zeer fors is.

Onderlast uit zich vooral in:

- Droogvallende houten funderingen. Deze dienen altijd onder het grondwater te blijven. Wanneer de funderingen periodiek droogvallen, begint een proces van aantasting van de houten palen (paalrot). In het algemeen geldt: hoe langer de cumulatieve periode van droogstand, des te groter het risico op aantasting. Het risico is sterk afhankelijk van het gebruikte houttype, herkomst en transportwijze. In Amsterdam is dit risico zeer reëel.
- Verdroging van groen en bomen. Planten, heesters en bomen zijn kwetsbaar voor verdroging. Maar ook geïsoleerde vijvers en paddenpoelen kunnen gedeeltelijk droogvallen.
- Droogval van archeologische objecten. Archeologische waardevolle objecten worden onder het grondwater goed bewaard, maar wanneer ze boven de grondwaterspiegel komen, kunnen beschadigingen ontstaan.
- Verhoogde zetting van de ondergrond. Kans op leidingbreuk en onregelmatige zetting. Toename in hoogteverschil tussen openbare ruimte en particuliere ruimte. Openbare ruimte wordt opgehoogd, particuliere ruimte niet/minder



Figuur 7 voorbeeld grondwateronderlast bron: Waternet, Pytrik Graafstra

De grondwaterstand fluctueert door het jaar heen. In het algemeen zijn de grondwaterstanden het hoogst in de winter, het laagst in de zomer. Deze momenten zijn bepalend voor overlast en onderlast. De langjarige grondwatermetingen in Amsterdam geven aan dat de hoogste/laagste grondwaterstanden vaak 0,1 à 0,4 m boven/onder de gemiddelde grondwaterstand liggen. Daarom worden in dit onderzoek niet alleen de grondwatereffecten berekend in een gemiddelde situatie, maar ook in een erg natte c.q. droge situatie. De doorgerekende situaties komen grofweg één maal in de anderhalf á twee jaar voor.

Voor nieuwbouw geldt dat sprake is van grondwateroverlast als de ontwateringsdiepte (de afstand tussen het maaiveld en de hoogste grondwaterstand) met een herhalingskans van 1 keer per 2 jaar gedurende maximaal 5 aaneengesloten dagen overschreden mag worden. Voor bebouwing met kruipruimte is de ontwateringsdiepte 0,9m en voor bebouwing zonder kruipruimte is dat 0,5m. Voor bestaande bouw zijn geen normen opgesteld maar wordt als richtlijn gebruikt dat de gemiddeld hoogste grondwaterstand bij voorkeur 0,9m (bebouwing met kruipruimte) dan wel 0,5m (bebouwing zonder kruipruimte) of meer onder maaiveld staat. Circa 5% van de tijd is de grondwaterstand gelijk aan of hoger dan de gemiddeld hoogste grondwaterstand.

De meest kwetsbare objecten voor grondwateronderlast zijn over het algemeen woningen met houten funderingen. Er is sprake van grondwateronderlast als de grondwaterstand lager is dan de bovenkant van de houten fundering. Omdat de werkelijke houthoogte vaak verschilt van de houthoogte volgens oude bouwtekeningen, wordt bij voorkeur nog een grondwaterstand marge van 40 cm boven de houten fundering gehanteerd.

2.4 Grondwaterzorgplicht

Gemeenten hebben op grond van de Waterwet een grondwaterzorgplicht.

Op grond van deze zorgplicht dienen gemeenten zich zoveel mogelijk in te spannen om in openbaar gemeentelijk gebied structureel nadelige gevolgen van de grondwaterstand voor de aan de grond gegeven bestemming zoveel mogelijk te voorkomen of te beperken. Bij het maken van het bestemmingsplan worden de problemen onderkend op basis van de 'watertoets' (ruimtelijke ordening) en in de inrichtingsfase worden de maatregelen gerealiseerd door middel van grondexploitatie en bouwvoorschriften (omgevingsvergunning voor bouwen).

Mochten zich daarna nog problemen voordoen in verband met de grondwaterstand dan dient de gemeente, binnen de grenzen van doelmatigheid, maatregelen te treffen om deze gevolgen zoveel mogelijk te voorkomen of te beperken.

In Amsterdam voert Waternet de grondwaterzorgtaak uit in opdracht van de gemeente Amsterdam. In het Gemeentelijk Rioleringsplan (GRP) staan de doelen voor de planperiode 2016-2021 verder uitgewerkt. Het streven is een duurzaam functionerend grondwatersysteem, waarbij bestaande problemen van te hoge of te lage grondwaterstanden worden verminderd en nieuwe problemen zoveel mogelijk worden voorkomen. Daarbij wordt ook de invloed van klimaatverandering meegenomen. In een gebiedsgerichte aanpak worden de opgaven en knelpunten voor stedelijk afvalwater, hemelwater, grondwater en de ruimtelijke inrichting in samenhang bekeken en – zo mogelijk – opgelost. Het onderdeel hemelwater van het GRP vermeldt dat hemelwater bij voorkeur in de bodem wordt geïnfiltreerd om de sponswerking van de stad te benutten, waaruit een directe link met grondwater blijkt.

Op basis van dezelfde Waterwet zijn particuliere woningeigenaren in principe zelf verantwoordelijk voor water op de eigen grond en onder het huis. De woningeigenaar moet dus zelf maatregelen nemen tegen eventuele grondwaterover- of grondwateronderlast.

Beoordelen bouwaanvragen

Waternet verzorgt vanuit de gemeentelijke grondwaterzorgtaak een advies op basis van de omgevingsvergunning. Het Stadsdeel is hiervoor de regievoerder.

Waternet (waterschap AGV) is ook in beeld als het gaat om het onttrekken en infiltreren van grondwater tijdens de bouwfase. Op grond van de Waterwet en de eigen verordening (Keur AGV) van het waterschap worden aan de bouwwerkzaamheden extra voorschriften verbonden. Dit kan via een maatwerkbesluit of een watervergunning.

Bij een beoordeling van individuele bouwaanvragen, zijn de grondwatereffecten van individuele kelders vaak klein. Bij aanleg van meer kelders komt er echter een omslagpunt, waarop het cumulatieve effect van alle kelders te groot wordt en er problemen kunnen ontstaan. Bij advisering geldt als uitgangspunt dat de constructie de huidige grondwatersituatie niet mag verslechteren (stand-still principe). Daarom wordt in de meeste gebieden geadviseerd om bij kelderbouw grondverbetering toe te passen waarbij de grondverbetering aan voor- en achtergevel / straat- en tuinzijde in goed contact staat met het maaiveld en er geen gebruik gemaakt wordt van verloren damwanden, zodat grondwater uit de binnentuinen onder de woning door kan stromen.

2.5 Rainproof

Grondwater heeft een directe link met hemelwater en bodemdaling. Door de klimaatverandering valt er steeds vaker in korte tijd veel neerslag. De bodem kan deze hoeveelheden maar moeilijk verwerken. Als er sprake is van een hoge grondwaterstand dan is de hoeveelheid berging die deze grond nog heeft minimaal. Als de bodem wordt verhard is er nauwelijks bodemberging en stroomt het hemelwater

versneld af, en belast hiermee ook de riolering en het oppervlaktewater. De laatste tijd treden veel overlastsituaties op waarvan het lastig is om de oorzaak te herleiden. Vaak is er sprake van een combinatie van grondwater en/of hemelwateroverlast en een laag maaiveld.

Waternet voert samen met de gemeente Amsterdam het programma Rainproof uit. Het programma is erop gericht om schades aan gebouwen en infrastructuur door hemelwater te voorkomen. In de knelpuntenkaart Rainproof is inzichtelijk gemaakt waar in Amsterdam de grootste hemelwaterknelpunten zijn. Het programma bestaat uit het nemen van maatregelen in de openbare ruimte om meer water te bergen maar ook om de bewoners van Amsterdam bewust te maken van de nut, noodzaak en de uitdaging om op eigen terrein je woning, dak en tuin 'Rainproof' in te richten.

De gemeente verkent momenteel de mogelijkheden om een hemelwaterverordening tot stand te brengen waarin het realiseren van waterberging op eigen terrein wordt verplicht. Hiermee kunnen nieuwe gebouwen en indien wenselijk ook aanbouwen, waarvoor een omgevingsvergunning nodig is, verplicht zijn om een waterbergende voorziening op te nemen.

3 Onderzoeksgebieden

Het vorige hoofdstuk omschreef de complexiteit van de ondergrond in Amsterdam en de factoren die meespelen bij het onderzoek naar de grondwatereffecten van het aanleggen van kelders in de stad. Dit hoofdstuk beschrijft en onderbouwt de gebieden die nader onderzocht zijn.

3.1 Keuze onderzoeksgebieden

Voor vier gebieden in Amsterdam is een grondwatermodel gemaakt of is een bestaand model gebruikt om de effecten van het bouwen van kelders op de waterhuishouding door te rekenen. Deze gebieden zijn gekozen op basis van een aantal gebiedskenmerken die representatief zijn voor Amsterdam.

Kenmerken waarvoor gekozen is zijn:

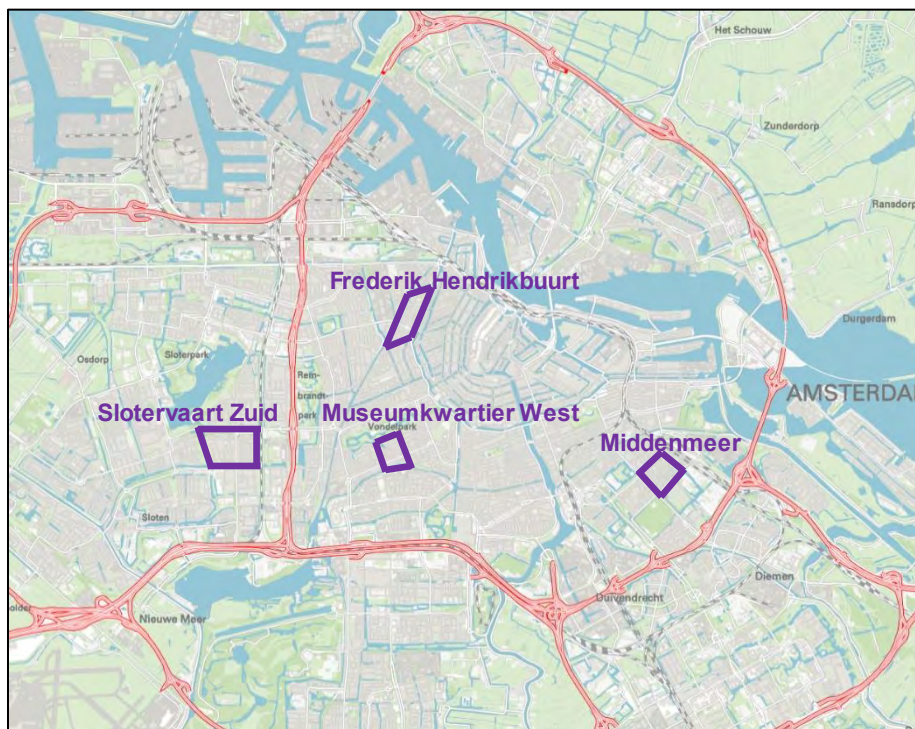
- Afstand tot watergangen (dichtbij en verder weg)
- Bebouwingsdichtheid (hoog: veel versterking; laag: relatief veel groengebieden en tuinen)
- Integraal opgehoogd (wel/niet)
- Kwel/inzijing (opwaartse druk van diep grondwater of wegzijging van water naar het diepere grondwater)
- Stedenbouwkundige opzet (wel/geen gesloten bouwblokken).

Gebied/ wijk	Omschrijving	Afstand tot watergangen (m)	Dichtheid bebouwing	Wel/ Geen gesloten bouwblokken	Integraal opgehoogd	Kwel/ Inzijing	Risicogebied lage grondwaterstanden	Grondwaterprobleemgebied (structureel te hoog grondwater)
West: Frederik Hendrik buurt	Vooroorlogse buurt in Stadsboezem gebied	350	Hoog	Zowel wel als geen	Ja	Inzijing	+	+/-
Oud-Zuid: Museumkwartier-West	Overgangse-bied tussen twee watersystemen met verschillend peil	400-700	Hoog	Wel	Ja	Inzijing	+	+/-
Nieuw -West: Slotervaart Zuid	Naoorlogse wijk in een ondiepe polder	700-950	Laag	Geen	Ja	Inzijing	-	-
Watergraafsmeer/ Middenmeer	Naoorlogse wijk in een diepe polder	550	Laag	Zowel wel als geen	Ja	Kwel	-	+

Tabel 1 Overzicht van onderzoeksgebieden met bijhorende kenmerken van het gebied

De locatie van de vier onderzochte wijken binnen Amsterdam is weergegeven in figuur 2 op de volgende bladzijde.

Met de resultaten kan er een globale indicatie gegeven worden voor andere wijken in Amsterdam met ongeveer dezelfde karakteristieken. Omdat de dikte en doorlatendheid van de ophoog laag een belangrijke rol speelt zullen de resultaten van deze modelberekeningen nooit één op één overgenomen kunnen worden voor andere wijken. Wel kunnen ze een indicatie geven.



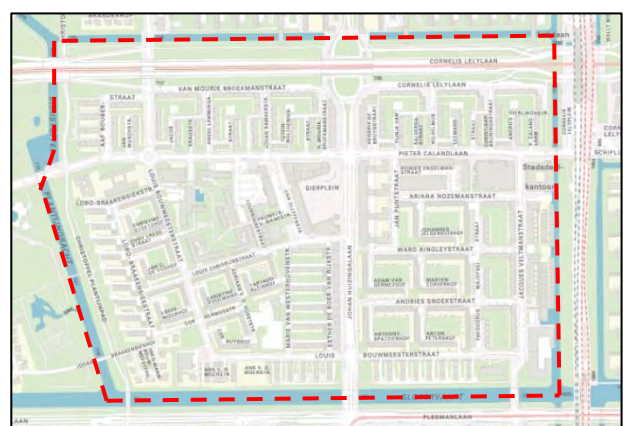
Figuur 8 Locaties van de vier onderzochte wijken in Amsterdam

3.2 Beschrijving onderzoeksgebieden

3.2.1 Slotervaart Zuid

Het onderzochte gebied is zichtbaar in Figuur 9 en bevat de Johan Huizingalaan en Pieter Calandlaan. Het gebied wordt aan vier zijden omringd door watergangen met polderpeil NAP -2,10 m. Het gebied is in de jaren 1953-1954 opgehoogd met zand uit de Sloterplas. Dit zand is in het algemeen vrij goed doorlatend en is in een vrij dikke laag (tot enkele meters onder maaiveld) aanwezig. De wijk is integraal opgehoogd, waarbij zowel de openbare ruimte als de tuinen zijn opgehoogd. De bodemopbouw is relatief gunstig voor de afstroming van grondwater.

Minder gunstig is de afstand tussen de watergangen, die met 700 tot 950 m veel groter dan gangbaar is binnen de ring A10. Hierdoor moet het grondwater een vrij grote afstand afleggen naar de watergangen en kan een grote opbolling van het grondwater ontstaan. Er is geen drainage bekend in de wijk. Het gebied is vrij groen ingericht als onderdeel van westelijke tuinsteden, waardoor relatief veel neerslag infiltreert naar het grondwater. De blokken zijn meestal halfopen, met veel openbare “binnen” tuinen. Een geringe hoeveelheid grondwater infiltreert naar het eerste watervoerend pakket (inzijging).



Figuur 9 Slotervaart Zuid

In de huidige situatie is het maaiveld circa NAP -0,7 à -0,9 m. De gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) verschilt per locatie en is circa NAP -1,8 m. Derhalve is de ontwatering (afstand tussen maaiveld en grondwaterstand) in een natte situatie ongeveer 1,0 m. Dit is ruim voldoende voor bomen, wegen en woningen met kruipruimten. Het risico op grondwateroverlast in deze wijk is vrij klein. Er is nog een

marge aanwezig van circa 0,1 à 0,2 m voordat er in een natte periode risico ontstaat op grondwateroverlast. In deze wijk zijn van de afgelopen 5 jaar geen meldingen van overlast bekend. In de directe omgeving van deze wijk zijn er locaties waar de ontwatering in een natte situatie kleiner is. In deze wijken is wél sprake is van grondwateroverlast. De woningen in de wijk zijn gefundeerd op houten paalfunderingen, maar met betonnen opzetters. Het hoogst voorkomende funderingshout bevindt zich overwegend ruim 2 meter lager dan de gemiddeld laagste grondwaterstand. Vanwege deze zeer ruime marge is er vrijwel geen risico op grondwateronderlast.

3.2.2 Frederik Hendriksbuurt

Het onderzochte gebied is zichtbaar in Figuur 10. De Frederik Hendriksbuurt is opgehoogd in de jaren 1930 met circa 2 tot 3 m redelijk doorlatend ophoogzand. De meeste woningen stammen uit dezelfde periode; een aantal bouwblokken zijn van de jaren 1980 tot nu. De omringende watergangen hebben een streefpeil van NAP -0,40 m (Stadsboezem). De afstand tussen de westelijke en oostelijke watergang is met circa 350 m relatief klein. Het grondwater wordt lokaal kunstmatig verlaagd door drainage in een aantal straten. De meeste bouwblokken zijn gesloten, met tuinen in het midden. De stijghoogte in het eerste watervoerend pakket is circa NAP -2,1 m, zodat er een situatie van inzigging is van het bovenste watervoerende (freatische) pakket naar het dieper gelegen eerste watervoerend pakket.

De maaiveldhoogte varieert tussen NAP +0,4 à +0,6 m, terwijl de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) circa NAP -0,1 à -0,2 m is. Hierdoor is er sprake van een vrij geringe ontwatering van circa 0,6 m onder maaiveld. De ontwatering voor bomen en wegen is kleiner dan gewenst, tegelijk zijn er geen acute problemen. De afgelopen 5 jaar zijn er weinig tot geen meldingen over (grond)wateroverlast bekend. Bij een stijging van het grondwater, is het risico op overlast groot. Tegelijk is de wijk deels afhankelijk van drainages; bij teruglopende werking kan overlast ontstaan.

De houten paalkoppen liggen grotendeels op circa NAP -0,8 m maar er is een aantal bouwblokken waar het hout waarschijnlijk hoger ligt. De gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) is circa NAP -0,6 m. In droge perioden kan mogelijk een deel van de hoger gelegen funderingen droogvallen. Een verlaging van de gemiddeld laagste grondwaterstand verhoogt direct het risico op grondwateronderlast. De Frederik Hendriksbuurt is een kwetsbaar gebied dat gevoelig is voor grondwateroverlasten –onderlast.

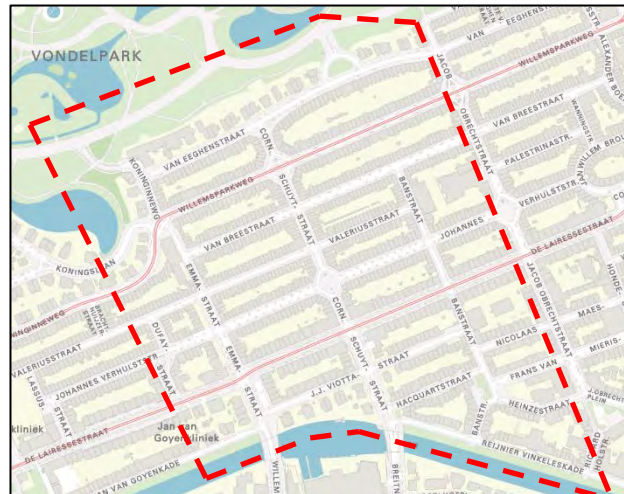


Figuur 10 Frederik Hendriksbuurt

3.2.3

Museumkwartier West

Het onderzochte gebied omvat de Cornelis Schuytstraat met de bouwblokken aan weerszijden ervan. Het onderzochte gebied is zichtbaar in Figuur 11. Het Museumkwartier West is opgehoogd in de periode 1898-1907, het deel ten zuiden van de Viottastraat in 1916-1921. Er is circa 2 tot 3 m redelijk doorlatend ophoogzand aanwezig. De meeste woningen stammen uit de ophoogperiode; met gesloten bouwblokken. De binnentuin binnen de bouwblokken zijn vaak minder dik opgehoogd, waardoor ze iets lager liggen dan de openbare weg.

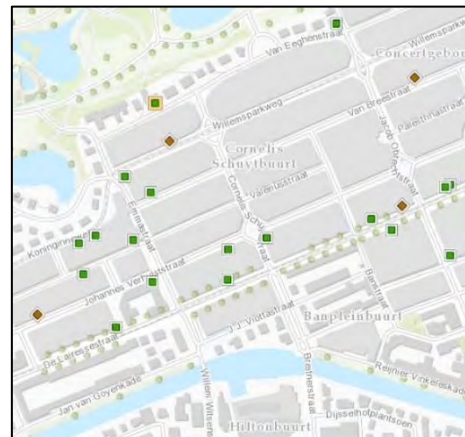


Figuur 11 Museumkwartier West

De watergang ten zuiden van het gebied (Noorder Amstelkanaal) heeft een streefpeil van NAP -0,40 m, terwijl de watergangen en vijvers aan de noordzijde in het Vondelpark een peil hebben van NAP -2,45 m. Dit is een overgangsgebied, waar het freatische grondwater van een hoog oppervlaktewaterpeil aan de zuidzijde toestroomt naar het Vondelpark, waar een lager peil wordt gehanteerd. De stroming is noordelijk gericht. De afstand tussen de noordelijke en zuidelijke watergang is 600 à 800 m.

Het grondwater wordt lokaal kunstmatig beheerst door infiltratie- en drainagemiddelen.

Er is een situatie van wegzijging. De maaiveldhoogte daalt geleidelijk vanaf circa NAP +0,5 m aan de Reijnier Vinkeleskade tot NAP +0,0 m in de Van Eeghenstraat, terwijl de gemiddelde grondwaterstand daalt van circa NAP -0,4 m tot NAP -1,7 m op hetzelfde tracé. De gemiddelde ontwatering varieert tussen 0,4 en 2,0 m onder maaiveld. In de periode 2012 – heden zijn er een aantal meldingen van grondwateroverlast aanwezig, zie figuur 12. Deze meldingen gaan vaak over grondwater in de kelder of souterrain. Bij een stijging van het grondwater of afname van de werking van drainages, neemt het risico op grondwateroverlast toe.



Figuur 12 meldingen (grond)wateroverlast 2012-2018

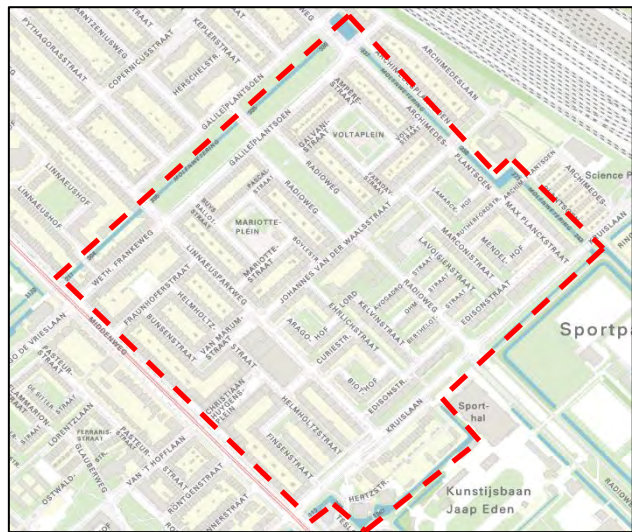
De hoogte van de houten paalkoppen verloopt van circa NAP -0,6 m aan de JJ Viottastraat tot circa NAP -2,1 m aan de Van Eeghenstraat. In droge perioden kan mogelijk een deel van de hoger gelegen funderingen droogvallen. Een verlaging van de gemiddeld laagste grondwaterstand verhoogt het risico op grondwateronderlast. Het Museumkwartier West is een kwetsbaar gebied voor grondwateronderlast. Wat betreft grondwateroverlast is de marge klein, waarbij stijgingen ongewenst zijn voor met name woningen en de wijk ook deels afhankelijk is van drainages.

3.2.4

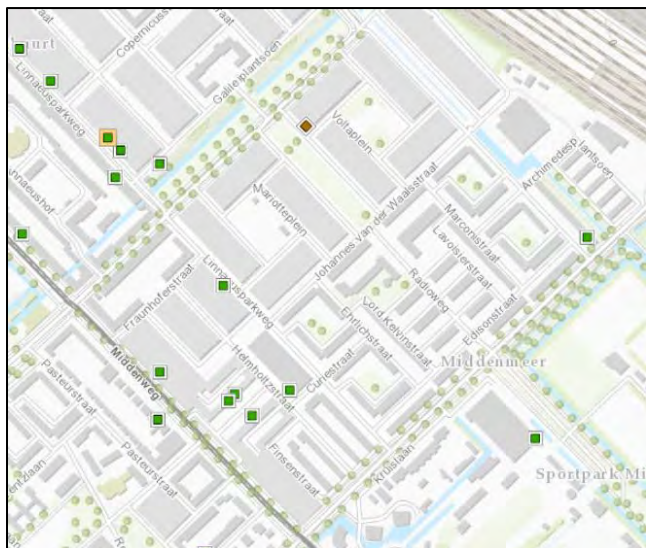
Middenmeer

Het onderzochte gebied beslaat de buurt rondom de Johannes van der Waalsstraat, onderdeel van wijk Middenmeer in de Watergraafsmeerpolder. Het onderzochte gebied is zichtbaar in Figuur 13. Het noordelijk deel is opgehoogd in 1921, het zuidelijk deel is deels uit 1939 en deels uit de periode 1951-1958. De woningen zijn grotendeels vooroorlogs (gefundeerd op houten palen) en in het zuidelijke deel is een aantal lage jaren 1950 flats aanwezig (gefundeerd op beton). Er is circa 2 tot 3 m redelijk doorlatend ophoogzand aanwezig. De oudbouw zijn vaak gesloten bouwblokken. De watergangen hebben een streefpeil van NAP -5,5 m, sportpark Middenmeer een zomer-/winterpeil van NAP -5,80/-5,95 m. De afstand tussen de noordelijke en zuidelijke watergang is circa 550 m. Het grondwater wordt lokaal kunstmatig verlaagd door met name riolen die in de loop der tijd zijn gaan lekken. De stijghoogte in het eerste watervoerend pakket is circa NAP -3,5 m, zodat er een situatie is met kwel, van het eerste watervoerend pakket naar het freatische pakket. De maaiveldhoogte varieert tussen circa NAP -3,3 en NAP -3,8 m. De gemiddeld hoogste grondwaterstand is in het gros van de wijk circa NAP -4,2 à -4,8 m. Op een aantal plaatsen is de ontwatering in een natte periode kleiner dan 0,5 m. In de periode 2012 tot heden zijn er ook lokaal meldingen van (grond)wateroverlast. Het gaat hierbij voornamelijk om meldingen over (grond)water in de kelder of souterrain of (grond)water in de tuin. Het gebied is deels afhankelijk van de drainerende elementen. Bij een stijging van het grondwater of afname van de werking van drainerende elementen, neemt het risico op grondwateroverlast toe.

De houten paalkoppen liggen grotendeels op circa NAP -7 m maar er kunnen afwijkende panden zijn. De gemiddeld laagste grondwaterstand ligt op circa NAP -4,7 à -5,2 m. Vanwege de continue kwelstroom vanuit de diepere ondergrond, zakt het grondwater niet ver uit en blijft in de regel boven het polderpeil. Er is op dit moment geen problematiek van grondwateronderlast bekend. Middenmeer is een kwetsbaar gebied voor grondwateroverlast. Wat betreft grondwateronderlast is het risico vrij klein, maar wel een aandachtspunt omdat de meeste woningen houten palen hebben.



Figuur 13 Middenmeer



Figuur 14 Meldingen (grond)wateroverlast 2012-heden

4 Berekening en scenario's

Voor elk van de vier wijken is een grondwatermodel opgesteld. Een grondwaterberekening gaat ervan uit dat de omliggende watergangen een vast waterpeil hebben en daarmee vaste punten zijn voor het freatische (ondiepe) grondwatersysteem. De grondwaterberekening rekent de opbolling van het grondwater tussen twee watergangen uit (zie figuur) in een aantal scenario's. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de randvoorwaarden van de grondwaterberekening en de scenario's die doorgerekend zijn.

Zoals eerder is aangegeven treden problemen bij kelderbouw vaak op door een cumulatief effect. Eén kelder is vaak geen probleem maar naarmate er een meer aaneengesloten barrière ontstaat kunnen problemen gaan optreden. In de modelberekening is uitgegaan van een huidig scenario. In dit scenario gaan we wel uit van de aanwezigheid van kelders met een zodanige hoeveelheid en verdeling dat deze nog geen probleem vormen voor de lokale afwatering.

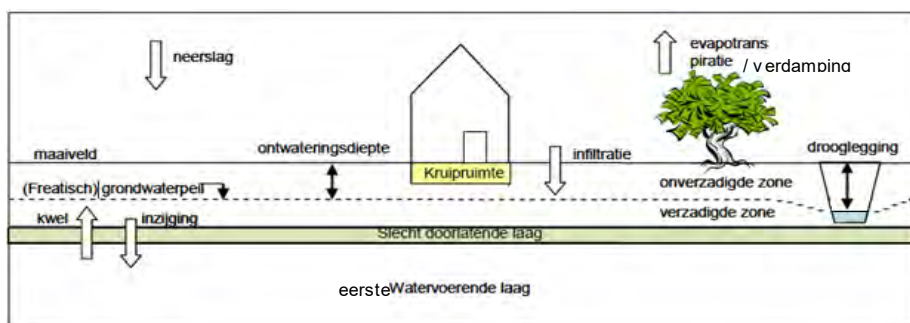
Waar bestaande ondergrondse constructies in de stad al aanwezig zijn, is niet op kaart bekend. De informatie is in Amsterdam wel bekend in de vorm van afgegeven vergunningen maar nog niet procesmatig geborgd waarbij de geografische informatie en details van de constructie (breedte, diepte) is ontsloten en/of systematisch wordt vastgelegd. Het advies is om de bestaande ondergrondse constructies te inventariseren en vervolgens de toekomstige constructies bij te houden, om het ondergronds bouwen beter te kunnen sturen en gericht te kunnen adviseren. Dit is nog niet belegd bij een specifieke afdeling binnen de gemeente Amsterdam of Waternet.

In 2017 hebben het stadsdeel West en Waternet onderzoek laten doen naar het voorkomen van nadelige hydrologische effecten van onderkeldering in Amsterdam West. Hieruit is naar voren gekomen dat een ruimtereservering voor grondverbetering aan beide zijden van de kelderwand over een afstand van 30 cm, gerekend vanaf de buitenzijde van de ondergrondse bouwlaag, en over een diepte van ten minste onderzijde kelder tot grondwaterstand, ontoelaatbare nadelige effecten worden voorkomen.

Dit principe, met 30 cm grond, hebben we in alle gebieden doorgerekend om te bepalen of dit ook het gewenste effect heeft.

4.1 Berekeningsmethode

De modellen zijn eerst gekalibreerd op de meetreeks 2000-2010. De kalibratie heeft als doel dat de gemodelleerde grondwaterstanden zoveel mogelijk de gemeten grondwaterstanden (in peilbuizen) benaderen. Daarbij is per locatie het type oppervlak bepaald (verhard/daken, open verharding en onverhard) waarna de infiltratie/grondwateraanvulling is berekend. De grondwateraanvulling is het deel van de neerslag dat netto het grondwater bereikt. Bij een plantsoen is de grondwateraanvulling hoger dan bij een open verharding, waar nauwelijks hemelwater kan infiltreren in de bodem. Anderzijds is er in een plantsoen meer verdamping dan onder verhardingen.



Figuur 15 Basisbegrippen grondwatermodel

Eerst is de huidige situatie berekend. Per wijk verschilt de mate waarin er nu grondwateroverlast en – onderlast is.

Vervolgens worden diverse kelders scenario's doorerekend (zie Tabel 2). Bij elk scenario wordt onderzocht, hoeveel het grondwater stijgt of daalt ten opzichte van de huidige situatie. Dit noemen we het grondwatereffect. Als er nu al sprake is van te hoog of te laag grondwater, is de wijk al zeer gevoelig voor kleine grondwaterveranderingen. Heeft de wijk nu geen grondwaterproblemen, dan is een beperkte grondwaterstijging/-daling niet direct schadelijk, maar resteert er minder buffer tegen klimaatveranderingen.

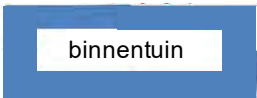
Het grondwatereffect wordt onderzocht voor een gemiddelde, een droge en een natte situatie. Dit is als volgt aangehouden:

- Gemiddelde situatie: gemiddelde grondwaterstand in de periode 2000-2010.
- Natte situatie: de hoogst berekende grondwaterstand in de periode 2000-2010 (namelijk februari 2001).
- Droge situatie: de laagst berekende grondwaterstand in de periode 2000-2010 (namelijk augustus 2003).
- De natte en droge situatie zijn naar verwachting extremer en dus minder vaak voorkomend dan de GHG/GLG-definitie uit hoofdstuk 2.3.

4.2 Scenario's

De volgende scenario's zijn in het model gebracht. Scenario's 1, 2 en 5 zijn voor elke gebied doorerekend.

Tabel 2 Scenario's

nr.	scenario	modellering	toelichting
1	50% kelders	Van een aantal bouwblokken is aangenomen dat onderkeldering waarschijnlijk ¹ is. Vervolgens is een ononderbroken rij kelders gemodelleerd, op twee overliggende hoeken van het bouwblok. De kelders worden geacht het freatisch pakket (ondiepe grondwater) volledig te blokkeren.	Bouwblok met in blauw de kelders (twee hoeken principe): 
2	100% kelders	Zoals 50% kelders - maar nu is een ononderbroken rij kelders onder 100% van de gebouwen gemodelleerd. Als het een gesloten bouwblok is, worden de binnentuinen volledig afgesloten van het grondwatersysteem in de wijk.	Bouwblok met in blauw de kelders: 
3	100% kelders plus tuinen	Zoals 100% kelders – maar nu is de binnentuin voor 100% onderkeldert.	Bouwblok en binnentuin met in blauw de kelders: 

¹ Grote gebouwen die geacht worden nog 20-50 jaar te blijven staan zijn niet onderkeldert. Een aantal gebouwen is al onderkeldert, dit is meegenomen.

nr.	scenario	modellering	toelichting
4	100% kelders + klimaat-effect	Zoals 100% kelders – maar nu is gerekend met het toekomstige klimaat met KNMI-scenario Wh2050. Door veranderingen in neerslag en verdamping verandert de grondwateraanvulling (zie bijlage 1).	
5	100% kelders + 30 cm grond	Zoals 100% kelders – maar nu laat men aan beide zijden van de kelder, grenzend aan de burens, een 30 cm brede grondstrook zitten.	De bestaande grond blijft zitten. Het idee is dat dit ophoogzand is, waardoor grondwater kan stromen.
6	100% kelders + grote grondverbetering	In het model Frederik Hendrikstraat is een grote grondverbetering meegenomen; hierin wordt een dikkere of bredere laag (drainage)zand aangebracht dan bovenstaand.	Uitvoeringswijze nog te beschouwen.

De model-uitgangspunten en berekeningsmethoden zijn vermeld in bijlage 1. Om de resultaten van de vier wijken goed te kunnen vergelijken, zijn de model-uitgangspunten van de vier modellen zoveel mogelijk gelijk gehouden.

5 Resultaten grondwatermodel

5.1 Modelresultaten

Hieronder staan in tabelvorm per wijk de modelresultaten voor de grondwatereffecten bij de scenario's 50% onderkeldering, 100% onderkeldering en 30 cm grond en eventuele overige scenario's. Daarna worden de resultaten besproken: neemt het risico op grondwateroverlast of –onderlast toe? Als dit zo is, is de vraag welke maatregelen nodig zijn per wijk.

Elke modellering kent onzekerheden en de resultaten zijn indicatief. Ook zijn de resultaten van de ene wijk niet 1 op 1 te vertalen naar een naburige wijk. De grondwatersituatie kan verschillen: bijvoorbeeld de ene wijk heeft geen drainage terwijl de naburige wijk veel drainages bevat. Ook zijn er verschillen in de ophoog laag, de peilen in de watergangen, het type bouwblok, het percentage verharding enzovoort. Toch geeft dit onderzoek een eerste beeld van problematiek en oplossingen voor bepaalde gebieden.

Tabel 3 Modelresultaten per wijk

Gebied	Scenario	Stijgingen* (m)	Risico op overlast	Dalingen** (m)	Risico op onderlast	Noodzaak voor extra maatregel
Slotervaart Zuid	Huidig	-	Klein	-	Verwaarloosbaar	Nee, Wel de constatering dat enige ruimte wordt opgesoupeerd en de klimaatbestendigheid afneemt
	50% kelders	< +0,05	Klein	< -0,05	Verwaarloosbaar	
	100% kelders	+0,10	Vrij klein	-0,05	Verwaarloosbaar	
	30 cm grond	< +0,05	Klein	< -0,05	Verwaarloosbaar	
Frederik Hendrikbuurt	Huidig	-	Vrij groot	-	Groot	Ja, verdergaande maatregelen dan vrijhouden 30 cm grond aan weerszijden
	50% kelders	+0,1 à +0,2 (lokaal +0,5)	Groot	0 à -0,1 (Lokaal -0,3)	Zeer groot	
	100% kelders	+0,1 à +0,2 (tuinen >+0,5)	Groot (straten) Zeer groot (tuinen)	-0,3 in tuinen +0,3 in straten	Zeer groot in tuinen; neemt af aan straatzijde	
	30 cm grond	+0,1 à +0,2	Groot	-0,1 à -0,2 (tuinen) +0 à +0,1 (straten)	Zeer groot in tuinen	
	Grote grondverbetering	< +0,05 m	Gelijk aan huidige situatie	< -0,05 m	Gelijk aan huidige situatie	
Museumkwartier West	Huidig	-	Middel	-	Middel	Ja, op termijn verdergaande maatregelen dan 30 cm grond vrijhouden aan weerszijden.
	50% kelders	+0,1	Vrij groot	-0,1	Vrij groot	
	100% kelders	+0,2	Groot (straten) Zeer groot (tuinen)	-0,2	Vrij groot (straatzijde) Groot (tuinen)	
	30 cm grond	<+0,1	Vrij groot	<-0,1	Vrij groot	

Gebied	Scenario	Stijgingen* (m)	Risico op overlast	Dalingen** (m)	Risico op onderlast	Noodzaak voor extra maatregel
Middenmeer	Huidig	-	Groot	-	Klein	Ja, verdergaande maatregelen dan vrijhouden 30 cm grond aan weerszijden
	50% kelders	+0,2	Zeer groot	-0,05 à -0,1	Klein	
	100% kelders	+0,3	Zeer groot	-0,2	Klein	
	30 cm grond	+0,1 à +0,2	Zeer groot	-0,05	Klein	

*uitgaande van de natte situatie

**uitgaande van de droge situatie

Samengevat zijn de resultaten en risico's als volgt:

- Per wijk is het risico verschillend, afhankelijk van de huidige mate van overlast of onderlast.
- Ruwweg zijn er binnen de ring A10 nu al grote risico's op onderlast en overlast. Het effect van 50% onderkeldering is al groot. Deels komt dit door de stedenbouwkundige opzet van de wijken: de bouwblokken liggen loodrecht op de grondwaterstroming. Hierdoor kan het grondwater moeilijk naar de watergangen stromen, met grondwaterstijging tot gevolg. Anderzijds kunnen de watergangen in droge perioden minder goed water infiltreren naar het grondwatersysteem in de wijk. Bij 100% kelders zijn de effecten nog groter, vooral bij gesloten bouwblokken, met onacceptabele effecten in de binnentuinen die volledig worden afgesloten van het grondwatersysteem van de wijk.
- Buiten de ring in de naoorlogse wijken zijn de huidige risico's van overlast en onderlast gemiddeld kleiner, maar er zijn gebieden met overlast. Door de onderkeldering van 50% zijn er vrij kleine effecten en nemen de risico's op overlast licht toe. In gebieden met overlast is dit niet wenselijk. In gebieden waar geen overlast ontstaat, wordt een deel van de speling opgesoupeerd met het oog op klimaatverandering, omdat de bodem minder water kan bergen. Bij 100% onderkeldering zijn de effecten groter, maar nog steeds relatief klein ten opzichte van binnen de ring A10. Een groot verschil is dat het binnentuin-probleem nauwelijks speelt, omdat gesloten bouwblokken buiten de ring A10 weinig aanwezig zijn.
- De maatregel met 30 cm grond aan weerszijden van de kelder helpt binnen de ring A10 om het probleem van de "afgesloten binnentuinen" te voorkomen en de effecten te verminderen.
- Echter de maatregel van 30 cm grond is op termijn onvoldoende. Het risico op overlast of onderlast neemt dan nog steeds toe.

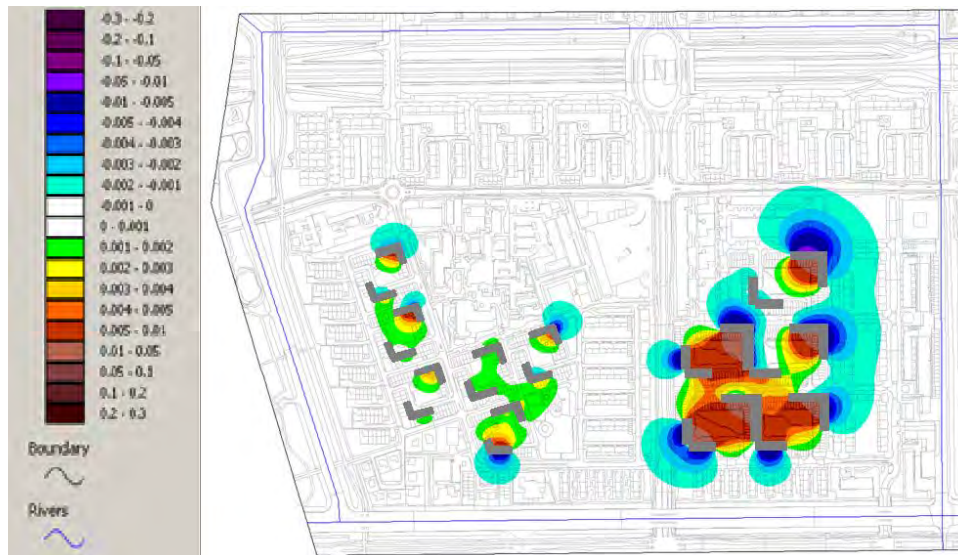
5.2 Toelichting op resultaten per wijk

Hieronder volgen de resultaten en grondwatereffecten per wijk. Een positief getal is een grondwaterstijging, een negatief getal een grondwaterdaling. In bijlage 2 wordt per wijk elk scenario besproken en zijn de figuren groter weergegeven.

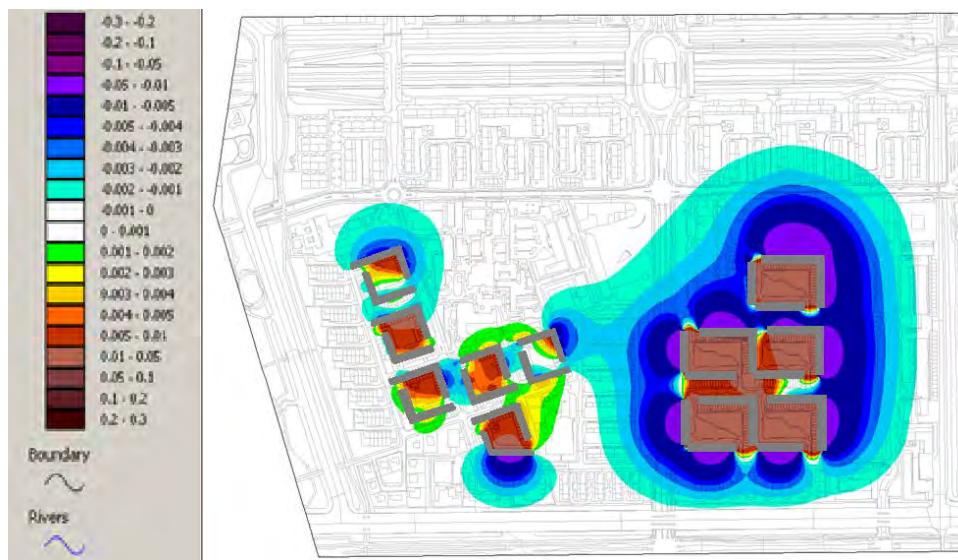
Slotervaart Zuid

De conclusie is dat de waterhuishoudkundige effecten bij 50% en 100% beperkt blijven. Dit komt mede doordat de bouwblokken niet helemaal gesloten zijn. Wel is te zien dat de 30 cm grond de optredende grondwatereffecten niet helemaal neutraliseert. Op vergelijkbare locaties waar in de huidige situatie al sprake is van grondwateroverlast is deze maatregel niet voldoende om de overlast te verkleinen of gelijk

te houden. Hier is dan een andere maatregel nodig, bijvoorbeeld een grondverbetering waardoor grondwater kan blijven stromen, onder de kelder door.



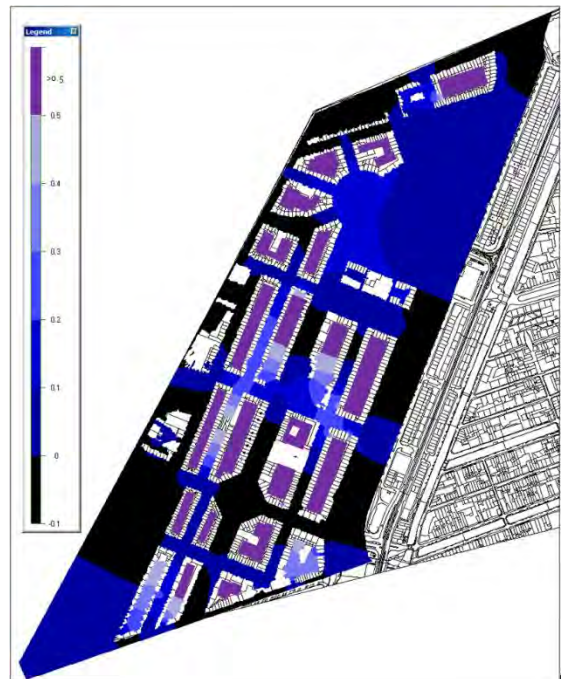
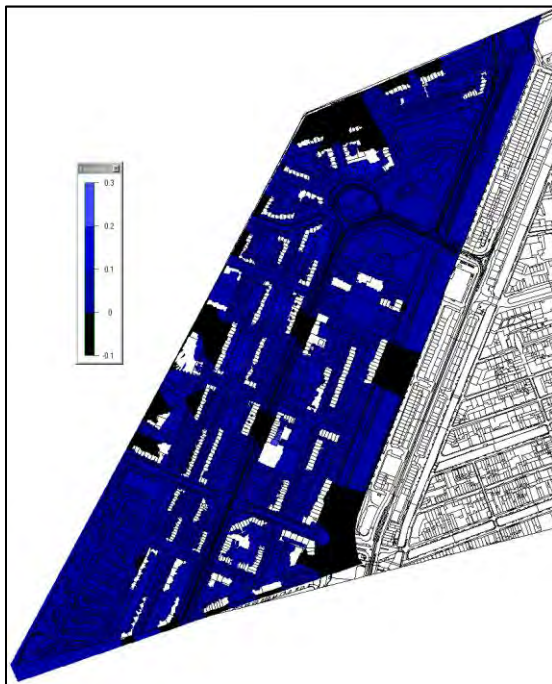
Figuur 16 Grondwatereffect (m) - Slotervaart 50% kelders (grijs) – gemiddelde situatie



Figuur 17 Grondwatereffect (m) - Slotervaart 100% kelders (grijs) – gemiddelde situatie

Frederik Hendrikbuurt

De conclusie is, dat er reeds bij 50% kelders nadelige grondwatereffecten ontstaan en het risico op zowel grondwateroverlast als -onderlast significant toeneemt. Bij 100% kelders zijn de effecten groter en in de binnentuin zijn de effecten onacceptabel, omdat het grondwater in de binnentuinen geïsoleerd raakt van de omgeving. Berekeningen geven aan dat de grondwaterstanden hier met meer dan 0,50 m kunnen stijgen. Hierdoor ontstaat er in deze gebieden een reële kans dat bij hoosbuien woningen onder water kunnen lopen. De maatregel met 30 cm grond beperkt deze gevolgen, maar is op lange termijn bij het aanleggen van steeds meer kelders onvoldoende. Een meer ingrijpende maatregel is nodig. Bij het terugbrengen van het huidige doorlaatvermogen door onder de kelders bijvoorbeeld 0,50 m zand aan te leggen, wordt vrijwel grondwaterneutraal gebouwd, met zeer geringe grondwatereffecten tot gevolg.

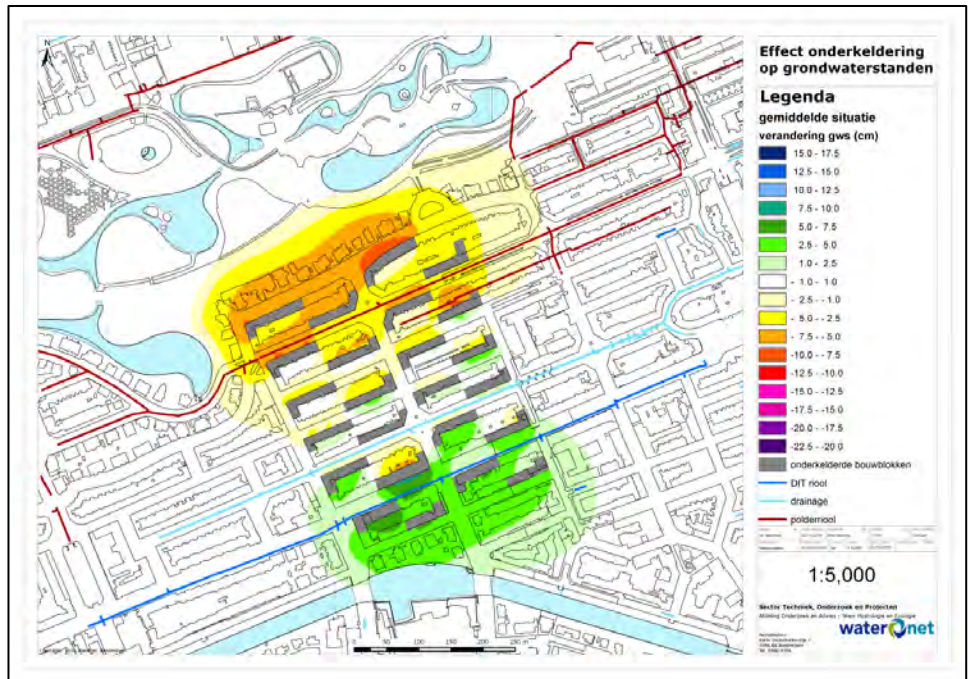


Figuur 18 Grondwatereffect in m – 50% kelders (wit) Figuur 19 Grondwatereffect in m – 100% kelders (wit)

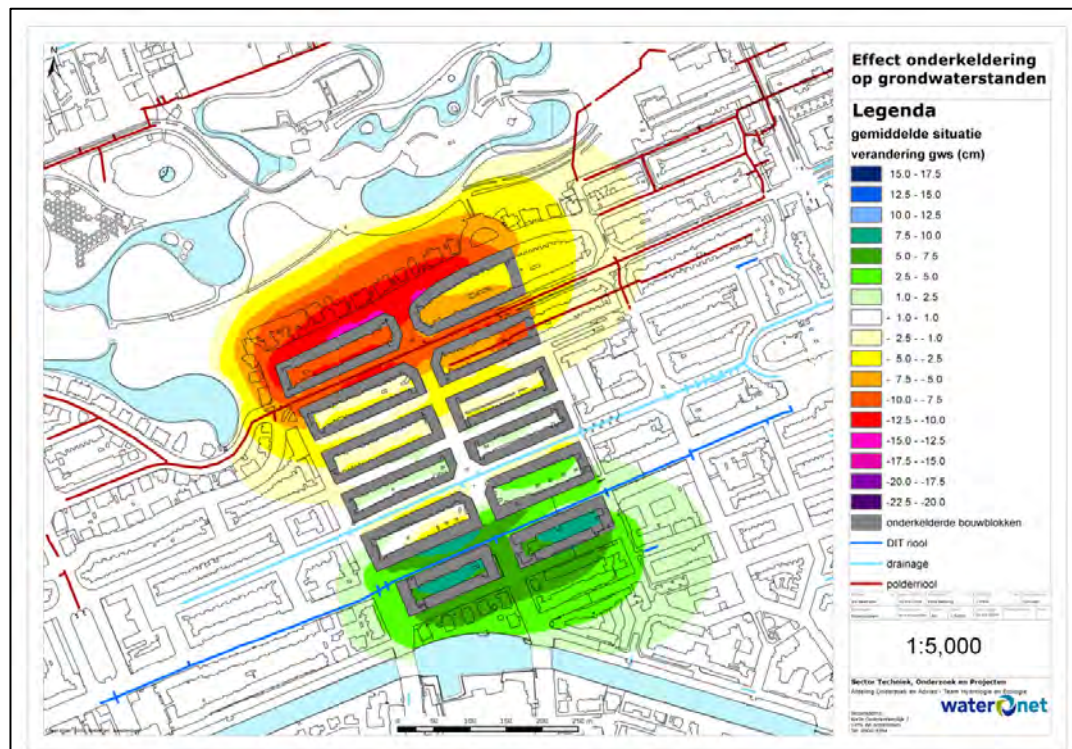
Museumkwartier West

De conclusie is, dat er bij 50% kelders licht negatieve gevolgen zijn voor grondwateroverlast. In de situatie met 100% kelders zijn er negatieve gevolgen voor grondwateroverlast, waarbij de situatie in binnentuinen van gesloten bouwblokken onacceptabel is. Voor onderlast is er sprake van lokaal optredende risico's en op de meeste plekken geen acuut risico aan de straatzijde, al neemt de grondwaterdekking op de palen af. Aan de achterzijde van de woningen ontstaan grotere risico's op onderlast.

De maatregel met 30 cm grond is onvoldoende om de grondwatereffecten te neutraliseren. Op lange termijn, zeker wanneer we toegaan naar een situatie met meer dan 50% onderkeldering, is een grotere grondverbetering nodig. In het toekomstig klimaat neemt het risico op grondwateroverlast verder toe. Het risico op onderlast neemt in theorie af, maar kan bij lange droge perioden toenemen.



Figuur 20 Grondwatereffect in cm - 50% kelders (grijs) - gemiddelde situatie

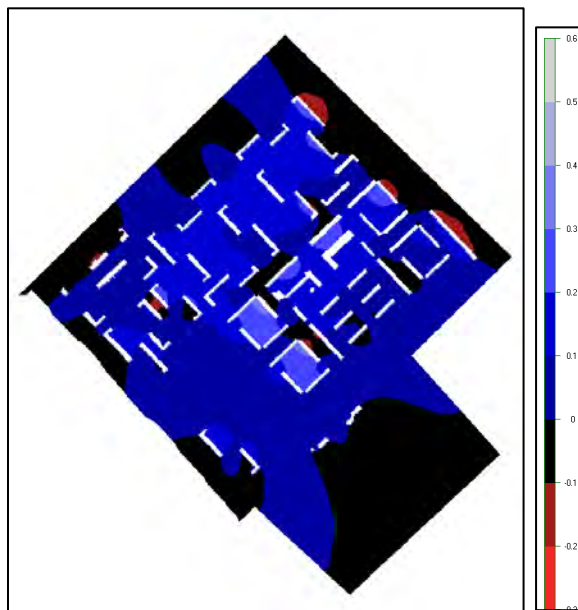


Figuur 21 grondwatereffect in m - 100% kelders (grijs) – gemiddelde situatie

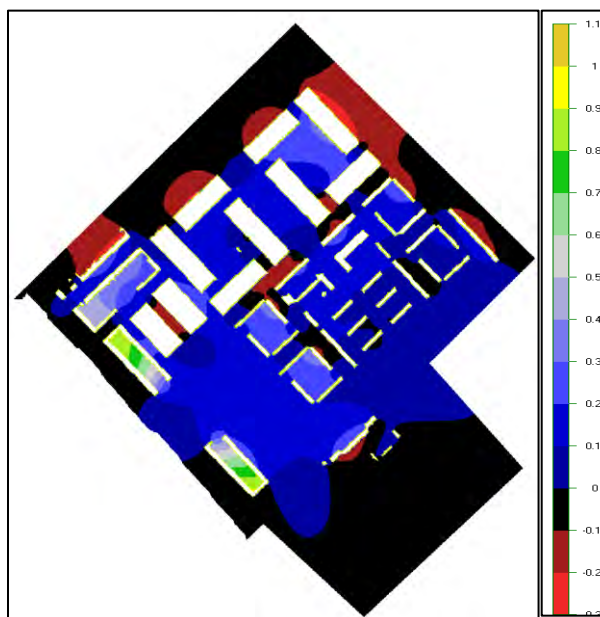
Middenmeer

De conclusie is dat er zowel bij 50% als 100% onderkeldering een significant risico is op overlast of een toename daarvan. Overlast kan optreden bij woningen en in kruipruimten en op termijn bij bomen (verminderde groei) en wegen (opvriezen). Bij 100% kelders is het overlast risico in afgesloten binnentuinen zeer groot: de binnentuinen "lopen vol". Bij 100% kelders met een klimaatscenario neemt de kans op overlast nog aanzienlijk toe. De maatregel met 30 cm grond is niet voldoende om overlast te voorkomen.

De kans op overlast neemt bij 50% kelders licht toe, Bij 100% kelders zijn de effecten groter maar ook dan blijft de grondwaterdekking op de houten funderingen ruim voldoende. Er zijn houten funderingen dus het blijft een aandachtspunt.



Figuur 22 Grondwatereffect in m – 50% onderkeldering (wit) – gemiddelde situatie



Figuur 23 Grondwatereffect in m – 100% kelders (wit) – gemiddelde situatie

6 Conclusies en aanbevelingen

Belangrijkste conclusies:

- Door de onderkeldering ontstaan grote cumulatieve grondwatereffecten, waarbij er risico op overlast/onderlast ontstaat, in sommige wijken al bij 50% onderkeldering. Bij 100% onderkeldering ontstaat ook een zeer groot probleem in de binnentuinen omdat deze volledig worden afgesloten van het grondwater in de omgeving.
- Een maatregel waarbij aan weerszijden van de kelder 30 cm grond wordt vrijgehouden helpt op korte termijn (bij nog een gering aantal kelders) om de grondwateruitwisseling tussen binnentuinen en omgeving in stand te houden. Deze maatregel is op termijn, als overal kelders gebouwd worden, onvoldoende om het totale cumulatieve effect goed te kunnen bestrijden en grondwaterneutraal te bouwen.
- Gevoeligheid voor grondwateroverlast is vooral afhankelijk van:
 - o Gesloten woonblokken;
 - o Afstand tot oppervlaktewater;
 - o Kwel of wegzijging;
 - o Dikte en samenstelling ophoog laag;
 - o Bestaande problemen met grondwater;
 - o Bestaande problemen met regenwater volgens de knelpuntenkaart rainproof.
 - o Omvang en type van bouwwerken in de woonblokken
- De onderkeldering zorgt ervoor dat hemelwater dat in gesloten woonblokken met kelders valt onvoldoende kan afstromen naar de omgeving. Door de grondwaterstijging die optreedt kan hier de bodem minder hemelwater bufferen, waardoor de klimaatbestendigheid afneemt. In gebieden waar nu al rainproof knelpunten optreden kunnen hemelwaterproblemen optreden in de binnentuinen.
- Altijd ruimte houden voor maatwerk (in kwetsbare gebieden, bv. deklaag dun, bv. laaggelegen zoals Bellamybuurt) voor wat betreft de benodigde maatregelen. Dat zal dan in het omgevingsplan voor dat gebied opgenomen moeten worden.

Belangrijkste aanbevelingen:

- Advies is een zo generiek mogelijk afwegingskader op te stellen voor verschillende wijken in de stad.
- Geadviseerd wordt om kelders in Amsterdam grondwaterneutraal te bouwen, waarbij:
 - o Grondwater na de aanleg duurzaam en ongehinderd kan blijven stromen.
 - o De benodigde maatregelen hiervoor specifiek en haalbaar uitgewerkt worden.
 - o De kennis hiervoor op te halen bij bouwers en constructeurs van de keldersBij grondwaterneutraal bouwen kan men toewerken naar een lange termijn beeld van een klimaatbestendige, sterk verdichte stad waarin in principe alle woningen de mogelijkheid hebben gekregen een kelder aan te leggen.
- Deze maatregelen functioneel voor te schrijven in bestemmingsplannen en/of omgevingsplannen waarbij overeind blijft dat specifieke advisering op vergunningsaanvragen in bepaalde aandachtsgebieden nodig zal blijven.
- Buiten de ring A10 een keuze te maken om wel/geen maatregelen voor te schrijven. Vanuit klimaatbestendigheid en vanuit het uitgangspunt om bij bouwaanvragen de grondwaterstanden niet negatief te beïnvloeden (stand-still) wordt aanbevolen ook hier maatregelen op te nemen.
- Het doorzetten van de reeds ingezette verkenning naar een hemelwaterverordening, om het aandeel van het regenwaterprobleem het hoofd te bieden.
- Geadviseerd wordt om de bestaande ondergrondse constructies in de stad te inventariseren. Deze informatie is in Amsterdam wel bekend in de vorm van afgegeven vergunningen maar het is nog niet procesmatig geborgd dat geografische informatie wordt ontsloten en/of systematisch wordt vastgelegd, om het ondergronds bouwen beter te kunnen sturen.

7 Bijlage 1 modelparameters

Rekenmethode: er is freatisch gerekend. De modellen zijn instationair doorgerekend, met uitzondering van Slotervaart Zuid waar stationair is gerekend.

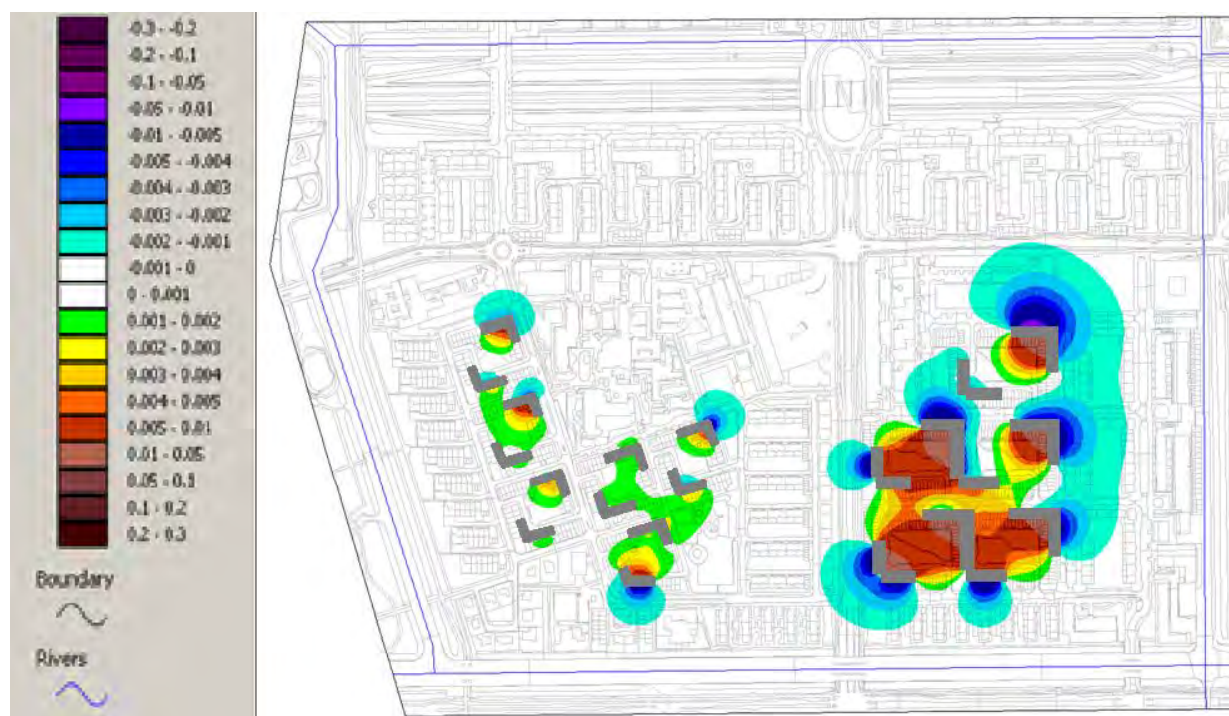
Parameter	Waarde (range over de modellen)	Bron	Toelichting
Waterpeil oppervlaktewater H1	Slotervaart Zuid NAP -2,10 m Frederik Hendrikbuurt NAP -0,40 m Museumkwartier-West NAP - 0,40 m /NAP -2,45 m Middenmeer NAP -5,50 m	Peilbesluiten	Verschildt per wijk, vaste peilen aangehouden.
In/uittreeweerstand watergangen C1	Tussen 5 en 20 dagen	Modelkalibratie	Bepaald uit modelkalibratie
Doorlatendheid freatisch pakket k1	Tussen 3 en 15 m/dag	Modelkalibratie	Bepaald uit modelkalibratie
Bergingscoëfficiënt (freatisch) S1	Tussen 0,1 en 0,3	Modelkalibratie	Bepaald uit modelkalibratie
Dikte freatisch pakket (MT1)	Tussen 2 en 4 m onder maaiveld, in parken afwezig.	Boringen en sonderingen	(Ophoog)zand is gekarakteriseerd als freatisch pakket.
Verticale hydraulische weerstand C2	Tussen 2.000 en 18.000 dagen	Waternet	Afkomstig uit regionaal grondwatermodel Waternet
Doorlaatvermogen eerste watervoerend pakket kD2	Tussen 500 en 1.000 m ² /dag	Waternet	Afkomstig uit regionaal grondwatermodel Waternet; toegepast indien stijghoogte niet vast.
Stijghoogte eerste watervoerend pakket H2	Gemiddelde stijghoogte per locatie. In Frederik Hendrikbuurt en Middenmeer tevens vaste stijghoogte.	Waternet	Afkomstig uit regionaal grondwatermodel Waternet.
Bergingscoëfficiënt (eerste watervoerend pakket) S1	Tussen 0,0001 en 0,002	Waternet	Afkomstig uit regionaal grondwatermodel Waternet
Grondwateraanvulling (huidig)	Bepaald met meetreeks 2000-2010 met dagwaarden. Neerslag van KNMI-station 441 Amsterdam. Referentie gewasverdamming van KNMI-station 240 Schiphol.	KNMI	Na modelkalibratie blijkt de extreem droge en de extreem natte situatie benaderd te kunnen worden door de datums 22-8-2003 en 13-2-2001. De gemiddelde situatie wordt het best benaderd door een stationair model of de datum 5-5-2005.
Grondwateraanvulling (toekomstig)	Bepaald met meetreeks 2000-2010 (zie boven), getransformeerd naar toekomstige neerslag/verdamming met KNMI-transformatieprogramma met scenario Wh2050.	KNMI	De meetreeks toont de natuurlijke variaties, maar er is een klimaattoeslag op toegepast.

Grondwateraanvulling per oppervlak (formule)	Verhard en daken = 0. Open verharding = $0,15 \cdot$ neerslag. Onverhard = neerslag - referentie gewasverdamping (gewasfactor 1).	Oppervlakken afkomstig uit GBKA Afvalwater	Voor elke locatie in het model is bepaald welk type oppervlak er is en is vervolgens de lokale grondwateraanvulling bepaald.
Drainage	Drainagepeil variabel naar aanleiding van modelkalibratie. Intreeweerstand 5 tot 20 dagen. Drainage draineert alleen, infiltreert niet.	Beheerdata Waternet.	Drainage is ingevoerd indien er drainages of lekkende riolen bekend zijn en dit benodigd is vanuit de modelkalibratie.
Scenario's			
50% en 100% kelders	De kelders worden geacht het freatisch pakket volledig te blokkeren: doorlatendheid K1 wordt 0.		Kelders worden geacht in de onderliggende, slecht doorlatende klei-/veenlaag te reiken.
30 cm grond	Ter plaatse van de kelders blijft 5% à 10% van de aanwezige doorlatendheid K1 van het ophoogzand aanwezig. Rekenvoorbeeld: pandbreedte = 6 m, aan weerszijden blijft 0,30 m ophoogzand aanwezig (samen 0,6 m). De nieuwe doorlatendheid is $0,6/6 = 10\%$ van de huidige doorlatendheid. Als de doorlatendheid 5 m/dag was, wordt de nieuwe doorlatendheid $10\% \cdot 5 = 0,5$ m/dag.		Grond blijft aanwezig. Kelder wordt aan elke zijde 0,30 m smaller.
Grote grondverbetering	Alleen gemodelleerd in de Frederik Hendrikbuurt: huidige doorlatendheid 8 m/dag, nieuwe doorlatendheid is de helft namelijk 4 m/dag.		Hydrologisch principe is dat (slechts) een halvering van de doorlatendheid zorgt voor een relatief beperkt grondwatereffect.

8 Bijlage 2 Modelresultaten (uitgebreid)

8.1 Slotervaart Zuid

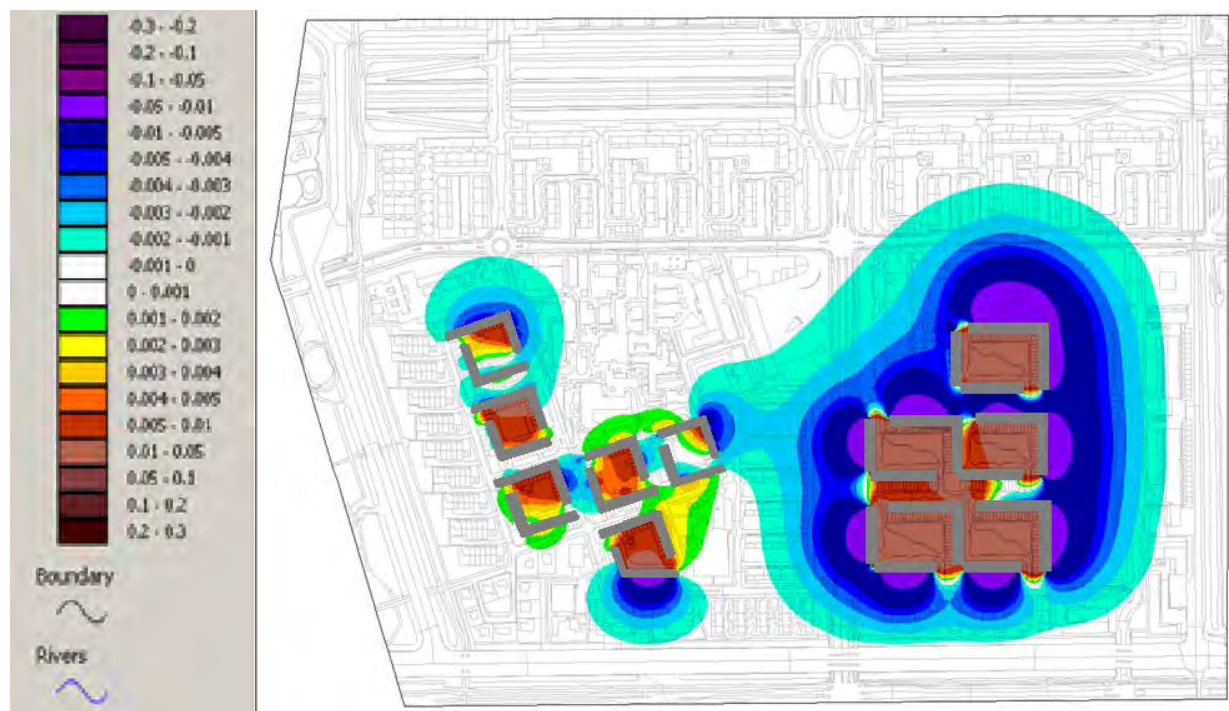
Grondwatereffect 50% kelders



Figuur 24 Grondwatereffect (in m) bij 50% kelders – gemiddelde situatie, kelders in grijs

Bij 50% kelders zijn de grondwatereffecten zeer klein: een lichte stijging ($<0,05$ m) in de binnentuinen en een lichte daling ($<0,05$ m) aan de buitenzijde van het onderkelderde blokdeel. De effecten zijn klein, omdat er een vrij geringe grondwaterstroming is; lagen de kelders vlakbij de watergang dan was de stroming groter geweest met grotere effecten. Verder is het grondwater-blokkerende effect van de kelders vrij klein: er resten brede grondstroken tussen de kelders, waardoor het grondwater gemakkelijk tussen de kelders door kan stromen. De grondwaterstand staat circa 1,0 m onder maaiveld dus de kans op wateroverlast in de binnentuinen blijft (ook bij de geringe stijging) klein. De houten palen hebben meer dan 2 m grondwaterdekking, waardoor het risico op droogval nauwelijks toeneemt door de geringe grondwaterdaling.

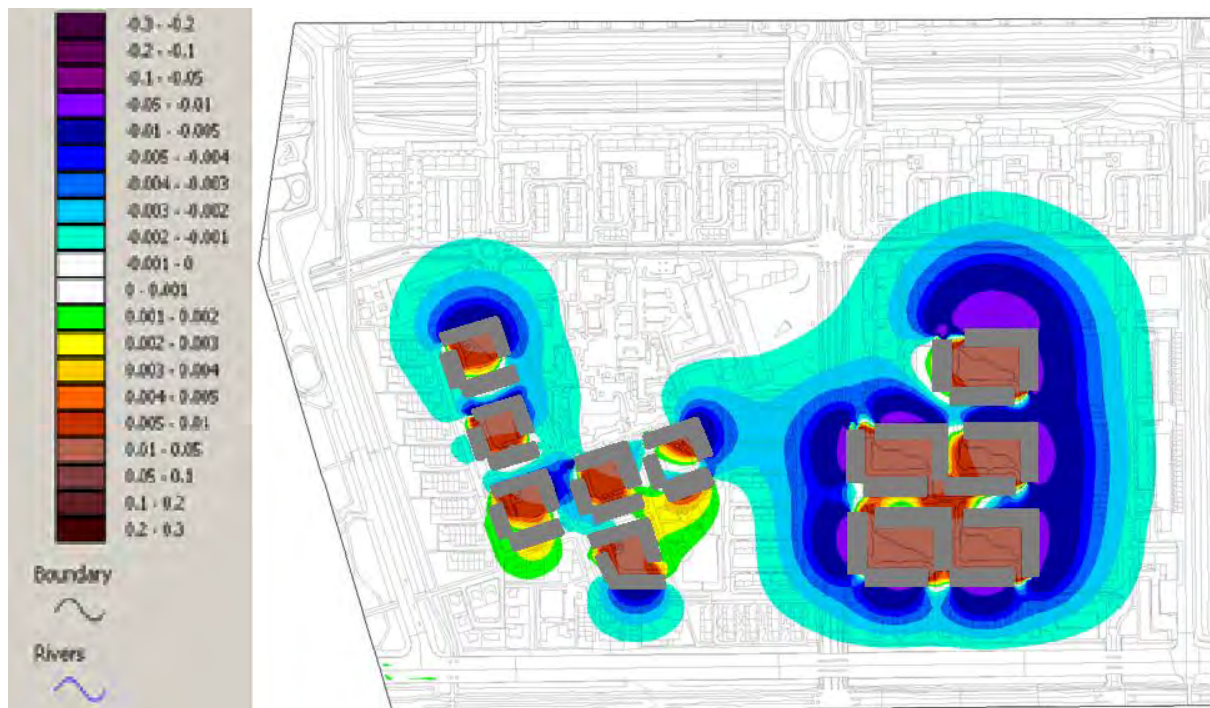
Grondwatereffect 100% kelders



Figuur 25 Grondwatereffect (in m) bij 100% kelders – gemiddelde situatie, kelders in grijs

In Figuur 25 is zichtbaar dat bij 100% onderkeldering de grondwaterstroming bij de bouwblokken grotendeels wordt geblokkeerd, maar dat er vrij smalle (20 m) grondstroken overblijven tussen de kelders waar grondwater kan stromen. De effecten zijn maximaal 10 cm verhoging in de binnentuin en maximaal 5 cm verlaging buiten het bouwblok bij de gevel. Het invloedsgebied (waar de effecten groter zijn dan 5 cm) is groter dan bij 50% kelders. In de binnentuinen is er een stijging en neemt de ontwatering af van circa 1,0 m naar 0,9 m; nog steeds voldoende, maar een deel van de marge ten aanzien van wateroverlast en klimaatverandering wordt dan opgesoupeerd. Het risico op droogval van houten funderingen blijft verwaarloosbaar klein.

Grondwatereffect 30 cm grond



Figuur 26 Grondwatereffect (in m) bij 30 cm grond – gemiddelde situatie

Door het aanbrengen van 30 cm grond aan weerszijden van de kelder nemen de grondwatereffecten iets af, maar de maatregel zorgt niet voor een neutralisatie van het grondwatereffect. Er is minder dan 5 cm stijging in de binnentuinen en minder dan 5 cm daling aan de gevelzijde. De effecten zijn klein.

De grondwatereffecten in een natte situatie kunnen groter zijn dan in de gemiddelde situatie.

Dat speelt een grotere rol in situaties waar het grondwater vrijwel ingesloten is door kelders.

In Slotervaart zijn de bouwblokken open, waarbij enig grondwater tussen twee bouwblokken door kan blijven stromen en de situatie relatief gunstig is. Daarnaast is de ontwatering in een natte situatie circa 1,0 meter. Een geringe afname van de ontwatering levert in deze wijk geen directe problemen op. In andere delen van het onderzochte gebied (waar de huidige ontwatering 0,8 m is) of andere delen van Slotervaart, waar sprake is van hoog grondwater, kan het knelpunt iets worden verergerd.

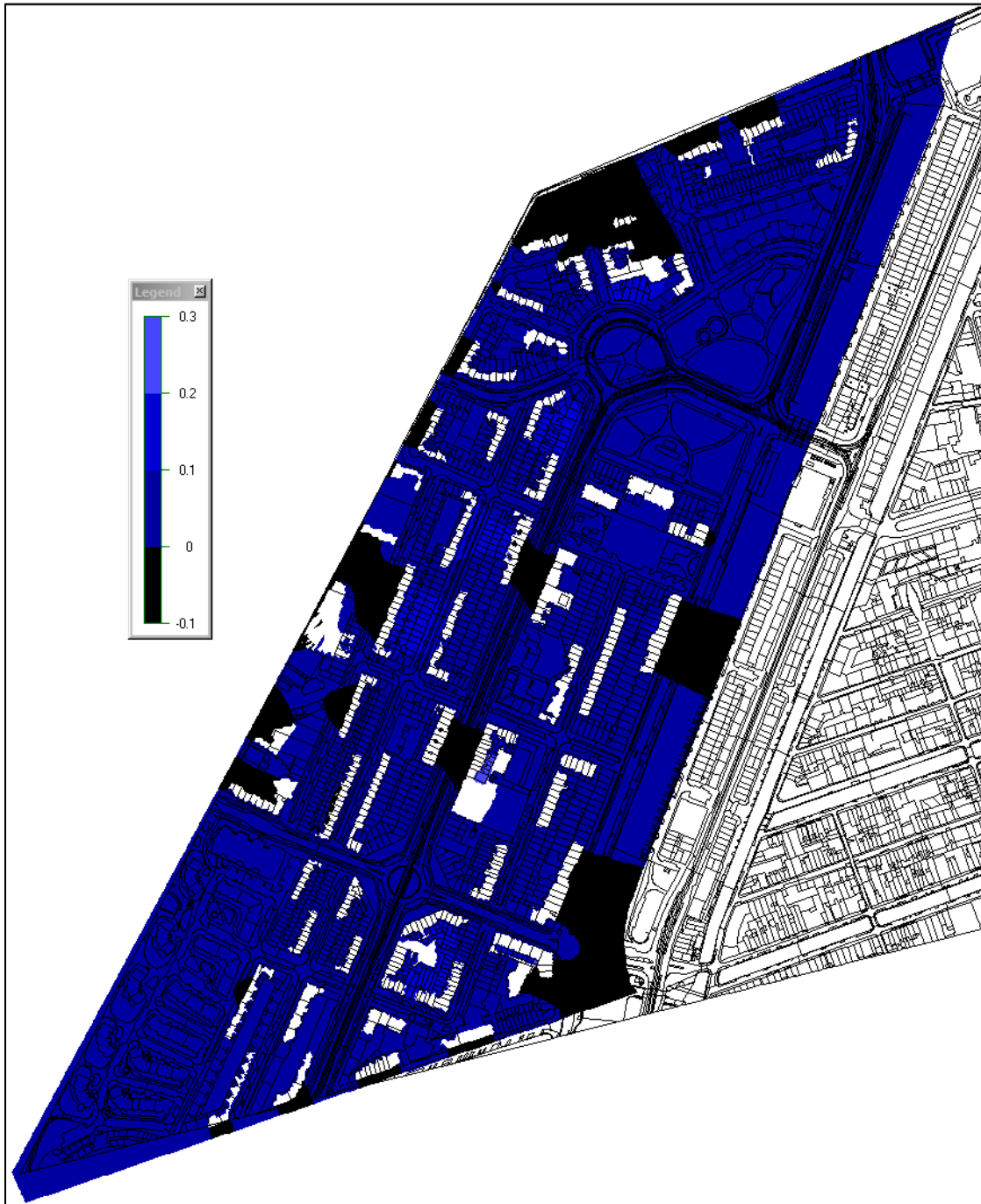
Conclusie Slotervaart Zuid

De conclusie is, dat de 30 cm grond de grondwatereffecten niet neutraliseert. In situaties met grondwateroverlast is de maatregel niet voldoende om de overlast te verkleinen of gelijk te houden, en zou een meer ingrijpende maatregel nodig zijn. In wijken waar de ontwatering ruim voldoende is (lijkt het geval in het onderzochte gebied) is bouwen van de kelders wellicht toe te staan zonder maatregelen.

8.2 Frederik Hendriksbuurt

Grondwatereffect 50% kelders

In Figuur 27 zijn de berekende effecten weergegeven van 50% onderkelderde bouwblokken. Een positief getal is een stijging, een negatief getal is een daling.



Figuur 27 Grondwatereffect in m - 50% kelders – gemiddelde situatie

In de gehele wijk zijn stijgingen zichtbaar tot 0,2 m. De stijging is ca. 0,05 m in Frederik Hendrikstraat, ca. 0,1 m in andere straten, tot 0,2 m stijging in semi-ingesloten binnentuinen. Dit is te verklaren: in de Frederik Hendrikstraat is een drainage actief die het grondwater constanter houdt, in overige straten is

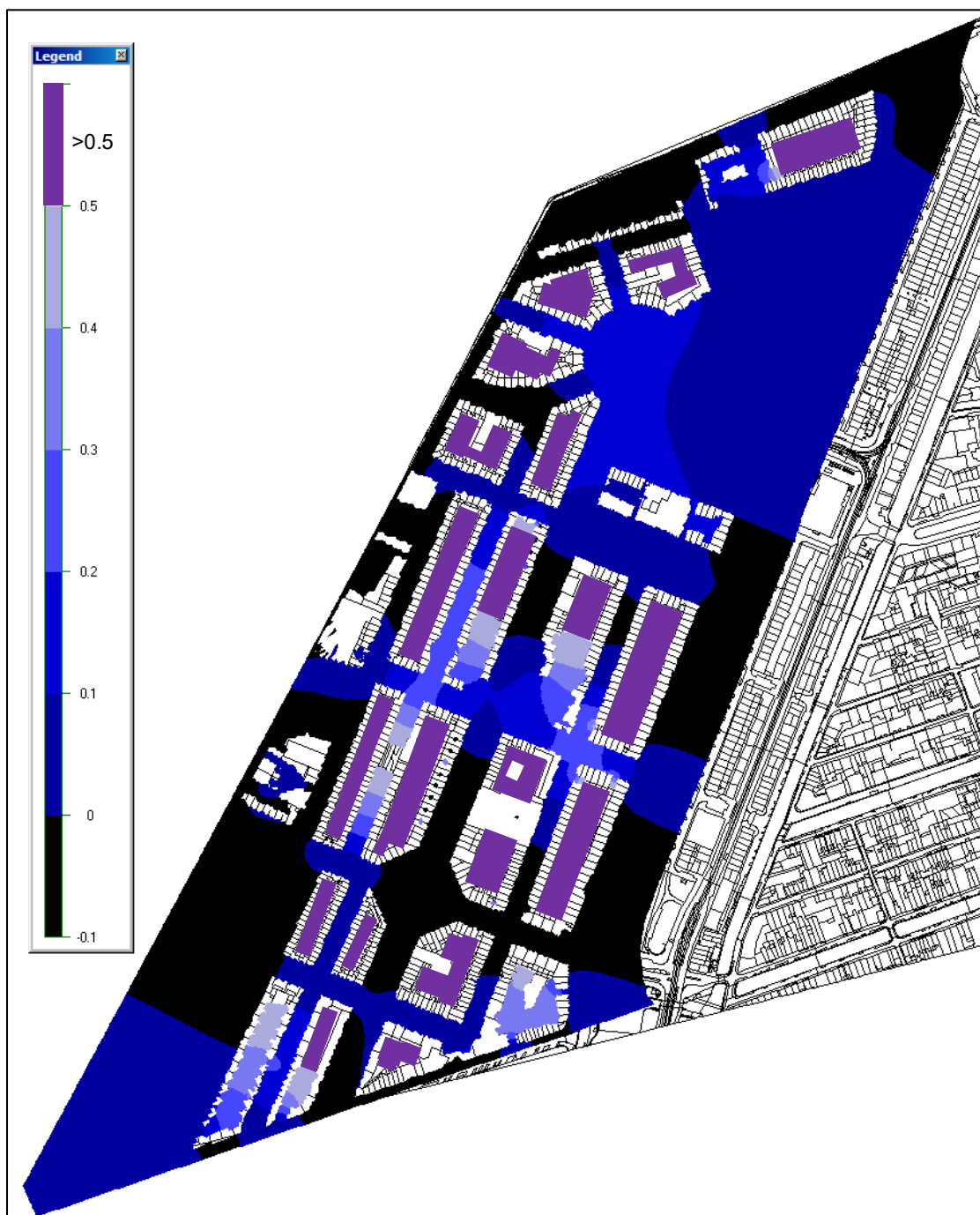
dit niet altijd het geval, en in semi-ingesloten binnentuinen heeft infiltrerend grondwater meer moeite om, om de kelders heen, richting de watergangen te stromen. De kelders staan loodrecht op de stroomrichting: dit leidt tot een significante stijging van het grondwater.

In een natte periode is de stijging groter: berekend is ca. 0,1 m stijging in de Frederik Hendrikstraat, in overige straten 0,1 à 0,2 m stijging, tot 0,5 m stijging in semi-ingesloten binnentuinen. Het risico op grondwateroverlast neemt dus fors toe: in niet-gedraineerde straten en vooral onder binnentuinen. De stijging is groter op de locaties tussen twee bouwblokken met kelders (grondwater moet daar verder omstromen).

In een droge situatie varieert het effect van een lichte stijging van 0,05 m (op die locaties zakt het grondwater minder ver uit en neemt de kans op de grondwateronderlast iets af) tot dalingen van 0,1 m, met lokale dalingen tot 0,3 m. De dalingen treden op aan de bovenstroomse zijde van de kelders, dit is de kant waar het grondwater aanstroomt. In de zomer wordt het grondwatersysteem gevoed vanuit de watergangen; als er een kelder wordt gebouwd, treedt er aan de zijde die het dichtst bij de watergang ligt een daling op; het water uit de watergangen kan minder goed naar die plek toe stromen. Op locaties die sterk worden ingesloten door kelders kan de daling tot ca. 0,3 m bedragen. Het risico op onderlast neemt toe: de grondwaterdekking op houten palen neemt aan één pandzijde ca. 0,1 m af. Vaak gaat een onderkeldering gepaard met funderingsverbetering, waarbij grondwateronderlast geen risico meer is. Als de houten palen echter blijven zitten, dan neemt het onderlast-risico toe.

De situatie met 50% kelders vergroot fors het risico op overlast en vergroot tevens het risico op onderlast.

Grondwatereffect 100% kelders



Figuur 28 Grondwatereffect in m - 100% onderkeldering – gemiddelde situatie

De berekende grondwaterstijging is ca. 0,1 m in Frederik Hendrikstraat en andere straten met drainage, stijgingen bedragen ca. 0,2 m in andere straten. In tussen kelders ingesloten binnentuinen is er meer stijging: tot >0,5 m (paarse delen).

Bij 100% onderkelderingen lopen de binnentuinen “vol” qua grondwater. Het grondwater kan daar niet meer wegstromen naar de omgeving en de watergangen, maar kan alleen nog inzijgen of verdampen. De grondwateraanvulling door neerslag is echter groter dan de inzijging en verdamping. Er gaat dus

meer water in dan uit, met als gevolg dat de binnentuin in theorie “volloopt”. In praktijk zal het gaan om zeer grote stijgingen ($>0,5$ m) met onacceptabele wateroverlast.

In de openbare ruimte is de stijging 0,1 à 0,2 m, dit is iets minder groot dan in de variant met 50% kelders. Dit komt doordat het grondwater uit de tuinen niet meer wordt toegevoegd aan het grondwatersysteem van de wijk (waar dat voorheen wel het geval was), waardoor er in totaal minder grondwater onder de straten stroomt.

In een natte situatie zijn de effecten ongeveer even groot. Het gevolg is een merkbare toename van het risico op wateroverlast in de straten (slechtere boomgroei en schades aan wegdek door opvriezen) en vergroot risico op wateroverlast bij de woningen. In de binnentuinen ontstaat zeer grote wateroverlast, die ook merkbaar is aan de achterzijde van woningen.

In een droge situatie zakt het grondwater in de straten tot 0,3 m minder ver uit dan in de huidige situatie, maar aan de achterzijde van de woningen (binnentuinen) zakt het grondwater volgens de berekening tot 0,3 m. In de straten is de grondwaterstand bij aanvang van de droge periode hoger. Hierdoor zakt het grondwater minder ver uit en neemt het risico op grondwateronderlast aan de voorzijde van de woningen juist af.

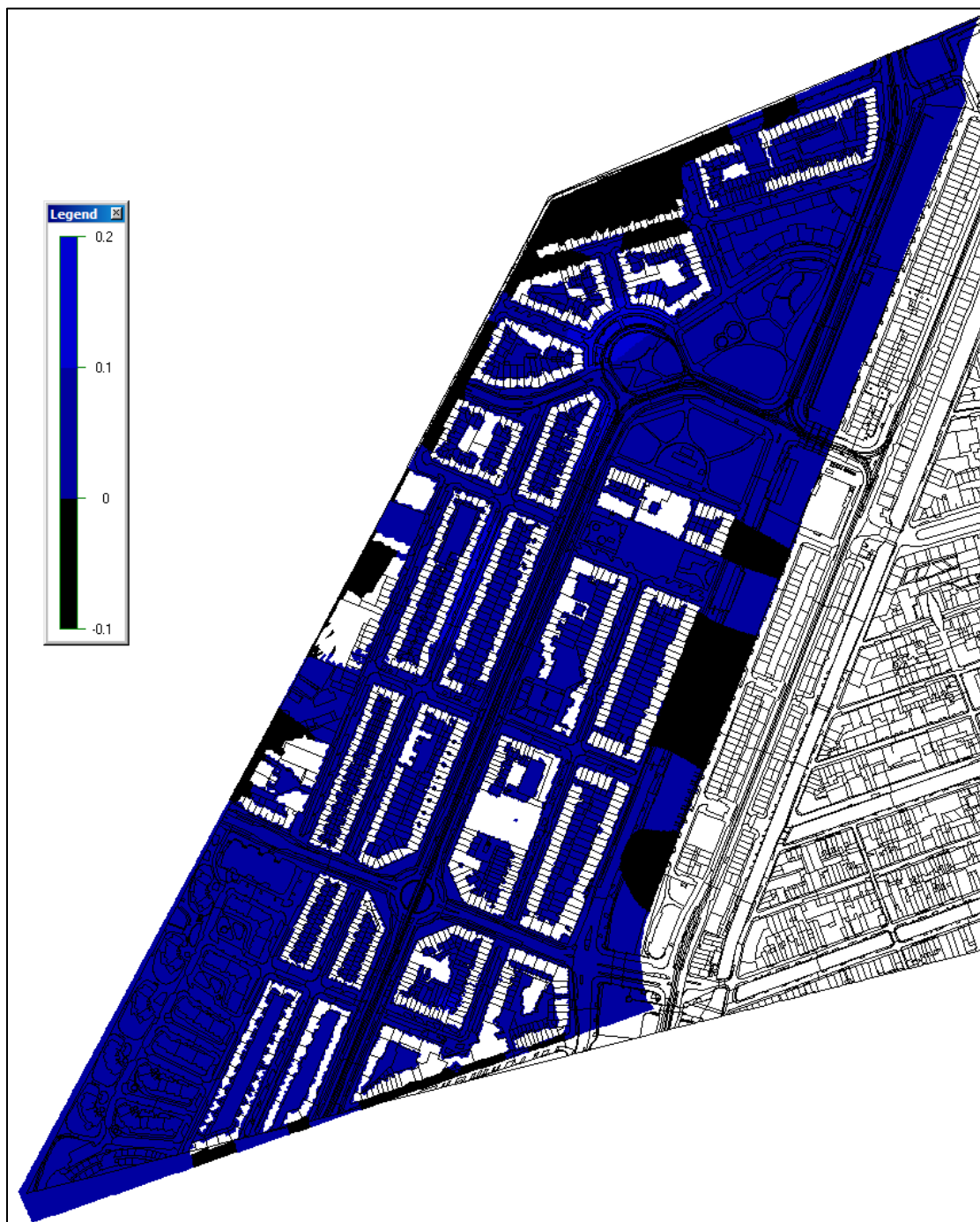
In binnentuinen is het andersom: hier is een klein lokaal, afgesloten grondwatersysteem met veel verdamping en geen aanvulling vanuit het grondwater in de omgeving. Grondwater in de binnentuinen zakt daarom sneller uit in langere droge perioden. Het risico op grondwateronderlast aan de achterzijde van de woningen neemt dan sterk toe.

De conclusie is, dat er bij 100% onderkeldering onacceptabele grondwatereffecten ontstaan in de binnentuinen, omdat er geen grondwater meer weg of heen kan stromen: zeer grote wateroverlast en een sterke toename op onderlast bij de achterzijde van de woning.

In de straten is er een merkbare toename van het risico op overlast; het onderlast-risico neemt aan de voorzijde van de woningen juist af.

Grondwatereffect 30 cm grond

Het grondwatereffect is weergegeven in Figuur 29..



Figuur 29 Grondwatereffect in m – 100% kelders met 30 cm grond – gemiddelde situatie

De gemiddelde situatie toont beperkte stijgingen van 0,05 m in gedraineerde straten en circa 0,10 m in de andere straten. Door de maatregel wordt het opstuwende, stijgende grondwatereffect van de kelders ruwweg tot de helft beperkt. Door de maatregel zijn de binnentuinen niet meer opgesloten qua grondwater.

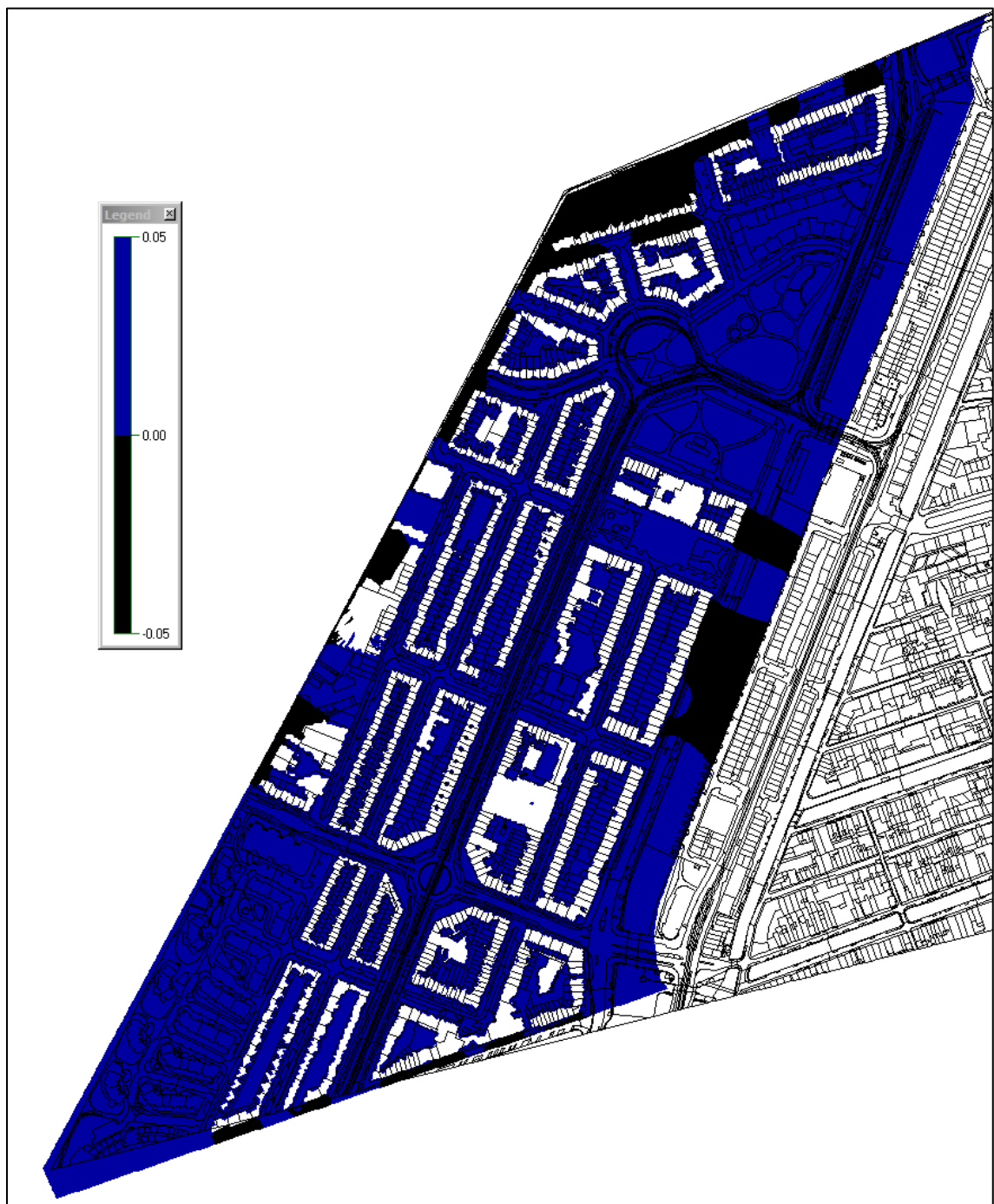
In een natte situatie ziet men dat het grondwater echter lastig weg kan uit de binnentuinen, leidend tot een merkbare grondwaterstijging van 0,2 m; er is toename van overlast. In niet-gedraineerde straten is de stijging circa 0,15 m met een toename van het wateroverlast-risico.

In een droge situatie is het andersom: het grondwater uit de omgeving kan slecht naar de binnentuinen toestromen. Daardoor kan het grondwater met 0,1 à 0,2 m dalen. Het risico op droogval van houten funderingen neemt toe aan de achterkant van de woningen, als daar nog een houten fundering aanwezig is.

Conclusie: de maatregel "30 cm grond" is al enigszins effectief, omdat de grootste effecten worden tegengegaan en er contact is tussen het grondwater in de binnentuinen en de omgeving. De maatregel is echter op termijn niet effectief genoeg voor de binnentuinen en niet-gedraineerde straten. Het risico op wateroverlast neemt merkbaar toe en aan de achterzijde van de woningen neemt ook het onderlast-risico toe. De maatregel is op de lange termijn onvoldoende.

Variant grote grondverbetering

Om te onderzoeken welke maatregel dan wél effectief is, is een grote grondverbetering in het model ingevoerd. De berekende grondverbetering brengt het doorlaatvermogen van de huidige grond terug. Dit kan bereikt worden door bijvoorbeeld 0,50 m drainagezand of grond aan te brengen onder de kelder: in dit laatste geval zijn er ook horizontale zandkolommen nodig om contact te maken met het omliggende freatische pakket. Het is nog niet bekend welke uitvoeringswijze haalbaar is, om dit soort maatregel te realiseren. Dit wordt nader onderzocht met marktpartijen.



Figuur 30 Grondwatereffect in m – grote grondverbetering – gemiddelde situatie

In Figuur 30 is zichtbaar dat de maatregel zeer effectief is: de grondwaterstijgingen en –dalingen zijn kleiner dan 0,05 m. In een natte en droge situatie is dit ook het geval. Wanneer het doorlaatvermogen even groot is als in de huidige situatie, kunnen de effecten tot vrijwel 0 worden teruggebracht en is er sprake van grondwaterneutraal bouwen.

Conclusie: een maatregel met een grote grondverbetering heeft zeer geringe grondwatereffecten waarbij vrijwel de huidige situatie zonder kelders wordt teruggebracht. De maatregel staat vrijwel gelijk aan grondwaterneutraal bouwen. De maatregel dient verder te worden uitgewerkt zodat er grondwaterneutraal wordt gebouwd.

Variant klimaateffecten onderkelderde tuinen

Er is een variant doorerekend met 100% kelders, volledig onderkelderde tuinen en klimaattoeslag. Door perioden van grote neerslag én droge perioden zijn de grondwaterfluctuaties in het Frederik Hendrik plantsoen tot 0,2 m groter, met zowel hoge als lage grondwaterstanden. In het stedelijk deel zijn de fluctuaties echter minder groot, omdat het grondwater onder de verhardingen minder sterk reageert op neerslag (er infiltreert weinig), terwijl in droge perioden de verdamping onder de verharding klein is. De conclusie is dat de klimaateffecten sterker worden gevoeld in de onverharde wijkdelen.

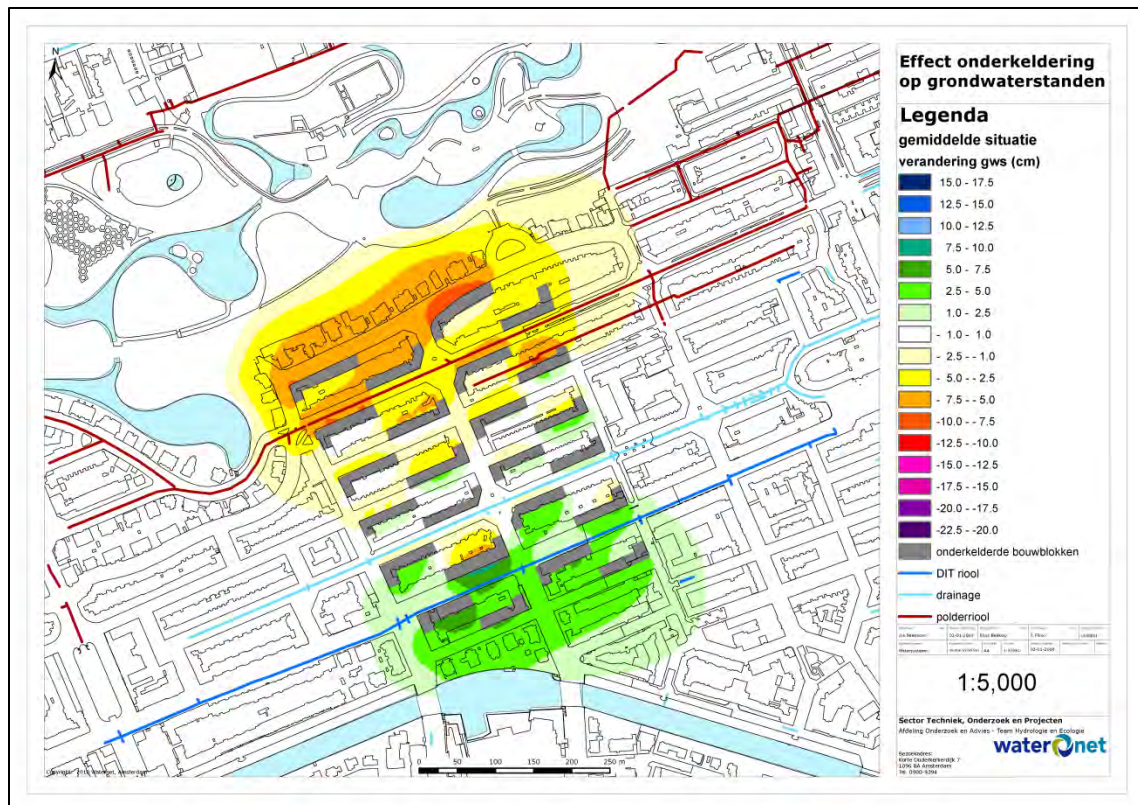
Conclusie Frederik Hendrikbuurt

De conclusie is, dat er reeds bij 50% kelders nadelige grondwatereffecten ontstaan en het risico op zowel overlast als onderlast significant toeneemt. Bij 100% kelders zijn de effecten groter en in de binnentuin zijn de effecten onacceptabel, omdat het grondwater in de binnentuinen geïsoleerd raakt van de omgeving.

De maatregel met 30 cm grond beperkt deze gevolgen, maar is op lange termijn onvoldoende. Een meer ingrijpende maatregel is nodig. Bij het maken van een grote grondverbetering onder/naast de kelders, wordt vrijwel grondwaterneutraal gebouwd, met zeer geringe grondwatereffecten tot gevolg.

8.3 Museumkwartier West

Grondwatereffect 50% kelders



Figuur 31 Grondwatereffect in cm - 50% kelders (grijs) met 30 cm grond - gemiddelde situatie

De effecten van 50% onderkeldering met 30 cm grond in een gemiddelde situatie zijn een grondwaterstijging van 0,05 à 0,10 m aan de zuidzijde van het gebied en een daling van 0,05 à 0,1 m aan de noordzijde van het gebied. Daarbij de kanteekening dat zonder de 30 cm grond de stijging en daling met maximaal 0,05 m toenemen. Omdat het grondwater in noordelijke richting stroomt, treden de kelders op als een ondergrondse barrière die loodrecht op de grondwaterstroming staat. Er zijn daarom verhogende effecten op aan de zuidzijde van de kelders (bovenstrooms) en verlagende effecten aan de noordzijde van de kelders (benedenstrooms, "luwe zijde").

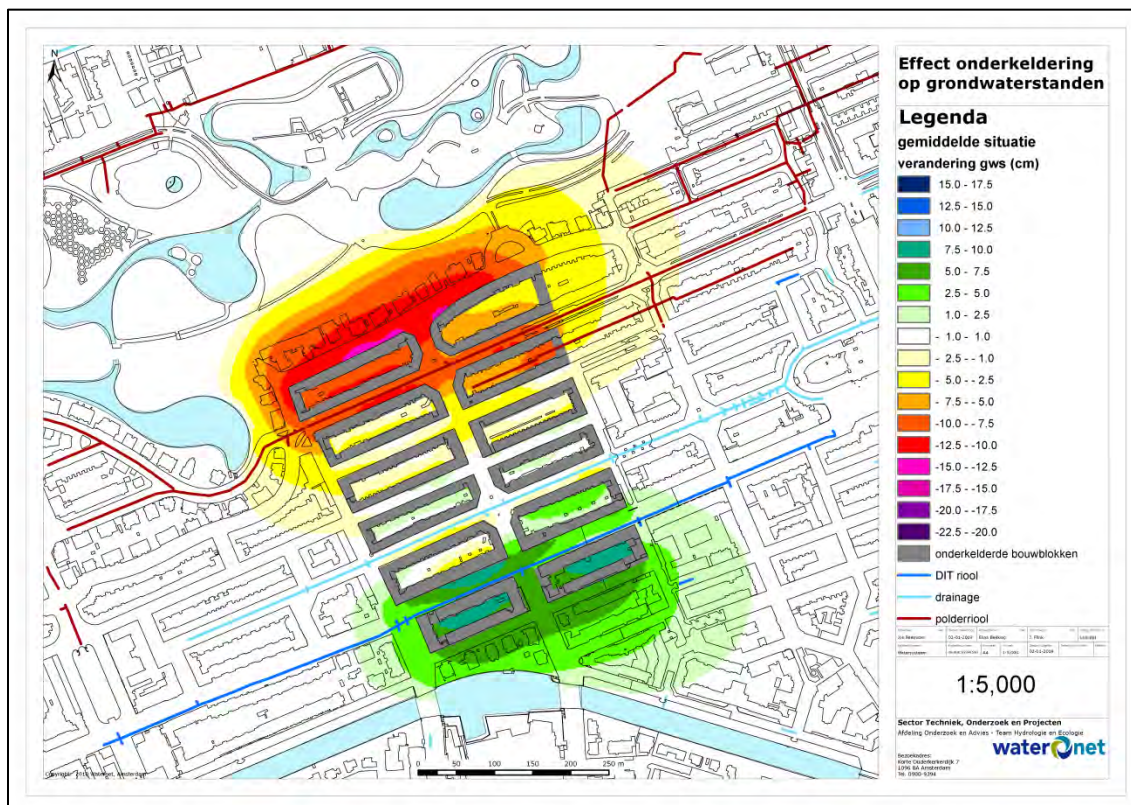
In een natte situatie zijn de effecten iets kleiner maar van vergelijkbare orde grootte. De ontwatering neemt dus af met 0,05 m tot lokaal 0,10 m. Dit zal niet direct negatieve gevolgen hebben, maar wanneer er een klimaatscenario wordt toegepast, worden deze stijgingen echter groter, vooral ten zuiden van de Johannes Verhulststraat.

In een droge situatie daalt het grondwater met name aan de noordzijde van het onderzochte gebied, nabij het Vondelpark. Uit een controle van de bovenkant van het funderingshout blijkt, dat deze funderingen nu voldoende grondwaterdekking hebben, ook na de grondwaterverlaging. In de rest van het onderzochte gebied ligt het funderingshout hoger maar is geen acuut risico op droogval. Wel neemt de grondwaterdekking op de palen (de marge) af.

Conclusie: de situatie met 50% kelders heeft licht negatieve gevolgen.

Grondwatereffect 100% kelders

Het grondwatereffect bij 100% onderkeldering (met 30 cm grond) is weergegeven in Figuur 32.



Figuur 32 Grondwatereffect in cm - 100% kelders met 30 cm grond - gemiddelde situatie

De effecten in de straten zijn groter dan in de situatie met 50% kelders. De maximale verhoging én verlaging is circa 0,1 m. Daarbij de kanteekening dat zonder 30 cm grond de verhoging en verlaging met maximaal 5 cm toenemen, waarbij mogelijk effecten van circa 0,15 m ontstaan.

In een natte situatie zijn de effecten groter dan in een gemiddelde situatie. Blijkbaar heeft het grondwater moeite om de onderkelderde bouwblokken heen te stromen, die loodrecht op de stroomrichting staan. De grondwaterverhoging kan oplopen tot meer dan 0,2 m, waarmee het risico op grondwateroverlast merkbaar zal toenemen. Het stijgend effect is nog groter in de binnentuinen, met name zonder de 30 cm grond als ze een geïsoleerd grondwatersysteem krijgen. Het effect van 'vollopen' van de binnentuinen lijkt hier niet het geval, omdat de inziging vrij groot is, maar de stijgingen kunnen ruim boven 0,2 m liggen. Het effect in de binnentuinen is onzeker maar groot.

In een droge situatie daalt het grondwater ten noorden van de Johannes Verhulstraat tot ruim 0,2 m. Aan de achterzijde van de woningen kan de binnentuin niet meer worden aangevuld met grondwater uit de omgeving, waardoor de grondwaterdaling met name aan de achterzijde van de woningen meer dan 0,2 m kan bedragen. Aan de Van Eeghenstraat kan dit leiden tot droogval. Aan de voorzijde van de woningen, lijkt het risico op droogval kleiner omdat het grondwater daar beter wordt aangevuld vanuit de omgeving, maar neemt de grondwaterdekking op de houten palen af.

Conclusie: de situatie met 100% kelders heeft negatieve gevolgen voor grondwateroverlast. Voor onderlast is vooral een toename van het risico aan de achterzijde van de woningen, omdat daar het grondwater minder goed wordt aangevuld.

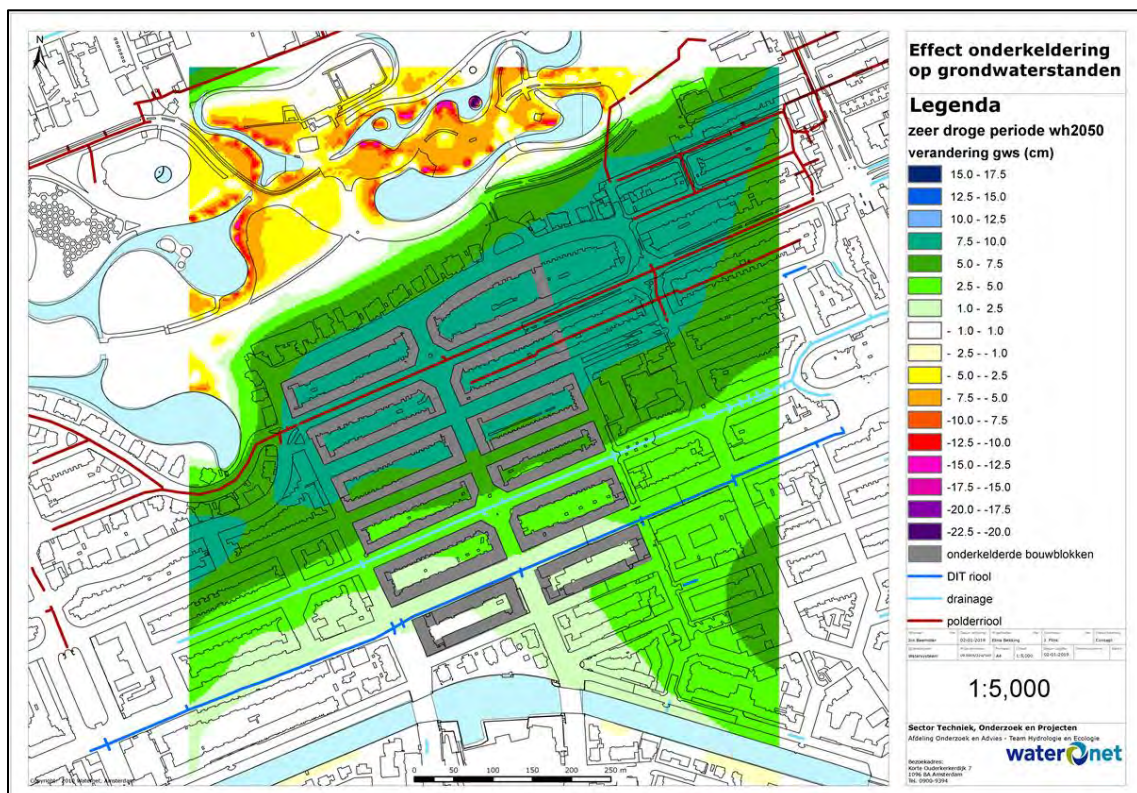
Grondwatereffect 30 cm grond

De maatregel met 30 cm grond is onvoldoende om de grondwatereffecten te neutraliseren. Op lange termijn, zeker wanneer men toegaat naar een situatie met meer dan 50% onderkeldering, is een grotere grondverbetering nodig.

Klimaatteffect

Het klimaatscenario Wh2050 heeft een verhogend effect op het grondwater, zowel in natte als droge perioden. Dit betekent dat het risico op grondwateroverlast in de toekomst toeneemt (met 0,05 à 0,1 m). In combinatie met de verhogende effecten van de kelderbouw, kan merkbare overlast ontstaan.

Anderzijds zakt door het nattere klimaat het grondwater circa 0,05 à 0,1 m minder uit in droge perioden. Aan het begin van de droge periode heerst immers een hogere begin-grondwaterstand. Hierdoor neemt de kans op grondwateronderlast licht af. Opgemerkt wordt, dat dit een theoretische benadering is waarbij een langere (dan het klimaatscenario) periode zonder neerslag vrij grote effecten kan hebben. Een grondwaterstand in een binnentuin kan in een droge zomer tot 1 cm per dag dalen; mocht de droge periode twee weken langer duren dan het klimaatscenario, dan is de extra grondwaterdaling al 0,14 m. De conclusie is dat het risico op grondwateroverlast in het toekomstige klimaat toeneemt, terwijl het risico op onderlast in theorie kan afnemen maar bij lange droge perioden toeneemt.

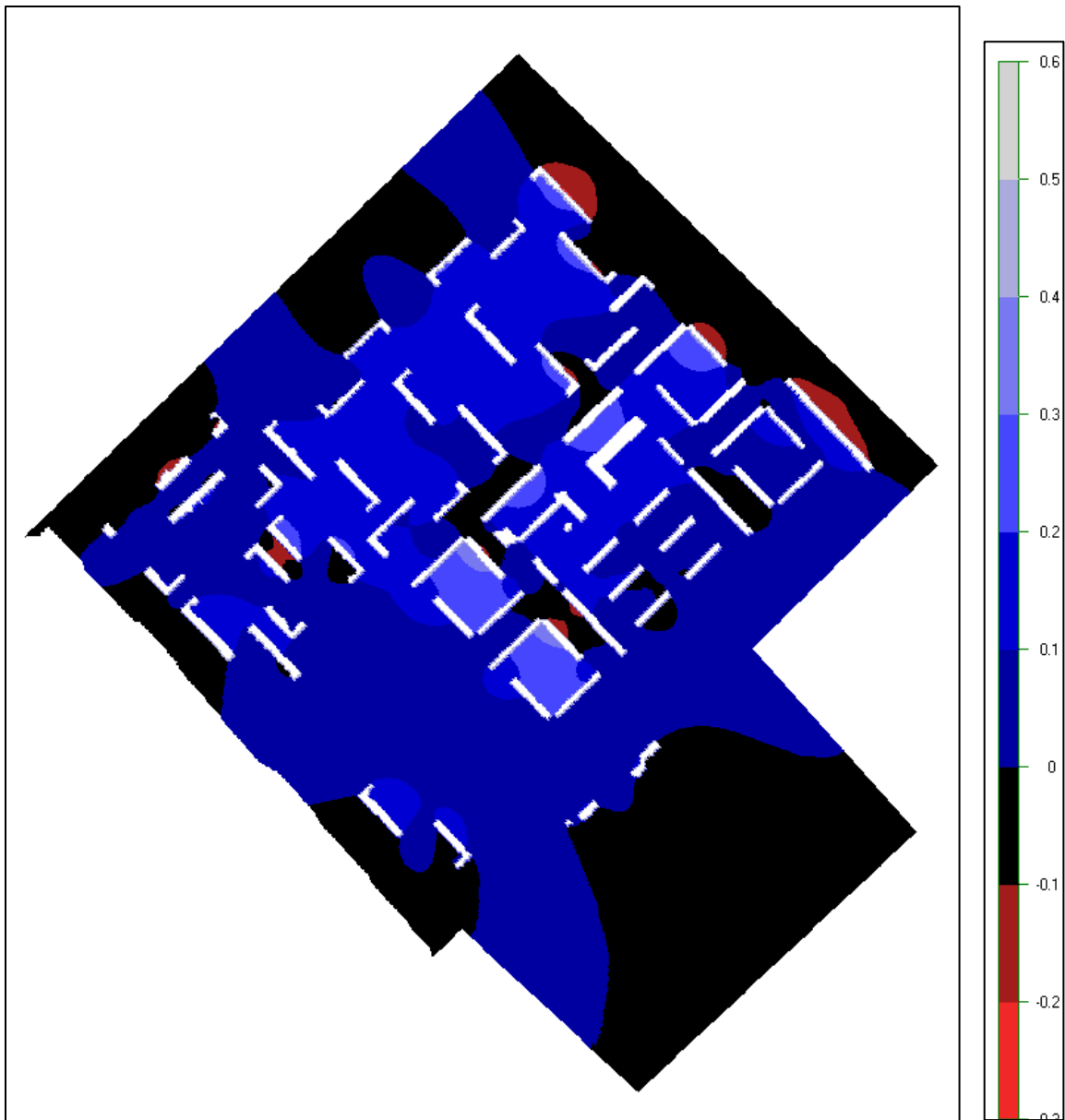


Figuur 33 Grondwatereffect klimaatscenario (in cm) t.o.v. geen klimaatscenario - 100% kelders - droge situatie

8.4 Middenmeer

Grondwatereffect 50% kelders

Het grondwatereffect van 50% kelders is zichtbaar in Figuur 34. Een aantal blokken in het zuidoosten van het gebied hebben nu al kelders, die zijn meegenomen onder de 50% kelders.



Figuur 34 Grondwatereffect in m – 50% onderkeldering – gemiddelde situatie

Er zijn in de gemiddelde situatie in de gehele buurt grondwaterstijgingen tot 0,2 m, lokaal hoger. Op enkele locaties zijn er dalingen van circa 0,1 m. De stijging wordt met name veroorzaakt door kelders die loodrecht op de stromingsrichting staan, die gericht is richting de watergangen. De stijging is relatief groot doordat het een kwelgebied betreft waarbij de horizontale stroming groot is.

Aan de stroomafwaartse zijde ("luwte") van sommige kelders vindt daling plaats; dit is bijvoorbeeld zichtbaar bij de meest noordelijke bouwblokken.

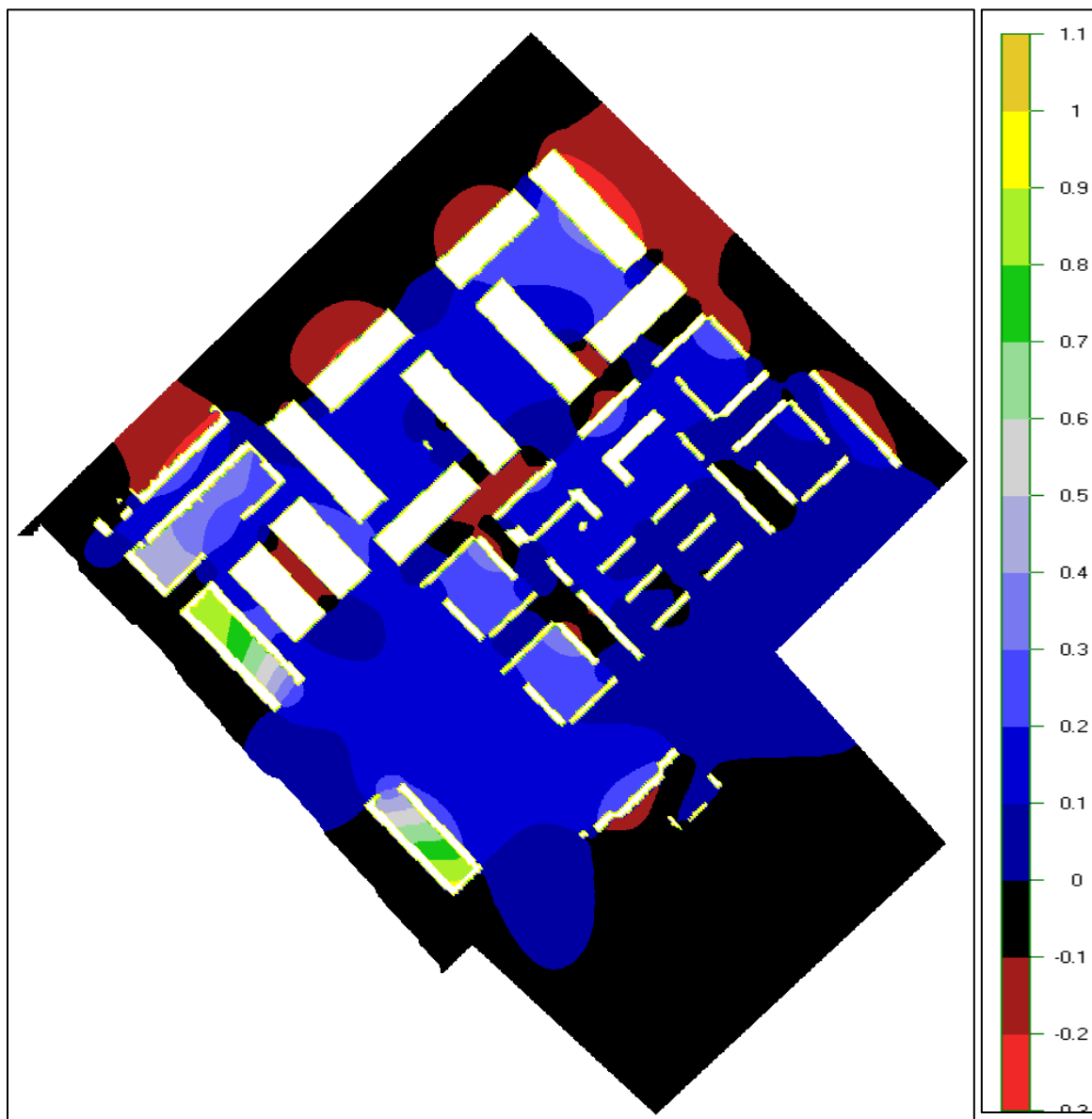
In een natte periode zijn de stijgingen iets groter (tot 0,25 m). Het risico op wateroverlast neemt merkbaar toe tot zeer groot. Wateroverlast kan mogelijk optreden bij woningen en in kruipruimten en op termijn bij bomen (verminderde groei) en wegen (opvriezen).

In een droge periode is er bij een twintigtal bouwblokken een daling die meest tussen 0,05 en 0,1 m ligt. De GLG wordt dus lager, waardoor er minder grondwaterdekking op de houten funderingen resteert. Er blijft een ruime grondwaterdekking aanwezig waarmee het risico op onderlast bij 50% kelders klein is.

De conclusie is dat er reeds bij 50% onderkeldering een significant risico is op overlast. Het risico op onderlast neemt licht toe, maar naar verwachting is er nog ruim voldoende grondwaterdekking op de palen en is het risico klein.

Grondwatereffect 100% onderkeldering

De effecten zijn zichtbaar in Figuur 35.



Figuur 35 Grondwatereffect in m – 100% kelders – gemiddelde situatie

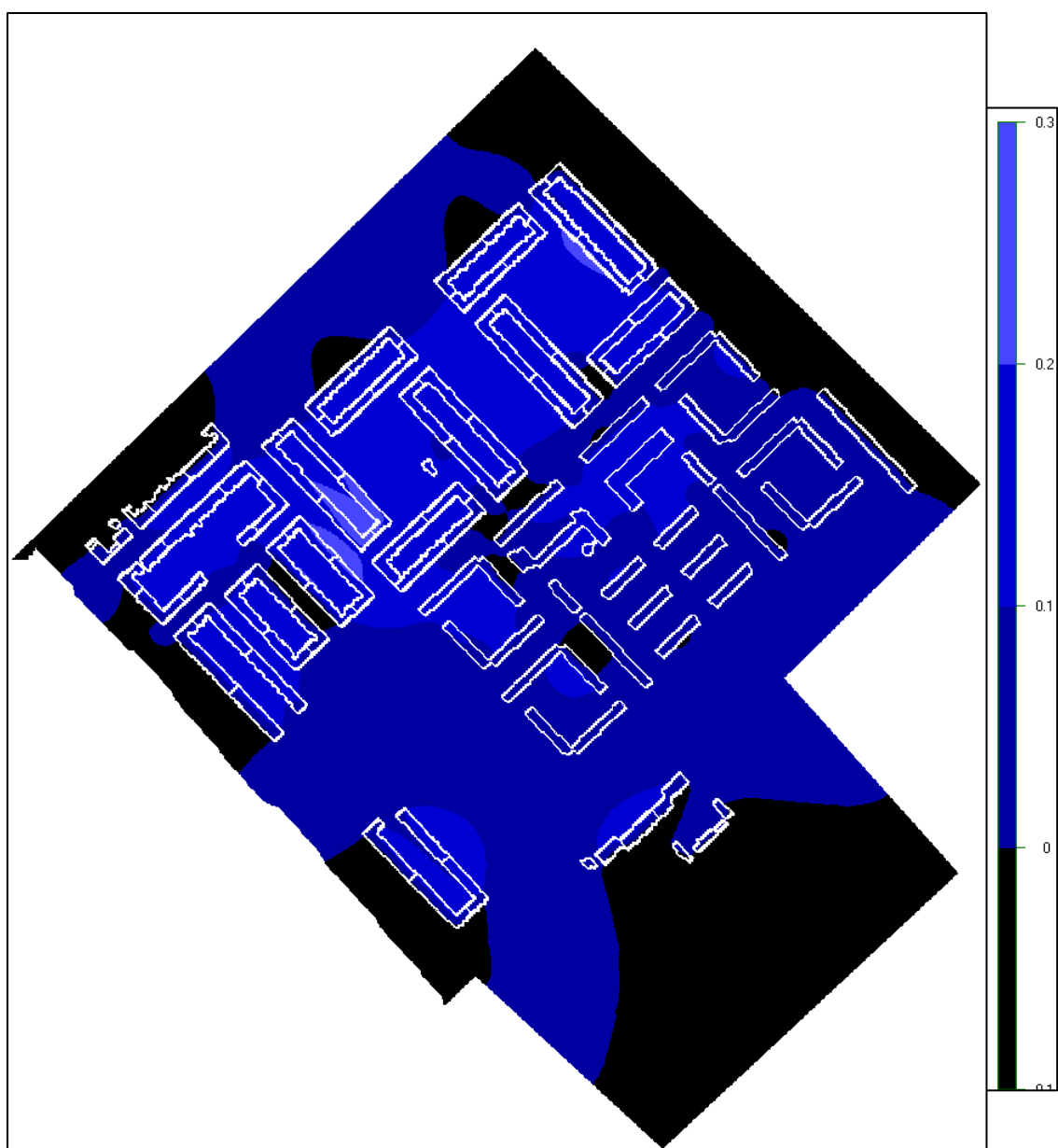
Bij 100% onderkeldering is er in de gemiddelde situatie zowel sprake van grondwaterstijgingen (tot 0,3 m) als -dalingen (tot 0,2 m). De stijging is ongeveer gelijk aan de situatie met 50% kelders. Dit komt omdat de binnentuinen in gesloten bouwblokken qua grondwater worden afgesloten van het grondwatersysteem in de wijk. Hierdoor wordt er minder grondwater afgevoerd onder de straten en tegelijk moet het grondwater om de onderkelderde bouwblokken heen stromen. Het netto-effect van beide mechanismen is ongeveer gelijk aan de situatie 50% kelders.

In een natte periode, neemt (net zoals bij 50% kelders) het risico op wateroverlast merkbaar toe tot zeer groot. Overlast kan mogelijk optreden bij woningen en in kruipruimten en op termijn bij bomen (verminderde groei) en wegen (opvriezen). Maar vooral het risico in afgesloten binnentuinen is zeer groot: de aanvulling van het grondwater (neerslag en kwel) is groter dan de hoeveelheid grondwater die weg kan (verdamping). De binnentuinen "lopen vol".

In een droge periode zijn de dalingen groter dan bij 50% kelders: tot 0,2 m daling. Hierdoor resteert er minder grondwaterdekking op de houten funderingen. Waarschijnlijk blijft de grondwaterdekking op de houten funderingen ruim voldoende en is het risico klein.

Grondwatereffect 30 cm grond

De effecten zijn zichtbaar in figuur 19. De effecten van 100% kelders, waarbij 30 cm grond is toegepast, zijn voor zowel de gemiddelde als de natte situatie nog steeds tot 0,2 m stijging en tot 0,05 m daling. De stijging en daling zijn aanzienlijk kleiner dan wanneer geen 30 cm grond wordt toegepast, maar doordat de ontwatering in dit gebied al minimaal is, is het effect bij 30 cm grond nog steeds te groot en neemt het risico op grondwateroverlast merkbaar toe. Het risico op onderlast blijft klein.



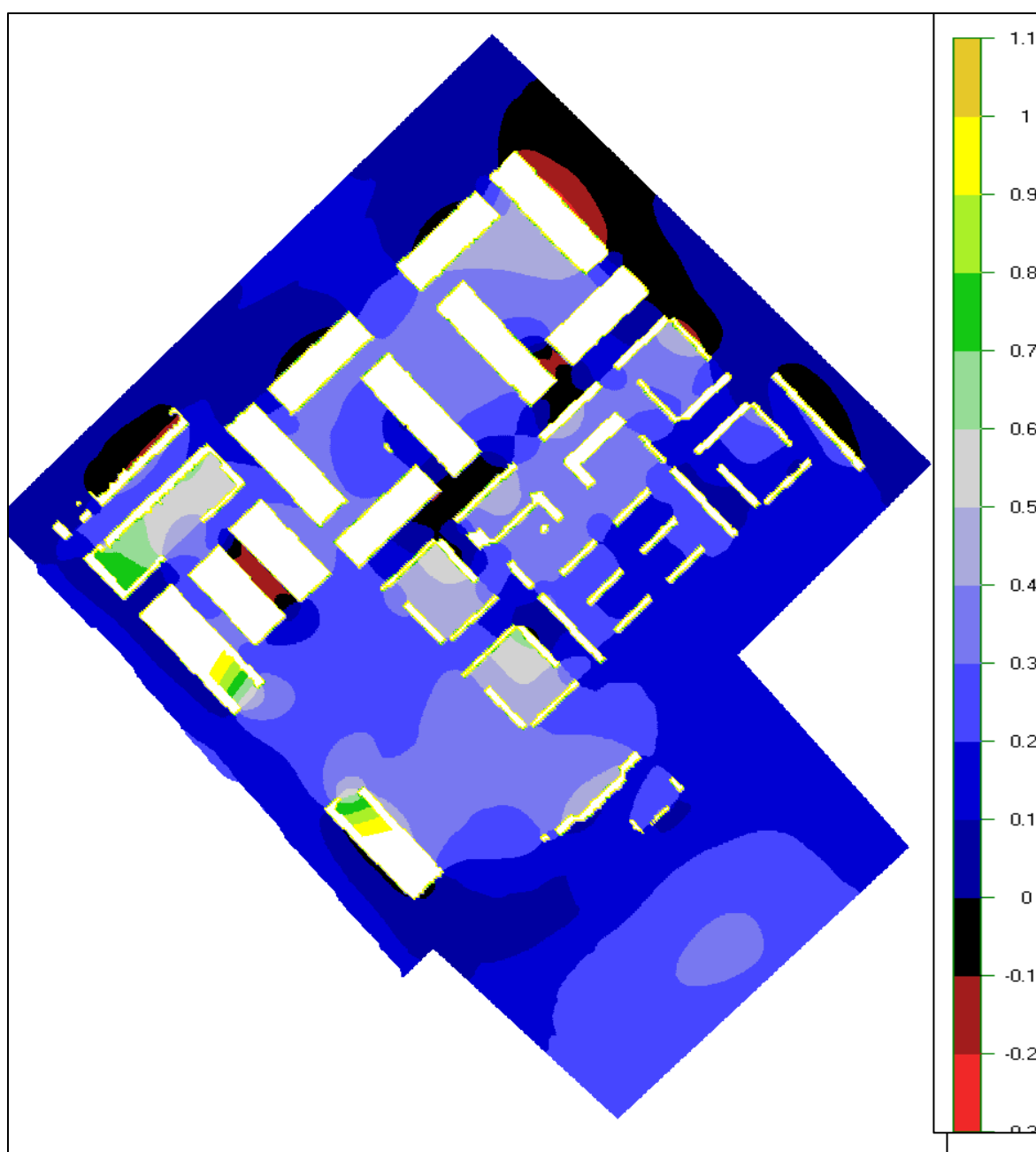
Figuur 36 Grondwatereffect in m – 100% kelders + 30 cm grond – gemiddelde situatie

Grondwatereffect Klimaatscenario

In de situatie met 100% kelders en een klimaatscenario Wh2050, is er een extra verhogend effect op het grondwater, zowel in natte als droge perioden. Er is sprake van een stijging tot circa 0,40 m (lokaal hoger) en een daling tot -0,15 m (lokaal hoger). De kans op grondwateroverlast in combinatie met kelderbouw neemt met het toekomstige klimaatscenario aanzienlijk toe.

Anderzijds zakt door het nattere klimaat het grondwater circa 0,05 à 0,1 m minder uit in droge perioden.

Aan het begin van de droge periode heerst immers een hogere begin-grondwaterstand. Hierdoor neemt de kans op gr licht af. Wanneer de droge perioden langer zijn dan in het klimaatscenario, kan er een lichte daling optreden maar blijft het risico op onderlast klein.



Figuur 37 Grondwatereffect in m – 100% kelders + klimaatscenario Wh – gemiddelde situatie

9 Bijlage 3 Kaart gebieden met hoog grondwater

Geel: Ontwateringsdiepte < -0,90 m; drainage mogelijk

Rood: Ontwateringsdiepte < -0,90 m; drainage niet/beperkt mogelijk door indicatie hooggelegen funderingen

