

Werkpakket 3 De Waterbergende Weg - Stedelijke opschaalbaarheid Waterbergende Maatregelen

Author(s)

Föllmi, D.; Veldkamp, T.I.E.; Loeve, R.; Schoonderbeek, Jeroen; van der Lee, Nick; Kluck, J.

Publication date

2023

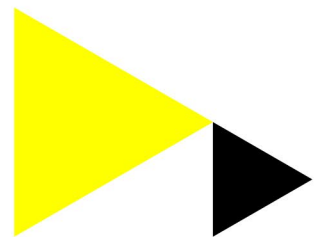
Document Version

Final published version

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Föllmi, D., Veldkamp, T. I. E., Loeve, R., Schoonderbeek, J., van der Lee, N., & Kluck, J. (2023). *Werkpakket 3 De Waterbergende Weg - Stedelijke opschaalbaarheid Waterbergende Maatregelen*.

**General rights**

It is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), other than for strictly personal, individual use, unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

Disclaimer/Complaints regulations

If you believe that digital publication of certain material infringes any of your rights or (privacy) interests, please let the Library know, stating your reasons. In case of a legitimate complaint, the Library will make the material inaccessible and/or remove it from the website. Please contact the library: <https://www.amsterdamuas.com/library/contact/questions>, or send a letter to: University Library (Library of the University of Amsterdam and Amsterdam University of Applied Sciences), Secretariat, Singel 425, 1012 WP Amsterdam, The Netherlands. You will be contacted as soon as possible.

Stedelijke opschaalbaarheid Waterbergende maatregelen (WP 3)

Waterbergende weg

Auteurs: Dante Föllmi, Ted Veldkamp, Ronald Loeve, Jeroen Schoonderbeek, Nick van der Lee, Jeroen Kluck

1 Introductie

Om de klimaatdoelen te halen en daarmee wateroverlast te beperken en leefbaarheid te handhaven is grootschalige implementatie van klimaatadaptatie maatregelen cruciaal (Deltaprogramma 2023, 2022). Waterbergende maatregelen vormen hier een belangrijk onderdeel van. Een waterbergende maatregel is gedefinieerd als een maatregel in de openbare ruimte die gedimensioneerd is om grote hoeveelheden (hemel)water door middel van infiltratie (vertraagd) te bergen of af te voeren. Dit kan door een verlaging van het maaiveld met in sommige gevallen een ondergrondse inrichting, zoals een bergingspakket (bijv. wadi's, raingardens). Of via het wegcunet zoals infiltrerende en waterpasserende verharding bij gebrek aan ruimte. Voor een landelijke schaal vormt een volledige klimaatadaptief ingerichte openbare ruimte het uitgangspunt tegen het jaar 2050. Maar ook op lokale schaal zijn er klimaatadaptatie uitvoeringsagenda's en doelen. Zo geldt er onder andere voor het beperken van wateroverlast voor de gemeente Amsterdam dat elke herinrichting klimaatbestendig moet zijn, dat hemelwater lokaal moeten worden verwerkt en dat er geen schade mag optreden bij een bui van 70 mm/uur (Omgevingsprogramma-riolering-2022-2027 , 2022).

Toenemende druk op de boven- en ondergrondse ruimte in steden belemmert deze gewenste opschaalbaarheid van waterbergende maatregelen. Naast bestaande (her-)inrichtingsopgave zijn er een groot aantal opgaves omtrent klimaatadaptatie die de complexiteit voor lokale overheden vergroot. Het blijkt niet altijd haalbaar om naast de bestaande infrastructuur van kabels, leidingen, riolering en vegetatie te voldoen aan gestelde klimaat(adaptatie)doelen. Dit maakt dat waterbergende maatregelen soms lastig in te passen zijn en vaak slechts door middel van kleinschalige pilots worden geïmplementeerd (Kluck, et al., 2017). Specifiek voor waterbergende maatregelen ontbreekt de kennis en knowhow waar en hoe deze ingebreed kunnen worden.

Het gebrek aan implementatiehandvatten over waar en hoe waterbergende maatregelen op te schalen zijn vraagt onder andere om meer kennis vanuit het ruimtelijke stedelijke domein. Naast bestaand stresstesten, zoals kaarten over hitte en wateroverlast, die vooral de kwetsbaarheid van klimaatverandering ruimtelijk weergeven, ontbreekt er een ruimtelijke visualisatie die adaptatiekansen verder in kaart brengt. Zo zijn er voor waterbergende maatregelen geen regionale (online) kaarten beschikbaar die kansen en bottlenecks weergeven. Een methodische aanpak waarbij ruimtelijk expliciete datasets met focus op boven- en ondergrond (grondwater, vegetatie, bovengrondse functie, infrastructuur etc.) worden samengevoegd kan meer inzicht geven waar opschaling mogelijk is. Ook kan - middels dergelijke methodiek - een koppeling worden gemaakt met al bestaande vervangingsopgaves om implementatiekansen in de toekomst te vergroten.

De vraag die centraal staat in deze rapportage – uitgevoerd als onderdeel van het SIA RAAK Publiek project 'De Waterbergende Weg' - is dan ook:

Hoe kan een methodiek waarbij datasets zoals bestaande inrichting, functie en grondwater leidend zijn, bijdragen aan de inventarisatie van de ruimtelijke opschaalbaarheid van waterbergende maatregelen?

Hoofdstuk 2 van deze rapportage behandelt de ontwikkelde methodiek en beschrijft de behandelde case study Amsterdam. Hoofdstuk 3 bespreekt de resultaten van de gevolgde methodiek. Hoofdstuk 4 reflecteert op de resultaten van de casestudy in Amsterdam en gaat verder in op aanbevelingen voor de praktijk en aanbevelingen voor vervolgonderzoek. Hoofdstuk 5 sluit af met enkele conclusies.

2 Methode

In dit hoofdstuk wordt toegelicht wat de hoofdvraag en onderzoeksdoelen zijn en waarom er gekozen is voor de gemeente Amsterdam als casestudy gebied. Daarnaast wordt een drietal sub-vragen geformuleerd die ingaan op de invloed van ontwateringdiepterichtlijnen, het effect van datakwaliteit en de differentiatie van verschillende wijk typologieën en het effect op de klimaat-adaptatiepotentie. Vervolgens wordt in stappen uitgelegd hoe een zestal potentiekaarten tot stand is geconstrueerd en welke data-verzameling en -verwerkingsstappen er aan vooraf zijn gegaan. Tenslotte wordt een aantal statistische vervolganalyses besproken waarmee de (verschillen tussen) gerealiseerde potentiekaarten in cijfers kunnen worden uitdrukt.

2.1 Vraagformulering en onderzoeksdoelen

2.1.1. Hoofdvraag en casestudy Amsterdam

Bij de methodiekontwikkeling van klimaatadaptatiepotentiekaarten zijn de publicaties *UP DNA van de Stad* voor de gemeentes Leiden en Rotterdam (Deltares, 2020) als vertrekpunt gebruikt. Binnen de analyse van *UP DNA van de Stad* is er een breed scala aan ondergrondse (bijv. oppervlakte doorlatendheid, archeologie, verontreiniging, kabels en leidingen, boomwortels etc.) en bovengrondse (bijv. groenstructuren, helling maaiveld etc.) ruimtelijke datasets gecombineerd en verwerkt tot één potentiekaart. Deze analyses op buurtniveau geven aan waar klimaatadaptatie een hoge of lage slagingskans heeft en vormen daar mee een goede basis voor een analyse op grotere regionale/gemeentelijke schaal. Aan *UP DNA van de Stad* analyses kleven echter ook nadelen. De kleinere schaal zorgt voor een grotere beschikbaarheid aan ruimtelijke databronnen die gebruikt zijn. Naast dat dit op groter schaal vaak lastiger is, zorgt het samenvoegen van meerdere datasets er ook voor dat niet direct te herleiden is uit de klimaatadaptatiepotentiekaart welke variabele verantwoordelijk is voor een hoge of lage potentie.

Anders dan voor *DNA van de Stad* heeft de hier uitgevoerde analyse als doel om bij te dragen aan een methodiekontwikkeling waarbij meteen duidelijk is waar de potentiekaarten uit opgebouwd zijn door een select aantal bronnen te gebruiken. Deze bronnen zijn gekozen met als uitgangspunt dat ze vaak bij een (her-)inrichtingsopgave een bottleneck vormen voor klimaatadaptatie (grondwater, bestaand topografie en functies). De (relatieve) simpliciteit van de potentiekaarten heeft daarmee als doel om het voor beleidsmakers en (lokale) overheden makkelijker te maken om kansen voor waterbergende maatregelen te lokaliseren en realiseren. Aan de hand hiervan is de volgende hoofdvraag geformuleerd:

Hoe kan een methodiek waarbij datasets zoals bestaande inrichting, functie en grondwater leidend zijn, bijdragen aan de inventarisatie van de ruimtelijke opschaalbaarheid van waterbergende maatregelen?

Voor het beantwoorden van deze hoofdvraag is de gemeente Amsterdam als casestudy gebied gekozen. De keuze voor dit gebied is gebaseerd op een aantal redenen: i) Voor de gemeente Amsterdam is er een brede set aan open-source data van een hoge kwaliteit (met name voor grondwater); ii) Er is tot dusver voor de gemeente Amsterdam nog geen openbare potentiekaart gemaakt. Een dergelijk kaart kan een goede aanvulling zijn op bestaande kaartmateriaal van het gebied, zoals de regenwaterknelpuntenkaart en waterdieptekaart (Rainproof, 2019); iii) En tot slot, de gemeente Amsterdam beschikt over een brede set aan verschillende wijktypes (vooorlogs en naoorlogs) en kan zo een completer beeld geven van de mogelijkheden van klimaatadaptie voor verschillende wijktypologieën.

2.1.2. Sub-vragen en onderzoeksdoelen

Naast het genereren van potentiekaarten die een eerste inzicht voor beleidsmakers moeten geven zijn er aansluitend op de hoofdvraag een drietal deelvragen geformuleerd, die verder ingaan op het effect van beleidskeuzes, datakwaliteit en gebruiksmogelijkheden van de potentiekaarten:

1. Wat is het effect van de beleidskeuzes omtrent het hanteren van bepaalde ontwateringsdieptes bij de aanleg en gebruik van waterbergende maatregelen (of adaptatiepotentie)?
2. Wat is het effect van uiteenlopende datakwaliteit van verschillende grondwater datasets (landelijk grondwatermodel en lokaal peilbuizenbestand) op de adaptatiepotentie?
3. Welke wijktypes hebben een hoge adaptatiepotentie?

Scenario's voor verschillende ontwateringsdieptes

De ontwateringsdiepte wordt bepaald aan de hand van de gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG) die meestal plaatsvindt eind winter of begin lente wanneer de meeste neerslag plaats vindt. De richtlijn is gedefinieerd als de afstand tussen de gemiddeld hoogste grondwaterstand ten opzichte van het maaiveld (zie figuur 1) die is uitgemiddeld over een bepaalde meetperiode (meestal rond de tien jaar). De ontwateringsdiepte is dus omgekeerd evenredig aan de grondwaterstand, wat inhoudt dat een grotere ontwateringsdiepte een lagere GHG representeert met een groter afstand tot het maaiveld.

Een grote ontwateringsdiepte (en dus lage GHG) heeft als doel om gebieden bouw- en woonrijp te maken voor allerlei gebruiksfuncties (gebouwen, tuinen, plantsoenen, kelders, kruipruimtes, funderingen, wegen etc.) en grondwateroverlast beperkt is (van Wee, et al., 2007). Tevens heeft een ruimte ontwateringsrichtlijn de functie om voldoende hemelwater te kunnen bergen tijdens intense en langdurige buien die toenemen door klimaatverandering (Gemeente Amsterdam, 2022).

Echter leidt een grote ontwateringsdiepte ook tot negatieve effecten. In bestaande situaties kan het leiden tot bodemdaling (veeninklinking), funderingsschade (paalrot) of afname van bodemvocht beschikbaar voor groen tijdens droge periodes. Ook voor de inbreiding van waterbergende maatregelen in projectontwikkeling wordt uitgegaan van dezelfde ontwateringsrichtlijnen. De vraag is of dit altijd noodzakelijk is. Enerzijds omdat sommige maatregelen bij het bouwrijp maken een beperkte aanlegdiepte hebben en dus ook toegepast kunnen worden bij een kleinere ontwateringsdiepte. Anderzijds is tijdens de woonfase (of gebruiksfase) een hoge grondwaterstand niet altijd nadelig voor de maatregel. Bijvoorbeeld omdat de berging groot genoeg is, ook tijdens de GHG.

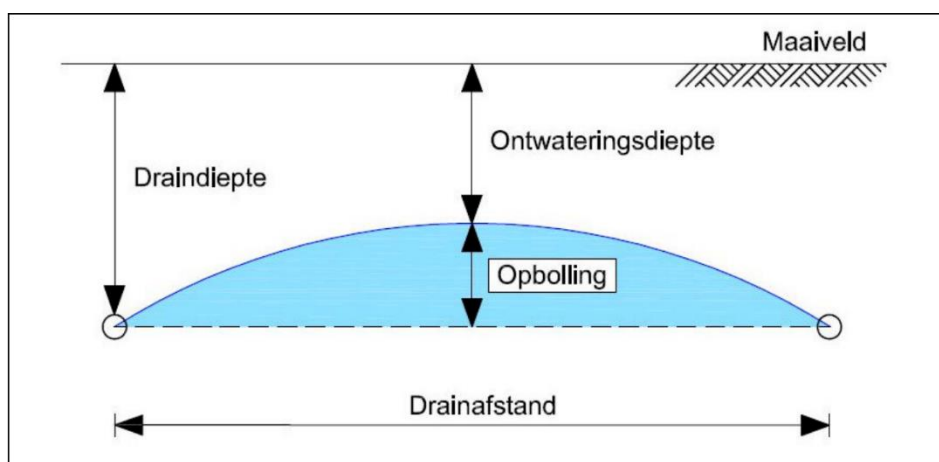
Daarnaast blijkt dat bij de bouw- en woonrijp maken de gestelde ontwateringsrichtlijnen niet altijd haalbaar, doordat in de praktijk de af- en ontwatering niet voldoende is (de Jong & Wijtenburg, 2020). Bij (her-)inrichting kan dat ertoe leiden dat de implementatie van waterbergende maatregelen en bijbehorende (ondergrondse) complexiteit te lastig wordt bevonden.

Het gevolg is een beleidsmaatregel die verdere opschaling belemmert. Daarom is voor de beantwoording van deelvraag één een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd aan de hand van verschillende ontwateringsdieptescenario's (tabel 1). Elk scenario bevat een andere ontwateringsdiepte om te analyseren wat het effect is als voor waterbergende maatregelen als een kleinere diepte wordt gehanteerd dan nu gangbaar is.

Tabel 1 Verschillende ontwateringsdiepte scenario's

Scenario	Minimale ontwateringsdiepte (m)	Onderbouwing
1.	0,9	Huidige richtlijn A'dam (Omgevingsprogramma Riolering 2022 – 2027)
2.	0,7	Bouwrijpmaken tijdens bouwfase en tijdens woonfase (SBR, <i>Bouwrijpmaken van terreinen</i> , 1984) Voorkomen schade door vorst onder cunet (pers. Comm. R. Wentink, 2023)
3.	0,5	Tuinen, plantsoenen, parken (SBR, 1985)

Verder geldt dat elk scenario is onderbouwd aan de hand van verschillende adviezen en beleid omtrent de ontwateringsdiepte. Voor scenario één is uitgegaan van de ontwateringsdiepte geformuleerd door de gemeente Amsterdam van 0,9 m in het *Omgevingsprogramma Riolering 2022-2027* (Gemeente-Amsterdam, 2022). Scenario twee is gebaseerd op de algemene Nederlandse ontwateringsrichtlijnen die worden geformuleerd in de SBR richtlijnen: (*Bouwrijpmaken van terreinen*, 1984). Tijdens de aanleg-/bouwphase ligt dit tussen 0,7 – 0,8 m zodat menselijke en machinale arbeid niet belemmerd wordt door grondwater. Tijdens gebruik-/woonphase wordt een ontwateringsdiepte van 0,7 m aangehouden om problemen zoals: fundering schade (bijv. paalrot) en voldoende hemelwaterberging te bewerkstelligen (idem). En scenario drie is gebaseerd op een situatie waar slecht een uiterst beperkte ontwateringsdiepte vereist is, gebaseerd op de richtlijnen voor stedelijk groen (SBR, 1984).



Figuur 1. De ontwateringsdiepte: de afstand tussen de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) en het maaiveld. bron: (van Wee, et al., 2007)

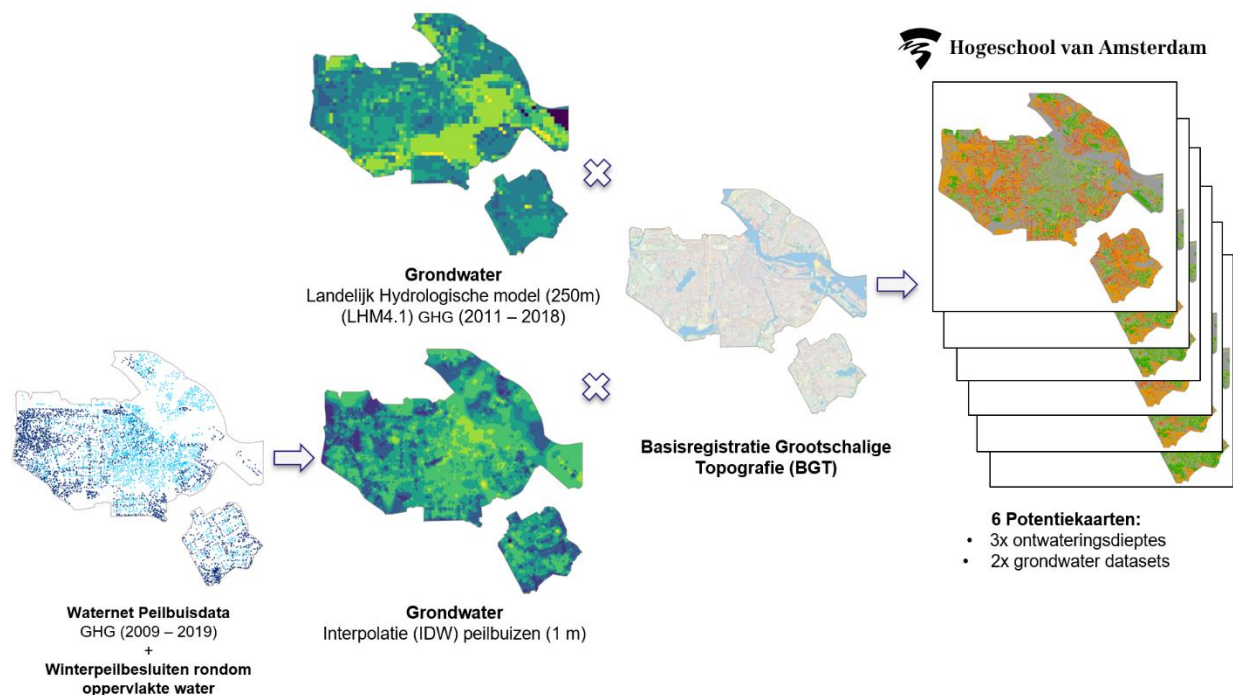
Datakwaliteit

Datakwaliteit kan een grote invloed hebben op de uiteindelijke betrouwbaarheid van onderzoeksresultaten. Open-source data is vaak makkelijk inzetbaar, kosteloos en beslaat vaak een groot ruimtelijk domein. Echter heeft dit als nadeel dat het een lagere kwaliteit en betrouwbaarheid kan hebben dan betaalde datasets. Voor het maken van potentiekaarten is er gekeken naar datakwaliteit van grondwater (GHG) en de invloed die het heeft op berekende potentie voor klimaatadaptatie. Zo staat hier de vraag centraal of een open-source Landelijk Hydrologische Model (LHM4.1, Landelijk Hydrologisch instrumentarium, NHI) met een lage resolutie, dezelfde resultaten oplevert als een dataset bestaande uit lokaal gemeten peilbuisgegevens van Waternet met een hoge resolutie en betrouwbaarheid. Vergelijkbare resultaten zou de potentie voor de inzet van datasets met een lage kwaliteit kunnen vergroten en maakt het generen van kaartproducten voor grotere schalen makkelijker. Bijvoorbeeld het gebruik van open-source data op landelijke schaal. Het samenvoegen van meerdere gefragmenteerde datasets van hoge kwaliteit vraagt vaak meer data acquisitie of -opschoning.

Wijktypes

Voor de derde deelvraag geldt dat de differentiatie tussen verschillende wijktypes een aanvulling kan geven op de reeds gemaakte potentiekaarten. Zo wordt duidelijker welke wijktypes extra aandacht verdienen en binnen welke wijktypes mogelijkheden liggen voor verdere opschaling van klimaatadaptatie. Dit geeft meer houvast dan enkel een potentiekaart voor het onderzoeksgebied en maakt een gerichtere aanpak van klimaatadaptatie mogelijk.

2.2 Data acquisitie



Figuur 2. Procesbeschrijving generen potentiekaarten

Zoals eerder al aangegeven ligt voor dit onderzoek de focus op een select aantal datasets die gebruikt worden in het genereren van potentiekaarten. Hierin staat het landgebruik aan de hand van de Basisregistratie Grootschalige Topografie (BGT) en grondwater (Peilbuismetingen en Hydrologische modellen) centraal. Voor het maken van de potentiekaarten is een GIS analyse uitgevoerd, waar achtereenvolgens datasets van grondwater en BGT zijn verzameld, zijn opgeschoond en vervolgens

vermenigvuldigd om zo een zestal potentiekaarten te generen (gebaseerd op drie ontwateringsscenario's, en twee grondwater datasets, figuur 2). Alle datasets die zijn gebruikt en bijbehorende bronnen zijn opgesomd in tabel 2. De keuze van deze type datasets is gebaseerd op de volgende (praktische) overwegingen:

- Er is gekozen voor een select aantal van twee datasets voor het generen van de potentiekaarten. Dat maakt het mogelijk om in eindresultaat direct een 'potentiescore' terug te herleiden naar een van de gebruikte datasets. Hierdoor zijn de kaarten makkelijker te interpreteren en te gebruiken. De keerzijde van deze keuze is dat andere beperkingen (boomwortels, bommen etc.) niet zijn meegenomen in deze analyse wat tot een hoger potentiescore kan leiden als meer beperkingen zijn toegevoegd.
- De BGT is gekozen als dataset, omdat deze een breed scala aan klassen visualiseert die het landgebruik of de functie van de openbare ruimte beschrijven (bijv. fietspad, wandelgebied, groenstrook etc.) en het oppervlaktype beschrijven (verhard, onverhard etc.). Dit draagt bij aan hoe adaptatiepotentie geformuleerd kan worden, namelijk als de 'haalbaarheid' of 'mate van verstoring voor onder- en bovengrond. Een autoweg van asfalt met een hoge verkeersintensiteit heeft bijvoorbeeld een belangrijkere verkeersfunctie dan een parkeervak wat de implementatie van waterbergende maatregelen voor de eerste categorie lastiger maakt. Type maatregelen met vegetatie zijn hier bijvoorbeeld niet gewenst. Ook vereist het een hogere investering om asfalt te vervangen in vergelijking met een parkeervak bestaande uit bestrating.
- De tweede type dataset, grondwater in de vorm van gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG), vormt ook een belangrijk speerpunt in het inventariseren van adaptatiepotentie. Een hoge grondwaterspiegel leidt vaak tot belemmeringen bij ondergrondse inrichting en aanleg of het gebruik van een waterbergende maatregel. Ook kan het de bergingscapaciteit verminderen, kan het leiden tot sterfte van wortels en vegetatie of zorgt het voor een instabieler wegcunet. Gegevens over de grondwaterstand zijn dus een belangrijke databron die die mate van haalbaarheid ruimtelijk kan versterken of afzwakken.

Tabel 2. Gebruikte datasets en bijbehorende bronnen.

2.2.1. Grondwater data

Dataset	Beschikbaarheid	Bron	Gebruik in kaart
Grondwatermeetgegevens, Peilbuisgegevens (2009 – 2019)	Openbaar	Waternet	GHG – ontwateringsdiepte
Vigerende Peilgebieden Waternet	Openbaar	Waternet	Winterpeilen rondom oppervlaktewater
Landelijk hydrologisch model (LHM4.1 2011 – 2018)	Openbaar	Nederlands Hydrologisch Instrumentarium (NHI)	GHG – ontwateringsdiepte
Basisregistratie Grootchalige topografie (BGT)	Openbaar	Gemeente A'dam	Score oppervlakte/functie type
Basisregistratie Grootchalige topografie (BGT)	Openbaar	Gemeente A'dam	Bovengrondse functie
Wijktypologieën	Momenteel nog niet openbaar	HvA, Stichting CAS, Tauw Deltares ^A	Adaptatiepotentie per wijktype
Onderhoud wegen	Openbaar	Gemeente A'dam	Adaptatiepotentie gekoppeld aan onderhoud wegen (overlay)

^A (Kleerekoper & Koekoek, 2018) NB, De wijk typologieënkaart gebruikt in deze studie bevat een doorontwikkeling op deze publicatie en is een samenwerking van de Hogeschool van Amsterdam, Stichting CAS, Tauw en Deltares.

Twee grondwaterkaarten van de GHG zijn gemaakt om de potentiekaarten te generen en om het effect van datakwaliteit te analyseren (zie deelvraag één en twee, sectie 2.1.2 en figuur 2). Voor de eerste grondwaterkaart zijn er peilbuismetingen van Waternet tussen 2009 en 2019 en winterpeilbesluiten gebruikt om een GHG te genereren. Voor de tweede kaart is de GHG output van het landelijk hydrologisch model (versie 4.1) tussen 2011 en 2018 als data gebruikt (NHI, 2023).

Peilbuizen en Peilbesluiten Waternet

Om een grondwaterkaart te maken van de GHG is peilbuis data geanalyseerd door Waternet en is een standaard berekening uitgevoerd die afhankelijk is van de soort peilbuis en data type:

- Dataloggers (zogenoemde D-meetpunten, minimaal een meting per dag of vaker): Boven het 90^e percentiel van de metingen is gebruikt voor de GHG bepaling. Daarnaast moet er minimaal één meting per dag voor 80% van de dagen beschikbaar zijn in de gemeten periode tussen 2014-04-01 t/m 2019-03-31.
- Handmetingen (zogenoemde WdH-meetpunten, circa 5 maal per jaar): De meetperiode is opgesplitst in blokken van 2 jaar. De GHG is bepaald door maximale waarde per blok te berekenen en daar het gemiddelde van te berekenen. De meetperiode is tussen 2009-04-01 t/m 2019-03-31

Om de afstand tussen GHG en het maaiveldniveau correct weer te geven (de ontwateringsdiepte), zijn GHG standen die aangegeven staan ten opzichte van NAP omgerekend naar GHG ten opzichte van maaiveld door de waardes van de GHG-NAP af te trekken van het Digital Terrain Model (DTM, 0.5 m) van het Algemeen Hoogte Bestand (AHN3).

Peilbuizenbestand aanvulling met winterpeilen van oppervlakte water

Omdat de peilbuisdekking in sommige gebieden beperkt is (Amsterdam-West, delen van de Bijlmer en IJburg) en het onderzoeksgebied idealiter een groot deel van de gemeente beslaat, is ook een dataset van Waternet met alle vigerende peilgebieden gebruikt. Voor al het oppervlaktewater (of waterdelen) aanwezig in het onderzoeksgebied zijn de winterpeilen uit de dataset met vigerende peilgebieden gehaald om zo een goed mogelijke benadering van de GHG te weergeven (GHG vind vaak plaats in januari, februari en maart). Berekende winterpeilen per peilgebied zijn vervolgens geëxtrapoleerd naar punten 1.5 meter landinwaarts t.o.v. de waterkant om zo een inschatting te generen van de GHG rondom het oppervlaktewater. Ook zijn hier winterpeilwaardes t.o.v. het NAP omgerekend naar een afstand ten opzicht van het maaiveld aan de hand van AHN3. (zie donkerblauwe punten in kaartje linksonder in figuur 2).

Genereren van de grondwaterkaart

De verkregen dataset met GHG punten van zowel de peilbuizen als de punten rondom het oppervlaktewater zijn door middel van Inverse Distance Weighting in GIS geïnterpoleerd (Power = 2, aantal punten = 12). Deze handeling genereert een grondwaterkaart van 1x1 meter voor het gehele onderzoeksgebied met uitzondering van Weesp en delen van landelijk Amsterdam Noord die daardoor buiten het onderzoeksgebied vallen. De GHG voor deze gebieden kon niet berekend worden door een gebrek aan peilbuisgegevens.

Landelijk Hydrologisch Model (LHM4.1)

Het landelijke hydrologisch model (versie 4.1) heeft als modeluitvoer de GHG tussen 2011 en 2018 voor heel Nederland voor een resolutie van 250 meter en is van het Nederlands Hydrologisch Instrumentarium (NHI, 2023) gedownload. Deze grondwaterkaart is uitgesneden voor het onderzoeksgebied en ook hier is met behulp van de DTM van AHN de GHG ten opzichte van het maaiveld berekend.

2.2.2. Basisregistratie Grootschalige Topografie

De ruimtelijk dataset Basisregistratie Grootschalige Topografie (BGT) is gebruikt om aan te geven welk type stedelijke topografie geschikt is voor klimaatadaptatiepotentie. Voor een analyse van de stedelijk opschaalbaarheid van klimaatadaptatie is het van belang dat ruimtelijk inzichtelijk wordt gemaakt waar mogelijkheden liggen binnen de bestaande topografie en welke functie types (fietspad, snelweg, voetpad etc.) of oppervlakte types (open verharding, onverhard, groenvoorziening etc.) een grote potentie hebben.

De BGT is eerst onderverdeeld in functietypes en oppervlaktetypes (tabel 3; voor een uitgebreidere classificatie van elk BGT onderdeel zie Annex 1). Vervolgens zijn deze ingedeeld in klassen die aangeven of de implementatie van een waterbergende maatregel: 'geen kansen', 'redelijk veel kansen' of 'veel kansen' heeft. Deze classificatie is gebaseerd op de mate van ingrijpen en bijkomende negatieve gevolgen die van toepassing kunnen zijn bij de aanleg van een adaptatiemaatregel. Zo valt bijvoorbeeld een autoweg van asfalt onder 'geen kans', vanwege zijn gesloten verharding en omdat het cruciale infrastructuur betreft waar ingrijpen lastig is. Terwijl een voetpad, met een half verharding van grind valt onder 'veel kansen', omdat de ingreep bij aanleg over het algemeen beperkter is. Andere lastige functies om in te richten vallen bijvoorbeeld onder privaat bezit (panden, erven), andere cruciale infrastructuur bestaande uit gesloten verharding (OV-baan, Spoorbaan, snelweg of autoweg) of omdat dit een waterdeel betreft.

Verder valt 'Begroeid terreindeel (vegetatie)' onder 'veel kansen', ondanks dat dit niet direct betrekking heeft op waterbergende wegen. Waterbergende wegen zijn eerder onderdeel van het wegcunet en liggen niet direct in vegetatiezones. Desalniettemin is toch voor deze classificatie gekozen, omdat ander waterbergende maatregelen zoals infiltratievelden en wadi's wel relatief makkelijk in deze gebieden geïmplementeerd kunnen worden en daarmee de potentiekaart negatief voor deze maatregelen zou uitvallen.

Het classificeren van de BGT dataset resulteert in een topografiekaart met de drie genoemde klassen en is vermenigvuldigt met de grondwaterkaarten tot potentiekaarten, zoals gevisualiseerd in figuur 2.

Tabel 3. Classificatie van BGT onderdelen

Bovengrondse functie & Oppervlak type	Geen kansen	Redelijk veel kansen	Veel kansen
Wegdeel (functie)	Rijbaan- autoweg/snelweg Spoorbaan OV-baan Overweg	Rijbaan lokale/regionale weg Inrit Woonerf (publiek)	Voetpad Fietspad Parkeervlak Voetgangersgebied
Wegdeel (type oppervlak) Ondersteunend wegdeel Onbegroeid terreindeel	Gesloten verharding (asfalt) Erf (niet publiek)	Open verharding (klinkers)	Onverhard Half verhard (grind) Groenvoorziening
Andere:	Panden Wateroppervlaktes Ondersteunend- waterdeel	-	Begroeid terreindeel (vegetatie)

2.2.3. Onderhoud aan wegen

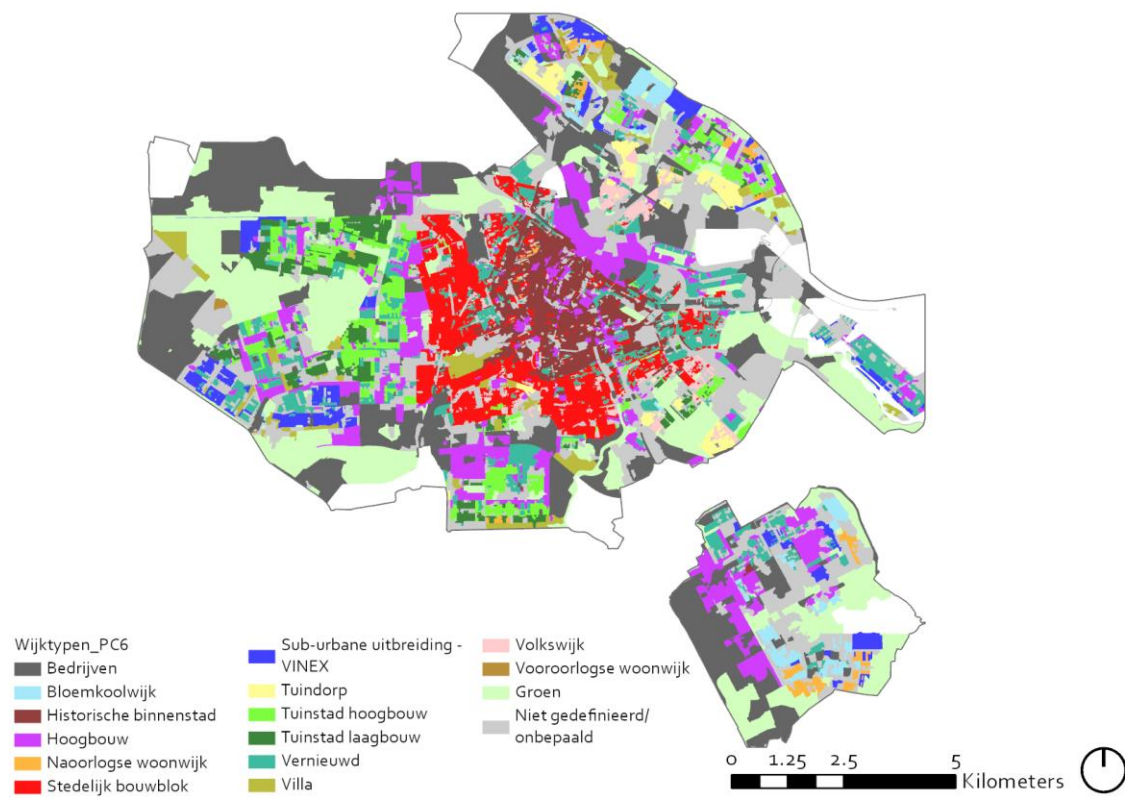
Naast de BGT en grondwater datasets zijn aanvullende datasets gebruikt voor een verdere analyse van de potentiekaarten (zie tabel 2). De dataset 'Onderhoud aan wegen' is als 'overlay' op de potentiekaart gelegd. De dataset geeft aan waar onderhoud aan wegen en straten de komende vijf jaar wordt uitgevoerd. Zo kan er een inschatting gemaakt worden waar waterbergende maatregelen mee-gekoppeld kunnen worden met toekomstige (her-)inrichting van wegen-straten en woningbouwplannen.

Er is gekozen om dit te doen voor scenario 1 met ontwateringsdiepte van 0.9 meter en de grondwaterkaart met de metingen van het Waternet. Dit betreft de huidige beleidssituatie omtrent ontwatering en gemeten peilbuiswaardes van Waternet hebben een hogere betrouwbaarheid dan gemodelleerde waardes afkomstig van het NHI4.1.

2.2.4. Wijktypologieën

Een wijktypologieënkaart is gebruikt om te kunnen analyseren wat de potentie per wijktype is (Kleerekooper & Koekoek, 2018). De kaart die is gebruikt in deze studie bevat een doorontwikkeling op deze publicatie en is een samenwerking van de Hogeschool van Amsterdam, Stichting CAS, Tauw en Deltares (zie figuur 3). In dit onderzoek is elk PC6 gebied geclassificeerd en ingedeeld in een wijktypologie. Door middel van 'machine-learning' en aan de hand van de volgende parameters per pand is de classificatie uitgevoerd: Bouwjaar, Bouwhoogte, Woningtype, Daktype, Percentage gebouwen met een woonfunctie voor individuele panden. Aanvullend is er geclassificeerd op basis van: aantal huishoudens per hectare, het wegennetwerk, percentage verharding, percentage wonen, percentage groen (binnen en buiten erven), industrie en bedrijven, stedelijkheid, parken, stedelijke dichtheid op buurt- of regionaal niveau.

De resulterende wijktypologieënkaart van de gemeente Amsterdam (figuur 3) in combinatie met potentiekaarten is als input gebruik om per wijktype het adaptatiepotentieel te berekenen. Alleen zijn wijktypes 'Groen' en 'Niet gedefinieerd/onbepaald' niet toegepast, omdat deze nog niet duidelijk geclassificeerd konden worden in het machine-learning proces.



Figuur 3 Wijktypologieën voor de gemeente Amsterdam. NB 'groen' en 'Niet gedefinieerd/onbepaald' zijn niet meegenomen in de analyse.

2.3. Samenvoegen van de grondwaterkaart en topografiekaart

Het vermenigvuldigen van de grondwaterkaart en de topografiekaart resulteert in vijf symboolklassen die van elkaar onderscheiden worden middels verschillende kleurcodes (tabel 4).

Topografieklassen zijn identiek aan de classificering van de BGT en blijven dus hetzelfde: veel-, redelijk- en geen kansen in de topografie. Een slechte (GHG < ontwateringsdieptegrens) of goede grondwaterstand (GHG > ontwateringsdieptegrens) in een van de twee grondwaterkaarten kan respectievelijk positief uitpakken (kleur: groen of geel) of slecht uitpakken (oranje of rood). Zo kan bijvoorbeeld 'Redelijk veel kansen topografie – slechte grondwaterstand (GHG < dan ontwateringsdieptegrens)' voor een potentiekaart van scenario 1 bestaan uit een rijbaan op een lokale weg waar de GHG hoger ligt dan de ontwateringsdiepte van 0.9 meter.

Tabel 4. Verschillende potentieklassen, de grondwaterstand (afstand GHG tot maaiveld) vergeleken met de ontwateringsdieptegrens en de bijbehorende kleurcode.

Potentieklassen	GHG (afstand GHG tot maaiveld)	Kleurcode
Geen kansen topografie		
Redelijk veel kansen topografie – slechte GW stand	GHG < dan ontwateringsdieptegrens	
Veel kansen topografie – slechte GW stand	GHG < dan ontwateringsdieptegrens	
Redelijk veel kansen topografie – goede GW stand	GHG > dan ontwateringsdieptegrens	
Veel kansen topografie – goede GW stand	GHG > dan ontwateringsdieptegrens	

2.4 Vervolganalyses potentiekaarten

Naast het opleveren van een zestal potentiekaarten zijn voor ieder scenario enkele aanvullende statistische analyses uitgevoerd: voor het hele onderzoeksgebied en per wijktype.

Statistische analyse potentiekaarten: totale onderzoeksgebied

Voor het hele onderzoeksgebied is voor elk scenario en grondwaterkaart een statistische analyse uitgevoerd om vast te stellen wat de mate van voorkomen van iedere potentieklasse in percentages in relatie tot het totale onderzoeksgebied. Het vergelijken van de verschillende scenario's maakt het mogelijk om twee sub-onderzoeksvragen te beantwoorden: de vraag die focust op de invloed van verschillende ontwateringsdieptes scenario's op het adaptatiepotentieel en de vraag gerelateerd aan het effect van datakwaliteit van twee verschillende grondwaterdatasets op de berekende adaptatiepotentiescore.

De percentages zijn alleen berekend voor publieke gebieden en niet voor waterdelen of private gebieden (panden en erven) waar het nemen van maatregelen bij voorbaat uitgesloten is voor gemeentes. Dit zou namelijk het percentage met 'geen kansen' drastisch vergroten doordat de aanwezigheid van bijvoorbeeld veel grote wateroppervlaktes (denk bijvoorbeeld aan het 't IJ middenin Amsterdam). Dit betekent echter wel dat sommige waterlopen, zoals sloten en vijvers met waterbergende eigenschappen, onder 'geen kansen' valt. De BGT dataset maakt het namelijk niet mogelijk om een onderscheid te maken tussen deze kleinere en grotere waterlopen, zoals rivieren of kanalen.

Statistische analyse potentiekaarten: per wijktype

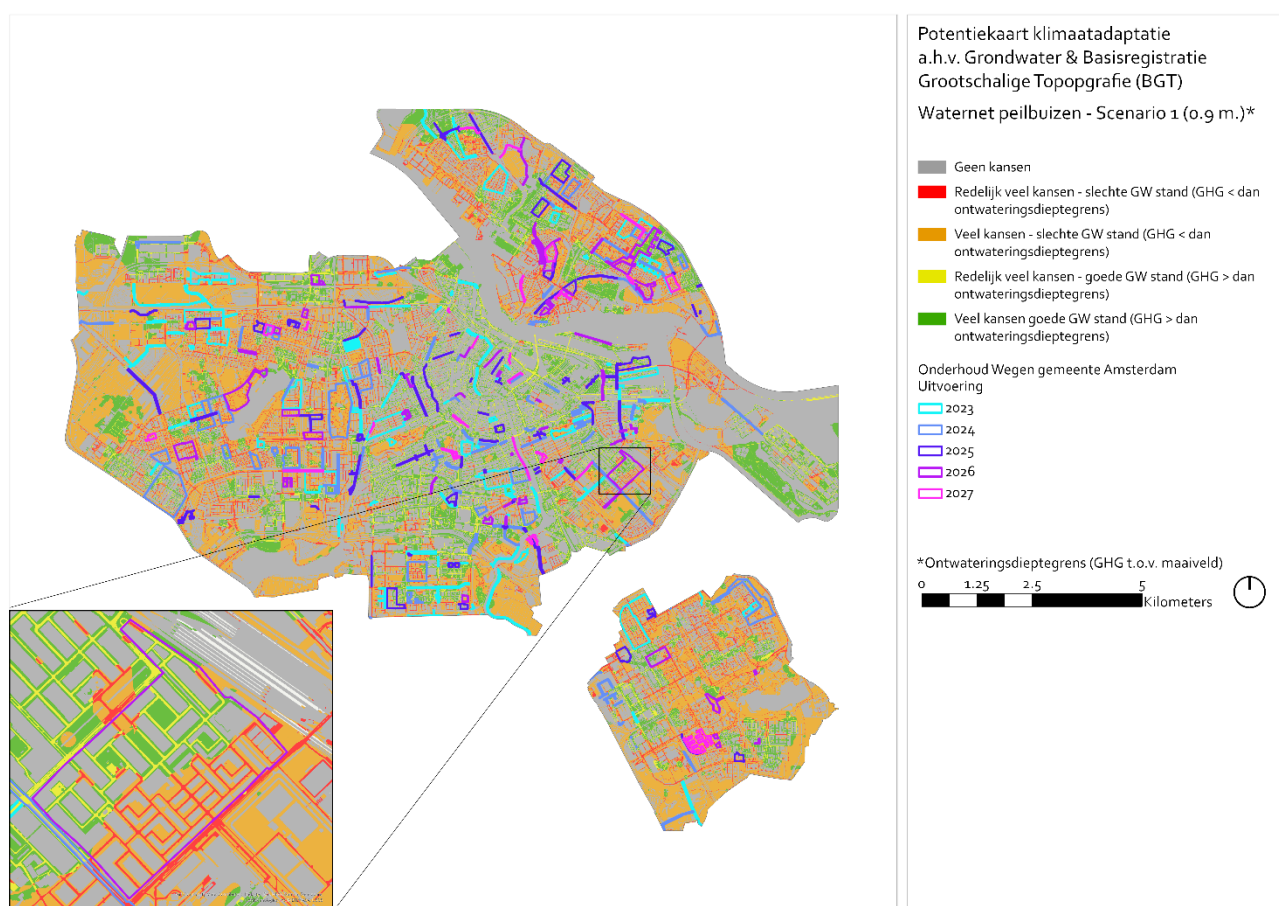
Net als voor de analyse voor het totale onderzoeksgebied is ook per wijktype gekeken naar het procentuele aandeel van elk van de potentieklassen in relatie tot het totale onderzoeksgebied. Figuur 3 laat alle wijktypes voor de gemeente Amsterdam zien. Ook hier zijn alle private- en wateroppervlaktes buiten beschouwing gelaten om dezelfde reden als hierboven genoemd.

3. Resultaten

In de resultatensectie wordt voor de casestudy Amsterdam de adaptatiepotentie besproken in combinatie met verschillende thema's. Er wordt gekeken naar wat met de huidige ontwateringsrichtlijnen de adaptatiepotentie-kansen en wat eventuele koppelkansen zijn in het licht van gepland onderhoud aan wegen. Daarna wordt ingegaan op het effect van verschillende ontwateringsdiepterichtlijnen op de adaptatiepotentie en het effect van datakwaliteit (gemeten peilbuiswaardes versus een landelijk grondwater model). En als laatste wordt per wijktype de adaptatiepotentie ingeschat voor de huidige ontwateringsdiepte richtlijn (scenario 1) en voor een ambitieuzere richtlijn (scenario 3) waarbij het grondwater dicht onder het maaiveld mag staan.

3.1 Huidige situatie en koppelkansen

Huidige potentiekansen



Figuur 4. Adaptatiepotentiekaart voor scenario 1 met Waternet data. De zoom-out laat geeft gedetailleerd het project gebied Midden Beemster in de Watergraafsmereer.

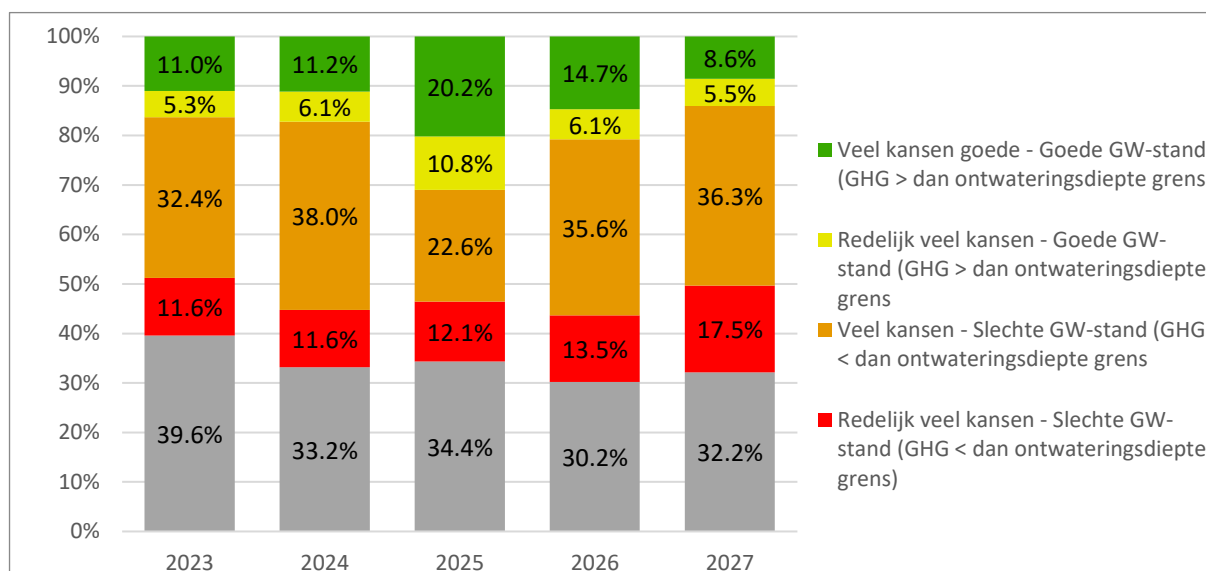
Als resultaat van de uitgevoerde analyse zijn zes potentiekaarten opgeleverd (figuur 7) die per combinatie van datasets en GHG-scenario laten zien wat de adaptatiepotentie is en waar waterbergende maatregelen toegepast kunnen worden binnen het beheersgebied van de gemeente Amsterdam. In Annex 2 is ook ieder individuele potentiekaart apart gevisualiseerd. Figuur 4 toont de potentie voor stedelijke klimaatadaptatie gebruikmakend van een ontwateringsdiepte van 0,9 m onder maaiveld (scenario 1) en de Waternet grondwater dataset. De figuur maakt zichtbaar dat voornamelijk het centrum en delen van Amsterdam Noord, Zuid en Oost een hoge mate van

adaptatiepotentie heeft (groene kleur). Amsterdam Nieuw-West (Sloterplas), de Bijlmer en de Watergraafsmeer hebben eerder een lage adaptatiepotentie (rode kleur). Dit komt voornamelijk doordat in het centrum de GHG groter is dan de ontwateringsdiepte en dus de grondwaterstand lager ligt. Ondanks een slechte grondwaterstand is in de Bijlmer en Nieuw-west de functie en oppervlakte vaak toereikend door het voorkomen van veel groenstroken en laagdrempelig verkeer (oranje kleur). Voor het centrum en grachtengordel geldt dat openbare pleinen vaak geschikt zijn (groen), maar sommige wegdelen hebben vaak een hoge mate van verharding of hoge verkeersintensiteit en zijn dus minder geschikt (geel).

Koppelkansen

Door de potentiekaart te combineren met de dataset 'Onderhoud aan wegen' (Gemeente Amsterdam) ontstaat een eerste inzicht in waar en wanneer (mee-)koppelen mogelijk is (figuur 4). De kleurcodes van de verschillende uitvoeringsgebieden geven aan in welk jaar de uitvoering plaatsvindt wat de mogelijkheid geeft om te prioriteren aan de hand van adaptatiepotentie en verschillende uitvoeringsagenda's. De zoom-out van project Midden Beemster in de Watergraafsmeer laat bijvoorbeeld zien dat het noordelijk deel een betere grondwaterstand heeft en dat met name voor de twee pleinen centraal in het gebied er adaptatiemogelijkheden zijn.

Daarop aansluitend geeft de grafiek in figuur 5 aan wat de verdeling van potentiekansen is voor de 'Onderhoud aan wegen' dataset aan de hand van scenario 1 met Waternet peilbuisdata. De grafiek laat zien dat in 2025 en 2026 de kansen respectievelijk het grootst zijn met 20.2% en 14.7% voor de 'veel kansen en goede grondwaterstand'-klasse. Voor 2023 zijn de kansen het laagst met 39.6% (aangeduid als 'geen kansen'). In absolute waarden betekent dat voor 2023 t/m 2027 gebieden met een geschikte grondwaterstand en topografie respectievelijk: 41,7, 43,0, 27,8, 28,1 en 4,1 ha zijn. Het verschil in kansen kan komen doordat de uitvoeringsagenda voor de jaren in de nabije toekomst een groter oppervlakte van de gemeente Amsterdam beslaat (van 2023 t/m 2027 zijn deze percentages bedragen respectievelijk: 2,68%, 2,71%, 0,97%, 1,35% en 0.34%).



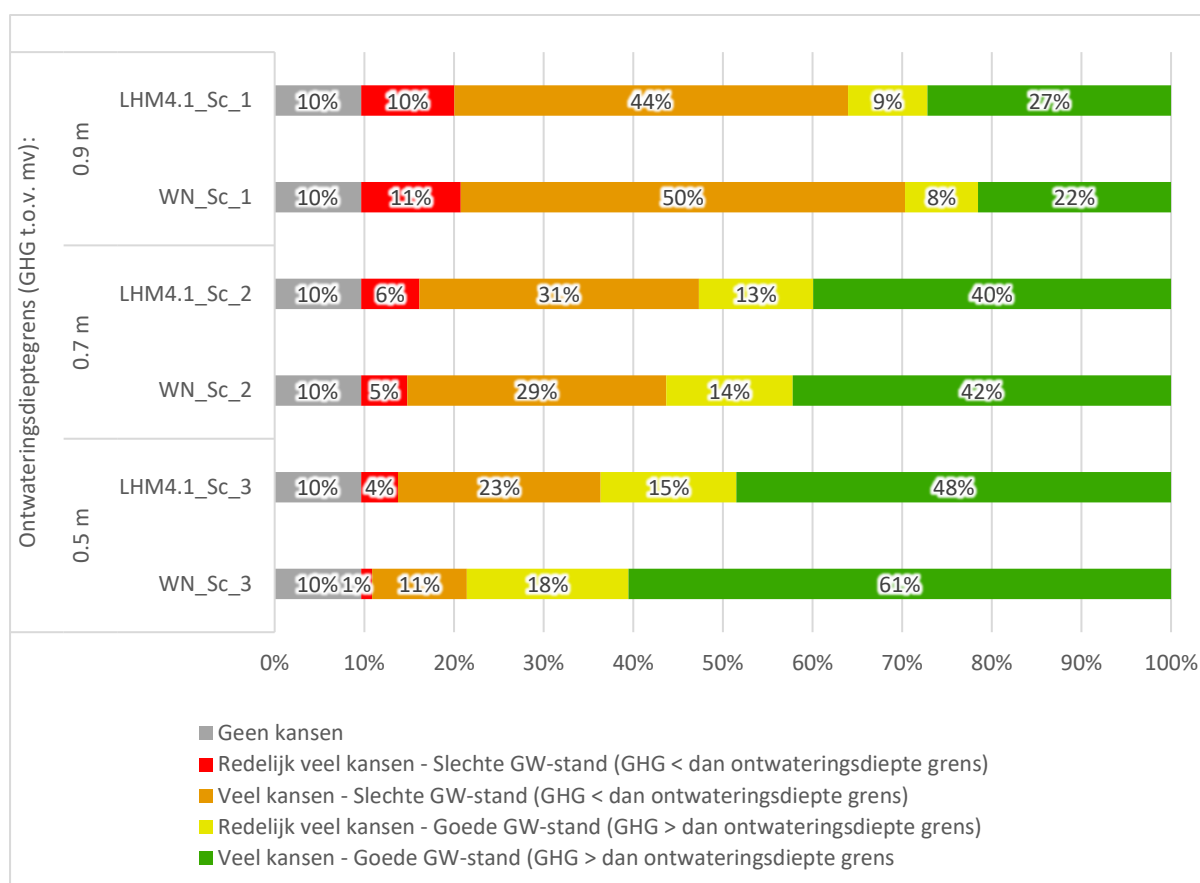
Figuur 5 Adaptatiepotentie kansen voor gebieden waar onderhoud aan wegen plaatsvindt (bron: Gemeente Amsterdam) voor de komende 5 jaar a.h.v. potentiekaart, scenario 1 met waternet peilbuisdata. In 2027 vindt er geen uitvoeringen plaats. NB: de som van de percentages van alle WIOR gebieden resulteert in 100%.

3.2 Ontwateringsdieptes

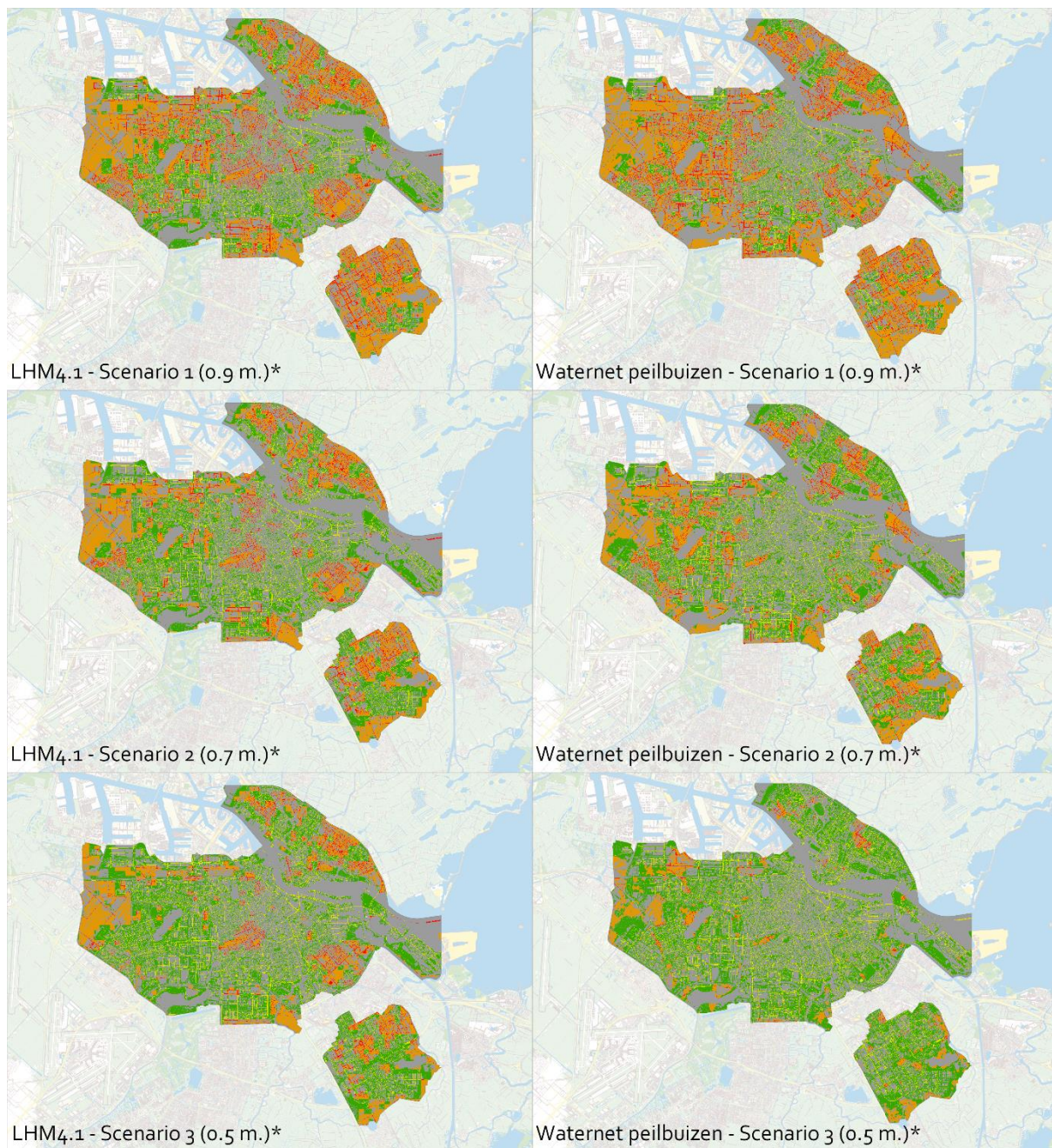
Allereerst kan opgemaakt worden dat voor de gemeente Amsterdam met het huidige ontwateringsbeleid en de Waternet grondwaterdata 22% van het oppervlak als geschikt geclassificeerd kan worden. Het adaptatiepotentieel verdubbelt (scenario één) of verdrievoudigt (scenario drie) bij het hanteren van verschillende ontwateringsdieptegrenzen.

Deze verschillen in ontwateringsdieptes en adaptatiepotentieel zijn zichtbaar in figuur 6 en 7. In zowel de kaartjes als de grafiek is een toename zichtbaar voor ‘veel kansen – Goede GW-stand’ (met grondwaterdata afkomstig van Waternet) van 22%, naar 42% en 61% voor respectievelijk scenario een, twee en drie. Ook voor de dataset LHM4.1 is een soortgelijke stijging zichtbaar, alleen met een iets beperktere stijging als voor de Waternet data. In sectie 3.3 wordt verder in gegaan op het verschil tussen deze twee datasets.

De verdubbeling tot verdrievoudiging bij het hanteren van een andere ontwateringsdiepte kan in potentie de opschaalbaarheid vergroten van waterbergende maatregelen. Gebieden die een hoge grondwaterstand hebben komen zo eerder in aanmerking voor opschaling van waterbergende maatregelen, zoals Nieuw-West (rondom Sloterpas), Zuid-Oost en delen van Noord (figuur 7).



Figuur 6 Percentages per adaptatiepotentie klasse voor de drie ontwateringsdiepte scenario's en voor grondwaterdata afkomstig van Waternet ('WN') en het Landelijk Hydrologisch Model versie 4.1 (LHM4.1).



Potentiekaart klimaatadaptatie

A.h.v. Waternet peilbuisdata of landelijk hydrologisch grondwatermodel (LHM4.1)
& Basisregistratie Grootchalige Topografie (BGT)

- Geen kansen
- Redelijk veel kansen - slechte GW stand (GHG < dan ontwateringsdieptegrens)
- Veel kansen - slechte GW stand (GHG < dan ontwateringsdieptegrens)
- Redelijk veel kansen - goede GW stand (GHG > dan ontwateringsdieptegrens)
- Veel kansen goede GW stand (GHG > dan ontwateringsdieptegrens)

*Ontwateringsdieptegrens (GHG t.o.v. maaiveld)



Figuur 7 Alle potentiekaarten voor ieder scenario en voor waternetdata en het Landelijk Hydrologisch Model versie 4.1 (LHM4.1)

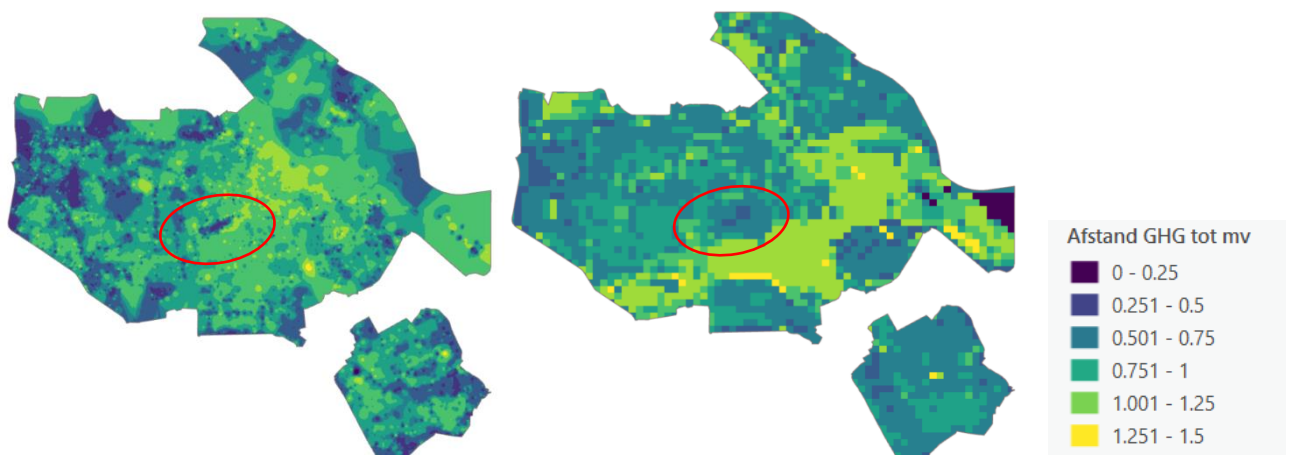
3.3 Datakwaliteit

Effect op de adaptatiepotentie

Globaal gezien hebben de gebruikte grondwater datasets invloed op de berekende adaptatiepotentie in Amsterdam en lopen bij kleinere ontwateringsdieptes de verschillen op tussen de twee grondwater datasets. Dit geldt met name voor gebieden die als zeer geschikt worden betiteld ('veel kansen – Goede GW-stand'). Bovendien is er voor sommige regio's (buurt of straat) een verschil in de adaptatiepotentie bij gebruik van een andere grondwater dataset.

Figuur 6 en 7 tonen het verschil tussen de twee gebruikte grondwater datasets. Voor scenario 2 en 3 heeft 'LHM4.1' een lagere adaptatiepotentie dan de data van Waternet (gemeten peilbuizen en winterpeilen rondom oppervlaktewater). Alleen voor scenario 1 zien we een hogere score voor 'LHM4.1'. Voor scenario 2 en 3 ligt de grondwaterstand lager voor de waternet data dan voor 'LHM4.1', waardoor eerder de GHG ten opzicht van het maaiveld groter is dan de ontwateringsdieptegrens van 0,5 of 0,7 meter. Andersom geldt voor scenario 1 dat het model in sommige gebieden fors lagere grondwaterstanden modelleert wat resulteert in een GHG die groter is dan een ontwateringsdiepte van 0,9 meter. In figuur 8 is duidelijk zichtbaar dat LHM4.1 in grote delen van Amsterdam Zuid en Oost een lagere grondwaterstand laat zien (GHG tot mv: 1,00 – 1,5 m). Voor scenario 1 resulteert dat in een adaptatiepotentie die groter is voor deze gebieden.

Belangrijk om te vermelden is dat de keuze van ontwateringsdieptegrens als een 'harde' kritieke grenswaarde bij een klein verschil in GHG tussen de twee datasets en de adaptatiepotentie bij de ene dataset net wel in de juiste potentieklasse vallen en bij de andere net niet. Bijvoorbeeld een GHG van 0,89 meter voor de Waternet data resulteert in een slechte GW stand voor scenario 1, want deze waar is net lager dan 0,9 meter. Terwijl een GHG van 0,91 meter dan juist positief uitvalt voor het LHM4.1 model.



Figuur 8 Grondwaterkaarten met grondwaterdata afkomstig van Waternet (links) en het Landelijk Hydrologisch Model versie 4.1 (rechts). De Rode cirkel geeft het gebied rondom het Vondelpark weer.

Ruimtelijke variabiliteit grondwater data

Aangezien potentiekaarten gebaseerd zijn op grondwaterdata van Waternet en hoofdzakelijk op metingen zijn gebaseerd (en deels berekeningen op basis van peilbesluiten) is de betrouwbaarheid een stuk hoger voor de gemaakte grondwaterkaart van Waternet. Ook heeft LHM4.1 een grote resolutie van 250 meter, terwijl dit voor de data van Waternet met een gemiddelde afstand van 74 meter tot elk datapunt kleiner is. Dat zorgt voor een grotere ruimtelijk variabiliteit in de waternet data met voornamelijk plaatselijk een kleinere ontwateringsdiepte (en dus een hogere waterstand). Voor het Vondelpark bijvoorbeeld (rode cirkel in figuur 8) is een directere overgang zichtbaar in de grondwaterkaart aan de grenzen van het park voor de Waternet data. Een logische abrupte daling, omdat aan de randen van het park het maaiveld sterk hellend is (AHN, 2023).

Concluderend kan samengevat worden dat de Waternet data een positiever beeld schetst dan LHM4.1 onder de ambitieuzere kleinere ontwateringsdieptes scenario's. Terwijl het LHM4.1 model een positiever beeld presenteert dan Waternet onder de (huidige Amsterdamse) strenge ontwateringsdiepterichtlijnen. Het model lijkt voor de gemeente Amsterdam lagere grondwaterstanden te voorspellen en de resolutie is een stuk lager wat resulteert in een andere adaptatiepotentie in de kaarten. De keuze voor het LHM4.1 heeft dus consequenties voor de betrouwbaarheid van resulterende potentiekaarten doordat het niet overeenkomt met de gemeten waarden. In sectie 4.2 wordt verder in gegaan op de landelijke validatie van het LHM4.1 model en de implicaties die dit heeft inzet van het LHM4.1 model op landelijke schaal.

3.4 Wijktypes

Figuur 9 geeft aan wat de adaptatiepotentie is voor verschillende wijktypes voor de huidige situatie (scenario 1) en een situatie met een kleinere ontwateringsdiepte van 0,5 meter (scenario 3). De grafieken representeren alleen de openbare ruimte, private ruimte ('erf' en 'pand' in de BGT) en water oppervlaktes zijn buiten beschouwing gelaten zoals beschreven in de methode sectie 2.2.2.

Wijken met een hoge en lage adaptatiepotentie

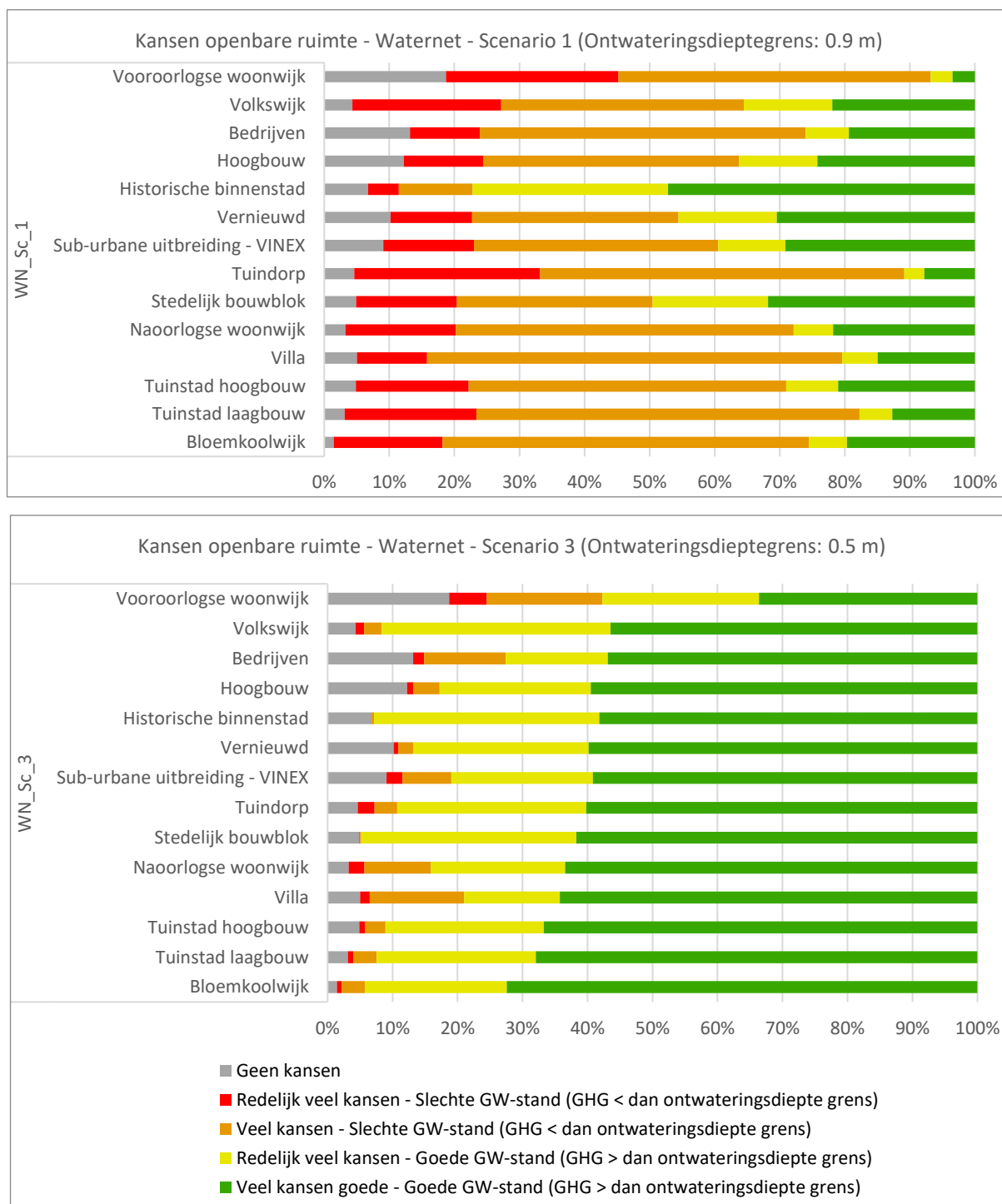
Voor de huidige situatie (scenario 1) geldt dat wijken met een hoge adaptatiepotentie volgens de BGT veel groen en laagdrempelig verkeer hebben (volkswijk, vernieuwd, Vinex, stedelijk bouwblok en tuinsteden) (figuur 7). Dit wordt gekenmerkt door wijken met veel groenstroken, fietspaden en voetgangersgebieden. Daarnaast voldoet de ontwateringsdiepte vaker in deze wijken doordat deze vaak in hoger gelegen delen van de stad liggen wat ontwatering gemakkelijker maakt (AHN, 2023). Bijvoorbeeld het 'stedelijk bouwblok' of de 'historische binnenstad' hebben een hoge score en liggen binnen de A10 ring waar het maaiveld hoger ligt (figuur 3). Naast een betere grondwaterstand voor de 'historische binnenstad', het best scorende wijktype, geldt dat de openbare ruimte met veel laagdrempelig verkeer en voetgangersgebieden zorgt voor een goede adaptatiepotentie score in de resultaten van de casestudy. Echter, uit de praktijk blijkt vaak dat in de historische binnenstad adaptatie juist lastig is. De geringe openbare ruimte met veel economische functies (winkelgebieden) en drukke ondergrond (kabels & leidingen) zorgen voor beperkte mogelijkheden. Voor dit wijktype heeft de potentiekaart dus een beperktere toepassing dan voor andere wijktypes.

Wijktypes die slechter scoren hebben vaak veel belangrijke infrastructuur, hebben beperkte openbare ruimte en liggen vaak in gebieden met een slechte grondwaterstand (vooorlogse woonwijk, bedrijven, tuindorp, of tuinstad laagbouw).

Het effect van ontwateringsdiepte op de adaptatiepotentie

Ook hier is zichtbaar dat bij een andere richtlijn voor ontwateringsdiepte de adaptatiepotentie fors kan toenemen met zo'n 11%–52% voor 'Veel kansen & goede GW-stand'. Met name naoorlogse wijken (bloemkoolwijk, Vinex, Naoorlogse wijk etc.) is een forse toename zichtbaar. Deze wijken

hebben vaak een stuk lagergelegen maaiveld met daardoor een hoger grondwaterstand en kleinere ontwateringsdiepte dan vooroorlogse wijken.



Figuur 9 Percentages per adaptatiepotentie klasse en wijktype voor ontwateringsdiepte scenario 1 en 3 en voor grondwaterdata afkomstig van Waternet ('WN').

4 Discussie

De discussie reflecteert op de resultaten van de casestudy in Amsterdam en gaat verder in op aanbevelingen voor de praktijk en aanbevelingen voor vervolgonderzoek. Allereerst komt naar voren hoe de potentiekaarten geïnterpreteerd en gebruik kunnen worden. Vervolgens wordt dieper ingegaan op de adaptatie-potentiekansen die er liggen bij het hanteren van andere ontwateringsrichtlijnen. Er wordt uiteengezet wat voor handelingsperspectieven tijdens aanleg en gebruik van waterbergende maatregelen gehanteerd kunnen worden om zo met een hogere grondwaterstand (en dus kleinere ontwateringsdiepte) om te gaan. Daarna wordt besproken aan de hand van datakwaliteit van het LHM4.1 model wat de opschalingsmogelijkheden zijn voor (landelijke) potentiekaarten. En tot slot wordt ingegaan op vervolgonderzoeksmogelijkheden en een aantal belangrijke aandachtspunten die daarbij van toepassing zijn.

4.1 Introductie

De potentiekaarten geven een eerste indruk van stedelijk opschaalbaarheidspotentie van waterbergende maatregelen aan de hand van de BGT (o.a. wegdelen, ondersteunde wegdelen, begroeide terreindelen en onbegroeid terreindelen etc.) en de grondwaterdata afkomstig van Waternet. Het is nu mogelijk om vast te stellen in welke straat, wijk of buurt eventuele kansen of bottlenecks ontstaan voor waterbergende maatregelen en dit koppelen aan geplande werkzaamheden van infrastructuur ('Onderhoud aan wegen'). Tevens biedt deze analyse en ontwikkelde methodiek kansen voor verdere opschaling op een grotere (landelijke) schaal waarbij meer ruimtelijke data wordt samengevoegd. Denk hierbij aan ondergrondse objecten, boomwortels en bodemkarakteristieken of infiltratie gegevens (k-waardes), mits deze data voor handen is op grote schaal en een bepaalde mate van betrouwbaarheid heeft (bijv. middels validatieproeven).

Daarnaast zijn een aantal aanvullende analyses uitgevoerd om de data achter potentiekaarten verder te toetsen en inzichtelijk te maken. Zo is het effect van ontwateringbeleid en datakwaliteit getoetst voor de gemeente Amsterdam en is per wijktypes (PC6-gebieden) gekeken naar de adaptatiepotentie. De resultaten laten zien dat het toelaten van een kleine(re) ontwateringsdiepte potentie verhogend is en het gebruik van verschillende grondwaterdatasets met uiteenlopende datakwaliteit invloed heeft op de berekende ruimtelijke adaptatiepotentie. De differentiatie tussen verschillende wijktypes geeft aan welke wijktype een hoge mate van adaptatiepotentie hebben, zodat makkelijker geprioriteerd kan worden per wijktype.

4.2 Aanbevelingen voor de praktijk

4.2.1. Interpretatie van de potentiekaarten

De potentiekaarten geven een eerste inventarisatiemogelijkheid waar waterbergende maatregelen mogelijk zijn. De kaarten maken daarmee direct ruimtelijke inzichtelijke wat de adaptatiepotentie is voor een gebied of regio. Desondanks bieden de kaarten geen blauwdruk voor beleidsmakers of uitvoerende instanties die verantwoordelijk zijn voor de (her-)inrichting. Bij uiteindelijke (her-)inrichting dienen er aanvullende verkenningen gedaan te worden alvorens adaptatie maatregelen toegepast kunnen worden. De kaarten zijn nu gebaseerd op de functie en oppervlak type (BGT) en grondwater, maar andere datasets kunnen nog toegevoegd worden. Denk bijvoorbeeld aan de eerder genoemde kabels & leidingen, bodemkarakteristieken (k-waardes), boomwortels, eventuele archeologische objecten, budgettering, dimensionering of sociaaleconomische factoren. Zo vraagt bijvoorbeeld voor het wijktype met de hoogste adaptatiepotentie score, 'historische binnenstad', verdere verdieping. Dit wijktype mag dan beschikken over veel voetgangersgebieden met laagdrempelig verkeer en een goede grondwaterstand, economische functies in de vorm van winkelgebieden en een drukke ondergrond met veel kabels en leidingen maken dit gebied complex

waardoor opschaalbaarheid niet altijd mogelijk is. Zoals de kaarten hier zijn gepresenteerd geven ze dus sturing bij het vergroten van adaptatiemogelijkheden, maar dient verder onderzoek gedaan te worden naar de lokale context.

4.2.2. Een ander perspectief op de ontwateringsdiepte

Bij een ontwateringsdiepte die 20 cm kleiner is dan het status quo (scenario 2) is een verdubbeling zichtbaar van de potentie voor klimaatadaptatie (figuur 6, van 22% naar 42%). Deze trend geeft weer dat een ander beleid omtrent ontwateringsrichtlijnen de opschaalbaarheid van waterbergende maatregelen aanzienlijk kan vergroten in de gemeente Amsterdam.

Allereerst geldt voor de gemeente Amsterdam dat het vasthouden aan een criterium van 0.9 meter nu en in de toekomst veel extra inspanningen vereist. (de Jong & Wijtenburg, 2020). In opdracht van de gemeente Amsterdam heeft Waternet aan de hand van een KNMI klimaatverwachting (scenario WH - 2050) een ontwateringsdiepte berekend van tussen de 0.5 en 0.9 meter voor meer dan de helft van de Amsterdamse grondgebied (de Jong & Wijtenburg, 2020). Een fors kleinere ontwateringsdiepte dan beoogd dus. Bij (her-)inrichting is het dus niet altijd mogelijk om aan de gestelde criteria te voldoen. Wordt vastgehouden aan de richtlijn van 0.9 meter, dan belemmert dat verdere implementatie van adaptatiemaatregelen in de praktijk.

Ook wordt de ontwateringsdiepte van 0.9 meter gehanteerd om hemelwaterberging te vergroten (Omgevingsprogramma-riolering-2022-2027 , 2022). Naast dat de vraag of dit haalbaar blijft in de toekomst, neemt bij opschaling van waterbergende maatregelen de ondergrondse berging op stedelijk niveau toe. Als bij toekomstige (her-)inrichting klimaatadaptatie een van de uitgangspunten is omdat kosten niet opwegen tegen de baten, neemt de ondergrondse berging automatisch toe en is niet altijd een kleine ontwateringsdiepte nodig (Kluck, et al., 2017).

Daarnaast geldt dat ontwateringsrichtlijnen voornamelijk gehanteerd worden voor het bouw- en woonrijp maken van een terrein, en gelden deze dus niet specifiek voor de implementatie van waterbergende maatregelen (van Wee, et al., 2007). Een benadering waar specifiek naar het type adaptatie maatregel en lokale (grondwater) context wordt gekeken kan mogelijkheden bieden voor het opschalen van waterbergende maatregelen. Als wordt nagegaan of de gestelde ontwateringsrichtlijn noodzakelijk is per type maatregel, de plan-aanlegfase en de gebruiksfase is het in sommige gevallen mogelijk om een kleinere ontwateringsdiepte te hanteren wat de opschaling bevordert.

De planfase en aanleg per type waterbergende maatregel

De keuze en ontwerpdoel van een type maatregel tijdens de planfase bepaalt sterk welke grondwateromstandigheden vereist zijn. Enerzijds kan dit gaan op zoveel mogelijke berging in de ondergrond om zo lange hevige buien die plaatsvinden gedurende meerdere momenten (met name 's winters) te kunnen bufferen. Denk hierbij aan infiltrerende- of waterpasserende verharding met een vergroting van de holle ruimte in de ondergrond (bijv. schelpen, bufferblocks, Rockwool, kratten etc.). Anderzijds kan het bergen van piekbuien in een korte periode (met name 's zomers) een uitgangspunt zijn, waarbij zowel de ondergrond als het oppervlak gebruikt dient te worden, omdat water niet direct geïnfiltreerd kan worden. Denk hierbij aan wadi's of infiltratievelden of infiltrerende of waterpasserende verharding (eventueel aangevuld met holle opbouw) met hoge trottoirbanden en genoeg verticale afstand tot deurposten zodat er een vorm van retentie plaats kan vinden.

De verschillende ontwerpdoelen per maatregel leiden tot andere aanlegdieptes waardoor het hanteren van een harde ontwateringsrichtlijn niet altijd noodzakelijk is (van bijvoorbeeld 0.9 meter in Amsterdam). Aan de hand van de kengetallen van RIONED (2023) is opgenomen wat de aanlegdiepte

per maatregel is (tabel 5). Zo heeft bijvoorbeeld infiltrerende verharding voor de aanleg van waterbergende wegen maar een beperkte diepte nodig van 0,45 meter. Een standaard opbouw met berging, bestaat uit een steenlaag (ca. 10 cm), splitlaag (ca. 10 cm) en een waterbergend pakket (bijvoorbeeld lavastenen van ca. 15 cm) (RIONED, 2023). Of voor een wadi geldt een afstand van maaiveld tot grondwater van > 0,5 meter als uitgangspunt (Boogaard, et al., 2014). Sommige maatregelen vereisen dus niet altijd een lage grondwaterspiegel bij aanleg en kunnen prima aangelegd worden aan de hand van andere ontwateringsrichtlijnen.

Ook is de complexiteit van de aanleg van belang. Bij een complexere ondergrondse inrichting zoals bijvoorbeeld aanleg van een IT-riool, is de belemmering van aanwezig grondwater niet wenselijk. In gevallen waar slechts een simpele vervanging van bijvoorbeeld verharding plaatsvindt en verder geen grootschalige ingrepen plaatsvinden kan een kleine ontwateringsdiepte soms voldoende zijn.

Tabel 5 Type maatregelen voor verschillende ontwateringsdieptes, aanlegdiepte, complexiteit en bergende eigenschappen. NB. De aanlegdiepte gaat uit van het aantal meter ten opzichte van het bestaande maaiveldniveau.

Min. Ontwateringsdiepte	Type maatregelen met aanlegdiepte (gebaseerd op: RIONED, 2022)	Rekening houden met aanlegdiepte?	Maximale Berging noodzakelijk?
0.9	Infiltratiekelders (1,5m)	Noodzakelijk:	Noodzakelijk:
	Infiltratiekratten (1,5m)	Complexe ondergrondse inrichting	Zoveel mogelijk bergen
	Zaksloot (1m)	Grote aanlegdiepte	Groot aangesloten oppervlak
	Infiltratiekolk (1 – 2,5m)		Overloop mag niet plaatsvinden
0.7	Wadi's (0,7 - 1m)	Niet altijd noodzakelijk:	Niet altijd noodzakelijk:
	IT-riool (0,6m)	Complexe ondergrondse inrichting	Bij GHG → berging beperkt gevuld
		Beperkte aanlegdiepte	Ev. afvoer naar opp. Water
0.5	Infiltrerende verharding (0,45m)	Niet noodzakelijk:	Niet noodzakelijk
	Infiltratieveld (0,45m)	Geén complexe ondergrondse inrichting	Bij GHG → berging mag deels vol staan
	Wadi's (0,7 – 1 m)	Aanlegdiepte < ontwateringsdiepte	Piekbuien in de zomer
			Afvoer naar opp. water

De gebruiksfase en dimensionering van waterbergende maatregelen

Daarnaast is het van belang waarvoor de maatregel wordt ontworpen en gedimensioneerd en hoe zich dat vertaalt naar het gebruik van de maatregel. Als het waterbergende pakket bij een hoge grondwaterstand deels onder water staat hoeft dat niet altijd problematisch te zijn. Afhankelijk van het afstromend oppervlak kan een inschatting gemaakt worden hoeveel er geïnfiltreerd of geborgen dient te worden. Als bij een hoge grondwaterstand de berging deels is gevuld, zal de maatregel eerder een infiltrerende dan een bergende functie hebben. Ook hoeft in combinatie met drainage of overstort naar het oppervlaktewater een hoge grondwaterstand niet altijd belemmerend zijn voor het waterbergende vermogen van de maatregel en zal schade beperkt blijven.

Is de GHG het juiste uitgangspunt voor ontwateringsrichtlijnen?

De GHG hoeft niet altijd het uitgangspunt te zijn voor een ontwateringsrichtlijn. De GHG vindt vaak plaats rond een korte periode ergens in januari, februari of maart. Terwijl de hevigste piekbuien

(mm/dag som) juist vaak plaatsvinden in de zomer (KNMI, 2021). Afhankelijk of de maatregel ontworpen is voor een korte heftige regenval in de zomer (meer infiltratie), of voor bufferwerking in de winter met langdurige regenval, zoals hierboven vermeld, kan een andere ontwateringsrichtlijnen gehanteerd worden. Bufferende maatregelen tijdens winter zijn dus eerder gebaat bij ontwateringsrichtlijnen gebaseerd op de GHG. Maar voor piek-bergende of infiltrerende maatregelen in de zomer kan ook uitgegaan worden van lagere grondwaterstanden. Een gemiddelde tussen de GHG en Gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG, deze vindt vaak plaats in de zomer) voor de totstandkoming van de ontwateringsdiepte kan daarbij voldoende zijn voor dit type maatregel.

4.2.3. Het effect van datakwaliteit voor het creëren van (landelijke) potentiekaarten

De resultaten laten zien dat het gebruik van verschillende grondwater datasets over het algemeen kan leiden tot betere representatie in de potentiekaarten als gemeten peilbuis data is gebruikt en niet het een landelijk hydrologisch grondwatermodel. Het verschil tussen de grondwaterkaart met gemeten waarden ten opzicht van gemodelleerde waarden heeft met name voor scenario 1 en 3 verschillen (figuur 6 en 7). Gemodelleerde lage grondwaterstanden lijken te worden overschat ten opzichte van gemeten grondwaterstanden en de ruimtelijk variabiliteit is sterk afwijkend voor het LHM4.1 model. Dit komt overeen met een eerdere validatie van het model die laat zien dat de GHG in slechts 54% van de gevallen voor heel Nederland overeenkomt met DINO- en regionale peilbuizen op basis van vooraf gestelde criteria. Voor bodemtypes in West-Nederland (Holoceen) is dit geformuleerd als een maximum afwijking van < 20 cm GHG voor 80% van de meetpunten (Berendrecht, 2021). Dat betekent dat in 46% van alle berekening het grondwater 20 cm hoger of lager kan uitvallen. Het LHM4.1 model is daarmee niet direct als betrouwbaar model inzetbaar voor de totstandkoming van potentiekaarten op een grotere (landelijke) schaal. Voornamelijk omdat verschillen in grondwaterstand van 20 cm van grote invloed kan zijn op bijvoorbeeld een ontwateringsrichtlijn (in deze analyse liggen de ontwateringsrichtlijnen 50, 70 en 90 cm uit elkaar). Een gemiddelde van de GLG en GHG kan eventueel wel een hogere betrouwbaarheid geven, omdat de GLG voor Nederland voor 67% voldoet aan de criteria en dus beter gerepresenteerd wordt in LHM4.1.

Op regionale schaal heeft het LHM4.1 wel meer mogelijkheden, omdat voor sommige bodemtypes het model een beter validatie geeft en een kleinere afwijking. Met name Pleistocene regio's (oost Nederland en Noord-Brabant) voldoen beter aan de hierboven genoemde criteria (Berendrecht, 2021). Daarnaast is de bezettingsgraad van meegewogen peilbuizen in deze gebieden een stuk hoger dan voor de gemeente Amsterdam, waardoor een beter validatie heeft plaats kunnen vinden.

Concluderend, het LHM4.1 model is op landelijke schaal niet per definitie geschikt, omdat er grote ruimtelijke verschillen in betrouwbaarheid kunnen optreden en deze niet altijd aan de geschikte criteria voldoen, zoals hierboven vermeld en geformuleerd in Berendrecht (2021). Afwijkingen in een orde grote van tientallen centimeter heeft te veel implicaties om de ontwateringsdiepte goed te kunnen beschrijven. Afhankelijk van de validatie van het LHM4.1. kan op alleen op regionale schaal afhankelijk van kan het LHM4.1 model ingezet worden.

4.3 Aanbevelingen voor vervolgonderzoek en toepassingen

De analyse die hier is uitgevoerd vormt een eerste stap omtrent het generen van adaptatiepotentiekaarten en maakt slechts gebruik van een deel van de openbaar beschikbaar boven- en ondergrondse datasets. Het samenbrengen van meer datasets, zoals boomwortels, kabels en leidingen etc., kan bijdragen aan de betrouwbaarheid van de potentiekaarten. Tegelijkertijd biedt dit onderzoek mogelijkheden voor verder opschaling en vervolgonderzoek en kan het verder uitbreiden van deze methodiek resulteren in een bredere uitrol van potentiekaarten op regionale- of landelijke schaal. Daarnaast kan het toegankelijk maken van dit soort kaarten op (online) platformen, zoals in de

Klimaat-effectatlas of ClimateScan.nl, het mogelijk maken om bewoners en beleidsmakers beter te informeren en te betrekken in de mogelijkheden voor de opschaalbaarheid van adaptatiemaatregelen. In vervolgonderzoek zou gekeken moeten worden welke datasets op een grote regionale of landelijke ingezet kunnen worden, waarbij er echter wel een aantal belangrijke aandachtspunten in acht genomen moeten worden alvorens de resultaten gedeeld kunnen worden:

- Bij het samenvoegen van meerdere datasets is het belangrijk dat de uiteindelijke potentiescore terug te herleiden is naar een van de input datasets, zoals dat ook is gedaan in deze analyse. Dit geeft de gebruikers van de kaarten de mogelijkheid om een goede of slechte score te koppelen aan een oorzaak afkomstig uit de data (bijv. een lage score komt door een té hoge grondwaterstand of de aanwezigheid van boomwortels etc.). Daardoor blijven de kaarten inzichtelijk en dus goed bruikbaar. Het creëren van meerdere potentiële kaarten heeft dus de voorkeur over het maken van één kaart waarin een veelvoud databronnen zijn samengevoegd.
- De methodiek die geleid heeft tot de totstandkoming van de potentiële kaarten dient ten alle tijden vermeld te worden. Er moet altijd terug te herleiden zijn welke keuzes er gemaakt zijn bij de acquisitie, opschonen, classificeren, en toepassing van ruimtelijke datasets tot potentiële kaarten.
- Databronnen dienen te worden gecontroleerd of gevalideerd op correctheid alvorens ze worden gebruikt. Dit geldt met name voor gemodelleerde datasets die een hogere mate van onbetrouwbaarheid hebben dan gemeten waardes. Zo geldt bij een uitrol op een grote (landelijke) schaal dat de datakwaliteit van grondwater essentieel is. Doordat de GHG maar voor 54% goed voorspeld wordt kan de keuze voor bijvoorbeeld de GLG of een gemiddelde tussen de GHG en GLG de betrouwbaarheid verhogen. De GLG voldoet namelijk in 67% aan de criteria zoals genoemd in sectie 4.2.3 (Berendrecht, 2021).
- Bij verdere ontwikkeling van potentiële kaarten dient naast de validatie van de databronnen ook de potentiële kaart zelf te worden gevalideerd. Zo kan de kwaliteit van potentiële kaarten beter gewaarborgd worden. Bijvoorbeeld door een straat of buurt te toetsen aan de hand van lokaal aanwezige data die niet altijd beschikbaar is voor een grotere en/of ruimtelijke schaal. Denk aan specifieke gegevens over kabels en leidingen, specifieke ondergrondse objecten, opbouw van het wegcunet, (water-)kunstwerken en boomwortels. Zodra dit voor meerdere uiteenlopende locaties gedaan is, vergroot dit de betrouwbaarheid op grotere (landelijke) schaal.
- Bij toepassing op regionale of landelijke schaal dient goed nagedacht te worden over data acquisitie en deze dient bij voorkeur zo uniform mogelijk te zijn voor het hele onderzoeksgebied. Data is soms gefragmenteerd en niet altijd makkelijk opvraagbaar voor een groot gebied en is vergaard op verschillende tijdstippen en daardoor niet altijd accuraat. Bijvoorbeeld KLIC data (kabels en leidingen) kan maar voor een beperkt onderzoeksgebied opgevraagd worden of peilbuisdata gegevens beslaan verschillende meetperiodes.

5. Conclusie

Door toenemende druk op de ondergrond en bovengrond en beperkte handelingsperspectieven is het voor gemeentes en lokale overheden lastig opschalen van waterbergende maatregelen. Dit onderzoek – uitgevoerd als onderdeel van het RAAK Publiek project ‘De Waterbergende Weg’ heeft als doel om meer grip te krijgen op de stedelijke opschaalbaarheid van waterbergende maatregelen door bij te dragen aan methodiekontwikkeling die beter de kansen en bottlenecks visualiseert. De hoofdvraag die daarop van toepassing is:

Hoe kan een methodiek waarbij datasets zoals bestaande inrichting, functie en grondwater leidend zijn bijdragen aan de inventarisatie van de ruimtelijke opschaalbaarheid van waterbergende maatregelen?

In antwoord op de hoofdvraag vormen de potentiekaarten met een differentiatie van wijktypes (PC6) en geplande onderhoud van wegen een eerste ruimtelijke inventarisatie van de opschaalbaarheid van waterbergende maatregelen. Tot dusver is dit een van de eerste kaarten die de opschaalbaarheid van adaptatiepotentie ruimtelijk inzichtelijk maakt. Deze analyse vormt daarmee een eerste stap in het vergroten van de opschaalbaarheid van waterbergende maatregelen en adaptatiemaatregelen in de brede zin van het woord. Daarom is bij uiteindelijke planvorming en (her-)inrichting aanvullende informatie nodig over locatie-specifieke eigenschappen zoals kabel en leidingen, boomwortels, ondergrondse objecten etc. De ontwikkelde methodiek voor het maken van potentiekaarten vormen daarmee een goed startpunt voor doorontwikkeling van kaarten voor andere regio's of een landelijke schaal. Datakwaliteit en validatie van datasets en uiteindelijke potentiekaarten is daarbij essentieel voor betrouwbaarheid zoals beschreven in de resultaten en discussie van dit onderzoek.

Aanbevelingen

In antwoord op de sub-onderzoeksvragen die betrekking hebben op de ontwateringsdiepte, datakwaliteit en de differentiatie tussen verschillende wijktypologieën kunnen de volgende aanbevelingen opgemaakt worden:

- Een andere ontwateringsdiepterichtlijn die van 0,9 naar 0,7 of 0,5 meter wordt gehanteerd kan de adaptatiepotentie verdubbelen in de gemeente Amsterdam (22%, naar 42% en 61%, figuur 6). Een ruimere ontwateringrichtlijn kan dus bijdragen aan het vergroten van de stedelijke opschaalbaarheid van adaptieve waterbergende maatregelen in Amsterdam, maar dit kan ook in meerdere of mindere mate betrekking hebben voor andere gemeentes of regio's.
- Bij de hantering van ruimere ontwateringsrichtlijnen en de ontwerpdoelen van een waterbergende weg kan er specifiek gekeken worden naar het hele proces van plan- tot gebruik fase. Daarbij speelt het type maatregel, de dimensionering van de waterberging, het afstromend oppervlak, de aanlegdiepte en de complexiteit van de maatregel een rol. Wordt dit gekoppeld aan de huidige grondwatersituatie tijdens aanleg en tijdens het gebruik, dan kan in veel gevallen uitgegaan worden van een kleinere ontwateringsdiepte of kan een ander uitgangspunt gehanteerd worden voor de berekening van de ontwateringsdiepte. Zo kan bijvoorbeeld het gemiddelde van GHG en GLG gebruikt worden als uitgangspunt als gedimensioneerd wordt op piekbuien tijdens de zomer plaatsvindt (de GLG vindt vaak plaats in de zomermaanden).
- Verder hebben datakwaliteit van grondwater datasets een grote invloed op de adaptatiepotentie. Bij extrapolatie naar grotere (landelijke) schaalniveaus kan de inzet van met name gemodelleerde datasets de betrouwbaarheid van resulterende potentiekaarten verlagen en dient er goed nagedacht te worden over de kwaliteit en validatie van gebruikte datasets.

- De differentiatie tussen verschillende wijktypes kan verder bijdragen aan het prioriteren van wijken met een hoge adaptatiepotentie en kan helpen bij het maken van (strategische) beleidskeuzes.

Literatuurlijst

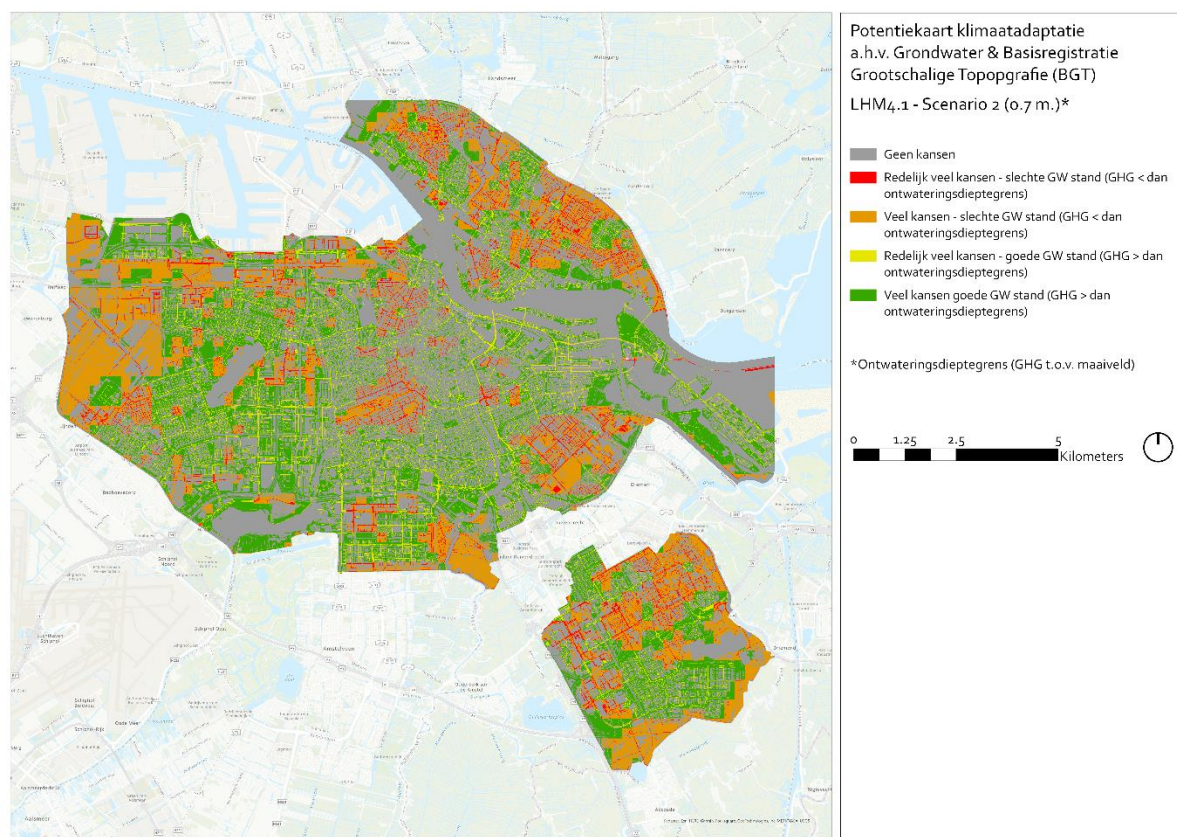
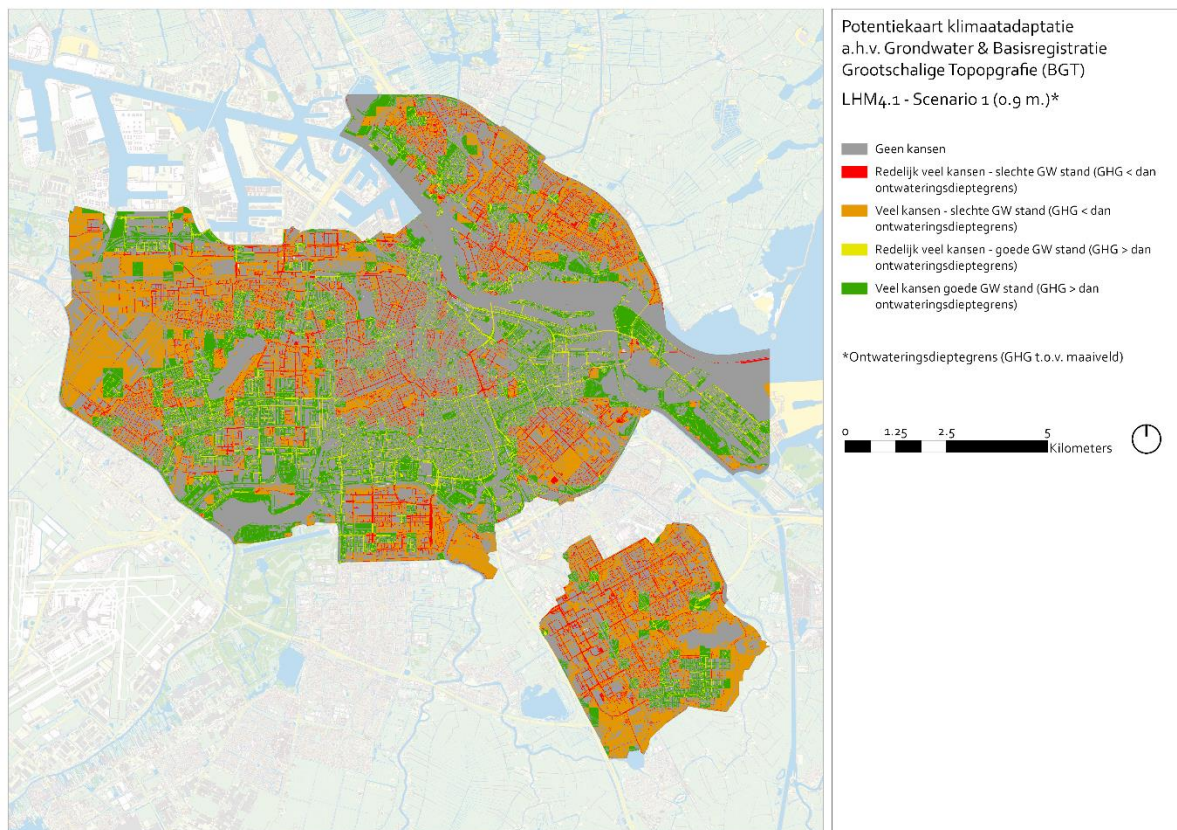
- AHN. (2023, mei 17). *AHN Viewer*. Opgehaald van [ahn.nl](https://www.ahn.nl/ahn-viewer): <https://www.ahn.nl/ahn-viewer>
- Berendrecht, W. (2021). *Validatie en toetsing LHM4.1 - Deelrapport 1: Grondwater*. Berendrecht Consultancy. Rijkswaterstaat Ministeris van Infrastructuur en Waterstaat. Opgehaald van https://www.berendrechtconsultancy.nl/wp-content/uploads/2023/05/Rapportage_Validatie_LHM_grondwater_def_met_bijlage.pdf
- Boogaard, F. C., Lucke, T., Sommer, H., De Beer, J., Van De Giesen, N. C., & Van De Ven, F. H. (2014). Lessons learned from over two decades of global swale use. *In Proceedings of the 13th International Conference on Urban Drainage*, 1-9.
- de Jong, J., & Wijtenburg, K. (2020). *Gebiedsgerichte maatregelen voor grondwaterneutrale kelderbouw - gebiedsloop afwegingskader kelderbouw*. Amsterdam: Gemeente Amsterdam - Waternet .
- (2022). *Deltaprogramma 2023*. Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit & Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties.
- Gemeente-Amsterdam. (2022). *Omgevingsprogramma Riolerings 2022-2027*. Gemeente Amsterdam.
- Kleerekooper, & Koekoek, K. (2018, Januari). Stadswork. *Gezonde Ruimte*, pp. 28 - 30.
- Kluck, J., Lisette, K., Anna, S., Laura, K., Liesbeth, W., Cor, J., & Ronald, L. (2020, May). *De hittebestendige stad: een koele kijk op de inrichting van de buitenruimte*. Amsterdam: Hogeschool van Amsterdam. Opgehaald van <https://www.hva.nl/kc-techniek/gedeeldecontent/contentgroep/klimaatbestendige-stad/klimaatbestendigestad.html>
- Kluck, J., Loeve, R., Bakker, W., Kleerekoper, L., Rouvoet, M., Wentink, R., . . . Boogaard, F. (2017). *Het klimaat past ook in uw straatje*. Hogeschool van Amsterdam.
- KNMI. (2021). *KNMI Klimaatsingnaal '21 - Hoe het klimaat in Nederland snel veranderd*. Bilt: Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut.
- NHI. (2023). Opgehaald van <https://data.nhi.nu/bekijk>.
- (2022). *Omgevingsprogramma-riolerings-2022-2027* . Amsterdam: Waternet.
- Rainproof. (2023, 4). *Amsterdam Rainproof*. Opgehaald van [maps.amsterdam.nl](https://maps.amsterdam.nl/rainproof/): <https://maps.amsterdam.nl/rainproof/>
- RIONED. (2023, 4). *Kostengetallen per rioleringsobject*. Opgehaald van [riool.net](https://www.riool.net/kostenkengetallen-per-rioleringsobject): <https://www.riool.net/kostenkengetallen-per-rioleringsobject>
- SBR, B. v. (1984). *Bouwrijpmaken van terreinen*. SBR publicatie 99. ISBN 90-201-1713-0. 356p.
- van Wee, T. H., Bonte, M., Hartog, M. P., de Putter, P., van de Ven, F. H., Visser, W. M., & Biron, D. J. (2007). *Ontwatering in stedelijk gebied*. SBR.

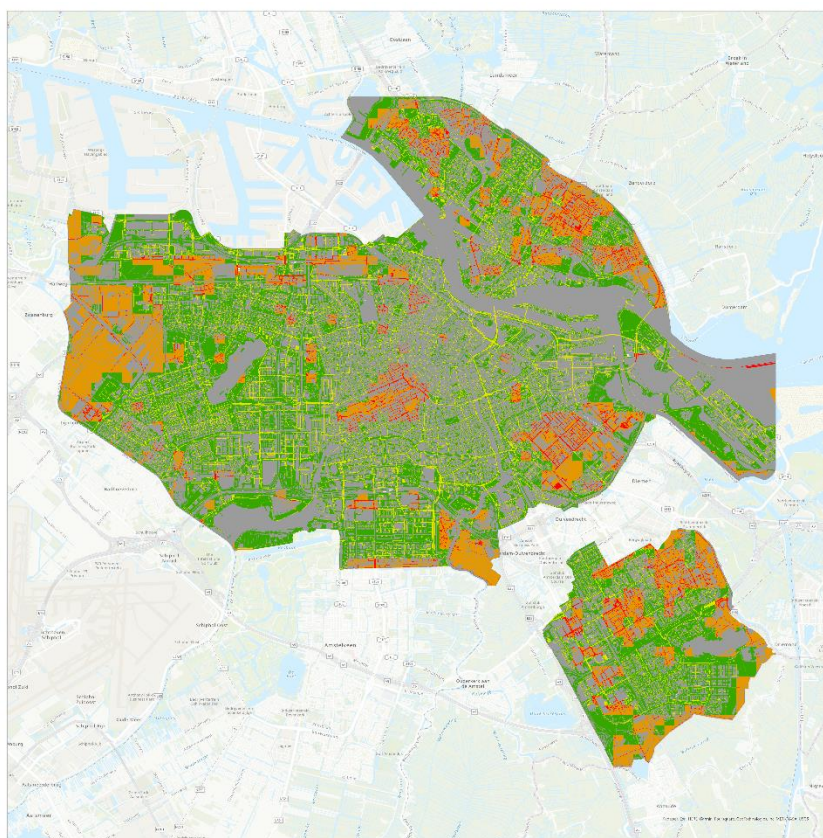
Annex

1. Basisregistratie Grootschalige Topografie (BGT) classificatie

BGT Score	BGT onderdeel	BGT - Functie/Fysiek
Veel mogelijkheden	Wegdeel (met alle oppervlakte: gesloten verharding, half verhard, onverhard, open verharding, transitie)	Voegangersgebied
		Voetpad
		Fietspad
		Parkeervlak
		Ruiterpad
	Wegdeel (met alléén oppervlakte: half verhard, onverhard)	Transitie
		Woonerf
		Inrit
		Rijbaan locale weg
		Rijbaan regionale weg
	Ondersteunend wegdeel - Berm en Verkeerseiland	Groenvoorziening
		Half verhard
		Onverhard
	Begroeid terreindeel	(alles)
		Boomteelt
		Bouwland
		Gemengd Bos
		Grasland agrarisch
		Grasland overig
		Groenvoorziening
		Loofbos
		Rietland
		Struiken
		Transitie
		Onverhard
Redelijk aantal mogelijkheden	Wegdeel (met alléén oppervlakte: gesloten verharding, open verharding, transitie)	Half verhard
		Zand
		Transitie
		Woonerf
		Inrit
	Ondersteunend wegdeel - Berm en Verkeerseiland	Rijbaan locale weg
		Rijbaan regionale weg
		Open verharding
	Onbegroeid terreindeel	Open verharding
		Rijbaan autosnelweg
Geen kansen	Wegdeel (met alle oppervlakte materialen: gesloten verharding, half verhard, onverhard, open verharding, transitie)	Spoorbaan
		Rijbaan autoweg
		OV-baan
		Overweg
		Voetpad op trap
		Baan voor vliegverkeer
		Gesloten verharding
	Ondersteunend wegdeel - Berm en Verkeerseiland	
	Onbegroeid terreindeel	Erf
		Gesloten verharding
		Transitie
	Waterdeel	Waterloop
		Watervlakte
	Ondersteunend Waterdeel	Oever, slootkant
	Pand	Pand

2. Potentiekaarten

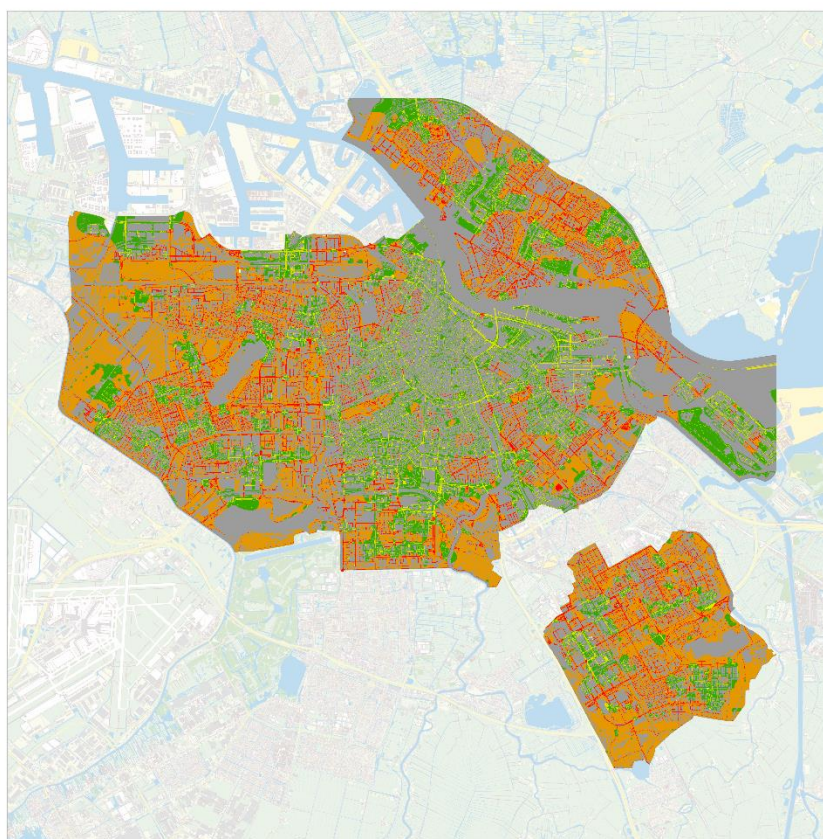




Potentiekaart klimaatadaptatie
a.h.v. Grondwater & Basisregistratie
Grootchalige Topografie (BGT)
LHM4.1 - Scenario 3 (0.5 m.)*

- Geen kansen
- Redelijk veel kansen - slechte GW stand (GHG < dan ontwateringsdieptegrens)
- Veel kansen - slechte GW stand (GHG < dan ontwateringsdieptegrens)
- Redelijk veel kansen - goede GW stand (GHG > dan ontwateringsdieptegrens)
- Veel kansen goede GW stand (GHG > dan ontwateringsdieptegrens)

*Ontwateringsdieptegrens (GHG t.o.v. maaiveld)

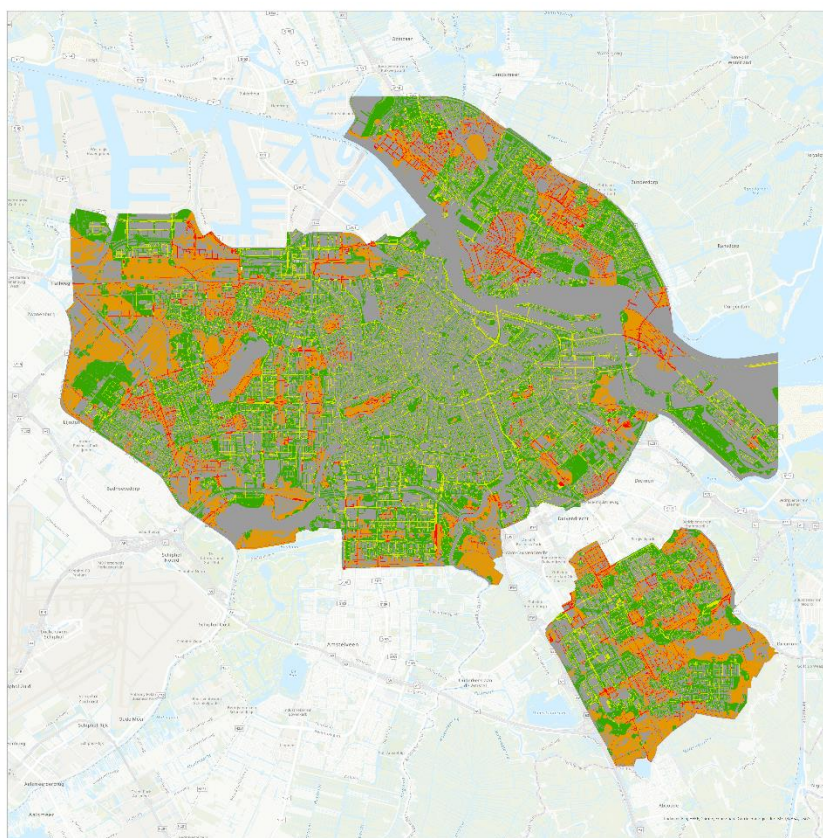


Potentiekaart klimaatadaptatie
a.h.v. Grondwater & Basisregistratie
Grootchalige Topografie (BGT)
Waternet peilbuizen - Scenario 1 (0.9 m.)*

- Geen kansen
- Redelijk veel kansen - slechte GW stand (GHG < dan ontwateringsdieptegrens)
- Veel kansen - slechte GW stand (GHG < dan ontwateringsdieptegrens)
- Redelijk veel kansen - goede GW stand (GHG > dan ontwateringsdieptegrens)
- Veel kansen goede GW stand (GHG > dan ontwateringsdieptegrens)

*Ontwateringsdieptegrens (GHG t.o.v. maaiveld)

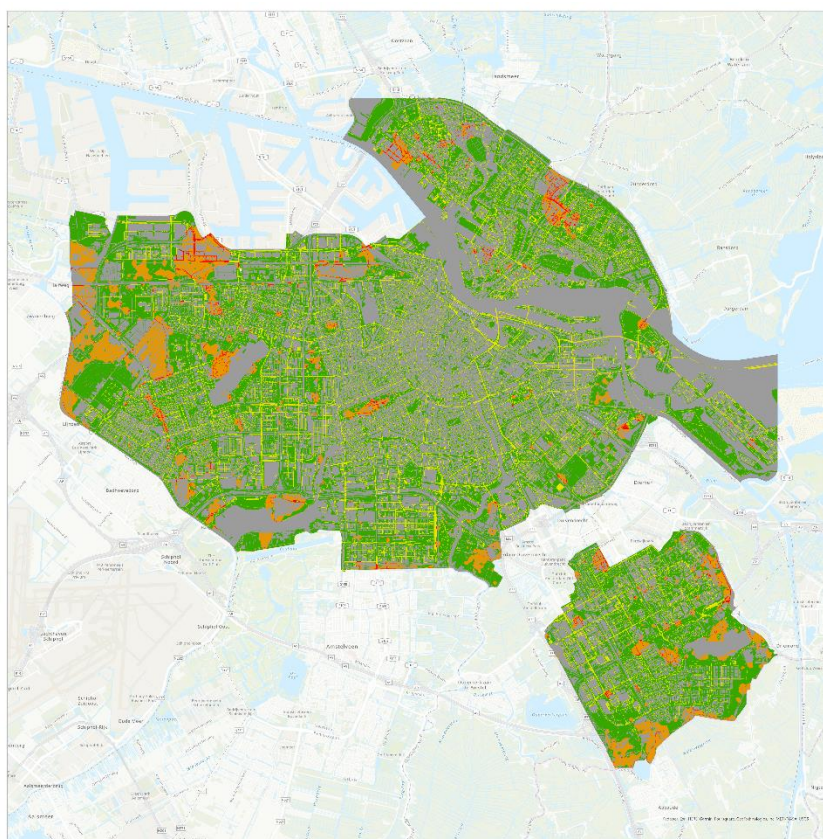




Potentiekaart klimaatadaptatie
a.h.v. Grondwater & Basisregistratie
Grootchalige Topografie (BGT)
Waternet peilbuizen - Scenario 2 (0,7 m.)*

- Geen kansen
- Redelijk veel kansen - slechte GW stand (GHG < dan ontwateringsdieptegrens)
- Veel kansen - slechte GW stand (GHG < dan ontwateringsdieptegrens)
- Redelijk veel kansen - goede GW stand (GHG > dan ontwateringsdieptegrens)
- Veel kansen goede GW stand (GHG > dan ontwateringsdieptegrens)

*Ontwateringsdieptegrens (GHG t.o.v. maaiveld)



Potentiekaart klimaatadaptatie
a.h.v. Grondwater & Basisregistratie
Grootchalige Topografie (BGT)
Waternet peilbuizen - Scenario 3 (0,5 m.)*

- Geen kansen
- Redelijk veel kansen - slechte GW stand (GHG < dan ontwateringsdieptegrens)
- Veel kansen - slechte GW stand (GHG < dan ontwateringsdieptegrens)
- Redelijk veel kansen - goede GW stand (GHG > dan ontwateringsdieptegrens)
- Veel kansen goede GW stand (GHG > dan ontwateringsdieptegrens)

*Ontwateringsdieptegrens (GHG t.o.v. maaiveld)

