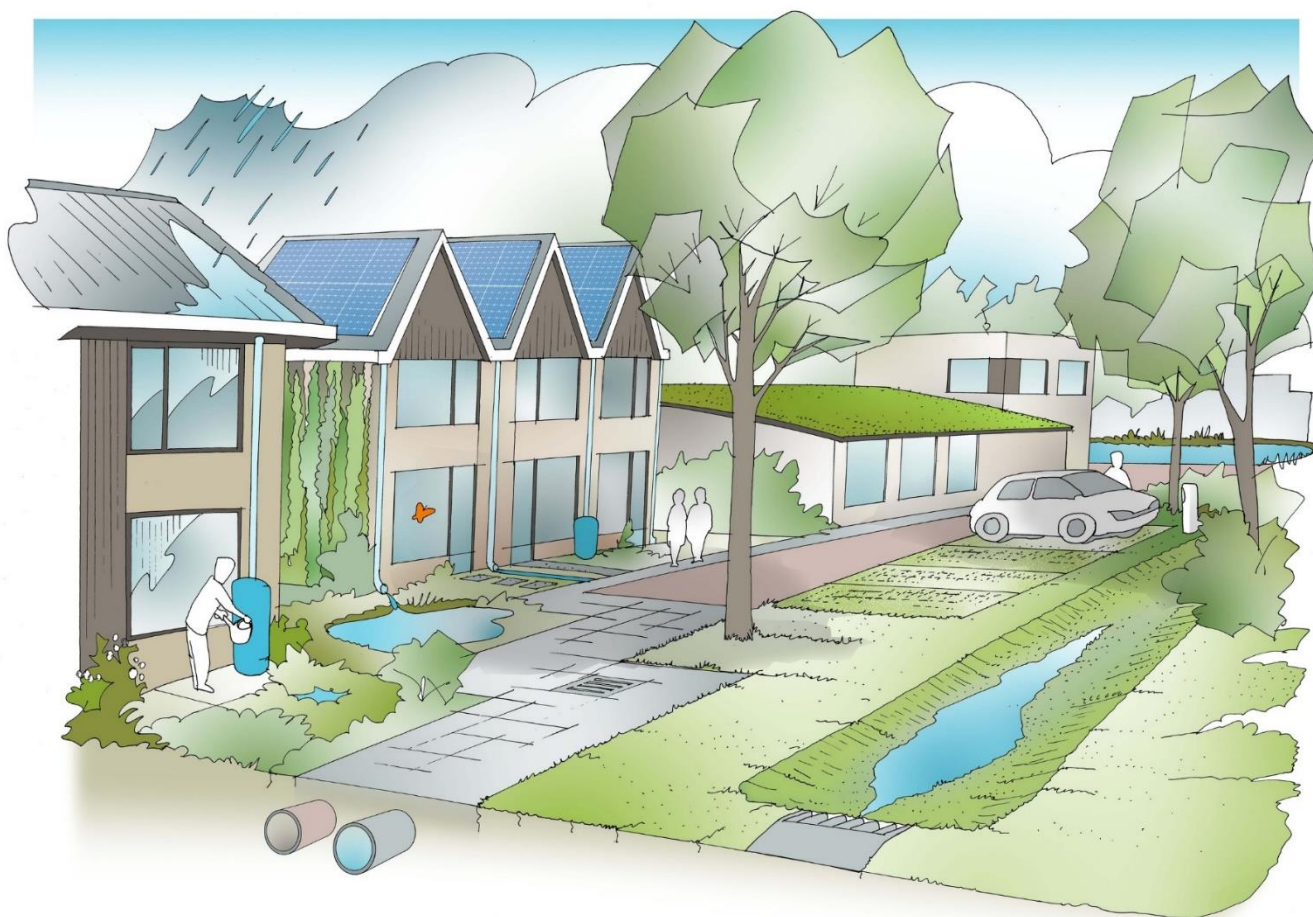


Sweco NL

Van verharding naar vergroening

Onderzoeksverslag over de effecten van het verwijderen en
vergroenen van zinloze verharding op de droogteproblematiek.



Jansen, Roel
12-1-2023

(Ijsselstein, 2022)

Onderzoeksverslag

Van verharding naar vergroening

Onderzoek naar de effecten van het verwijderen en vergroenen van zinloze verharding op de droogteproblematiek

Auteur:	Roel Jansen
Opleidingsinstituut:	Hogeschool van Hall Larenstein
Opleiding:	Land- en Watermanagement
Functie:	Afstudeerstudent
Contact:	Roel.jansen@hvhl.nl Roel.jansen@sweco.nl
Externe Begeleider:	Lucas Nieuweboer & Carl Geuljans Sweco NL
Contact:	Lucas.nieuweboer@sweco.nl Carl.geuljans@sweco.nl
Intern Begeleider:	Peter Groenhuijzen Hogeschool van Hall Larenstein
Contact:	peter.groenhuijzen@hvhl.nl
Opdrachtgever:	Sweco NL
Adres:	De Holle Bilt 22 3731 HM De Bilt
Contact:	E-mailadres: info@sweco.nl
Status document:	Definitief
Datum en plaats:	12-01-2023, De Bilt

Voorwoord

In vijf educatieve en plezierige maanden heb ik een onderzoeksverslag geschreven over een beroepsproduct. Dit onderzoeksverslag en beroepsproduct is het laatste onderdeel om mijn opleiding Land- en watermanagement af te ronden. Ik ben bezig geweest met het onderzoeken van de effecten van het verwijderen en vergroenen van zinloze verharding. Tijdens het onderzoek is een stappenplan opgesteld om alle ondernomen stappen en informatie te kunnen gebruiken voor een advies richting een toekomstige opdrachtgever. Dit onderzoek is uitgevoerd voor Sweco en ik zou graag mijn begeleiders Lucas Nieuweboer, Carl Geuljans en Bas Huver hartelijk willen bedanken voor alle hulp in het proces. Ook wil ik Peter Groenhuijzen bedanken voor de begeleiding vanuit Hogeschool van Hall Larenstein. Ik wens u veel leesplezier!

Samenvatting

In dit onderzoek is onderzocht wat de effecten zijn van het verwijderen en vergroenen van zinloze verharding, in opdracht voor Sweco. En hoe kan eigenlijk het tegengaan van zinloze verharding helpen tegen de droogteproblematiek in het stedelijk gebied? Gemeenten willen graag met de vraag komen om droogte in het stedelijk gebied op te lossen. Daarom is op basis van deze vragen onderzocht welke stappen genomen moeten worden, om hierover een advies te kunnen geven.

Zinloze verharding is verharding die geen echte functie heeft, zoals een te brede stoep, stedelijke verharde kunst en overhoeken op een trottoir. Sweco heeft een tool opgezet dat de zinloze verharding in een gemeente in kaart kan brengen.

Door middel van drie casusgebieden zijn de effecten aangetoond. De casusgebieden verschillen op bodemmaterialen en de hoogte van de grondwaterstand. Er zijn drie straten geselecteerd waarvan twee in de gemeente Zeist en één straat in de gemeente Hendrik-Ido-Ambacht. Deze straten bevatten zinloze verharding dat verwijderd kan worden en omgevormd wordt tot een vergroend stukje.

Het hydrologisch model SEEP/w kan de effecten van het verwijderen en vergroenen van zinloze verharding aantonen. De effecten worden aangetoond door het verschil in grondwaterstand in de huidige- en toekomstige situatie te simuleren. In de toekomstige situatie is de zinloze verharding verwijderd. Hierdoor kan meer hemelwater infiltreren waardoor de grondwaterstand mogelijk stijgt. Om het verschil in infiltrerend hemelwater te berekenen en toe te passen in het model is een rekentabel opgezet. De tabel in Excel kan uitrekenen hoeveel neerslag in $\text{m}^3/\text{d}/\text{m}^2$ kan infiltreren in de straat.

Door de resultaten van het model per casusgebied te analyseren, zijn een aantal conclusies getrokken. Het verwijderen en vergroenen van zinloze verharding in een locatie met klei of veen en een hoge grondwaterstand dichtbij het maaiveld, kan voor wateroverlast zorgen. Dit komt omdat het hemelwater langzaam infiltreert en de grondwaterstand al hoog is. Bij een locatie met een zandbodem heeft het verwijderen van zinloze verharding weinig tot geen invloed op de grondwaterstand. Hierdoor levert het verwijderen en vergroenen van zinloze verharding geen bijdrage aan het oplossen van droogteproblematiek. Bij een locatie waar de grondwaterstand wel stijgt en niet voor wateroverlast zorgt, is het verwijderen en vergroenen een mooie oplossing voor het tegengaan van droogteproblematiek. Dit komt doordat de bodem meer water kan opnemen en het vasthoudt voor drogere periodes.

Naast het feit dat het een bijdrage levert aan het oplossen van droogteproblematiek, heeft het veel meer positieve invloeden. Dit is het tegengaan van wateroverlast, vooral bij zandbodems, en het verbeteren van de biodiversiteit. Maar ook de verbetering van de kwaliteit van de openbare ruimte, de sociale cohesie en de gezondheid van bewoners zijn belangrijk.

Om het aantonen van de effecten van het verwijderen en vergroenen van zinloze verharding herhaalbaar te maken voor medewerkers van Sweco, is een stappenplan opgesteld. Dit is een Pdf-bestand dat gebruiksvriendelijk alle stappen toelicht die gemaakt moeten worden. De stappen lichten toe hoe de informatie verzameld wordt voor alle parameters die gebruikt zijn in het hydrologisch model. Ook wordt op de laatste pagina toegelicht hoe de resultaten gebruikt kunnen worden voor het opstellen van een advies richting de opdrachtgever.

Inhoud

1.	Inleiding.....	5
1.1	Aanleiding	5
1.2	Opgave	6
1.3	Beroepsproduct	7
1.4	Leeswijzer.....	7
2.	Kader	8
2.1	Droogteaanpak in Nederland.....	8
2.2	Beleid	9
2.3	Het beheren van de grondwaterstand.....	11
2.4	Zinloze verharding.....	12
2.5	Zinloze verhardingstool.....	12
2.6	Campagnes tegen zinloze verharding	14
2.7	Hydrologisch model SEEP/w	15
3.	Programma van Eisen	16
4.	Onderzoeksmethodiek.....	17
4.1	Fasering	17
4.2	Bureaustudie casusgebieden	18
4.3	Data-analyse casusgebieden.....	19
4.4	SEEP/w Model opzet.....	19
4.5	Resultaten-analyse SEEP/w.....	21
4.6	Uitwerking stappenplan.....	21
4.7	Reflectie op het onderzoeksproces	22
5.	Onderzoeksresultaten.....	23
5.1	Selectie casusgebieden	23
5.2	Toepassen zinloze verharding.....	29
5.3	Verschil in grondwaterstand	34
5.4	Stappenplan (beroepsproduct).....	37
5.5	Reflectie betrouwbaarheid	38
6.	Conclusie	40
7.	Aanbevelingen	42
7.1	Transient model toepassen.....	42
7.2	Meer scenario's simuleren.....	42
7.3	Meer locaties simuleren	42
7.4	Kosten en bijdragen nader onderzoeken.....	42
	Literatuur	43
	Bijlagen.....	45

1. Inleiding

In dit hoofdstuk is de aanleiding en opgavebeschrijving van het onderzoek beschreven. Ook wordt het beroepsproduct toegelicht en is tot slot een leeswijzer van dit onderzoeksverslag aanwezig.

1.1 Aanleiding

Klimaatverandering is de afgelopen jaren een steeds grotere rol gaan spelen. Extreme weersomstandigheden door klimaatverandering hebben gevolgen zoals hittestress, wateroverlast en droogte in het stedelijk gebied. Gemeenten zijn daarom steeds meer bezig met het verwijderen en vergroenen van zinloze verharding in het stedelijk gebied en stellen hiervoor ambities op.

In het stedelijk gebied kan veel zinloze verharding liggen. Dit is verharding die geen functie heeft, geen positieve bijdragen aan de stad toevoegt en omgevormd kan worden tot groen. De afgelopen jaren zijn meerdere campagnes gestart die zich inzetten voor het verwijderen en vergroenen van zinloze verharding in het stedelijk gebied. Dit zijn campagnes zoals de Groene Stad Challenge, NK-tegelwippen en Stichting Steenbreek. De basis van deze drie acties zijn het verwijderen van stenen, tegels en ander verhard oppervlak. Hiervoor in de plaats wordt groen aangelegd en dit heeft verschillende positieve gevolgen.

Meer groen in de stad zorgt voor meer mogelijkheden om hemelwater te infiltreren in de bodem. Hierdoor wordt het hemelwater langzamer afgevoerd, langer vastgehouden in de bodem en ontstaat minder wateroverlast. Daarnaast heeft vergroening positieve gevolgen voor de biodiversiteit en reduceert de hittestress in het stedelijk gebied. Ook draagt het bij aan het verhogen van de kwaliteit van de openbare ruimte doordat groen onmisbaar is voor een duurzame en klimaatbestendige omgeving.

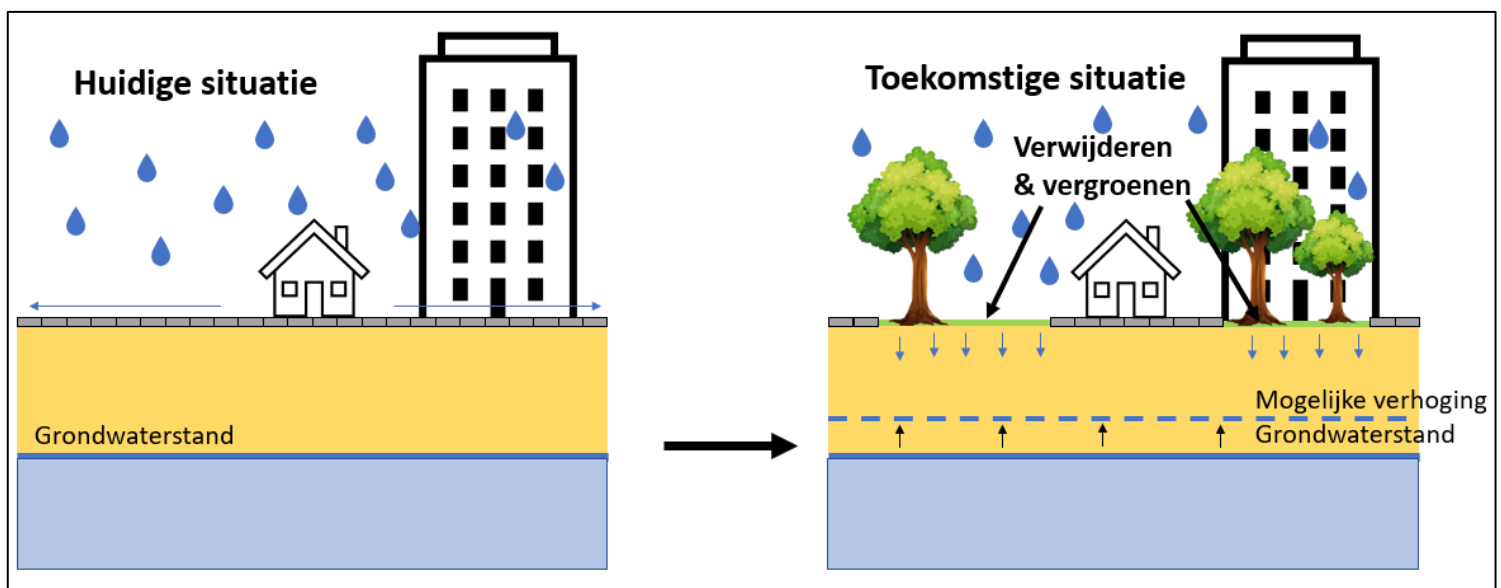
Naast de bovenstaande positieve gevolgen van het verwijderen en vergroenen van zinloze verharding, wordt het oplossen van de droogteproblematiek genoemd. Kan het lokaal infiltreren van meer hemelwater een bijdrage leveren aan het oplossen van de droogteproblematiek en wat zijn eigenlijk de effecten van het verwijderen en vergroenen van zinloze verharding?

Gemeenten willen graag de droogteproblemen in het stedelijk gebied oplossen. Het verwijderen en vergroenen van zinloze verharding kan hierbij mogelijk helpen. Door het opstellen van een adviesrapport kunnen de effecten van het verwijderen en vergroenen van zinloze verharding beschreven worden. Dit adviesrapport wordt geschreven voor een opdrachtgever, zoals de gemeente. Dit vraagt om een stappenplan als beroepsproduct, waarin staat hoe de effecten aangetoond kunnen worden en wat de invloed van het verwijderen en vergroenen van zinloze verharding is, op de droogteproblematiek in het stedelijk gebied.

1.2 Opgave

Het is onduidelijk in hoeverre het verwijderen en vergroenen van zinloze verharding leidt tot verminderde droogteproblematiek. Het is duidelijk dat het verwijderen en vergroenen bijdraagt aan het verbeteren van de biodiversiteit, het reduceren van hittestress en het tegengaan van wateroverlast. In opdracht van Sweco wordt dit onderzoek uitgevoerd. Sweco adviseert gemeenten op het gebied van droogteproblematiek. Dit onderzoek helpt Sweco om hun advisering beter te onderbouwen. De opgave is om de effecten van het verwijderen en vergroenen van zinloze verharding in beeld te brengen. En hoe de maatregel droogteproblematiek op kan lossen in stedelijke gebieden.

Dit onderzoek helpt Sweco om de effecten van het verwijderen en vergroenen van zinloze verharding in het stedelijk gebied aan te tonen. Sweco heeft de afgelopen jaren de “zinloze verhardingstool” ontwikkeld. Deze tool berekent de zinloze verhardingslocaties in een gemeente. Het aantonen van de effecten bevat vele stappen. In de stappen wordt gebruik gemaakt van de zinloze verhardingstool en een hydrologisch model. De grondwaterstand speelt een belangrijke rol voor het aantonen van de effecten. Een hydrologisch model kan de grondwaterstand berekenen en het verschil weergeven tussen de huidige- en de toekomstige situatie. In de toekomstige situatie is de zinloze verharding verwijderd. Door het verwijderen van verharding kan er meer hemelwater in de bodem infiltreren. Op deze manier kan er meer water bij het grondwater komen en de grondwaterstand verhogen. In figuur 1 is een infographic weergegeven waarin de huidige- en toekomstige situatie wordt toegelicht.



Figuur 1 Infographic verwijderen en vergroenen zinloze verharding

Sweco wil graag helder hebben hoe het proces van het aantonen van de effecten verloopt en welke stappen hiervoor gevolgd worden. Hierdoor kan Sweco hun advisering beter onderbouwen richting een opdrachtgever. Een deel van dit onderzoek is ook het beroepsproduct. Dit is een stappenplan voor Sweco-medewerkers waarin duidelijk wordt toegelicht hoe de effecten van het verwijderen en vergroenen van zinloze verharding op een locatie aangetoond kunnen worden.

1.3 Beroepsproduct

Een deel van het onderzoek is het beroepsproduct, dit is het stappenplan. Een stappenplan beschrijft duidelijk stap voor stap welke actie ondernomen moet worden. Per stap is beschreven welke informatie verkregen moet worden en hoe dit wordt toegepast. Aan het eind van het stappenplan kan een advies opgesteld worden over de effecten en het toepassen van het verwijderen en vergroenen van zinloze verharding op een bepaalde locatie.

Wanneer een gemeente met de vraag komt of het toepassen van het verwijderen en vergroenen van zinloze verharding effect heeft op een gevraagde locatie, wil Sweco een onderbouwd advies kunnen geven. Dit advies gaat over het oplossen van de droogteproblematiek en de effecten van het verwijderen en vergroenen van zinloze verharding op de grondwaterstand. Daarbij is dit stappenplan toepasbaar.

Het stappenplan is gemaakt in PowerPoint en is tot een gebruiksvriendelijk Pdf-bestand omgevormd, waarin makkelijk doorgeklikt kan worden tot de volgende- en vorige pagina, een bepaalde stap, een website, een collega binnen Sweco of een ander deel van het stappenplan. In figuur 2 is de eerste pagina/voorblad van het stappenplan weergegeven. Het volledige stappenplan is te vinden in de bijgevoegde map.



Figuur 2 Voorblad stappenplan

1.4 Leeswijzer

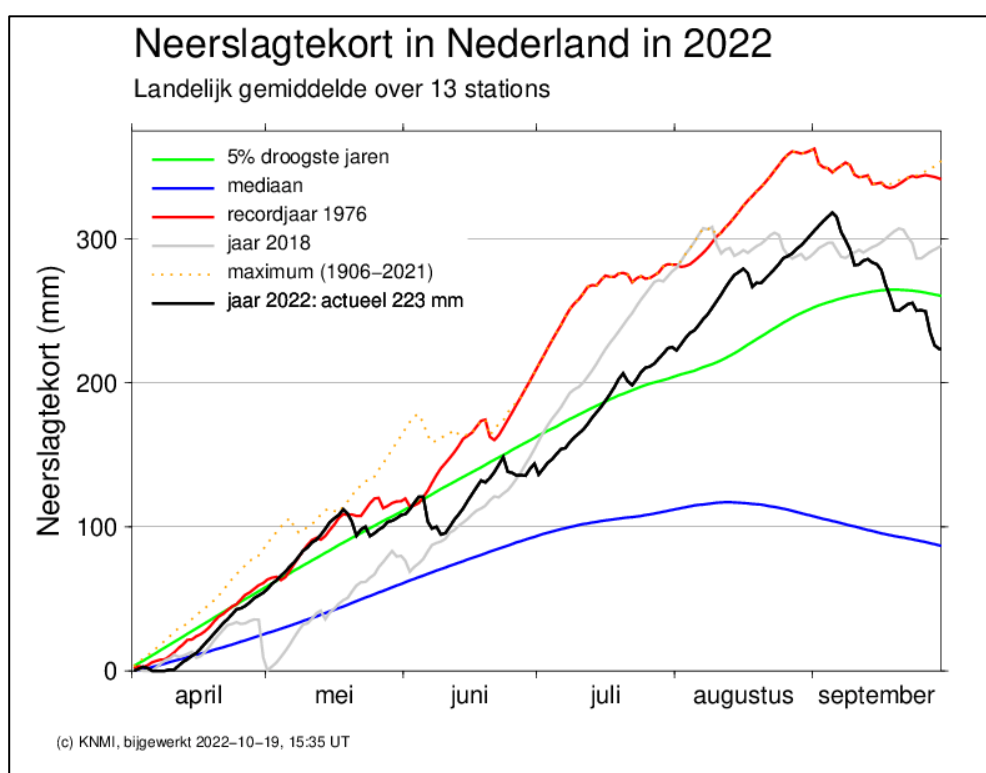
Hoofdstuk 2 beschrijft het kader van het onderzoek. In hoofdstuk 3 is het Programma van Eisen opgesteld waarmee rekening is gehouden voor het maken van het beroepsproduct. Vervolgens wordt in hoofdstuk 4 de onderzoeksmethodiek beschreven. Hierna gaat hoofdstuk 5 in op de onderzoeksresultaten. Tot slot komt in hoofdstuk 6 de conclusie aan bod en volgt hierop in hoofdstuk 7 de aanbeveling.

2. Kader

In dit hoofdstuk staat een toelichting over het kader van het onderzoek. Welke beleids- en beheermaatregelen spelen in Nederland, wat houdt zinloze verharding precies in en welk hydrologisch model wordt gebruikt om de effecten aan te tonen? Deze vragen zijn beantwoord in Hoofdstuk 2. Kader.

2.1 Droogteaanpak in Nederland

Het is meer dan duidelijk dat droogte een belangrijke rol speelt in Nederland. Zo is 2022 ook weer een zeer droog jaar. Droogte ontstaat wanneer een lange tijd geen regen valt en meer verdamping plaats vindt door warmere dagen. In figuur 3 is afgebeeld wat het neerslagtekort in Nederland is in 2022. Hier is ook te zien dat het jaar 2022 al behoort tot de 5% droogste jaren.



Figuur 3 Neerslagtekort in Nederland in 2022 (KNMI, 2022)

Door droogte zakt het grondwater en kunnen watertekorten ontstaan. Andere gevolgen zijn het bezwijken van dijken door de kans op scheuren, veenoxidatie, bodemverzakking, natuurbranden, schade aan funderingspalen, biodiversiteit en ga zo maar door. (Atlasleefomgeving, 2022)

In dit onderzoek wordt gekeken naar de invloed van droogte op het stedelijk gebied. Droogte heeft daar voornamelijk gevolgen voor de biodiversiteit, schade aan funderingen, het zakken van grondwater en watertekorten.

De overheid neemt maatregelen tegen droogte. In totaal is ongeveer 800 miljoen euro vrijgekomen om droogte aan te pakken. (Rijksoverheid, 2022) Het doel is om in Nederland het water langer vast te houden, maar ook het beschikbare water beter te verdelen. Er zijn vele beleidsmaatregelen en ontwikkelingen in Nederland om droogte aan te pakken.

2.2 Beleid

Klimaatadaptatie is een belangrijk onderdeel om Nederland klimaatbestendig te maken. Dit komt niet alleen op nationaal niveau naar voren, maar ook gemeenten hebben hier veel mee te maken. Hieronder valt ook het verwijderen en vergroenen van zinloze verharding in het stedelijk gebied. In dit hoofdstuk staan enkele ontwikkelingen en beleidsmaatregelen op het gebied van klimaatadaptatie en het klimaatbestendig maken van het stedelijk gebied.

Deltaplan Ruimtelijke Adaptatie (DPRA)

Het Deltaplan Ruimtelijke Adaptatie geeft aandacht aan het klimaatbestendig en waterrobuust inrichten van onze bebouwde en landelijke gebieden op nationaal niveau. (Nationaal Deltaprogramma, 2022) Ook hier wordt genoemd dat het klimaatbestending inrichten belangrijk is om wateroverlast, hittestress en droogte te voorkomen.

Nationale Adaptiestrategie (NAS)

De NAS2016 (Nationale klimaatadaptatie strategie, 2016) en het Uitvoeringsprogramma 2018-2019 van NAS (Nationale klimaatadaptatie strategie, 2018) gaan in op de belangrijkste klimaatrisico's en hoe deze risico's geagendeerd en aangepakt kunnen worden. Het is belangrijk om aan alle speerpunten uit het uitvoeringsprogramma te blijven werken. Dit zijn punten die gaan over het opdoen van nieuwe kennis over de gevolgen van klimaatverandering, de voortgang van klimaatadaptatie monitoren en de samenwerking, uitvoering en communicatie coördineren. (Kennisportaal Klimaatadaptatie, 2020).

Omgevingsvisie en omgevingswet

In de omgevingsvisie stelt een gemeente zijn ambities en omgevingsbeleid op aan de hand van de Omgevingswet. In de Omgevingswet staat dat iedere gemeente 1 omgevingsvisie vaststelt. (Rijksoverheid, 2022) Al deze regels en eisen van de Omgevingswet komen terug in de omgevingsvisie van de gemeente. Zo komt tegenwoordig de ambitie bij gemeenten steeds vaker voor om een x aantal procent te vergroenen en een x aantal procent te ontharden.

Gemeentelijk beleid (grond- en hemelwater)

De gemeente heeft een wettelijke taak om structureel nadelige gevolgen van de grondwaterstand te beperken wanneer dat doelmatig is. Op grond van de Waterwet hebben gemeenten een grondwaterzorgplicht en hemelwaterzorgplicht. (Rijkswaterstaat, sd) Dit is een wet waar de gemeente moet zorgen voor zo min mogelijk grond- en hemelwateroverlast. Hierbij geldt dat gemeenten zich inspannen om structurele hoge- en lage grondwaterstanden in openbaar gebouwd gebied zoveel mogelijk te voorkomen.

Water bodem sturend

Water en bodem sturend is een recentelijke ontwikkeling voor het maken van ruimtelijke keuzes. Dit betekent dat het water en de bodem sturend zijn bij beslissingen over de inrichting van ons land.

In november 2022 is een brief geschreven door de minister en staatssecretaris van Infrastructuur en Waterstaat. Deze brief gaat over het water en de bodem in ons land. In de brief naar de voorzitter van de Tweede Kamer der Staten-Generaal wordt expliciet genoemd dat het minder bedekken van de bodem en minder stenen in de stad belangrijk zijn. (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2022) In de brief wordt duidelijk gemaakt dat omgaan met wateroverlast en droogte vraagt om een samenhangende aanpak. De bodem moet als een soort spons (zie Figuur 4) functioneren om op deze manier water vast te houden en voldoende te bufferen voor drogere periodes. Hierdoor kunnen stedelijke gebieden beter de verstoringen van klimaatverandering tegengaan. Dit kan volgens het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat deels opgelost worden door het minder afdekken van de bodem waardoor de natuurlijke kracht van de bodem benut wordt.



Figuur 4 Spons (Vlaco, 2022)

Er zijn veel ontwikkelingen, eisen en wetten waar het verwijderen en vergroenen van zinloze verharding een (kleine) rol in kan spelen. Zo zijn er nog veel meer ontwikkelingen zoals bijvoorbeeld de NKWK, Nationale omgevingsvisie en watervisie.

2.3 Het beheren van de grondwaterstand

De stand van het grondwater en de mate van fluctuatie hebben invloed op de stabiliteit van de bodem en de vegetatie op het maaiveld. Het beheren van dit grondwatersysteem is ingewikkeld en heeft invloed op bepaalde functies. Denk hierbij aan de invloed op de agrarische sector, bodemverzakking, het groen en de funderingen van huizen. Maar ook heeft het grondwater een belangrijke functie voor drinkwaterwinning, industrie en energie.

Om deze redenen is het beheer van de grondwaterstand van groot belang. Daarom wordt er gestuurd op het realiseren van een gewenst grondwaterpeil. Het is lastig de grondwaterstand op gewenst peil te houden. Het is beter om de pieken en dalen van de grondwaterstand te vermijden waardoor de gemiddelde grondwaterstand stabiel blijft. Dit is onder andere mogelijk door een hoge grondwaterstand te draineren en bij lage grondwaterstanden meer infiltratiemogelijkheden te bieden.

Een gemeente wil het stedelijk gebied zo leefbaar mogelijk houden. Dit houdt in dat droogteproblematiek en wateroverlast zo min mogelijk moeten voorkomen. Het probleem begint met het te ver zakken van de grondwaterstand. In gebieden met klei en veen zorgt het weggezakte water uit de poriën voor inklinking en kan de grond gaan zakken. Het zakken van de grond betekent dat huizen met funderingspalen scheef kunnen gaan staan of een stoep of straat gaat zakken. Een ander gevolg van het zakken van de grondwaterstand is het droogvallen van houten funderingspalen. Wanneer de grondwaterstand zakt krijgen schimmels de kans om de paal aan te tasten doordat er zuurstof tussen de poriën is gekomen. Hierdoor verdwijnt de stabiliteit en het kost veel geld om dit te repareren of te vervangen. Daarnaast heeft een lage grondwaterstand invloed op het groen in het stedelijk gebied. Vooral bomen kunnen minder goed vocht tot zich nemen en hebben een grotere kans om dood te gaan. Juist in het kader van hittestress zijn bomen en ander groen belangrijk om in de stad te behouden.

Ook is het belangrijk om een te hoge grondwaterstand te voorkomen. Een te hoge grondwaterstand kan zorgen voor water in kelders en kruipruimtes en in oudere woningen kan water via de fundering in de woning trekken. Ook wanneer de grondwaterstand te hoog is, kan minder water infiltreren wat kan leiden tot water op straat.

Voor het groen in de stad, met name in droge periodes, zijn er een aantal belangrijke punten. Ten eerste geldt dat bomen niet tegen een heftige of langdurige fluctuatie van de grondwaterstand kunnen. Ten tweede is grondwater niet altijd en overal de voornaamste waterbron voor het groen. Het groen maakt op verschillende manieren gebruik van waterbronnen. De eerste manier is waarbij het groen deels regenwaterafhankelijk is. Lange tijd worden de wortels gevoed door het capillair vocht uit het grondwater. In drogere periodes is de grondwaterstand te laag en is het groen afhankelijk van het hangwater door regenbuien. Bij de tweede manier is het groen volledig regenwaterafhankelijk. Hierbij is het grondwater nooit bereikbaar en is hangwater het enige vocht voor het groen. Daardoor is aanvulling van neerslag essentieel. Bij de derde manier is het groen niet regenwaterafhankelijk en is grondwater altijd beschikbaar. Bij de eerste en derde manier kan een zakking van de grondwaterstand veel invloed hebben op het groen in het stedelijk gebied omdat het (deels) afhankelijk is van het grondwater. Door het verwijderen en vergroenen van zinloze verharding kan de grondwaterstand makkelijker worden aangevuld en krijgt het groen een grotere en betere kans om zich te ontwikkelen.

Al met al zijn er genoeg redenen om de grondwaterstand goed te beheren. In dit onderzoek komt naar voren hoe het verwijderen en vergroenen van zinloze verharding ook in drogere periodes grote grondwaterstanddalingen tegen kan gaan.

2.4 Zinloze verharding

Zinloze verharding is verharding die geen functie meer heeft. Dit zijn bijvoorbeeld trottoirs die 3 meter of breder zijn, overhoeken en reststukken op trottoirs, stedelijke verharde kunst en verharde (speel)pleintjes. In elke wijk kan er zinloze verharding aangetroffen worden. In enkele stappen kan een gemeente de zinloze verharding in kaart gebracht krijgen en vervangen voor groen. De ambitie van Sweco is dat gemeenten een vergroeningsambitie bestuurlijk vastleggen en een budget reserveren. (Sweco, 2021) Hierbij is de participatie van bewoners en het creëren van groen een belangrijke meerwaarde.

Deze zinloze verharding heeft dus geen functie en draagt niets bij aan de openbare ruimte. Wel draagt het bij aan het verwarmen van het stedelijk gebied. Daarnaast kan er minder regenwater infiltreren en veroorzaakt het eerder droogte en wateroverlast. En natuurlijk heeft de verharding geen natuurwaarde en krijgen bomen niet de ruimte om gezond te groeien.

Het nieuwe groen in plaats van de zinloze verharding heeft enkele bijdragen. Het is een klimaatadaptieve maatregel die zorgt voor minder hittestress, meer verkoeling en meer hemelwaterinfiltratie. Daarnaast draagt het bij aan de kwaliteit van de openbare ruimte doordat het groen aantrekkelijk en gezonder is voor de bewoners en biedt het kansen om de sociale cohesie te versterken. Ook heeft het nieuwe groen een positieve invloed op de biodiversiteit.

2.5 Zinloze verhardingstool

Binnen Sweco is een tool opgezet die de zinloze verharding binnen een gemeente kan berekenen en in een kaart kan laten weergeven. Maar wat is eigenlijk zinloze verharding precies en hoe berekent deze tool dit? En hoe wordt de zinloze verharding omgevormd tot waardevol groen?

De tool is opgezet in twee stappen, in figuur 5 is te zien welke stappen ondernomen worden om de resultaten te krijgen. Het begint met het uitvoeren van een analyse en vervolgens het prioriteren van zinloze verhardingsvakken. Het resultaat is een overzicht van alle plekken met zinloze verharding die in de top 50 of 100 staan op basis van de meeste impact.

De eerste stap is een automatische analyse die is gebaseerd op de Basisregistratie Grootschalige Topografie (BGT). Dit is een dataset waarin alle gebouwen, wegen, water en groen zijn opgenomen. Op basis hiervan worden de locaties en hoeveelheden van de zinloze verharding bepaald. Ook zijn enkele eisen aan de zinloze verharding gesteld. Sweco's definitie van zinloze verharding is:

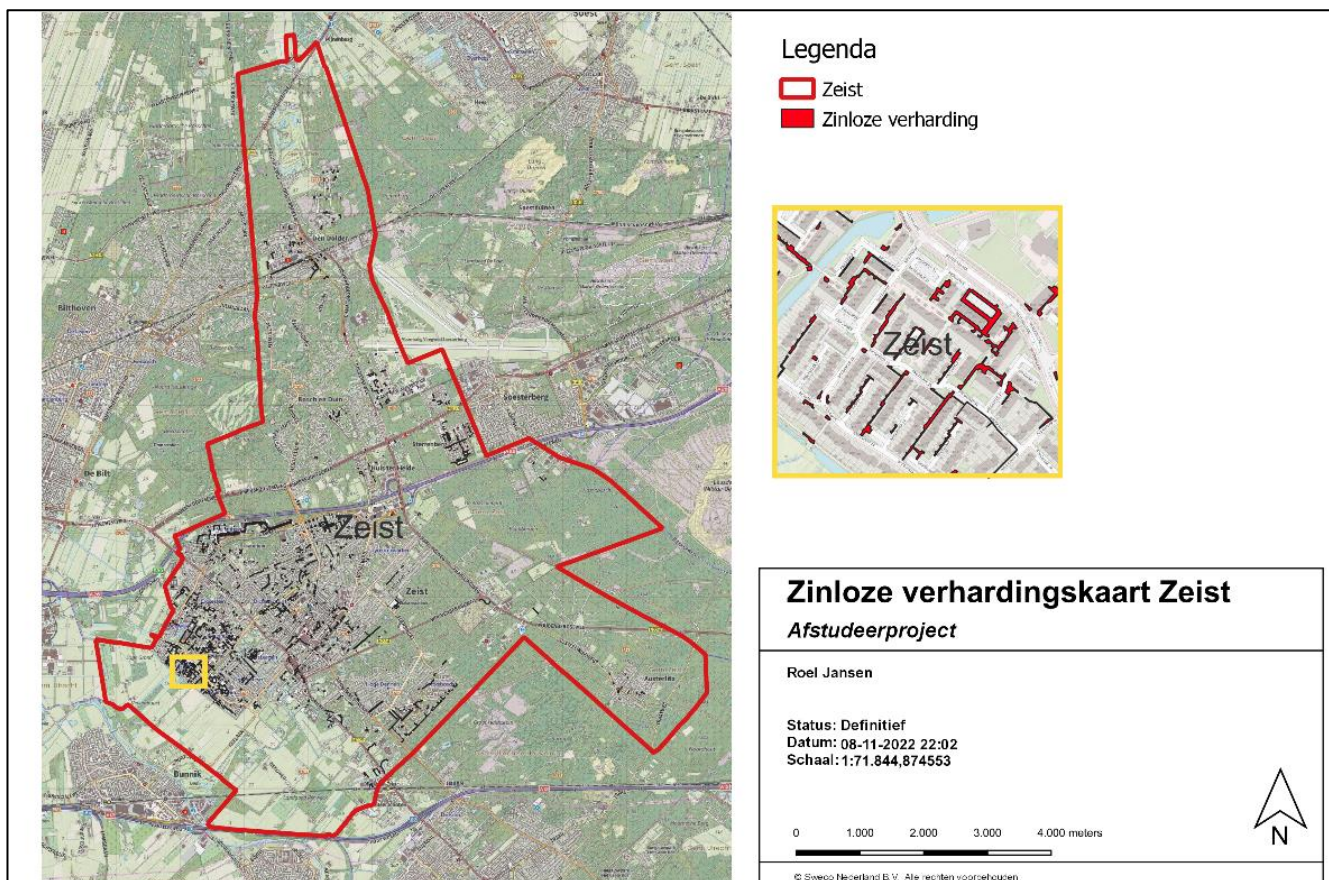
- Een minimum trottoirbreedte van 1.8 m (volgens ASVV)
- Het trottoir is breder dan 2.0 m en minimaal 1.0 m te breed, dus een trottoir moet minimaal 3,0 meter breed zijn om "zinloos" te zijn.
- Een minimale grootte van het zinloze verhardingsvak is 20.0 m² en 1.0 meter breed
- Rekening houdend met buffers (appartementen 1.0 m en commerciële functies 5.0 m)



Figuur 5 Stappenplan Zinloze verhardingstool (Sweco, 2021)

Stap 2 is de prioritering. Hier wordt rekening gehouden met enkele basisparameters. Ten eerste is de grootte van een zinloze verhardingsvak belangrijk. Ten tweede de bijdrage aan klimaatadaptatie en ten derde de bijdrage aan de biodiversiteit. Eventueel heeft de samenspraak met gemeente invloed op de prioritering. Tot slot wordt een score gekoppeld aan elk zinloze verhardingsvlak. Binnen de basisparameters wordt gekeken naar wateroverlast, droogte, temperatuur, volume bomen, aantal bomen, afstand tot groen, afstand tot NNN (Natuurnetwerk Nederland) en de grootte van het vak. Hoe hoger de score des te hoger op de prioriteringslijst.

In figuur 6 is een zinloze verhardingskaart weergegeven. Alle vakken in de gemeente voldoen aan de hierboven analyse en prioritering. De tool maakt een shapefile waarin alle zinloze verhardingsvakken zijn aangegeven.

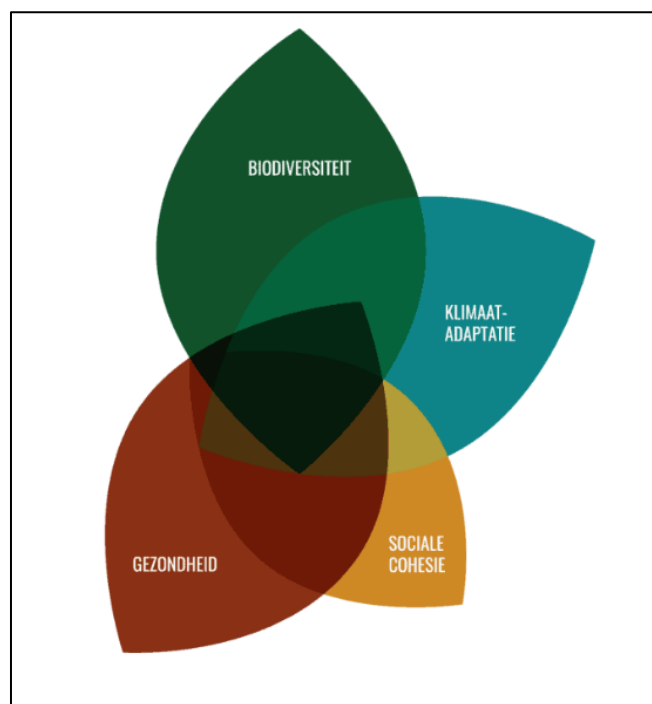


Figuur 6 Zinloze verhardingskaart Zeist

2.6 Campagnes tegen zinloze verharding

Er lopen op dit moment meerdere campagnes waarbij verharding eruit gaat en groen voor in de plaats komt. Zo bestaat ook het NK-tegelwippen, waar het draait om “Tegels eruit, groen erin.” (RTV Utrecht, 2022) Ook wordt gesteld dat hitte- en wateroverlast grotere problemen worden door het extremere weer. Daarom is het van belang dat het stedelijk gebied klimaatbestendiger wordt gemaakt. (NK Tegelwippen, 2022) Daarbij speelt een sterk versteende omgeving een negatieve rol omdat stenen niet verkoelend werken en ook geen regen laten infiltreren. Door meer infiltratiemogelijkheden wordt het riool minder overbelast waardoor wateroverlast voorkomen kan worden.

Stichting Steenbreek is met een soortgelijke missie opgericht. Ze willen dat de verstening stopt en dat de leefomgeving in Nederland duurzaam vergroend wordt. (Stichting Steenbreek, 2022) Daarnaast focust de stichting op vier kernthema's: biodiversiteit, klimaatadaptatie, sociale cohesie en gezondheid, zie figuur 7. Als de meerwaarde per thema kort samengevat wordt, is ten eerste de biodiversiteit belangrijk om de natuur te behouden door de vergroeningsacties. Ten tweede dragen de klimaatadaptatieve maatregelen volgens Steenbreek bij aan het tegengaan van wateroverlast en hittestress. Tot slot worden de sociale cohesie en gezondheid verbeterd doordat je in de acties elkaar ontmoet en mee samenwerkt. Ook hebben meerdere studies bewezen dat een groene omgeving een positief effect heeft op de gezondheid.



Figuur 7 Kernthema's Stichting Steenbreek (Stichting Steenbreek, 2022)

Sweco heeft de actie De Groene Stad Challenge opgezet in samenwerking met Husqvarna en NL Greenlabel. Bij deze actie kunnen gemeenten zich opgeven om inzicht te krijgen in de vergroeningspotenties in de gemeente, hier wordt ook gebruik gemaakt van een zinloze verhardingstool. Ook bij deze actie wordt genoemd dat het groen een belangrijke bijdrage levert aan biodiversiteit, de gezondheid, hittestress, wateroverlast en droogte. (De Groene Stad Challenge, 2022).

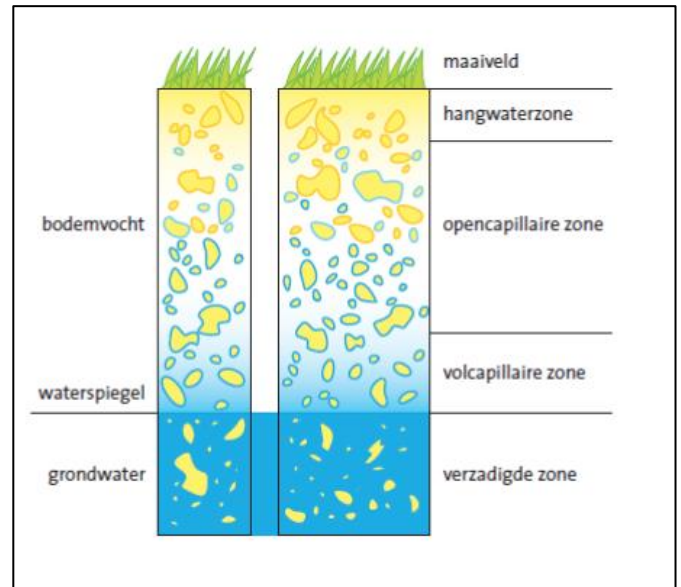
Het verwijderen en vergroenen van zinloze verharding wordt gezien als een klimaatadaptatieve maatregel waaronder het oplossen van droogteproblematiek. Hier zijn meerdere acties voor opgericht en nog veel meer soortgelijke acties en bedrijven zijn hiermee bezig. Het verwijderen en vergroenen van zinloze verharding biedt meer infiltratiemogelijkheden, alleen zijn de exacte effecten op de grondwaterstand nog niet bekend. De effecten kunnen op verschillende manieren beïnvloed worden door bijvoorbeeld het soort bodem, de grondwaterstand en de grootte van het zinloze verhardingsvlak. Dit onderzoek met stappenplan toont de effecten aan in verschillende casusgebieden.

2.7 Hydrologisch model SEEP/w

Het hydrologisch model dat is gebruikt om inzicht te verkrijgen in de hydrologische effecten van het verwijderen en vergroenen van zinloze verharding, is het programma SEEP/w. SEEP/w is een 2D grondwaterstroming-analyse model. Het inzicht in effecten worden aangetoond op basis van de verandering in de grondwaterstand in de huidige- en toekomstige situatie. Hierbij zijn verschillende projectlocaties onderzocht en gesimuleerd voor de huidige situatie en toekomstige situatie waarin de zinloze verharding is verwijderd. In de toekomstige situatie bevindt zich minder zinloze verharding, meer groen en dus meer infiltratiemogelijkheden.

Dit is een hydrologisch model met een onverzadigde zone en een verzadigde zone. De meeste modellen houden vaak alleen rekening met de verzadigde zone, waar andere formules bij horen. De onverzadigde zone is de zone waarbij de poriën van de bodem niet gevuld zijn met water. De verzadigde zone is de zone vanaf de grondwaterspiegel waarbij de poriën gevuld zijn met water, zie figuur 8.

Bij dit onderzoek is het belangrijk om te weten wat de invloed van het hemelwater op de grondwaterstand is. Bij de meeste modellen komt al het hemelwater meteen in de verzadigde zone en dat is bij dit model niet het geval. Het model laat zien waar de grondwaterstand stijgt en met hoeveel de grondwaterstand stijgt.



Figuur 8 Verzadigde- en onverzadigde zone (Geographix, 2022)

In het model zijn meerdere toepassingen mogelijk. Zo kan in een “steady state” model, neerslag worden toegepast waarbij de invloed van een regenbui van 1 dag gelijk in tijd berekend wordt. Een “transient” model is een model waarbij een langere periode toegepast wordt. Hierdoor kan het verschil per dag in een periode bekeken worden voor bijvoorbeeld de infiltratiestromingen en de stijging of daling van de grondwaterstand.

Het model kan gezien worden als een bakje. Dit betekent dat het model wordt afgesloten aan twee kanten. Dit zijn afbakeningen die in dit verslag ook als “boundary” worden genoemd. Ook is het van belang dat de afbakening logisch zijn. Dit houdt in dat na de afbakening een ander soort grondwatersysteem begint of waar het hemelwater niet meer kan infiltreren.

Om het verschil in de grondwaterstand te meten tussen de huidige- en toekomstige situatie moet gekeken worden hoeveel hemelwater kan infiltreren in de bodem. Dit komt doordat in de toekomstige situatie de infiltratiemogelijkheden zijn veranderd door het verwijderen en vergroenen van zinloze verharding.

3. Programma van Eisen

In hoofdstuk 3 worden de voorwaarden benoemd waaraan het onderzoek en het stappenplan moeten voldoen. In dit onderzoek zijn eisen gesteld aan het onderzoek en stappenplan door opdrachtgever Sweco. Daarnaast worden uitgangspunten genoemd die in overleg met de opdrachtgever zijn opgesteld.

Voor en tijdens het onderzoek zijn een aantal eisen gesteld door de opdrachtgever, dit zijn:

- De effecten van het verwijderen en vergroenen van zinloze verharding met een hydrologisch model aan kunnen tonen
- De effecten van de maatregel en de uitkomsten van het model koppelen aan de droogteproblematiek.
- De effecten van de maatregel en de uitkomsten van het model koppelen tot het uitbrengen van een advies aan een opdrachtgever.
- Het stappenplan moet gebruiksvriendelijk zijn.
- Het stappenplan bevat de stappen vanaf het vinden van informatie tot het uitbrengen van advies.

Gehanteerde uitgangspunten:

- Er zijn tenminste twee interviews gehouden over zinloze verharding binnen het bedrijf.
- Er is een interview gehouden met een gemeente die zinloze verharding heeft verwijderd.
- Er heeft een gebiedsbezoek plaatsgevonden om te kijken naar zinloze verharding in het stedelijk gebied.
- Er wordt gebruik gemaakt van het programma QGIS om het onderzoek duidelijk in kaart te brengen.
- Het programma van het hydrologische model SEEP/w is beschikbaar en hulp is aanwezig vanuit Sweco voor begeleiding.
- Er is toegang mogelijk tot de uitgevoerde zinloze verhardingsprojecten van Sweco.
- Het model is inhoudelijk gecontroleerd door een expert.
- Het stappenplan is op tenminste 3 casusgebieden gebaseerd.
- Het stappenplan is bij meerdere medewerkers van Sweco getest.
- Het stappenplan kan gebruikt worden door medewerkers van Sweco die kennis bezitten van programma's met GIS en het hydrologisch 2D-model SEEP/w.

4. Onderzoeksmethodiek

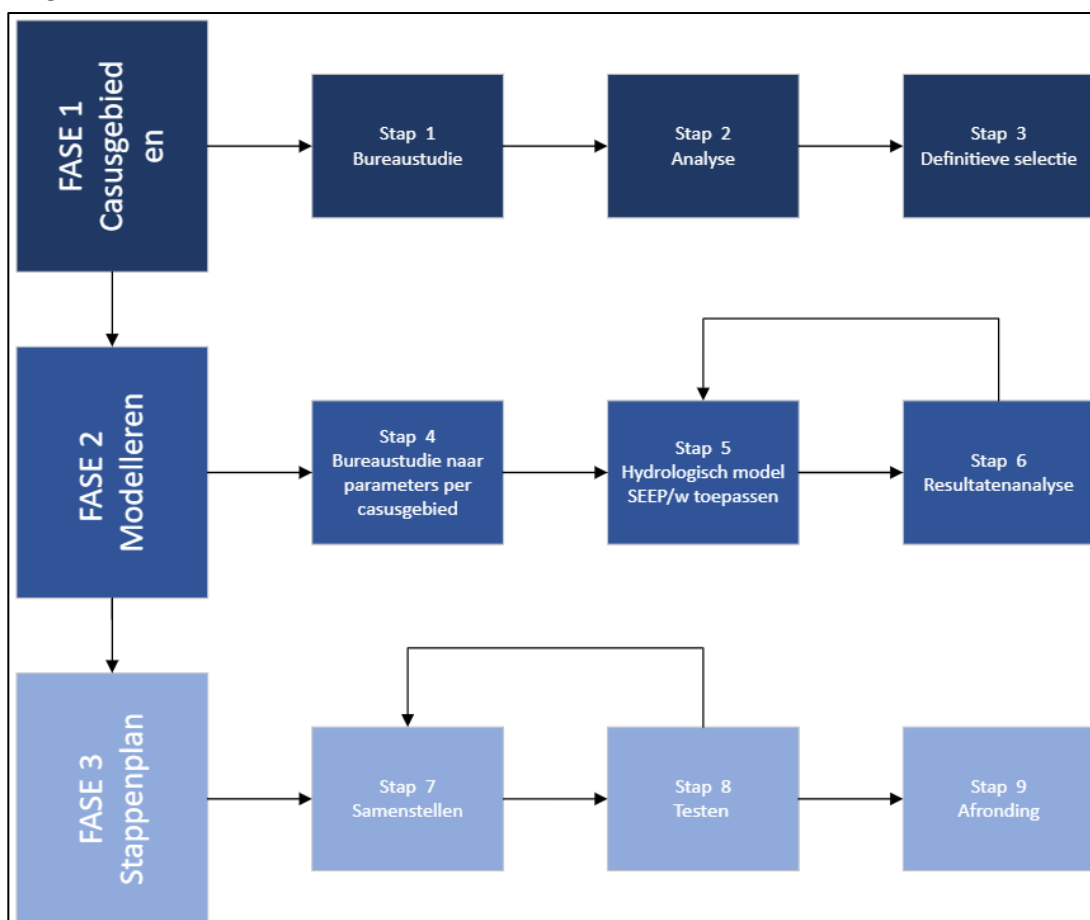
In dit hoofdstuk wordt de onderzoeksmethodiek toegelicht. Hierin wordt de werkwijze van het onderzoek behandeld en welke methoden zijn gebruikt. Tot slot is een reflectie op het onderzoeksproces gegeven.

4.1 Fasering

Het onderzoek is in drie delen gefaseerd, zie figuur 9 voor het blokdiagram. Eerst is een bureaustudie en data-analyse uitgevoerd naar casusgebieden om toe te passen in het hydrologisch model. Om de casusgebieden te selecteren is een studie gedaan naar een lijst van gemeenten. Hierin zijn enkele aspecten meegenomen die belangrijk zijn om mee te nemen voor het model.

Fase 2 is het modelleren van een huidige- en toekomstige situatie van een casusgebied waarbij het verwijderen en vergroenen van zinloze verharding is toegepast. Eerst is een project-specifieke bureaustudie uitgevoerd om valide parameters te krijgen. Dit is belangrijk omdat de parameters zo goed mogelijk moeten lijken op de realiteit. Deze parameters worden gebruikt voor de opzet van het hydrologisch model. Vervolgens is het modelleren begonnen in het programma SEEP/w. Daarna zijn de resultaten uit het model geanalyseerd en gecontroleerd. Mogelijke aanpassingen zijn opnieuw gesimuleerd in SEEP/w na het analyseren van de resultaten.

De laatste fase is het realiseren van het beroepsproduct. Een stappenplan is samengesteld op basis van informatie, studies, onderzoek en het modelleren uit fase 1 en 2. Ook is gekeken hoe een goed stappenplan eruitziet en hoe dit op de meest gebruiksvriendelijke manier gebruikt kan worden. Er zijn verschillende testen uitgevoerd waardoor het stappenplan is gecontroleerd en opnieuw is samengesteld en verbeterd.



Figuur 9 Blokdiagram

4.2 Bureaustudie casusgebieden

Normaliter komt een gemeente met een vraag over de zinloze verharding in een bepaalde wijk. Voor dit onderzoek is bepaald dat de casusgebieden zelf geselecteerd moeten worden. Op deze manier zijn verschillende soorten parameters toegepast in het onderzoek. Dit is belangrijk omdat veel wijken verschillend zijn en daardoor een ander effect kan optreden. In hoofdstuk 5.1 zijn de resultaten van de bureaustudie weergegeven.

Het onderzoek is begonnen met een interview met Joeri Meliefsten waarbij het nut van zinloze verharding is toegelicht en hoe dit in zijn werking gaat binnen Sweco. Joeri Meliefsten is Adviseur Stedelijk groen & Klimaatadaptie en projectleider van zinloze verharding. Ook is verteld dat Sweco voor meerdere gemeenten een inventarisatie, analyse en prioritering gedaan heeft op het gebied van zinloze verharding. Naar deze geïnventariseerde gemeenten is onderzoek gedaan.

Bodem

Eerst is gekeken naar de bodem van de gehele gemeentenlijst. De bodem geeft belangrijke informatie over de grondwaterstand en hoe snel het water infiltreert. Een zandbodem zoals op de Utrechtse Heuvelrug, geeft aan dat de grondwaterstand laag is. Dit komt doordat het water makkelijk kan infiltreren door de poriën tussen de zandkorrels. Daarnaast hebben klei- en veenbodems van nature een hogere grondwaterstand door bijvoorbeeld opbolling. Het ligt vaak op een lagere NAP-hoogte en water kan moeilijker en dus langzamer infiltreren. Het is dus interessant om te kijken wat er gebeurt na het verwijderen en vergroenen van zinloze verharding bij een zandbodem en bij een klei/veenbodem.

Voor de algemene gemeentenlijst is gekeken naar de bodem op de site van Dinoloket. (Dinoloket, 2022) Hierbij kan voor elke gemeente een juiste indicatie gemaakt worden wat voor bodem voornamelijk bij de gemeente hoort.

AHN (Actueel Hoogtebestand Nederland)

Het AHN geeft informatie over het gebied. Hogere NAP-waardes kunnen bijvoorbeeld aangeven dat daar zandgronden met diepe grondwaterstanden zijn, zoals de Utrechtse Heuvelrug. Lagere NAP-waardes liggen vaak in het westen van het land en rondom rivieren. Dit zullen klei- en veengebieden zijn met een hogere grondwaterstand. Daarnaast kan binnen een gemeente een groot NAP-verschil voorkomen. De AHN is bekeken op de site van Arcgisonline. (Actueel Hoogtebestand Nederland, 2022)

Nadat de bodem en AHN zijn onderzocht, is een kleinere selectie van vier gemeenten gemaakt om verder te onderzoeken. Voor deze vier gemeenten zijn ook bodem- en hoogtekaarten gemaakt in het programma QGIS.

Oppervlaktewater

In het model moet een begin en einde worden aangegeven van het gebied om een afbakening in het model SEEP/w te krijgen. Dit begin en einde is het meest ideaal wanneer het een watergang is, omdat dit als een duidelijke “boundary” functioneert voor een hydrologisch model. Hiervoor is in het gebied gekeken naar het oppervlaktewater door middel van een actuele luchtfoto- en opentopokaarten in QGIS.

Grondwaterstand

De grondwaterstand is een belangrijke parameter van een gebied. Het is interessant om verschillende grondwaterstanden mee te nemen in het onderzoek. Hierdoor kan gekeken worden naar de effecten van het verwijderen en vergroenen van zinloze verharding op hoge- en lage grondwaterstanden. De grondwaterstand is gebaseerd op peilbuizen van de gemeenten en dinoloket.

Zinloze verharding

In deze stap is gebruik gemaakt van de zinloze verhardingstool die is opgezet door Sweco. De zinloze verhardingsdata is opgevraagd bij het Geodata-team van Sweco. Dit is gedaan voor de vier gemeenten die nader onderzocht zijn. Door de informatie uit de tool te gebruiken is de zinloze verharding per gemeente in kaart gebracht. Hierbij is het programma QGIS gebruikt om een overzichtelijke kaart te maken van de zinloze verhardingsvakken. Door de prioriteringsstap binnen de tool en het bestuderen van de vakken in iedere gemeente, is onderzocht waar interessante straten liggen voor de analyse.

4.3 Data-analyse casusgebieden

Na de afronding van de bureaustudie is de data geanalyseerd voor de selectie van de straat. Een casusgebied op straatniveau is gekozen om de volgende redenen:

- Een straat is een goede doorsnede voor een 2D-model om een realistisch beeld van een wijk weer te geven.
- Tijd, er moet veel onderzocht worden qua gegevens om in het model te gebruiken.
- Er kan eenvoudig een begin- en eindpunt vastgesteld worden.

De straten verschillen in bodem, grondwaterstand, NAP maar hebben ook voldoende zinloze verharding. Het liefst begint en/of eindigt een straat met een watergang om een ideaal bakjesmodel te vormen.

Uit de lijst met vele gemeenten zijn 3 straten gekozen. Deze verschillen op de parameters die hierboven zijn genoemd. Ook is meegenomen hoe goed Sweco contact heeft binnen de gemeente. Hierdoor bestaat er een grotere kans om in contact te komen met de gemeente. Aan het einde van de analyse zijn de definitieve casusgebieden geselecteerd.

4.4 SEEP/w Model opzet

Na de data-analyse van de casusgebieden is een bureaustudie uitgevoerd naar de 3 geselecteerde straten voor de opzet van het model. Dit is belangrijk om valide gegevens in te voeren in het hydrologisch model SEEP/w. Het model moet zo veel mogelijk lijken op de werkelijke situatie van het casusgebied. De volgende alinea's zijn stappen die bij de bureaustudie horen. De methodiek van de bureaustudie voor de gegevens in SEEP/w is ook terug te vinden in het stappenplan "Advies geven over het toepassen van het verwijderen en vergroenen van zinloze verharding tegen droogteproblematiek in het stedelijk gebied".

Bodemmaterialen

De bodemmaterialen zijn per locatie gevonden op de site van Dinoloket. (Dinoloket, 2022) Door middel van een appelboorprofiel in Dinoloket kan op de exacte locatie de meest aanneembare ondergrond gevonden worden. Dit is gebruikt voor de bodemmaterialen in het programma SEEP/w.

Stijghoogte

Een belangrijke parameter in het model is de stijghoogte. De stijghoogte is het potentiële grondwaterpeil. Het is de hydrostatische druk omgerekend naar meters. Deze is bepaald via de website grondwatertools. (Grondwatertools, 2022) De stijghoogtes zijn weergegeven als isohypsen en de site maakt gebruik van vele metingen van het LHM (Landelijk Hydrologisch Model). De stijghoogtes zijn nodig om de grondwaterstand te kunnen modelleren in SEEP/w.

Grondwaterstand

Het verkrijgen van de grondwaterstand is belangrijk voor de validatie van de stijghoogte en de resultaten van de grondwaterstand in het model. De grondwaterstand wordt gecontroleerd door peilbuizen die dicht bij de locatie zitten. De grondwaterstanden in de peilbuizen zijn opgevraagd bij de gemeente. Door deze methode is een realistische grondwaterstand gevalideerd.

Afstroomrichting

De afstroomrichting van het gebied rondom de geselecteerde straten is belangrijk om te weten. Hierdoor is de hoeveelheid oppervlak die het hemelwater daadwerkelijk laat afstromen in het model gemeten. In dit onderzoek is gebruik gemaakt van afstromingskaarten die gemaakt zijn binnen Sweco en afstroomkaarten verkregen op de website van de gemeente.

Neerslag

In het hydrologisch model SEEP/w is een regenbui gebruikt om de effecten van het infiltrerende hemelwater te simuleren. De regenbui die is gebruikt in het hydrologisch model is gekozen op basis van de expertise binnen Sweco en de neerslagstatistiek van STOWA (STOWA, 2019).

Rekentabel

Er is onderzoek gedaan hoe het verschil in infiltratie tussen de huidige- en toekomstige situatie berekend kan worden, dat door het verwijderen en vergroenen van zinloze verharding veroorzaakt wordt. Hiervoor is een tabel in Excel opgesteld om de hoeveelheid neerslag die infiltreert per sectie te berekenen. Per casusgebied is een doorsnede gemaakt die door de straat heengaat met een beginpunt en een eindpunt. In een straat zijn secties gemaakt op basis van waar een doorsnede uit bestaat. Dit is bijvoorbeeld de openbare weg, achtertuin, speeltuin of watergang en hoort bij een sectie.

Binnen een sectie is het totale oppervlak berekend aan de hand van de afstromingskaart en QGIS. In QGIS is door middel van het aanmaken van shapefiles bepaald hoe groot het (afstroom)oppervlak is in vierkante meters. Een sectie bestaat uit 5 soorten functies, namelijk:

- Groen
- Stoep
- Wegdek
- Parkeerplaats
- Gebouw

Een sectie bestaat uit een percentage functie. Het oppervlak van een functie wordt omgerekend tot het percentage oppervlak binnen een sectie. Aan elke functie is een infiltratiecoëfficiënt gekoppeld dat door middel van een bureaustudie is onderzocht.

SEEP/w

Tijdens het onderzoek is eerst geoefend met het model om alle stappen, parameters en uitkomsten van het hydrologisch model SEEP/w te begrijpen. Dit is gedaan door middel van tutorials, video's en de expertise van Bas Huver (Adviseur Geohydrologie).

In SEEP/w is eerst het eerste casusgebied toegepast in het model. Hier zijn de bodemmateriaal, stijghoogten, oppervlaktewaterpeilen, AHN-hoogten en de opgezette rekentabel voor nodig. Door vaak met het model te rekenen, de rekentabel aan te passen en gebruik te maken van expertise is na enige tijd een correct modelresultaat verkregen. Eerst is de huidige situatie berekend om te valideren of de grondwaterstand overeenkomt met de grondwaterstand van de meest dichtbij zijnde peilbuis. Ook door het aanpassen van de verticale hydrologische conductiviteit (infiltratiesnelheid) van de bodemmateriaal kan de grondwaterstand op een realistische hoogte komen.

Vervolgens is in de rekentabel de sectie aangepast waar de zinloze verharding verwijderd en vergroend wordt. Hierdoor verandert de hoeveelheid hemelwater dat kan infiltreren in de bodem. Dit wordt daarna aangepast in het model. Hierdoor simuleert het model mogelijk een andere grondwaterstand en kan het verschil gemeten worden. In SEEP/w is alleen het “Steady State” model gebruikt voor het berekenen van het verschil in grondwaterstand.

Dit is ook gedaan voor de andere twee casusgebieden nadat er een analyse is uitgevoerd en het stappenplan is gemaakt en getest. In 4.5 en 4.6 staat een nadere toelichting over deze methodiek.

4.5 Resultaten-analyse SEEP/w

Wanneer de huidige- en toekomstige situatie gesimuleerd zijn in het model, is gekeken naar de effecten van het verwijderen en vergroenen van zinloze verharding. Ook is het analyseren van de gegevens belangrijk om te kijken of het model en de rekentabel klopt. Tijdens het onderzoek is voorgekomen dat de grondwaterstand ver boven het maaiveld uitkwam en dat meters water op de stoep staan. Hieruit bleek dat iets fout was met de bodemmaterialen en infiltratiesnelheid of dat er een fout zat in het rekentabel. Door te analyseren (stap 6) kunnen de fouten worden aangepast en kan het model opnieuw gesimuleerd worden (stap 5).

De analyse gaat ook over de resultaten uit het model, namelijk het verschil in de grondwaterstand tussen de huidige- en toekomstige situatie. Door het verschil in huidige- en toekomstige situatie te bekijken, wordt de stijging van de grondwaterstand bij een regenbui bepaald. Dit is belangrijk voor het opstellen van het advies.

4.6 Uitwerking stappenplan

De uitwerking en afronding van het stappenplan is tot stand gekomen door eerst het stappenplan samen te stellen en vervolgens te testen.

Samenstellen

Het opzetten van het stappenplan is begonnen met het opstellen van eisen voor het beroepsproduct. (Hoofdstuk 3 Programma van Eisen). Hierdoor is duidelijk geworden wat verwacht wordt van het stappenplan. Ook is hier bepaald welk programma gebruikt ging worden en welke kennis verwacht wordt bij een medewerker van Sweco tijdens het gebruik van het stappenplan. Het beroepsproduct is tot stand gekomen door meerdere casusgebieden te onderzoeken en hierop het stappenplan op toe te passen.

De bureaustudie is essentieel voor het beroepsproduct. Alle belangrijke informatie en stappen die gezet worden om een zo goed werkend en realistisch model te krijgen, zijn meegenomen in het stappenplan.

De eerste opzet voor het samenstellen van het stappenplan is gebaseerd op het eerste casusgebied. Hierdoor is duidelijk geworden wat precies nodig en belangrijk is per stap om een model te bouwen. Vervolgens is op basis van dit stappenplan het tweede casusgebied in het model gesimuleerd om te kijken of het stappenplan klopt en wat aangepast kan worden.

Testen

Het stappenplan is ten eerste getest in het onderzoek door het toepassen van het tweede casusgebied. Op basis van de laatste versie van het stappenplan is het laatste casusgebied gesimuleerd in het model. Ten slotte is het stappenplan door verschillende medewerkers binnen Sweco getest en nagekeken. Hierdoor is bepaald of het stappenplan goed te volgen en gebruiksvriendelijk is.

4.7 Reflectie op het onderzoeksproces

Tijdens het onderzoek is vaak overlegd met begeleiders en medewerkers van Sweco uit verschillende teams. Door gesprekken op Teams, op de werkvloer en georganiseerde bijeenkomsten zijn de tussenresultaten, verwachtingen en eisen besproken. Hierdoor is tijdens het onderzoek gebruik gemaakt van Expert Judgement.

Het opzetten en simuleren van het model is gecontroleerd door expert Bas Huver (Adviseur Geohydrologie). Daarnaast is het stappenplan gecontroleerd en getest door 4 medewerkers van Sweco en aangepast op basis van hun feedback.

In dit onderzoek is in tegenstelling tot het projectplan niet gekeken naar de kosten en tijd van de maatregel. Daarnaast is helaas door tijdsgebrek geen “transient model” gemaakt en hierdoor is geen langere periode met regen en droogte gesimuleerd. Wel is de opgezette rekentabel hiervoor toepasbaar en kan dit in de toekomst gerealiseerd worden.

5. Onderzoeksresultaten

In hoofdstuk 5 worden de resultaten toegelicht die tijdens het onderzoek zijn gevonden en om het stappenplan als beroepsproduct samen te kunnen stellen. De resultaten gaan over het selecteren van de casusgebieden en de totstandkoming hiervan. Ook wordt het rekentabel en het toepassen van zinloze verharding verder toegelicht. In hoofdstuk 5.3 worden de resultaten van het model besproken en tot slot is een reflectie op de betrouwbaarheid van de resultaten gegeven.

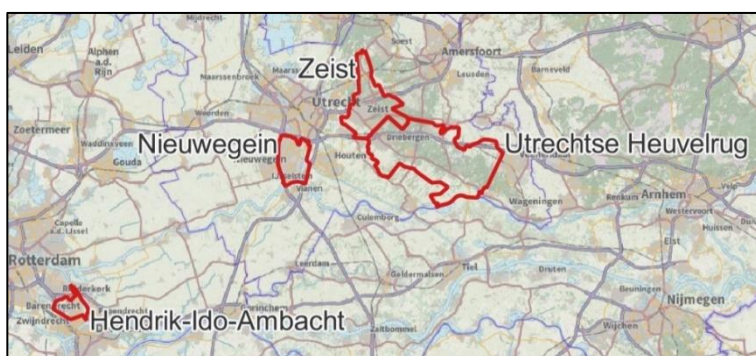
5.1 Selectie casusgebieden

Om de effecten van het verwijderen en vergroenen van zinloze verharding aan te tonen is het van belang dat het onderzoek wordt toegepast op verschillende casusgebieden. Na het ontvangen van de lijst met de al eerdere geïnventariseerde gemeenten door Sweco is begonnen met de bureaustudie van de casusgebieden. De lijst bestaat uit de volgende gemeenten:

1. Zeist
2. Oost-Gelre
3. Houten
4. IJsselstein
5. Nieuwegein
6. Utrechtse Heuvelrug
7. Groningen
8. Hendrik Ido Ambacht
9. Den Bosch
10. Wijk bij Duurstede
11. Hilversum
12. ABG-gemeenten (Alphen-Chaam, Baarle-Nassau en Gilze en Rijen)

Het onderzoek is begonnen met het uitvoeren van een eenvoudige bodem- en AHN-bureaustudie bij de bovenstaande gemeente, om hiervan een beeld te krijgen. Door middel van de website dinoloket.nl (Dinoloket, 2022) en [ahnviewer](http://ahnviewer.nl) (Actueel Hoogtebestand Nederland, 2022) is duidelijk geworden waar een gemeente uit bestaat. Het geoogde resultaat is een aantal gemeenten die variëren op bodem, AHN-hoogte en daardoor ook een verschillende grondwaterstand.

Uit het onderzoek naar alle gemeenten uit bovenstaande lijst zijn vier gemeenten gekozen om uitgebreider te onderzoeken. De gemeenten Zeist, Nieuwegein, Utrechtse Heuvelrug en Hendrik-Ido-Ambacht variëren in bodem, AHN en grondwaterstand. Dit houdt in dat zand-, klei-, en veenbodem aanwezig is. Maar ook hoge NAP-waardes zoals bij de Utrechtse Heuvelrug en lagere NAP-waardes in de gemeenten Nieuwegein en Hendrik-Ido-Ambacht, die naast een rivier liggen. In de volgende alinea's wordt per gemeente een diepere bureaustudie uitgevoerd om tijdens de analyse drie casusgebieden uit te kiezen om toe te passen in het model. In figuur 10 zijn de vier gemeenten weergegeven.



Figuur 10 Locatie 4 gemeenten in de bureaustudie casusgebieden

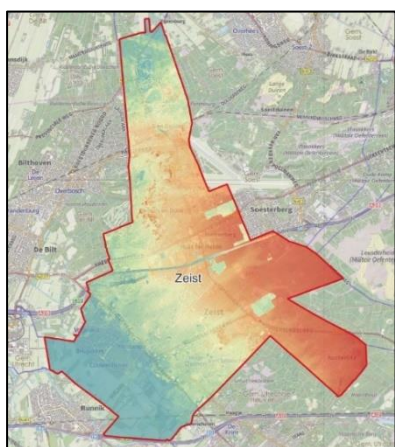
Voor elke gemeente is gekeken naar de bodem, AHN, grondwater, oppervlaktewater en de zinloze verharding. Hieronder is een korte toelichting gegeven per gemeente. In bijlage 1 t/m 4 is een volledige toelichting gegeven met uitgebreide kaarten.

Gemeente Zeist

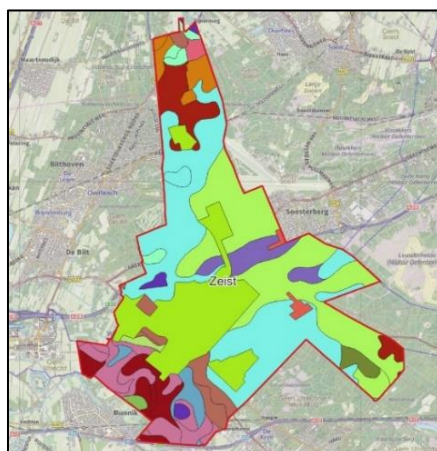
Eerst is gekeken naar de hoogtekkaart op basis van AHN (zie Figuur 11a). In de gemeente verschilt het hoogste- en laagste punt 30 meter. Dit komt doordat de Utrechtse Heuvelrug deels in de gemeente Zeist ligt en het zuiden van Zeist rivierengebied is. Bijlage 1 bevat een uitgebreidere toelichting. In de hoge gelegen gebieden (rood gekleurd, zie Figuur 11a) liggen de zandgronden en in de lage gelegen gebieden (blauw gekleurd, zie Figuur 11a) liggen kleigronden. In het lageregelegen gebied in de gemeente is meer oppervlaktewater te vinden.

Dit betekent een variatie binnen een gemeente op grondwaterstand, bodem en hoogte.

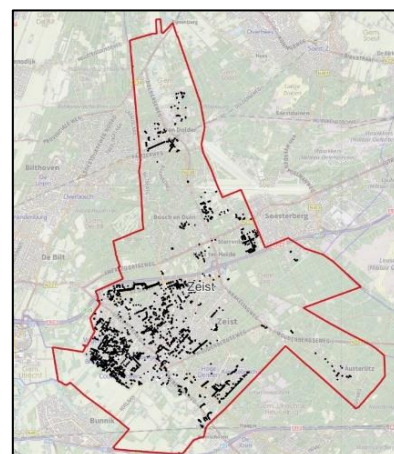
Ook op het gebied van zinloze verharding zijn er maar liefst 1650 vakken (zie Figuur 11c) die aan de zinloze verhardingseisen voldoen. Dit is de gemeente met de meeste zinloze verhardingsvakken.



Figuur 11a Hoogtekkaart Zeist



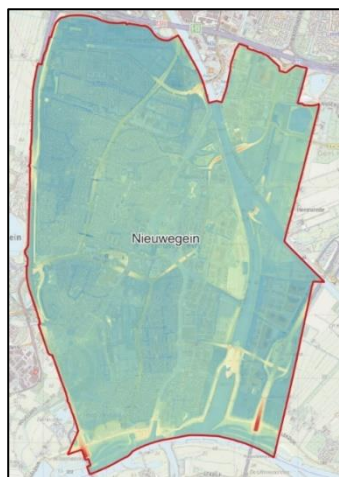
Figuur 11b Bodemkaart Zeist



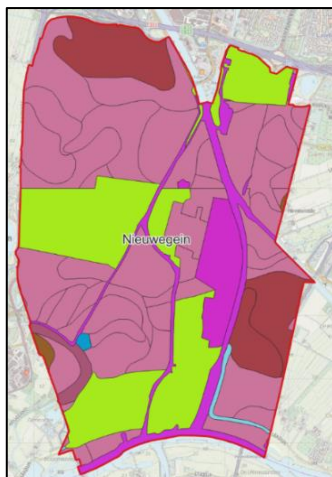
Figuur 11c Zinloze verhardingskaart Zeist

Gemeente Nieuwegein

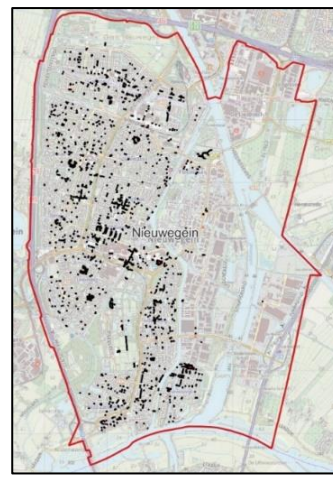
De hoogte in de gemeente ligt grotendeels tussen de 0 en +1.5 m NAP (zie Figuur 12a). Gemeente Nieuwegein is een gemeente die grotendeels bestaat uit klei in de bodem (zie Figuur 12b). Het is een laaggelegen gebied met veel oppervlaktewater. De grondwaterstand ligt hoog. In deze gemeente worden vooral straten gevonden met klei als ondergrond met een hoge grondwaterstand, waarbij gekeken kan worden naar een watergang als boundary voor het model. Het gebied binnen de gemeente bevat 1084 zinloze verhardingsvlakken (zie Figuur 12c).



Figuur 12a Hoogtekkaart Nieuwegein



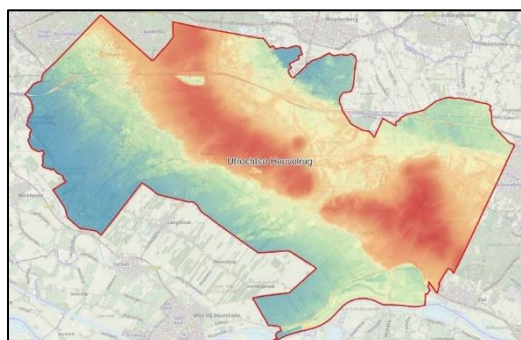
Figuur 12b Bodemkaart Nieuwegein



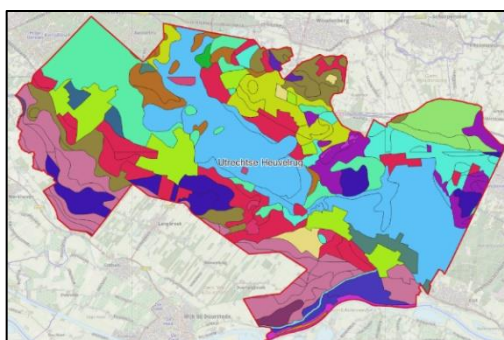
Figuur 12c Zinloze verhardingskaart Nieuwegein

Gemeente Utrechtse Heuvelrug

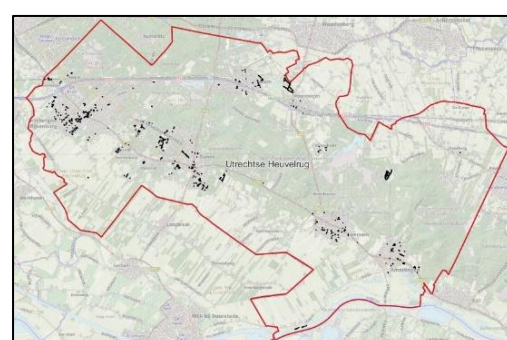
De gemeente Utrechtse Heuvelrug is een gemeente met grote hoogteverschillen. Het heeft zandgronden op de Utrechtse Heuvelrug waar de NAP-hoogte piekt op 60m (rood gekleurd, zie Figuur 13a), hier ligt de grondwaterstand laag. Richting het zuiden zit de NAP-hoogte rond de 1.5 meter NAP (blauw gekleurd, zie Figuur 13a) en bestaat uit kleibodem. De grondwaterstand ligt hier dicht bij het maaiveld. Zelfs met het enorme oppervlak van de gemeente is weinig zinloze verharding te vinden, namelijk maar 587 vakken (zie Figuur 13c). Naast dat dit een goed teken is voor de gemeente, zijn geen interessante straten met zinloze verharding om toe te passen in het model. Hierdoor is besloten dat geen straat in de gemeente Utrechtse Heuvelrug wordt gekozen. Daarnaast heeft de gemeente Zeist dezelfde eigenschappen. Bijlage 3 geeft een nadere toelichting over het gebied van de gemeente Utrechtse Heuvelrug.



Figuur 13a Hoogtekaart Utrechtse Heuvelrug



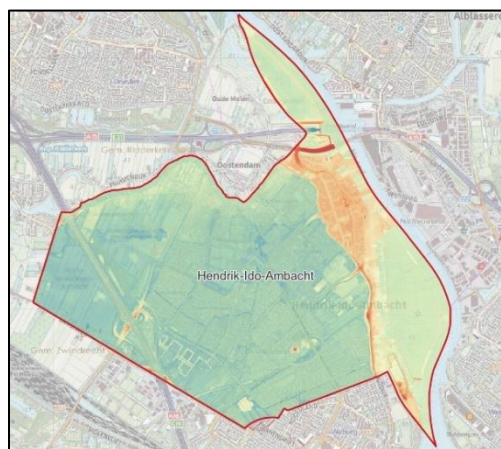
Figuur 13b Bodemkaart Utrechtse Heuvelrug



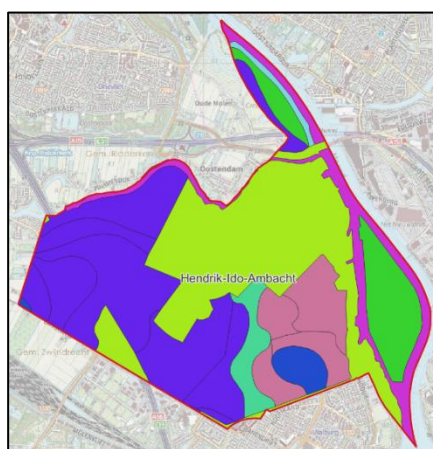
Figuur 13c Zinloze verhardingskaart Utrechtse Heuvelrug

Gemeente Hendrik Ido Ambacht

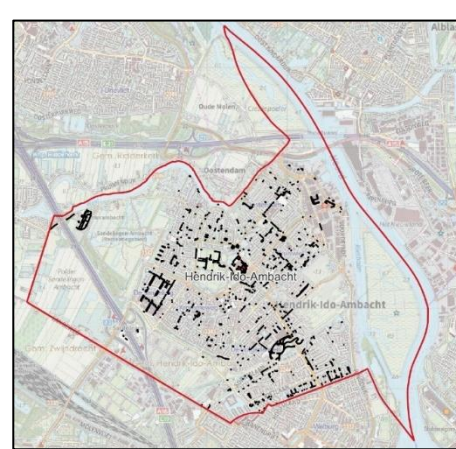
De gemeente Hendrik-Ido-Ambacht bevindt zich rondom 0 meter NAP (zie Figuur 14a). De gehele gemeente bestaat uit kleigronden (zie Figuur 14b). In de gemeente ligt veel oppervlaktewater en wordt omringd door rivieren. De grondwaterstand ligt hier dus hoog. Daarnaast bevat de gemeente 582 vakken met zinloze verharding om mogelijk toe te passen in het hydrologisch model (zie Figuur 14c).



Figuur 14a Hoogtekaart Hendrik-Ido-Ambacht



Figuur 14b Bodemkaart Hendrik-Ido-Ambacht



Figuur 14c Zinloze verhardingskaart Hendrik-Ido-Ambacht

Na de bureaustudie zijn drie potentiële straten gekozen die toe te passen zijn in het model. Daarin variëren de straten op bodemsoort, grondwaterstand, oppervlaktewater en hoeveelheid zinloze verharding per straat.

Gemeente Utrechtse Heuvelrug is al eerder uitgesloten om daarin een casusgebied te kiezen. Gemeente Zeist heeft dezelfde eigenschappen en de Utrechtse heuvelrug ligt in de gemeente. Hierdoor is besloten om een straat te kiezen in het noordelijke deel van gemeente Zeist. Hier liggen zandgronden met een lage grondwaterstand. De straat dat is gekozen is de Verzetslaan en Vrijheidsplein. Hierin bevindt zich het zinloze verhardingsvak met de hoogste prioritering van Zeist. Het nadeel is dat er geen oppervlaktewater bevindt en goed gekeken moet worden naar de boundary van het model. Aan de linkerkant van figuur 15 is de boundary het flatgebouw waar geen infiltratie kan plaatsvinden. Aan de rechterkant van het figuur is de afscheiding het eind van de straat. Na de pijl in figuur 15 begint het industriegebied wat een andere functie heeft. Daarom is deze afbakening voor het model gekozen.

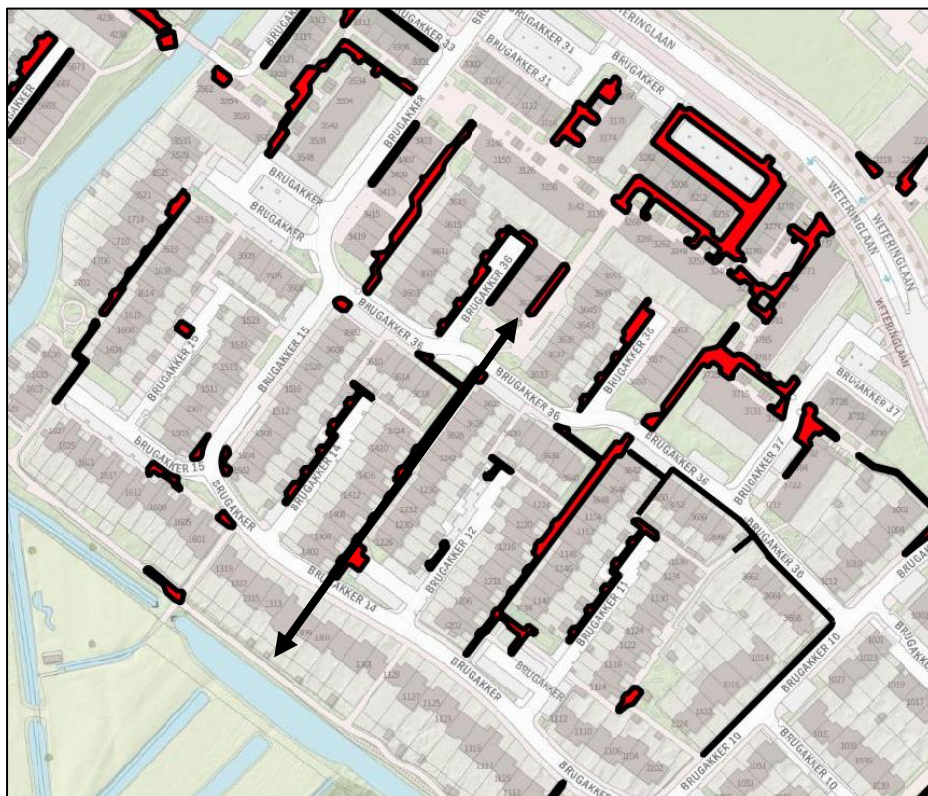


Figuur 15 Straat 1 Verzetslaan/Vrijheidsplein Zeist-West

In bijlage 5 zijn foto's afgebeeld van de locatie nadat het verwijderen en vergroenen van de zinloze verharding heeft plaatsgevonden. Ook zijn afbeeldingen vanuit Google Maps weergegeven om de verschillen te laten zien. De bijlage geeft goed weer hoe verhard de straat was en hoeveel werkelijk wordt vergroend.

Straat 2

De tweede straat die is gekozen, bevindt zich in het zuidwestelijk gedeelte van Zeist. Het is interessant om twee gebieden binnen dezelfde gemeente te vergelijken. Hierdoor wordt vastgesteld dat binnen gemeenten ook grote verschillen voorkomen en per straat naar parameters gekeken moet worden. In dit gebied is klei de toplaag van de bodem en is de grondwaterstand een stuk hoger dan het noorden van Zeist.



Figuur 16 Straat 2 Brugakker Zeist-Zuid

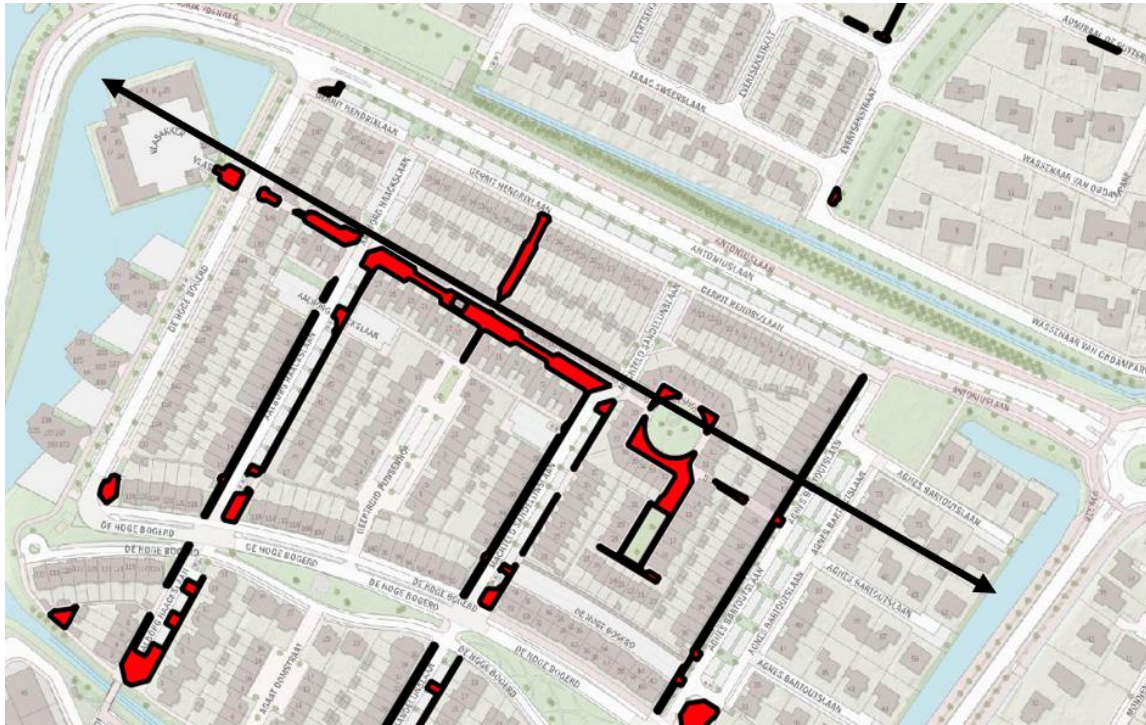
De straat die is gekozen ligt in de wijk Brugakker (zie Figuur 16). Het begin van de doorsnede van de straat is een watergang wat een ideale afbakening (boundary) voor het model is. Het andere einde van het model is een rijtjeshuis waar het infiltreren van hemelwater wordt gestopt.

In bijlage 6 zijn foto's van de huidige situatie weergegeven die op de locatie zijn gemaakt. Hier is het verwijderen en vergroenen van zinloze verharding nog niet toegepast. Het is een brede stoep tussen twee rijtjeshuizen in. Het zinloze verhardingsvak heeft een oppervlakte van 307 m². In het onderzoek wordt gekeken wat het effect is wanneer een groot deel van de stoep omgevormd wordt tot groen. Hierdoor kan meer hemelwater in de bodem infiltreren. Ook is in de foto's te zien dat tussen de rijtjeshuizen veel verharde voortuintjes zijn en daar ook vergroeningskansen liggen. Het hemelwater wordt nu door een gescheiden riolering afgevoerd naar het oppervlaktewater richting het zuiden.

Uit een interview met de gemeente Zeist is gebleken dat de gemeente druk bezig is met het verwijderen van zinloze verharding, dus wellicht komt deze straat nog aan de beurt. Sweco heeft goed contact met de gemeente Zeist waardoor een interview of het verkrijgen van informatie makkelijker is.

Straat 3

Bij het selecteren van de laatste straat is het belangrijk dat de locatie bestaat uit een klei- of veenbodem en de grondwaterstand hoog ligt. Hierdoor bestaat de selectie uit een volledige variatie van bodem en grondwaterstand. Hierbij was de mogelijkheid een straat in Nieuwegein of Hendrik-Ido-Ambacht te selecteren. Tijdens de analyse van de gemeenten is gekeken naar straten met veel zinloze verharding. Hierbij is gekozen voor een straat met veel verharding in Hendrik-Ido-Ambacht die tussen twee watergangen ligt (zie Figuur 17). Dit is ideaal om in het model mee te nemen doordat het duidelijke model boundaries heeft.



Figuur 17 Straat 3 Hendrik-Ido-Ambacht

De straat ligt voornamelijk tussen twee rijtjeshuizen. In bijlage 7 zijn enkele afbeelding uit Google Maps weergegeven die de straat laten zien. Dit is een enorme stoep tussen huizen waar geen auto's komen. In de straat staat een enkele boom die geen ruimte heeft om te groeien. Hier liggen veel kansen om een straat te vergroenen.

5.2 Toepassen zinloze verharding

Om het verschil in de grondwaterstand te kunnen meten moet het verwijderen en vergroenen van zinloze verharding worden toegepast in een toekomstige situatie. Dit betekent dat meer water kan infiltreren doordat verharding is weggehaald en groen geplaatst is. Om dit door te berekenen op een bepaalde locatie, is een rekentabel gemaakt om het aantal kubieke meter neerslag per uur dat per vierkante meter infiltreert te berekenen. In dit hoofdstuk zijn de resultaten van de rekentabel toegelicht en wordt uitgelegd hoe deze tabel met de parameters is opgezet. In het stappenplan (beroepsproduct) staat ook gedetailleerd beschreven hoe de tabel ingevuld moet worden.

Sectie	Tot. Opp(m2)	Groen(%)	Groen(m2)	opp infiltreert(m2)	Stoep (%)	Stoep(m2)	opp infiltreert (m2)	Wegdek (%)	Wegdek (m2)	opp. Infiltreert(m2)
1			0,0	0,0		0,0	0,0		0,0	0,0
2			0,0	0,0		0,0	0,0		0,0	0,0
3			0,0	0,0		0,0	0,0		0,0	0,0
4			0,0	0,0		0,0	0,0		0,0	0,0
5			0,0	0,0		0,0	0,0		0,0	0,0
6			0,0	0,0		0,0	0,0		0,0	0,0
7			0,0	0,0		0,0	0,0		0,0	0,0
8			0,0	0,0		0,0	0,0		0,0	0,0
9			0,0	0,0		0,0	0,0		0,0	0,0
....										

Parkeerplaats (%)	Parkeerplaats(m2)	opp infiltreert (m2)	Gebouw/huis (%)	Gebouw (m2)	opp infiltreert(m2)	Tot. M2 infiltratie	M3/hr/m2 neerslag
	0,0	0,0		0	0	0,0	#DELING.DOOR.0!
	0,0	0,0		0	0	0,0	#DELING.DOOR.0!
	0,0	0,0		0	0	0,0	#DELING.DOOR.0!
	0,0	0,0		0	0	0,0	#DELING.DOOR.0!
	0,0	0,0		0	0	0,0	#DELING.DOOR.0!
	0,0	0,0		0	0	0,0	#DELING.DOOR.0!
	0,0	0,0		0	0	0,0	#DELING.DOOR.0!
	0,0	0,0		0	0	0,0	#DELING.DOOR.0!
	0,0	0,0		0	0	0,0	#DELING.DOOR.0!
	0,0	0,0		0	0	0,0	#DELING.DOOR.0!

Tabel 1 Volledig Rekentabel (leeg)

In tabel 1 is de rekentabel weergegeven zonder casusgebied. De Exceltabel kan geopend worden in het downloadbestand bij het beroepsproduct om de formules beter te bekijken. In het stappenplan wordt deze tabel gebruikt om het infiltrerend hemelwater per sectie te berekenen, om toe te passen in het hydrologisch model. In bijlage 14 t/m 16 zijn de rekentabellen per casusgebied weergegeven.

Secties

De doorsnede van een straat is opgedeeld in secties. Een sectie is belangrijk voor de verschillen in infiltrerend hemelwater. Zo kan bijvoorbeeld in een sectie met veel huizen weinig tot geen water infiltreren, in vergelijking met een sectie waarin de achtertuinen van huizen liggen.

In figuur 18 is een simpele versie afgebeeld voor het maken van secties in een doorsnede. Hieronder is weergegeven hoe dit bijvoorbeeld ingedeeld kan worden:

1. Achtertuin sectie
2. Rijtjeshuizen sectie
3. Openbare weg sectie
4. Zinloze verharding sectie
5. Openbare weg sectie



Figuur 18 Versimpelde sectieopbouw Zeist-Zuid

Voor elk casusgebied zijn secties gemaakt en in de tabellen toegevoegd. De benaming die aan een sectie is gekoppeld, is niet van belang.

Funcities

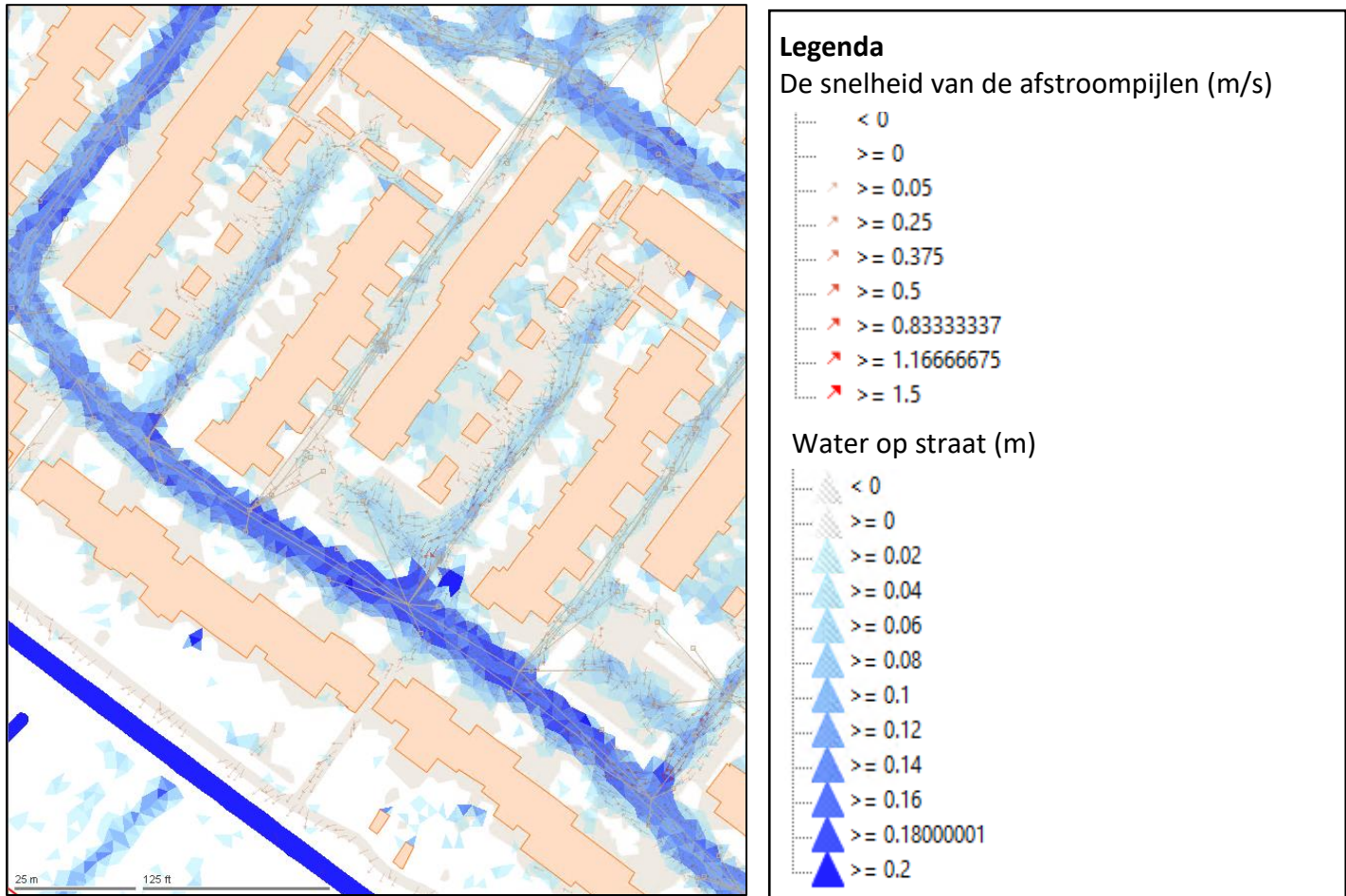
Een sectie is opgedeeld in een vijftal funcities. De volgende vijf funcities zijn:

- Groen
- Stoep
- Wegdek
- Parkeerplaats
- Gebouw

In de sectie waar het verwijderen en vergroenen van zinloze verharding toegepast wordt, zal een verandering optreden qua funcities. Door het verwijderen van zinloze verharding zal de functie stoep en in enkele gevallen het wegdek afnemen, waardoor de functie groen toeneemt in oppervlak.

Grootte van de sectie

De breedte van de sectie hangt af van het afstromen van het hemelwater richting de geselecteerde straat. De afbakening voor de breedte wordt afgelezen van de afstromingskaart door te kijken naar de pijlen. De afbakening is vanaf het punt waar de pijlen niet meer richting de straat wijzen. Deze kaart kan mogelijk verkregen worden bij de gemeente. Daarnaast kan Sweco zelf ook al bezitten over een afstromingskaart voor de gemeente en anders wordt de kaart zelf gemaakt. Het zelf maken van de kaart is in dit onderzoek niet voorgevallen.



Figuur 19 Afstromingskaart Zeist-Zuid (Sweco, 2022)

In figuur 19 is een afstromingskaart weergegeven. Deze kaart hoort bij de straat in het zuiden van gemeente Zeist in de wijk Brugakker. In bijlage 9 zijn alle afstromingskaarten weergegeven per casusgebied. Als in de kaart wordt ingezoomd zijn pijltjes te zien zoals in de legenda bij figuur 19. Deze pijlen wijzen de richting op waar het hemelwater naartoe stroomt en de grootte van de pijl geeft de afstroomsnelheid aan. Hieruit kan worden opgemaakt vanaf waar het water in de straat loopt en wordt de sectie in de breedte begrensd.

Door gebruik te maken van GIS wordt het oppervlak van de secties en de functie binnen een sectie gemeten. Door het oppervlak als polygoon in te tekenen wordt het aantal vierkante meters berekend. De functie (groen, stoep, wegdek, gebouw of parkeerplaats) van een sectie is doorberekend tot een percentage per sectie. Dit is belangrijk voor het berekenen van de hoeveelheid water dat infiltreert in de bodem. Zie stap 11 Secties in het stappenplan voor de toelichting over het maken van secties, toepassen van functies en de afstroomkaart.

Infiltratiecoëfficiënten

De infiltratiecoëfficiënten zijn afgeleid van de afstromingscoëfficiënten uit een onderzoek naar de afstromingspercentages in stedelijke gebieden. (Burger, 2000)

In bijlage 8 zijn tabellen uit dat rapport weergegeven. Deze tabellen geven de afstromingscoëfficiënten weer uit verschillende onderzoeken. Uit deze tabellen in de bijlage en met behulp van Expert Judgement zijn de volgende infiltratiecoëfficiënten opgesteld per functie:

Functie:	Infiltratie coëfficiënten (%/100)
Groen	0,9
Stoep	0,25
Wegdek	0,1
Parkeerplaats	0,2
Gebouw	0,1

Deze getallen geven aan hoeveel procent van de neerslag die valt op de bijbehorende functie daadwerkelijk de grond infiltreert. De rest van het hemelwater stroomt af naar het riool en wordt niet opgenomen door de bodem.

Werking tabel

Wanneer de straat is opgedeeld in secties en de oppervlakte hiervan berekend is, wordt dit ingevuld in het gele gedeelte van tabel 2. Dit tabel weergeeft de resultaten van het onderzoek naar de effecten van het verwijderen en vergroenen van zinloze verharding in de wijk Brugakker in Zeist.

Vervolgens zijn de percentages per functie ingevuld. Bij dit resultaat is het percentage groen weergegeven. Sectie 1 zijn de achtertuinen van de rijtjeshuizen en bestaat uit veel groen. Hierbij is vanuit gegaan dat de achtertuinen uit 80% groen bestaan. 80% groen van de totale oppervlakte van de sectie is 500 m². Wanneer dit wordt vermenigvuldigd met de infiltratiecoëfficiënt, 0,9 voor groen, is het oppervlak bekend waar het hemelwater kan infiltreren.

Sectie	Tot. Opp(m2)	Groen(%)	Groen(m2)	opp infiltreert(m2)
1	625,0	0,8	500,0	450,0
2	300,0	0,0	0,0	0,0
3	160,0	0,6	96,0	86,4
4	200,0	0,0	0,0	0,0
5	272,0	0,0	0,0	0,0
6	1743,0	0,3	435,8	392,2
7	270,0	0,0	0,0	0,0
8	430,0	0,3	129,0	116,1
9	120,0	0,0	0,0	0,0

Tabel 2 Sectie oppervlak met de functie groen

De eerste blauwe kolom (zie tabel 3) is het totale oppervlak in m² per sectie waar het hemelwater kan infiltreren. Dit oppervlak wordt doorberekend naar de hoeveelheid hemelwater per dag dat per vierkante meter (m³/d/m²) infiltreert. Dit is gedaan aan de hand van een bepaalde regenbui.

Tot. M2 infiltratie	M3/d/m2 neerslag
481,3	0,053900
30,0	0,007000
102,4	0,044800
5,0	0,001750
27,2	0,007000
719,0	0,028875
27,0	0,007000
191,4	0,031150
12,0	0,007000

Tabel 3 Infiltratie hemelwater

In tabel 3 is uitgegaan van een regenbui van 70 mm/dag. De 70 mm/dag regenbui is gebaseerd op Expert Judgement en het STOWA neerslagstatistiek. Daarnaast is dit een hevige bui (T=100) waardoor de effecten van het verwijderen en vergroenen van zinloze verharding op de grondwaterstand duidelijk zijn (zie Stap 12 Neerslag in het stappenplan)

Door de regenbui door 1000 te delen, te vermenigvuldigen met het infiltrerende oppervlakte en weer te delen door het totaal oppervlak is het aantal m³/d/m² verkregen. Het hydrologisch model rekent met deze eenheden (m³/d/m²).

In bijlage 14 tot en met 16 zijn de reketabellen van de casusgebieden weergegeven. In het onderste tabel is het verwijderen en vergroenen van zinloze verharding in de locatie meegenomen. Daar is te zien dat het infiltrerende hemelwater (m³/d/m²) hoger wordt.

Zie stap 13 Rekenen in het stappenplan voor de toelichting over het rekenen met de reketabel.

Zinloze verharding

Om de zinloze verharding door te rekenen bestaan de huidige- en toekomstige situatie uit een aparte tabel. In de toekomstige situatie verandert in 1 of meerdere secties het percentage verhard oppervlak in een hoger percentage groen. In GIS kan een zinloze verhardingsvak worden aangeklikt en het oppervlak van het vak wordt aangegeven (zie Figuur 20). Dit kan worden doorberekend naar het percentage groen wat weer doorgerekend wordt naar een hogere hoeveelheid m³/d/m² infiltrerend hemelwater

Object	Waarde
▼ ZV_Zeist	
▼ Oppervlakt	306,9895399
▶ (Afgeleid)	
▶ (Acties)	
Oppervlakt	306,9895399

Figuur 20 Zinloze verhardingsvak oppervlak

5.3 Verschil in grondwaterstand

In dit hoofdstuk worden de resultaten van het model weergegeven. Daarbij is toegelicht hoe deze resultaten zijn ontstaan en hoe de informatie in het model wordt ingevuld.

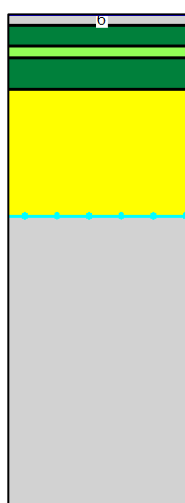
Naast het hemelwater dat infiltreert in de bodem, zijn veel eigenschappen in een doorsnede meegenomen in het hydrologisch model. De stijghoogte, grondwaterstand, bodemmateriële en afmetingen/afstanden van de secties zijn van belang om uiteindelijk het verschil in de grondwaterstand te kunnen meten in de huidige- en toekomstige situatie.

Bodemmaterialen

In het model is begonnen met het invoegen van de bodemmateriële. Dit wordt in het model “materials” genoemd. Een bodemmateriële bevindt zich over een bepaalde lengte (de doorsnede) en diepte. Een lengte x diepte wordt in het model gezien als een “region”. Door middel van het NAP, de lengte van de doorsnede van de straat en de dikte van de bodemlaag kan een region bepaald worden.

De dikte van de bodemlaag wordt bepaald vanuit dinoloket (Dinoloket, 2022). Per casusgebied zijn er boringen genomen die in Dinoloket staan. In bijlage 9, 10 en 11 staat alle informatie per casusgebied afgebeeld. Dit zijn de materialen die vanuit Dinoloket in het hydrologisch model SEEP/w gezet.

In het stappenplan staat een verdere toelichting over het toepassen van “regions” en “materials” (zie Stap 3 t/m 5 in het stappenplan). In het model van Zeist-Zuid bestaat het pakket uit de volgende materialen (zie Figuur 21 & 22).



Figuur 22 Bodemopbouw Zeist-Zuid

Materials	
Name	Color
Zand midden	
Zand grof	
kleilig zand, zandige klei en leem	
Klei	

Figuur 21 Bodemmateriële Zuid-Zeist

Stijghoogte

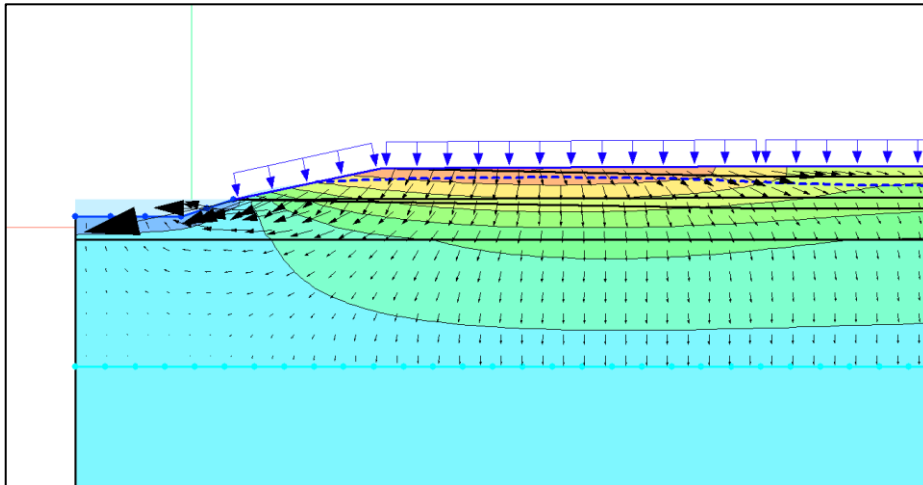
De stijghoogte is het potentiële grondwaterpeil. Het is de hydrostatische druk omgerekend naar meters. De stijghoogte is belangrijk voor het model omdat dit aangeeft waar de grondwaterstand komt te zitten. In het stappenplan staat een verdere toelichting over het verkrijgen en toepassen van de stijghoogte.

Om de stijghoogte te controleren is de grondwaterstand aangevraagd bij de gemeente. De gegevens zijn gecontroleerd bij de meest dichtbij zijnde peilbuis.

De stijghoogte van de locaties in de gemeente Zeist en gemeente Hendrik-Ido-Ambacht zijn in bijlage 13 weergegeven. Zie Stap 8 Stijghoogte in het stappenplan voor de toelichting over de stijghoogte.

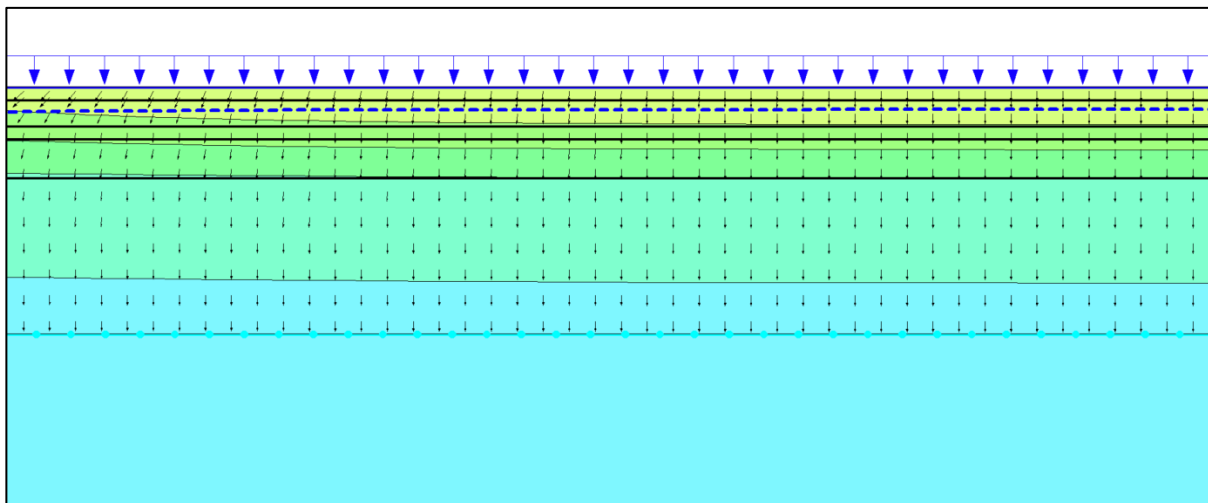
Model resultaten

Hoe het modelleren exact in zijn werking gaat, is uitgelegd in het stappenplan. Hierbij is uitgelegd waar alles ingevuld moet worden en hoe deze informatie is verkregen. Het resultaat is een stijging in de grondwaterstand na het infiltreren van een regenbui van 70 mm/dag. Door de rekentabel is een verschil in de infiltratie van het hemelwater tussen de huidige- en toekomstige situatie berekend.



Figuur 23 Infiltratie en grondwaterstand huidige situatie, begin doorsnede Zeist-Zuid

In figuur 23 is het begin van het model in Zeist-Zuid te zien. De kleuren in het model zijn de stijghoogte. Hoe roder de kleur des te hoger de stijghoogte is en hoe meer water infiltreert. De zwarte pijltjes in de bodem geven aan waar het grondwater naartoe stroomt, en hoe groter de pijl hoe harder het stroomt. In het figuur is het begin van het model weergegeven, hier bevinden zich de achtertuinen waar het meeste hemelwater kan infiltreren in de huidige situatie. De blauwe pijltjes boven de grond is de hoeveelheid infiltrerend hemelwater dat per sectie verschilt in $\text{m}^3/\text{d}/\text{m}^2$. De grondwaterstand binnen de eerste secties is +2.35 m NAP.

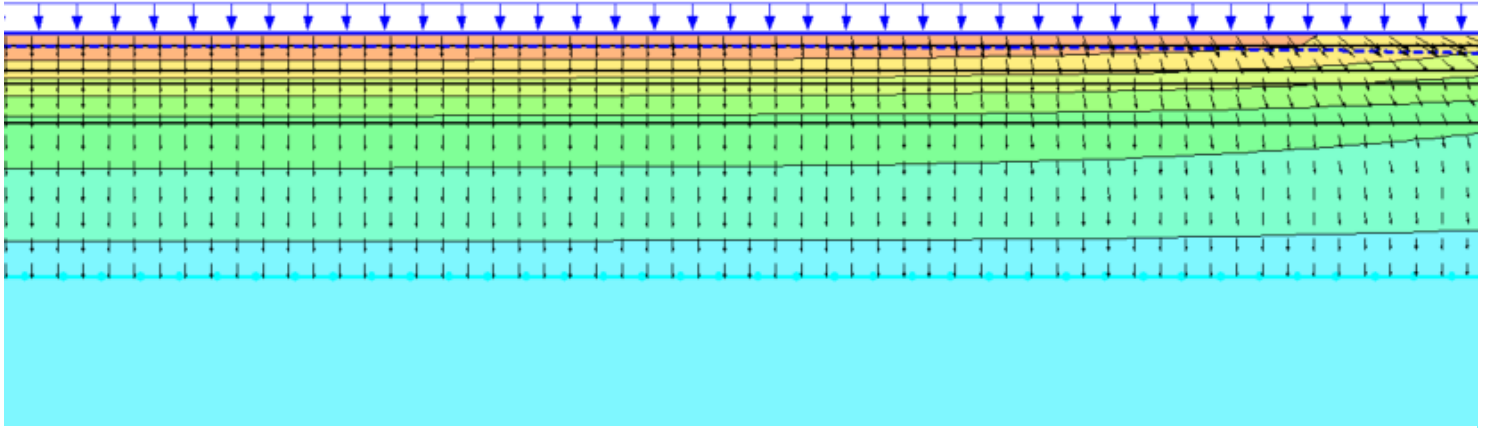


Figuur 24 Zinloze verhardingssectie Huidige situatie Zeist-Zuid

In figuur 24 is de bodem en grondwaterstand te zien in de sectie waar het verwijderen en vergroenen van zinloze verharding plaats gaat vinden. Hier is de grondwaterstand 2.04 m en de stijghoogte ligt tussen de 1.9 m en 2.1 m.

In figuur 25 is dezelfde sectie weergegeven waarbij de zinloze verharding is verwijderd en is omgevormd tot groen. Deze sectie bestaat uit 1743 m². De huidige situatie bestaat uit 30% groen en 70% stoep. In de toekomstige situatie is dit 50% groen en 50% stoep. Hierdoor is de hoeveelheid hemelwater dat infiltreert van 0.028 m³/d/m² naar 0.04025 m³/d/m² gegaan (zie Bijlage 14)

De grondwaterstand is met de aanpak van zinloze verharding gestegen naar 2,39 meter. Door het verwijderen en vergroenen van zinloze verharding heeft er een verhoging in grondwaterstand van 0.35 m plaatsgevonden bij een regenbui van 70 mm/dag.



Figuur 25 Zinloze verhardingssectie Toekomstige situatie Zeist-Zuid

In bijlage 17 tot en met 21 zijn de modelresultaten van alle drie de casusgebieden weergegeven. Hierin zijn de huidige- en toekomstige situatie afgebeeld.

In Hendrik-Ido-Ambacht bestaat de bodem vooral uit klei. Doordat het water hier langzamer infiltreert en de grondwaterstand hoog staat, zijn de effecten van zinloze verharding op de grondwaterstand groter. Bij een bui van 70 mm/dag komt in de huidige situatie water op straat te staan. In het casusgebied van Hendrik-Ido-Ambacht vindt een grondwaterstandstijging van meer dan 1 meter plaats en komt nog meer water op straat te staan bij een regenbui van 70 mm/dag.

In Zeist-Noord bestaat de bodem uit zand. De grondwaterstand ligt hier dieper onder het maaiveld. Wanneer er meer infiltratie van het hemelwater plaatsvindt, blijft de grondwaterstand laag en verhoogt amper. Door zand als bodemmateriaal kan veel water tussen de poriën worden opgenomen. Hierdoor verhoogt de grondwaterstand veel minder of niet.

5.4 Stappenplan (beroepsproduct)

Om al deze informatie in een goede volgorde en duidelijke manier uit te leggen, is hiervoor een stappenplan gemaakt. Hierin worden alle stappen toegelicht en aan de hand van het casusgebied Zeist-Zuid gevisualiseerd. Het stappenplan is een Pdf-bestand wat begint met een inleidende pagina en vervolgens een overzicht van het stappenplan. Hierin wordt ook toegelicht dat in het stappenplan iconen staan, waarop geklikt kan worden (zie Figuur 26). Hierdoor is het terugschakelen naar het overzicht, een bepaalde pagina of website gebruiksvriendelijk gemaakt.



Figuur 26 Icons Stappenplan

Het stappenplan is een bron voor het verkrijgen van informatie en waar of bij wie dit kan gebeuren. Bijvoorbeeld wie het aanspreekpunt is binnen Sweco voor de zinloze verhardingstool, bij welke site de stijghoogte gevonden kan worden en welke informatie beter bij de gemeente gevraagd kan worden.

De volgorde

Om een zo duidelijk mogelijk stappenplan op te stellen is nagedacht over de volgorde van de stappen. Het stappenplan begint met het verzamelen van de geodata zoals het opvragen van de zinloze verhardingsvakken. Om de shapefile voor GIS-programma's zo snel mogelijk te ontvangen, is het van belang dat het proces met de zinloze verhardingstool als eerst wordt opgestart. Ook is het maken van een basiskaart belangrijk om een goed beeld van de locatie te krijgen.

Daarna is het verkrijgen van alle informatie van belang om het model op te zetten. Hierbij is rekening gehouden met de volgorde van het maken van het model. Zo begint de opzet met het maken van de "regions" en "materials" en wordt alle informatie verzameld over het oppervlaktewater, de stijghoogte en de grondwaterstand. De volgende fase is het rekenen met SEEP/w, waarbij gebruik gemaakt wordt van de rekestabel. Tot slot is de laatste stap het uitbrengen van een advies wanneer de effecten van het verwijderen en vergroenen van zinloze verharding bekend zijn.

Rekestabel

Ook het toepassen van de rekestabel wordt toegelicht waarbij de neerslag en de zinloze verharding een belangrijke rol spelen. De rekestabel is zeer makkelijk met het automatisch omrekenen van het aantal infiltrerende hemelwater wanneer een andere regenbui gesimuleerd moet worden.

5.5 Reflectie betrouwbaarheid

In dit hoofdstuk wordt gekeken naar de betrouwbaarheid van de resultaten. De betrouwbaarheid van de resultaten kan verbeterd worden door het wegnemen van een aantal onzekerheden. Echter heeft dit weinig tot geen invloed op het beroepsproduct maar op de resultaten van het model in dit onderzoek.

De grootste onzekerheid is dat het model in 2D simuleert en het verwijderen en vergroenen van zinloze verharding een 3D kwestie is. Om deze 3D kwestie in een 2D model te krijgen is gebruik gemaakt van afstromingskaarten om te weten hoeveel oppervlakte in de doorsnede van de straat afstroomt. Het berekenen van de exacte oppervlakken en de hoeveelheid afstromend- en infiltrerend water is onmogelijk. Dit onderzoek geeft een zo goed mogelijke indicatie van de effecten. Daarnaast is ook het grondwater een 3D-kwestie en worden de grondwaterstromingen in het model enkel in 2D meegenomen

De bodemmaterialen zijn uit boringen van Dinoloket gehaald. De k-waarden (waterdoorlatendheid) zijn bepaald op basis van eerdere modelleringen in SEEP/w en Expert Judgement. Dit betekent dat dit niet exacte k-waarden en diktes van de ondergrond op een bepaalde locatie zijn. Om een betrouwbaar model te krijgen is het aangeraden een bodemonderzoek uit te voeren (zie Figuur 28). Dit is ook meegenomen in het stappenplan.

De stijghoogtes en grondwaterstanden zijn verkregen vanuit onlinegegevens. Deze geven een zo goed mogelijk beeld maar zijn niet de exacte stijghoogte en grondwaterstand van een locatie. Voor de meest betrouwbare getallen is het aangeraden peilbuizen te plaatsen (zie Figuur 27) om de exacte grondwaterstand en stijghoogten te meten. Dit is ook meegenomen in het stappenplan.



Figuur 28 Bodemonderzoek (Anteagroup, 2022)



Figuur 27 Peilbuis plaatsen (Royaleijkelpark, 2022)

Het groen dat wordt geplaatst op de plek waar de zinloze verharding zit, kan invloed hebben op het grondwater en de infiltratie. Bepaalde vegetatie neemt water vanuit het hangwater op. Hangwater is het water dat aan de bovenkant van de bodem blijft. Grotere bomen nemen juist vocht op vanuit het grondwater. Daarnaast kan de dichtheid van het groen en het soort vegetatie zorgen voor een verschil in infiltratie. Ook hebben (vaak) grote bomen een capillaire werking wat niet mee wordt genomen door het model. Dit betekent dat het grondwater wordt aangetrokken richting het maaiveld toe vanuit de bodem en kan zorgen voor kleine verschillen in de uitkomst van de stand van het grondwater.

De laatste pagina in het stappenplan gaat over het advies geven op basis van de resultaten uit het model. Om betere adviezen te kunnen geven is het van belang om meerdere scenario's door te rekenen. In het steady-state model kunnen meerdere soorten regenbuien de verschillende effecten van het verwijderen en vergroenen van zinloze verharding aangetoond worden. Daarnaast kan met een transient model een langere periode met regen en droogte gesimuleerd worden. Hierdoor kunnen de effecten van bijvoorbeeld een droge periode gesimuleerd worden of juist het effect na een zware regenbui. Ook berekent een transient model de snelheid waarmee de grondwaterstand zakt. Het niet doorrekenen van meerdere regenbuien en het niet gebruiken van een transient model heeft geen invloed op de volgorde van het stappenplan en over welke informatie nodig is.

Tot slot, een reflectie op de bruikbaarheid van het stappenplan. Het stappenplan is opgezet door in dit onderzoek eerst de effecten van het verwijderen en vergroenen van zinloze verharding in Zeist-Zuid te onderzoeken. Hierdoor is onderzocht welke informatie daadwerkelijk nodig is, hoe hier aangekomen wordt en toegepast kan worden in het model. Het tweede casusgebied is op basis van de eerste opzet van het stappenplan gemaakt en gecontroleerd of de volgorde klopt en of op deze aan alle informatie gekomen kan worden. Tot slot is het stappenplan gecontroleerd door medewerkers van Sweco. Hieruit kan opgemaakt worden of het stappenplan duidelijk, gebruiksvriendelijk en te volgen is. Ook is het stappenplan meerdere malen getest of alle iconen die gekoppeld zijn aan website, pagina of andere link kloppen. Bovendien zijn alle onzekerheden die in hoofdstuk 5.5 staan, meegenomen in het stappenplan om de gebruiker van het stappenplan duidelijk te maken hoe de meest betrouwbare resultaten gehaald kunnen worden.

6. Conclusie

In dit hoofdstuk wordt de hoofdvraag “Wat is het effect van het verwijderen en vergroenen van zinloze verharding tegen droogteproblematiek in stedelijke gebieden?” beantwoordt.

Door op een locatie de zinloze verharding te verwijderen en te vergroenen kan meer hemelwater de bodem infiltreren. In de straat in Zuid-Zeist vindt met een regenbui van 70 mm/dag een verhoging van 0.35 m plaats. Dit is een aanzienlijke verhoging terwijl er maar 20% verharding is omgevormd tot groen. Door deze stijging komt geen water op straat en veroorzaakt geen problemen. Hieruit kan geconcludeerd worden dat een locatie met een soortgelijke bodemopbouw en hoogte van de grondwaterstand het verwijderen en vergroenen van zinloze verharding een bijdrage kan leveren aan het oplossen van de droogteproblematiek.

Dit betekent dat het verwijderen en vergroenen van zinloze verharding de grondwaterstand laat stijgen wanneer meer hemelwater kan infiltreren, zonder dat de stijging voor problemen zorgt. In samenspraak met een opdrachtgever kan bepaald worden wanneer de stijging effectief is voor een locatie. Een minder hoge stijging kan ook voldoende zijn wanneer uitgegaan wordt van de “elke druppel telt” principe. Het verwijderen van verharding draagt bij aan het water en bodem sturend maken van Nederland. Hierdoor kan de bodem als een spons werken en het water vasthouden voor drogere periodes. Door dit onderzoek is aangetoond dat het verwijderen en vergroenen van zinloze verharding het hemelwater beter kan laten infiltreren en de grondwaterstand laat stijgen.

Een locatie met klei als bodem en een hogere grondwaterstand, zoals in Hendrik-Ido-Ambacht, heeft hele andere effecten. Doordat het water hier langzamer kan infiltreren en de grondwaterstand dicht bij het maaiveld zit, bestaat een grotere kans voor water op straat. Hierdoor wordt de kans op water op straat met meer infiltratie van hemelwater door het verwijderen en vergroenen van zinloze verharding groter. Het is dan de vraag of het verwijderen van zinloze verharding op een locatie met klei of veen in de ondergrond effectief is. Wanneer dit gebeurt moet goed gekeken worden naar de drainage van het gebied of het toepassen van grondverbetering. Door deze maatregelen kan de grondwaterstand beheert worden en kunnen de andere positieve gevolgen zoals het verbeteren van de biodiversiteit, de kwaliteit van de openbare ruimte en sociale cohesie wel benut worden. Door de extra maatregelen om het verwijderen en vergroenen van zinloze verharding te realiseren, worden meer kosten gemaakt. Hierdoor is het realiseren minder efficiënt.

Een locatie met zand als bodem en een lagere grondwaterstand heeft ook weer andere effecten. De effecten op de grondwaterstand door het verwijderen en vergroenen van zinloze verharding zijn niet aangetoond in het model van Zeist-Noord, de grondwaterstand blijft 2.5 m NAP zoals de stijghoogte. Door de zandbodem infiltreert het water snel en kan het goed opgenomen worden door de bodem. Hieruit wordt geconcludeerd dat veel verharding verwijderd kan worden en veel groen geplaatst kan worden. Hierdoor wordt de droogteproblematiek niet opgelost maar kan het verwijderen en vergroenen van zinloze verharding zonder problemen veel toegepast worden om de andere klimaatadaptieve voordelen te benutten. Omdat de grondwaterstand nauwelijks stijgt, kan deze locatie een goede oplossing zijn voor wateroverlast op straat en is het zonde om het hemelwater af te voeren via het riool. Hierdoor is de bodem een spons en wordt de natuurlijke kracht van de bodem benut.

Door het maken van een stappenplan als beroepsproduct is de mogelijkheid ontstaan om gebruiksvriendelijk het gehele proces te doorlopen om de effecten aan te tonen in een willekeurige locatie. Dit maakt het proces herhaalbaar voor anderen. In het stappenplan is uitgelegd hoe alle informatie verkregen kan worden en op welke manier dit wordt toegepast. Het model geeft het verschil weer van de grondwaterstand tussen de huidige situatie en de toekomstige situatie met minder zinloze verharding.

Al met al, blijft het verwijderen en vergroenen een mooie klimaatadaptieve oplossing om toe te passen in het stedelijk gebied. Naast alle bijkomende voordelen infiltreert het hemelwater en wordt het grondwater makkelijker aangevuld wat bijdraagt aan het oplossen van de droogteproblematiek. Toch kan door het wegnemen van onzekerheden en toepassen van meer scenario's het onderzoek completer gemaakt worden. Aan de hand van het stappenplan is het mogelijk om een advies te geven aan een opdrachtgever over de effecten van het verwijderen en vergroenen van zinloze verharding.

7. Aanbevelingen

In dit hoofdstuk worden enkele aanbevelingen beschreven voor een verdere ontwikkeling van het onderzoek en stappenplan.

7.1 Transient model toepassen

In dit onderzoek is in SEEP/w geen simulatie uitgevoerd over een langere periode, door middel van een “transient” model. Hierdoor zijn de effecten van het verwijderen en vergroenen van zinloze verharding over een langere periode niet bekend. Dit is door tijdsgebrek en onzekerheden niet mogelijk geweest tijdens het onderzoek. Daarom is het aanbevolen om een “transient” model te maken van een bepaalde locatie. Hierbij kan het best een bodemonderzoek en peilbuisplaatsing toegepast worden om de exacte gegevens te weten en onzekerheden te vermijden. Door een “transient” model toe te passen in SEEP/w kan het effect van het verwijderen en vergroenen van zinloze verharding beter aangetoond worden in een droge periode. Een simulatie in een transient model geeft de daling of stijging van de grondwaterstand weer per dag of uur over een langere periode.

7.2 Meer scenario's simuleren

Tijdens het onderzoek is één regenbui onderzocht en gesimuleerd. Om alle mogelijke effecten aan te tonen is het aanbevolen om met verschillende regenbuien en periodes te modelleren. Hierdoor kan een beter advies uitgebracht worden richting een opdrachtgever van wat de effecten zijn bij verschillende weersscenario's. Maak hier gebruik van het “transient”- en “steady state” model. Dit eist meer tijd en beter onderzoek wat niet mogelijk was tijdens deze onderzoeksperiode.

7.3 Meer locaties simuleren

Elke locatie is anders en zal het effect van het verwijderen en vergroenen van zinloze verharding op een bepaalde manier beïnvloeden. De kans is aanwezig dat bepaalde effecten nog niet ontdekt zijn bij het modelleren van de drie casusgebieden. Daarom is het een aanbeveling om de effecten van locaties die in de toekomst worden gesimuleerd bij te houden. Hierbij moeten mogelijke adviezen zelf door medewerkers van Sweco bepaald worden. Wel is het stappenplan toepasbaar op alle locaties om de effecten te bepalen.

7.4 Kosten en bijdragen nader onderzoeken

Een vervolgvacature dat goed op dit onderzoek aansluit is het vergelijken van de kosten tegenover de effecten van het verwijderen en vergroenen van zinloze verharding. Het realiseren van de maatregel kost geld. Dit komt door onder andere de volgende acties:

- Het onderzoek naar de locatie
- De verwijdering van zinloze verharding
- Het planten van groen
- Het beheer en onderhoud.

Het is aanbevolen om verder onderzoek uit te voeren naar de effectiviteit en efficiëntie van de bijdragen van het verwijderen en vergroenen van zinloze verharding op een bepaalde locatie. Hierbij wordt rekening gehouden of de kosten tegenover de bijdragen het waard zijn, om het verwijderen en vergroenen van zinloze verharding toe te passen.

Literatuur

- Actueel Hoogtebestand Nederland. (2022). Opgehaald van <https://ahn.arcgisonline.nl/ahnviewer/>
- Anteagroup. (2022). *Bodemonderzoek*. Opgehaald van <https://anteagroup.nl/diensten/bodem-ondergrond/bodemonderzoek-bodemsanering>
- Atlasleefomgeving. (2022). *Droogte*. Opgehaald van Atlasleefomgeving: <https://www.atlasleefomgeving.nl/thema/klimaatverandering/droogte>
- Burger, M. B. (2000). *Literatuurstudie naar verliesprocessen en afstromingspercentages in stedelijke gebieden*. Ingenieursbureau Utrecht.
- De Groene Stad Challenge. (2022). *De Groene Stad Challenge*. Opgehaald van [groenestadchallenge](https://www.groenestadchallenge.nl).
- Dinoloket. (2022). Opgehaald van [Dinoloket.nl](https://www.dinoloket.nl)
- Grondwatertools. (2022). *Grondwatertools*. Opgehaald van Grondwatertools: <https://www.grondwatertools.nl/>
- IJsselstein, G. (2022). *Klimaatadaptatie*. Opgehaald van https://www.ijsselstein.nl/Onderwerpen/Wonen_en_woonomgeving/Klimaatadaptatie
- Kennisportaal Klimaatadaptatie. (2020). *Programmateam NAS blikt terug en kijkt vooruit*. Opgehaald van [klimaatadaptatienederland](https://www.klimaatadaptatienederland.nl).
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2022). *Water en bodem sturend*. Den Haag.
- Nationaal Deltaprogramma. (2022). *Ruimtelijke adaptatie*. Opgehaald van [Deltaprogramma](https://www.deltaprogramma.nl).
- Nationale klimaatadaptatie strategie. (2016). *Aanpassen met ambitie*.
- Nationale klimaatadaptatie strategie. (2018). *Uitvoeren met ambitie*.
- NK Tegelwippen. (2022). *NK TEGELWIPPEN 2022*. Opgehaald van NK-Tegelwippen: <https://nk-tegelwippen.nl/>
- Rijksoverheid. (2022). *Maatregelen bij droogte*. Opgehaald van Rijksoverheid: <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/droogte-en-hitte/maatregelen-watertekort-droogte>
- Rijksoverheid. (2022). *Omgevingswet*. Opgehaald van [rijksoverheid](https://www.rijksoverheid.nl).
- Rijkswaterstaat. (sd). *Zorgplicht hemelwater*. Opgehaald van [infomil](https://www.rijkswaterstaat.nl).
- Royaleijkamp. (2022). *Peilbuis plaatsen*. Opgehaald van <https://www.royaleijkamp.com/nl/kenniscentrum/eijkelp-kamp-academy/trainingen/peilbuizen-plaatsen/>
- RTV Utrecht. (2022, 11 13). *De beste tegelwippers van de provincie komen uit IJsselstein: 'We zijn nog niet groen genoeg'*. Opgehaald van NOS.nl: <https://nos.nl/regio/utrecht/artikel/325713-de-beste-tegelwippers-van-de-provincie-komen-uit-ijsselstein-we-zijn-nog-niet-groen-geenog>
- Stichting Steenbreek. (2022). *Missie*. Opgehaald van [Steenbreek](https://www.stichtingsteenbreek.nl).
- STOWA. (2019). *Neerslagstatistiek en- reeksen voor het waterbeheer 2019*.

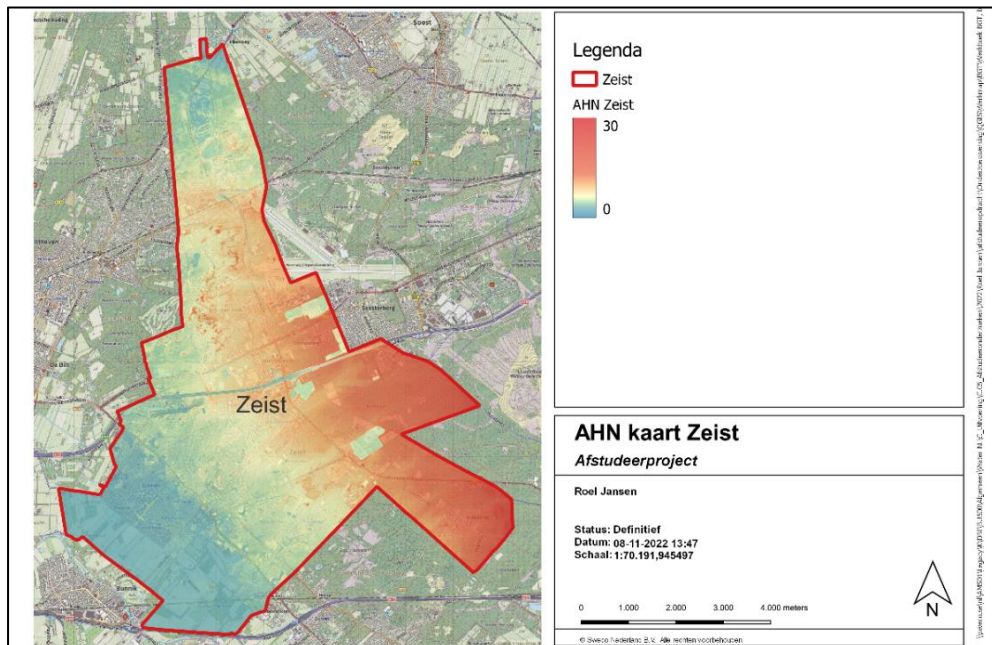
- Sweco. (2021). *Van steen naar waardevol groen*. Opgehaald van Sweco:
<https://www.sweco.nl/actueel/verhalen/5-vragen-aan-joeri-meliefste/>
- Vlaco. (2022). *Met compost steek je een spons in de grond*. Opgehaald van vlaco.be:
<https://www.vlaco.be/nieuws/met-compost-steek-je-een-spons-in-de-grond>

Bijlagen

- **Bijlage 1 Toelichting Kaarten Zeist**
- **Bijlage 2 Toelichting kaarten Nieuwegein**
- **Bijlage 3 toelichting Utrechtse Heuvelrug kaarten**
- **Bijlage 4 Toelichting Kaarten Hendrik-Ido-Ambacht**
- **Bijlage 5 zinloze verharding Zeist Verzetlaan/Vrijheidspaleis verschillen vroeger & nu**
- **Bijlage 6 Zinloze verharding Zeist Brugakker**
- **Bijlage 7 Zinloze verharding Hendrik-Ido-Ambacht**
- **Bijlage 8 Afstromingscoëfficiënten**
- **Bijlage 9 Afstromingskaarten**
- **Bijlage 10 Bodemmateriële Zeist-Zeist (Wijk Brugakker)**
- **Bijlage 11 Bodemmateriële Zeist-Noord (Verzetlaan/ Vrijheidspaleis)**
- **Bijlage 12 Bodemmateriële Hendrik-Ido-Ambacht**
- **Bijlage 13 Stijghoogtekaarten Gemeente Zeist en Gemeente Hendrik-Ido-Ambacht**
- **Bijlage 14 Rekentabel Zeist-Zuid**
- **Bijlage 15 Rekentabel Zeist-Noord**
- **Bijlage 16 Rekentabel Hendrik-Ido-Ambacht**
- **Bijlage 17 Model Zeist-Zuid**
- **Bijlage 18 Model Zeist-Noord (huidige situatie)**
- **Bijlage 19 Model Zeist-Noord (toekomstige situatie)**
- **Bijlage 20 Model Hendrik-Ido-Ambacht (huidige situatie)**
- **Bijlage 21 Model Hendrik-Ido-Ambacht (toekomstige situatie)**

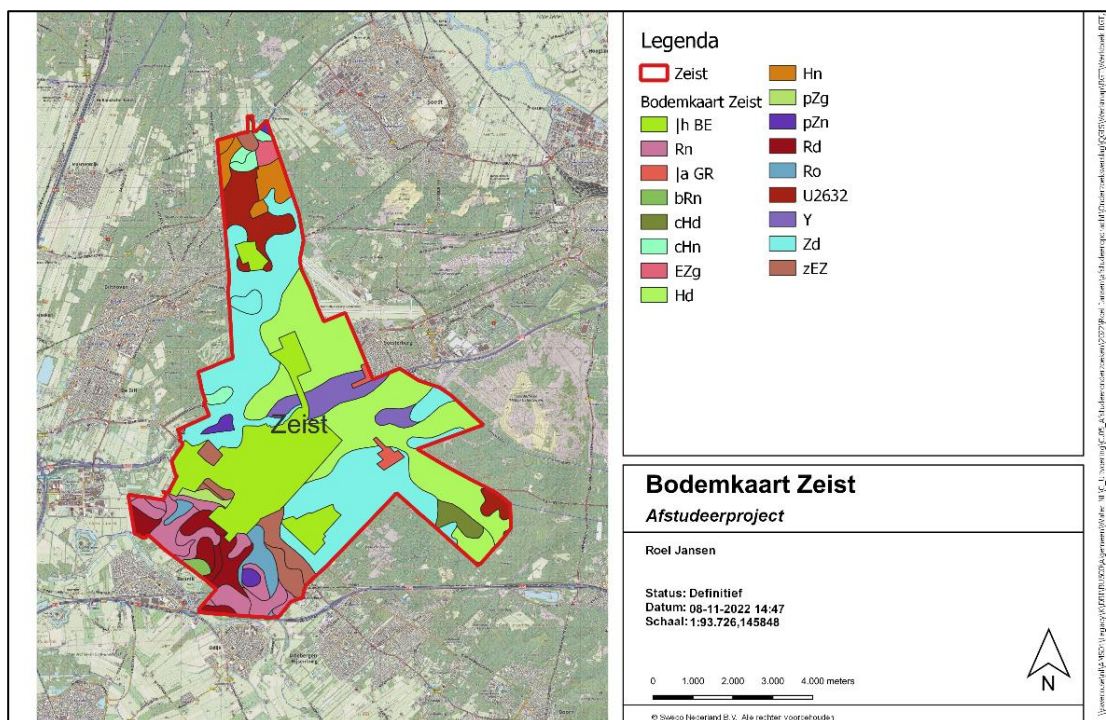
Bijlage 1 Toelichting Kaarten Zeist

De hoogtekkaart heeft binnen Zeist grote verschillen (zie Figuur 29). Zo heeft het zuidwesten van Zeist een maaiveld rond de 0 m NAP en Zeist-Oost bevindt zich zelfs rond de +30 m NAP. Aan de noordwestkant van Zeist ligt de Utrechtse Heuvelrug waar NAP-hoogte +30 m is. Aan de zuidkant van Zeist bevindt zich de Kromme Rijn waar de NAP-hoogte rond de 0 m NAP is. Dit duidt op een rivierengebied.



Figuur 29 Bodemkaart Zeist

In figuur 30 is de bodemkaart van Zeist weergegeven. In het zuidwesten van Zeist bevinden voornamelijk de gronden Rn, Ro en Rd gronden. Dit zijn kleigronden naast de Kromme Rijn. In het noordelijk gebied van Zeist, in en rondom de Utrechtse Heuvelrug, zijn totaal andere gronden. Hier bevinden zich zandgronden zoals Zd, Hn en Hd. Hierdoor valt op dat binnen gemeente Zeist veel verschillende bodemsoorten bevinden.

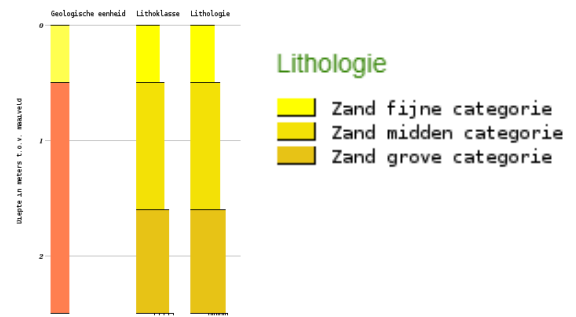


Figuur 30 Bodemkaart Zeist

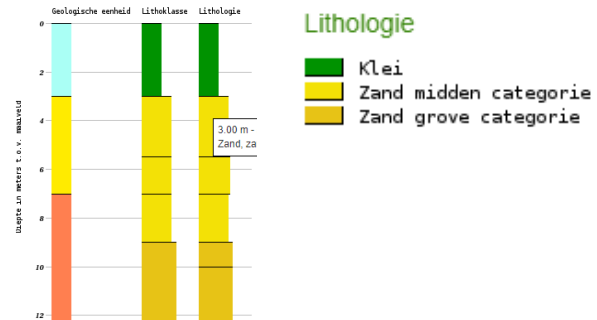
In Dinoloket (Dinoloket, 2022) kan nogmaals bewezen worden dat het noorden bestaat uit een zandbodem. Zie figuur 31 voor de zandbodem in het noorden van de gemeente. Figuur 32 geeft aan dat in het zuiden van Zeist overal de eerste laag van de bodem uit klei bestaat. Alle kleine zwarte stukjes in de grote kaart (figuur 35) zijn zinloze verhardingsstukjes.

In gemeente Zeist zijn er 1650 vlakken gemaakt die aan alle voorwaarden voldoen. Dit is de gemeente met de meeste vlakken van de vier casusgebieden die zijn uitgekozen.

Ook zijn een tweetal potentiële straten uitgezocht waarin zinloze verhardingsvakken met een hoge prioritering bevinden. Figuur 33 hoort bij de zandbodem (zie Figuur 30) en ligt in het noorden van Zeist. Figuur 34 ligt in het zuiden van Zeist en heeft een kleilaag in de bodem, zoals in figuur 31.



Figuur 31 Bodemopbouw Zeist-Noord (Dinoloket, 2022)



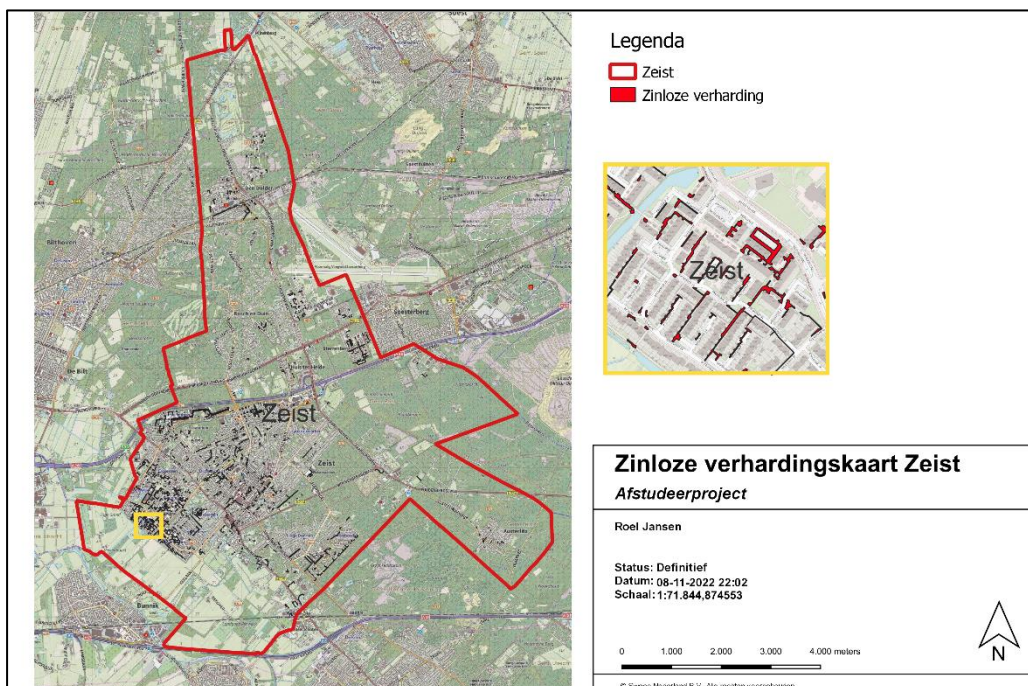
Figuur 32 Bodemopbouw Zeist-Zuid (Grondwatertools, 2022)



Figuur 33 Straat met zinloze verharding Zeist-Noord



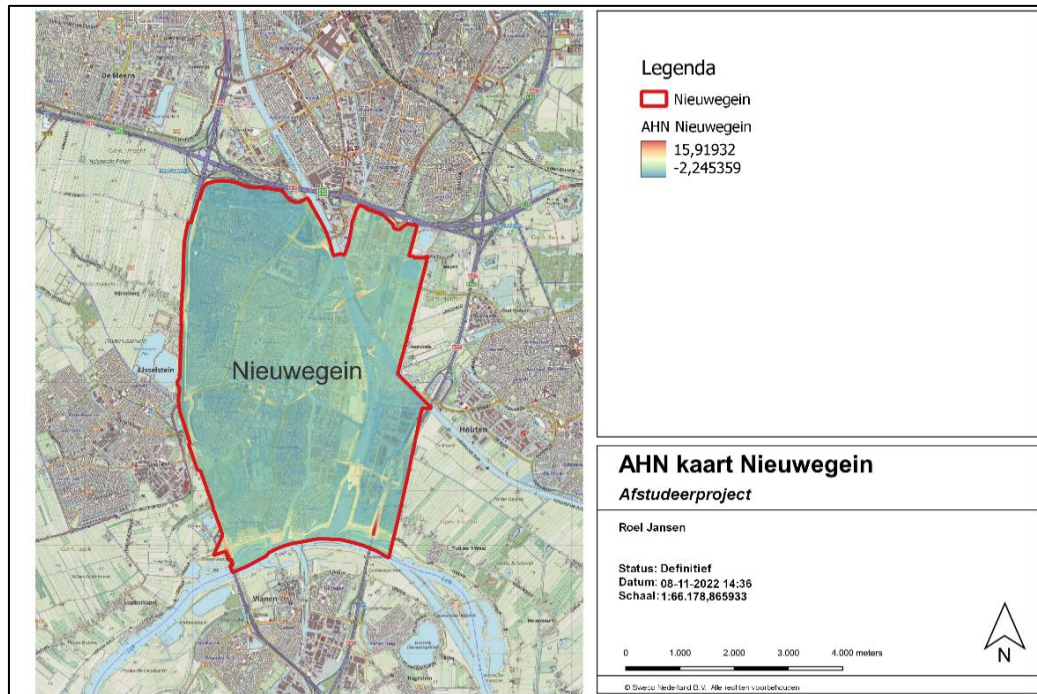
Figuur 34 Wijk met zinloze verharding in Zeist-Zuid



Figuur 35 Zinloze verhardingskaart gemeente Zeist

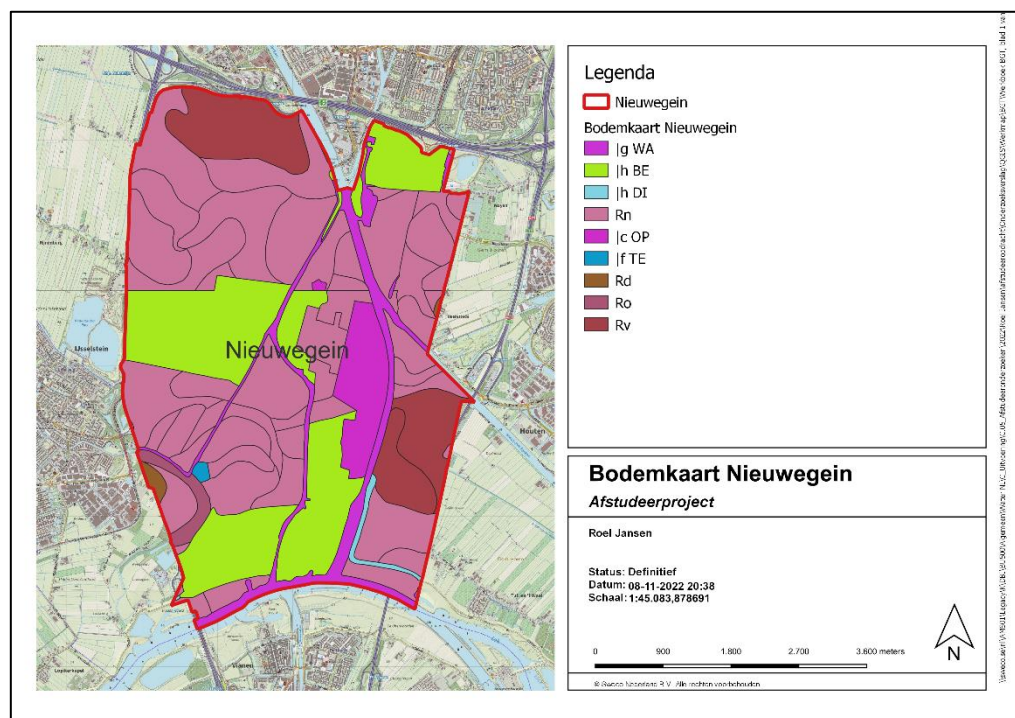
Bijlage 2 Toelichting kaarten Nieuwegein

Gemeente Nieuwegein heeft een gelijke maaiveldhoogte met uitzondering van de wegen. Over het algemeen bevindt de NAP-hoogte tussen de 0 en 1.5 m NAP (zie Figuur 36). Dit betekent dat Nieuwegein een laaggelegen gebied is. De gemeente Nieuwegein heeft een hoge grondwaterstand en heeft veel oppervlaktewater.



Figuur 36 Hoogtekaart gemeente Nieuwegein

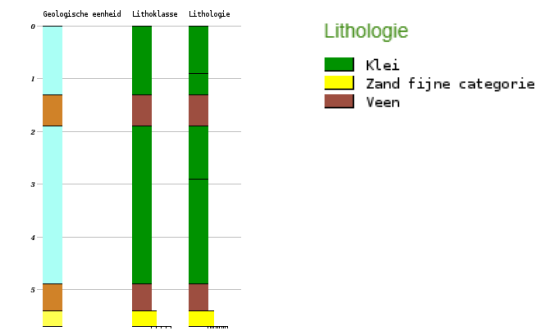
Uit de bodemkaart (zie Figuur 37) van gemeente Nieuwegein blijkt dat de gemeente vooral bestaat uit Rn- en Rv gronden. De donkerroze kleur in de afbeelding is de grond Rn44C. Dit is een kalkloze poldervaaggrond wat bestaat uit zware klei. Daarnaast zijn de overige Rd, Ro en Rv typen ook soorten klei. De gemeente Nieuwegein bestaat dus voornamelijk alleen uit klei.



Figuur 37 Bodemkaart gemeente Nieuwegein volledig

Uit boringen die zijn genomen en op de website van Dinoloket staan, blijkt dat Nieuwegein veel klei- en veenlagen bevat. Een boring ziet eruit als Figuur 38.

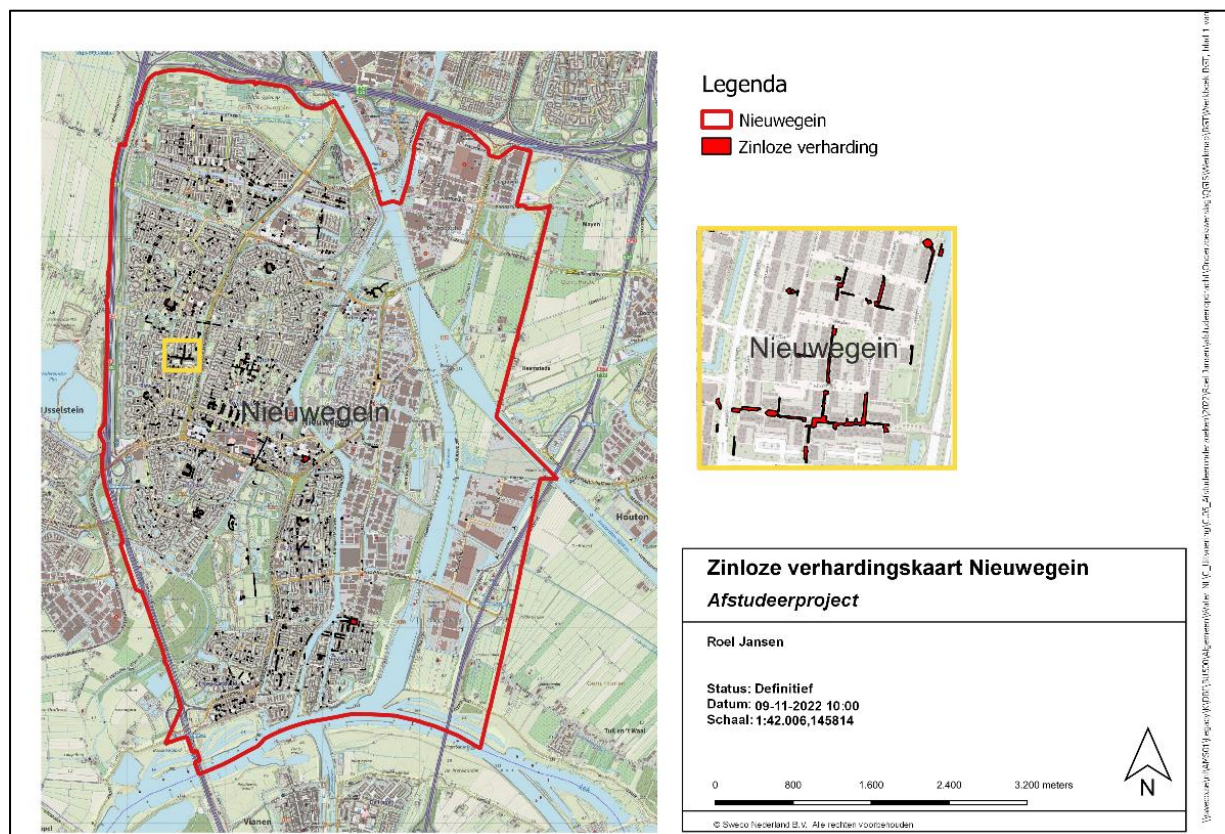
In Nieuwegein zijn 1084 vlakken (zie Figuur 40) die volgens de zinloze verhardingstool aan alle eisen voldoen. In figuur 39 is een potentiële straat afgebeeld die veel zinloze verharding bevat en dus een hoge prioritering heeft. Daarnaast bevindt de straat zich rondom oppervlaktewater wat ideaal voor het model is om als boundary te gebruiken.



Figuur 38 Bodemopbouw Nieuwegein (Dinoloket, 2022)



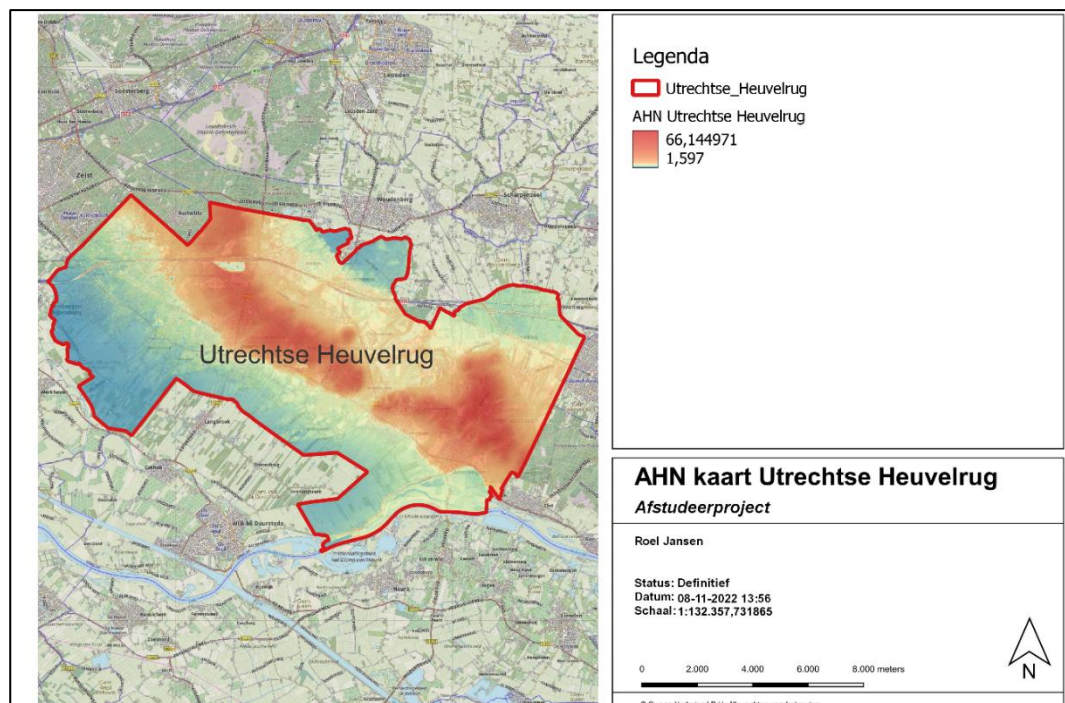
Figuur 39 Straat met zinloze verharding Nieuwegein



Figuur 40 Zinloze verhardingskaart gemeente Nieuwegein

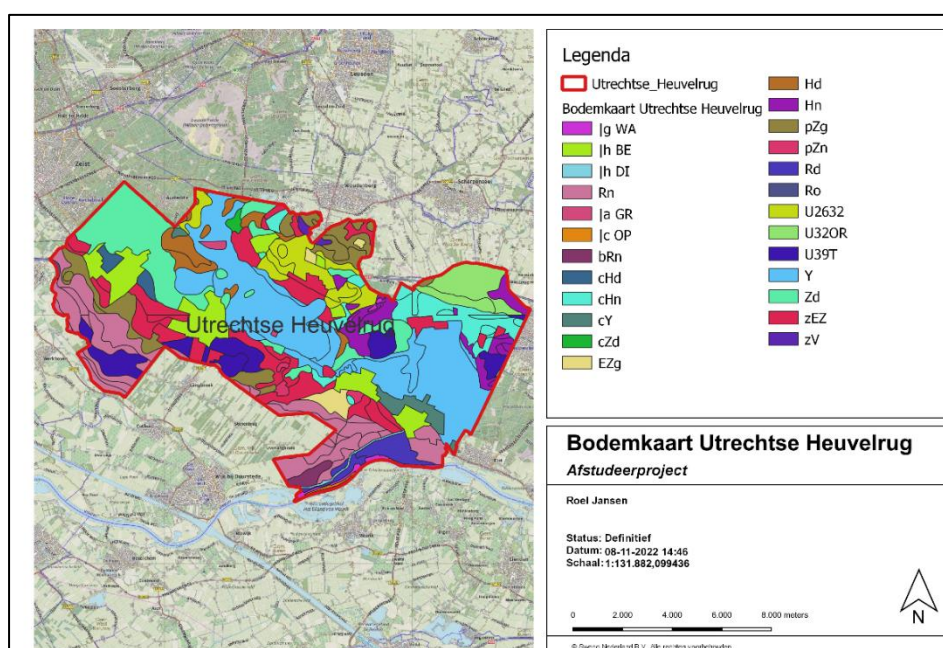
Bijlage 3 toelichting gemeente Utrechtse Heuvelrug kaarten

De gemeente Utrechtse Heuvelrug heeft een zeer grote variatie in hoogte. De hoogtekaart (zie Figuur 41) laat zien dat de gemeente voornamelijk bestaat uit de Utrechtse Heuvelrug die een hoogtepunt van +66 m NAP heeft. Het zuiden van de gemeente is veel lager dat richting de Neder-Rijn loopt. Het laagste punt ligt hier rond de 1.5 m NAP.



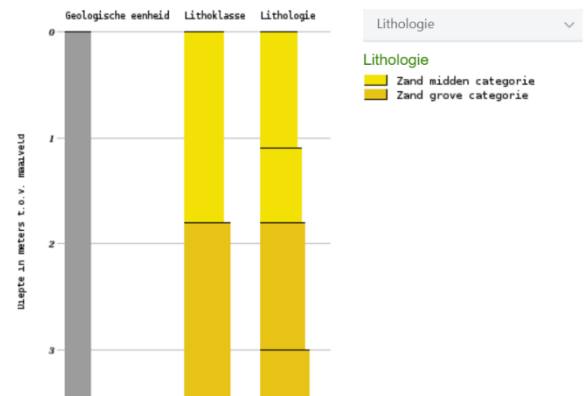
Figuur 41 Hoogtekaart gemeente Utrechtse Heuvelrug

Uit de bodemkaart (zie Figuur 42) is af te lezen dat de Utrechtse Heuvelrug bestaat voornamelijk uit zandgronden, meer richting de rivier zijn er nog enkele kleigronden. De grote blauwe kleur Y30 is een holtpodzolgrond met grof zand. Op de Utrechtse heuvelrug liggen naast Y30 omheen nog andere zandgronden. Ten zuiden van de Utrechtse Heuvelrug liggen aan de rivier kleigrond met typen Rn en Rd.



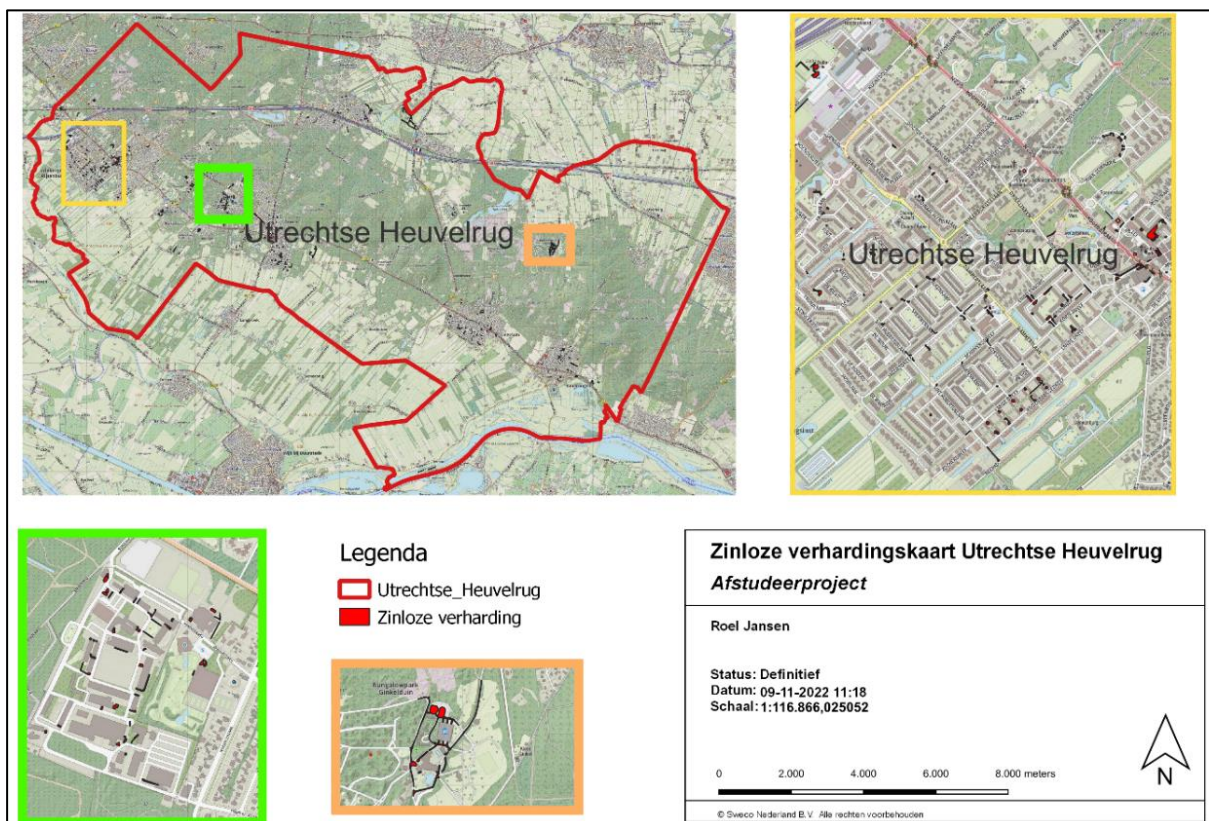
Figuur 42 Bodemkaart gemeente Utrechtse Heuvelrug

Elke boring die op de Utrechtse Heuvelrug genomen bestaat alleen uit zand zoals in figuur 43 is weergegeven.



Figuur 43 Bodemopbouw gemeente Utrechtse Heuvelrug (Dinoloket, 2022)

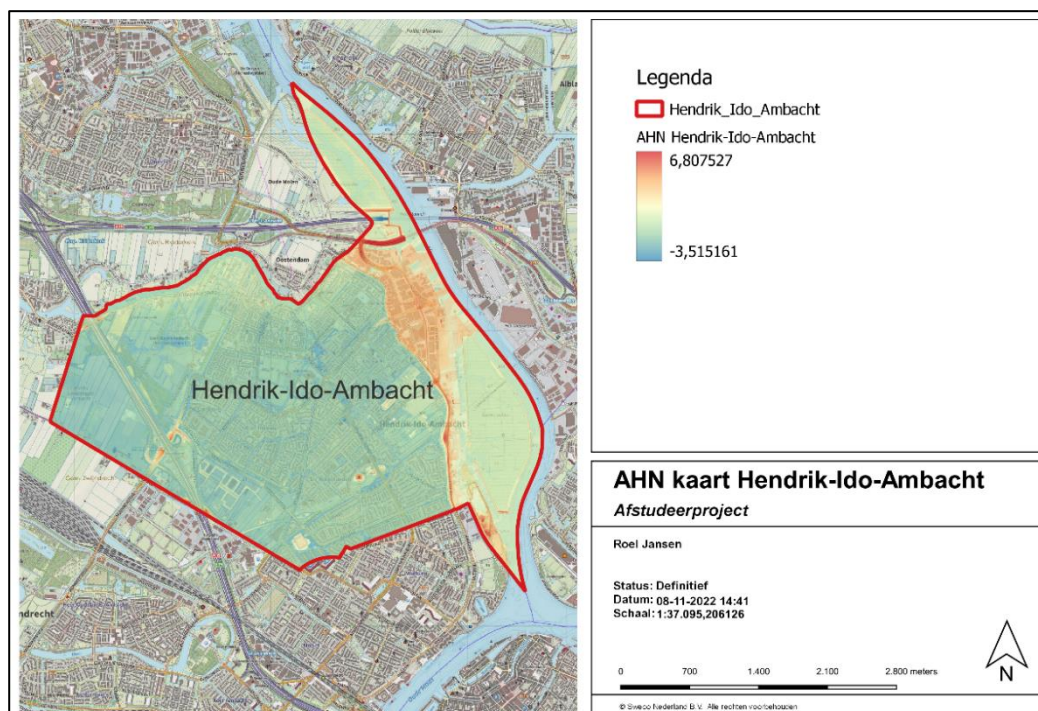
Naast het feit dat de gemeente een bijzondere zandbodem heeft met een lage grondwaterstand bevat de gemeente erg weinig zinloze verharding. Uit de vier gemeenten heeft de gemeente Utrechtse Heuvelrug het grootste oppervlak maar heeft het toch weinig zinloze verhardingsvlakken, namelijk 587 (zie Figuur 44). Door het kleine aantal vierkante meter zinloze verharding bestaat hier geen goede mogelijkheid om een straat te selecteren die in het model kan komen. Er is weinig zinloze verharding omdat de Utrechtse Heuvelrug al een erg groen gebied met ruim opgezette dorpen. Hierin staan veel villa's in het bosgebied waar veel groen is. Daarnaast is Zeist-Oost een vergelijkbaar gebied. Het heeft namelijk dezelfde soort zandbodem dat op een hoog NAP ligt met een diepe grondwaterstand. Zeist-Oost sluit aan op de gemeente Utrechtse Heuvelrug.



Figuur 44 Zinloze verhardingskaart gemeente Utrechtse Heuvelrug

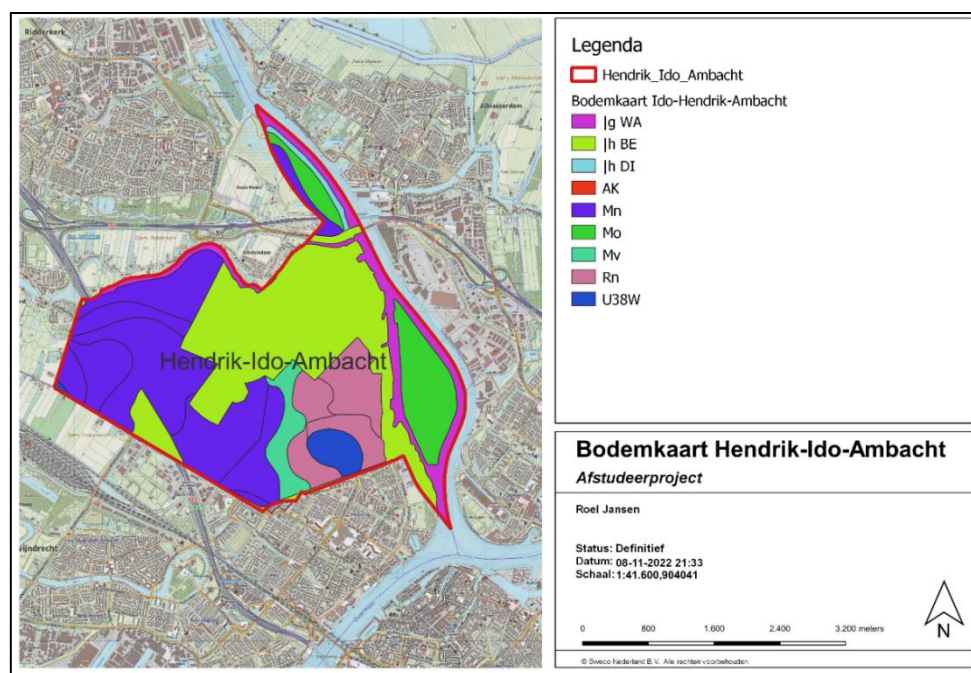
Bijlage 4 Toelichting Kaarten Hendrik-Ido-Ambacht

De gemeente Hendrik-Ido-Ambacht ligt in Zuid-Holland en de NAP-peil ligt hoofdzakelijk onder NAP (zie Figuur 45). Alleen de dijk langs de rivier De Noord bevindt zich enkele meters boven NAP. Daarnaast heeft de gemeente erg veel oppervlaktewater en ligt het grotendeels aan de rivier. Dit betekent dat de grondwaterstand erg hoog is.



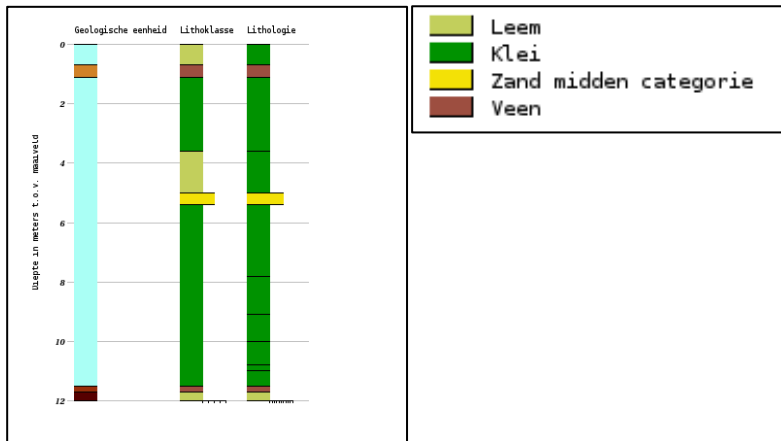
Figuur 45 Hoogtekaart gemeente Hendrik-Ido-Ambacht

In figuur 46 is de bodemkaart van Hendrik-Ido-Ambacht weergegeven. Deze gemeente bestaat voornamelijk uit klei. Zo is de grote paarse oppervlakte het type Mn met het nummer 35, 45 en 86 wat een kleibodem is. Het lichtgroene is bebouwing en de overige kleuren zoals Mv en Rn zijn ook kleibodems zoals de liedeerdgrond en poldervaaggronden.

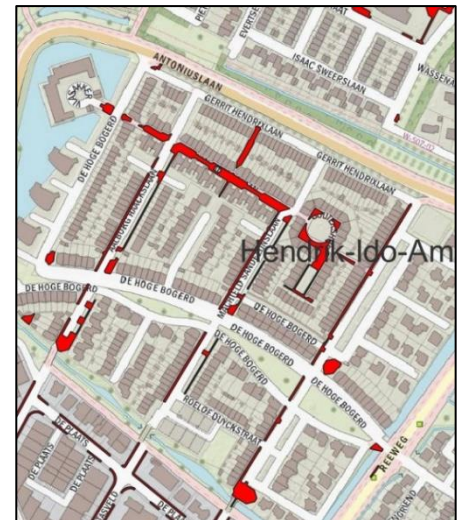


Figuur 46 Bodemkaart gemeente Hendrik-Ido-Ambacht

De boringen die op Dinoloket staan geven duidelijk weer wat verwacht kan worden van de bodem in Hendrik-Ido-Ambacht (zie Figuur 47). De bodem bestaat uit klei met af en toe een kleine laag veen of zand. Na het onderzoeken van potentiële straten in de gemeente bevat de straat in figuur 48 veel zinloze verharding. Daarnaast kan de staat in het model worden afgesloten door twee watergangen waardoor het een ideaal bakjes model is.

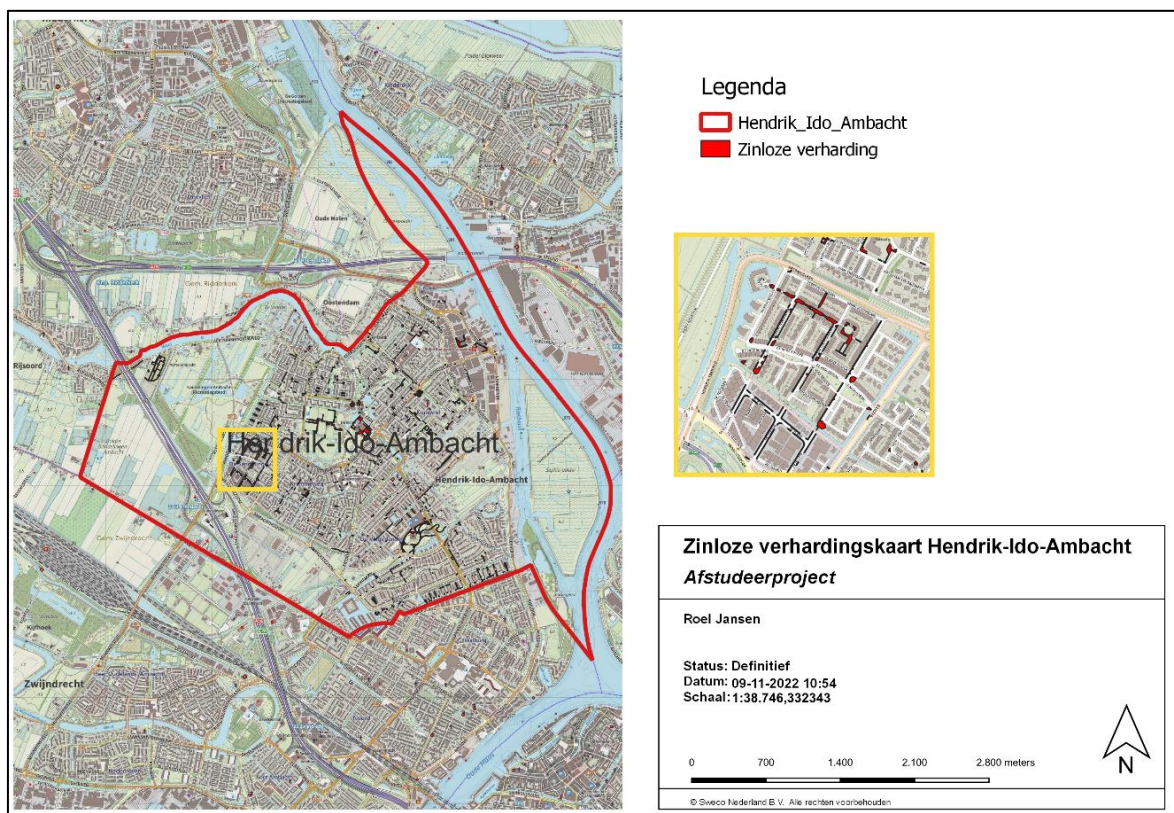


Figuur 47 Bodemopbouw gemeente Hendrik-Ido-Ambacht (Dinoloket, 2022)



Figuur 48 Straat met zinloze verharding Gemeente Hendrik-Ido-Ambacht

De gemeente Hendrik-Ido-Ambacht is de kleinste gemeente van de vier. Het heeft alsnog 582 zinloze verhardingsvlakken en door te kijken naar het bebouwd gebied valt er veel te vergroenen (zie Figuur 49).



Figuur 49 Zinloze verhardingskaart gemeente Hendrik-Ido-Ambacht

Bijlage 5 zinloze verharding Zeist Verzetlaan/Vrijheidsplein verschillen vroeger (links) & nu (rechts)



Bijlage 6 Zinloze verharding Zeist-Zuid Wijk Brugakker



Bijlage 7 Zinloze verharding Hendrik-Ido-Ambacht



Bijlage 8 Afstromingscoëfficiënten

Onderzoek SEV (Stuurgroep Experimentele Volkshuisvesting)

De SEV (1996) heeft een afstromingscoëfficiënt voor een aantal verschillende type daken gegeven. Deze zijn gegeven in onderstaande tabel 4.1.

<i>dakoppervlak</i>	<i>afstromingscoëfficiënt C_e [-]</i>
geglazuurde dakpannen	0,95
zadeldak met keramische pannen op betonpannen	0,9
plattendak zonder grind	0,7-0,8
plattendak met grind	0,6
vegetatiedak	0,2

Tabel 4.1: Afstromingscoëfficiënt C_e voor verschillende type dakoppervlak (SEV, 1996).

<i>oppervlakte type</i>	<i>afstromingscoëfficiënt C_e [-]</i>
houtelementen, platte daken	0,50 - 0,70
asfaltwegen en -voetpaden	0,85 - 0,90
klinkers	0,75 - 0,85
open klinkers	0,25 - 0,60
steenslag-straten en kleinplaveisel	0,25 - 0,60
grindweg	0,15 - 0,30
niet aangesloten verharding, stations	0,10 - 0,20
parken en tuinen	0,05 - 0,10

Tabel 4.2: Afstromingscoëfficiënten (C_e) voor verschillende typen verharding en bebouwing (Geiger en Dreiseitl (1995) volgens ATV (1982)).

Onderzoek Martz

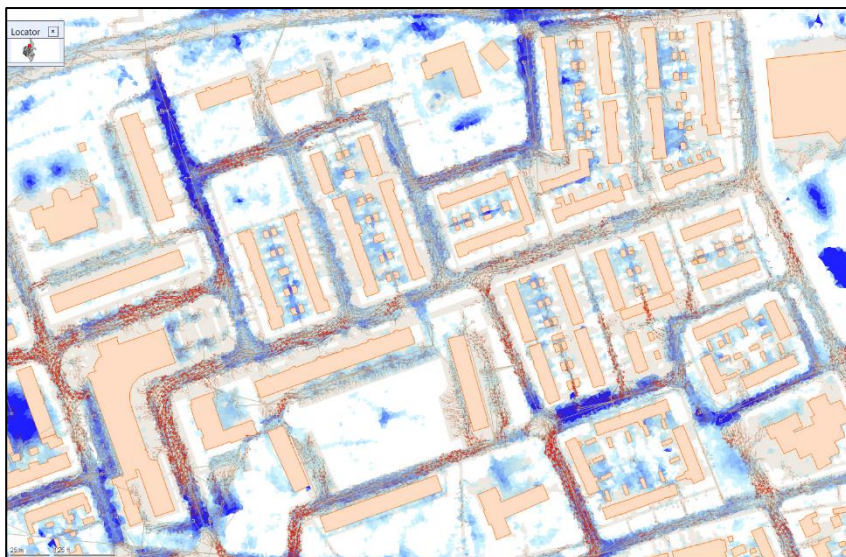
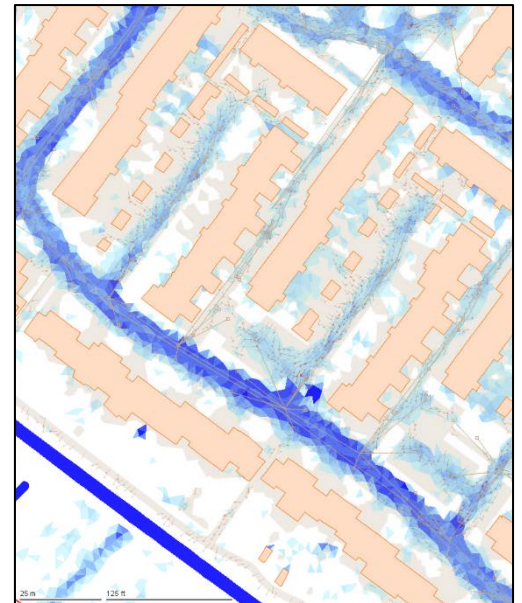
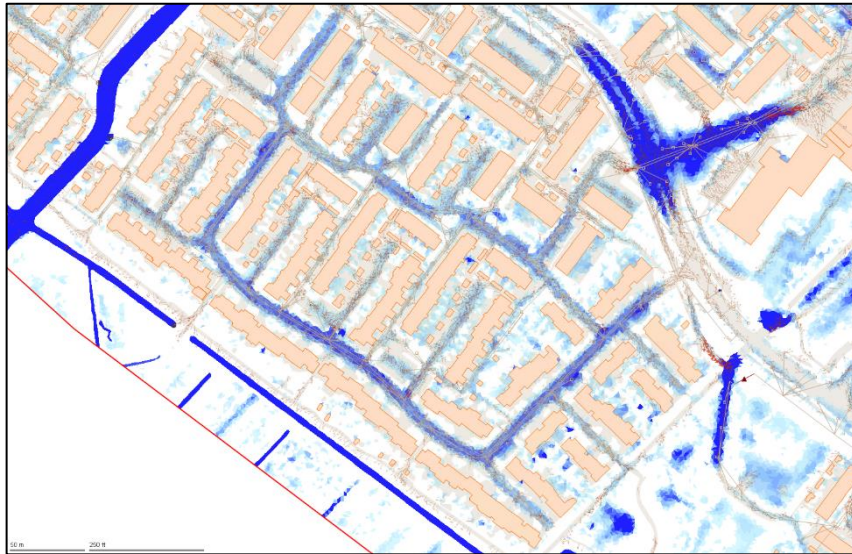
Martz (1995) heeft onderzoek verricht naar de afstroming van verschillende oppervlaktetypen. De resultaten van de afstromingscoëfficiënt C_e zijn gegeven in tabel 4.3.

Daken kennen de hoogste afstroming, parken de laagste.

<i>oppervlakte type</i>	<i>afstromingscoëfficiënt C_e [-]</i>
daken	0,85 - 0,95
aangesloten straten en pleinen	0,8 - 0,9
niet aangesloten straten en pleinen	0,1 - 0,3
parken en sportparken	0,0 - 0,1

Tabel 4.3: Afstromingscoëfficiënten (C_e) voor verschillende typen verharding (Martz, 1995).

Bijlage 9 Afstromingskaarten



Legenda

De snelheid van de afstroompijlen (m/s)

- < 0
- >= 0
- >= 0.05
- >= 0.25
- >= 0.375
- >= 0.5
- >= 0.83333337
- >= 1.16666675
- >= 1.5

Water op straat (m)

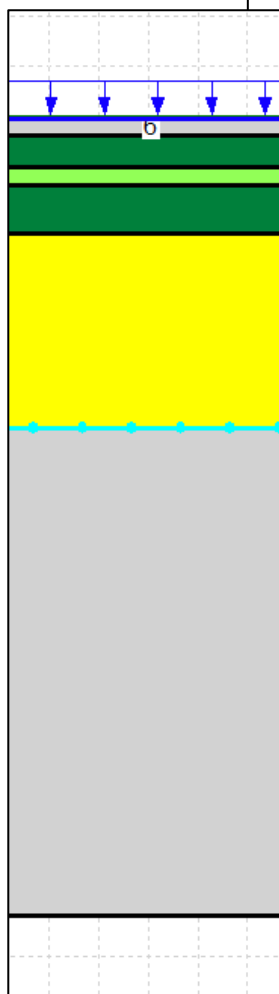
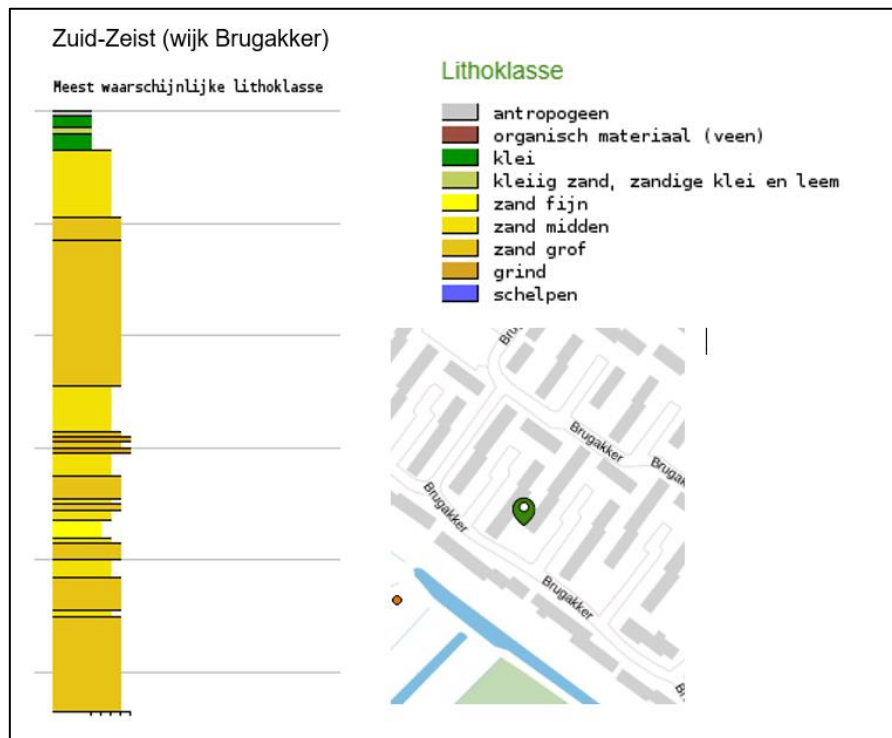
- < 0
- >= 0
- >= 0.02
- >= 0.04
- >= 0.06
- >= 0.08
- >= 0.1
- >= 0.12
- >= 0.14
- >= 0.16
- >= 0.18000001
- >= 0.2



Stroombanen regenwater

- Beperkte afstroming
- Sterke afstroming

Bijlage 10 Bodemmaterialen Zuid-Zeist (Wijk Brugakker)



Materials

Name	Color
Zand midden	
Zand grof	
kleiig zand, zandige klei en leem	
Klei	

Hydraulic

Material Model: Saturated / Unsaturated

Vol. Water Content Fn: B10 lichte klei, Ks=0.0117 m/d

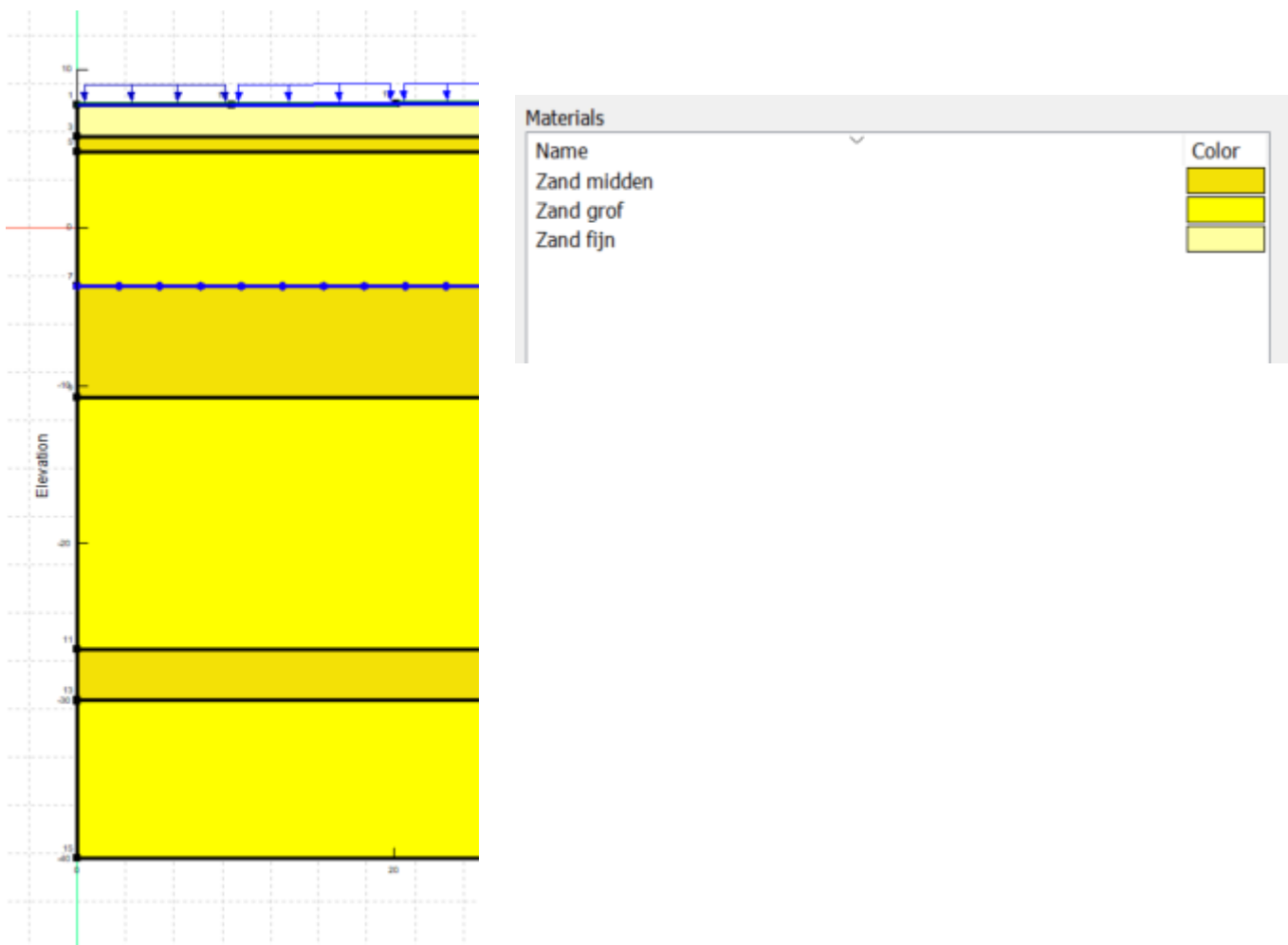
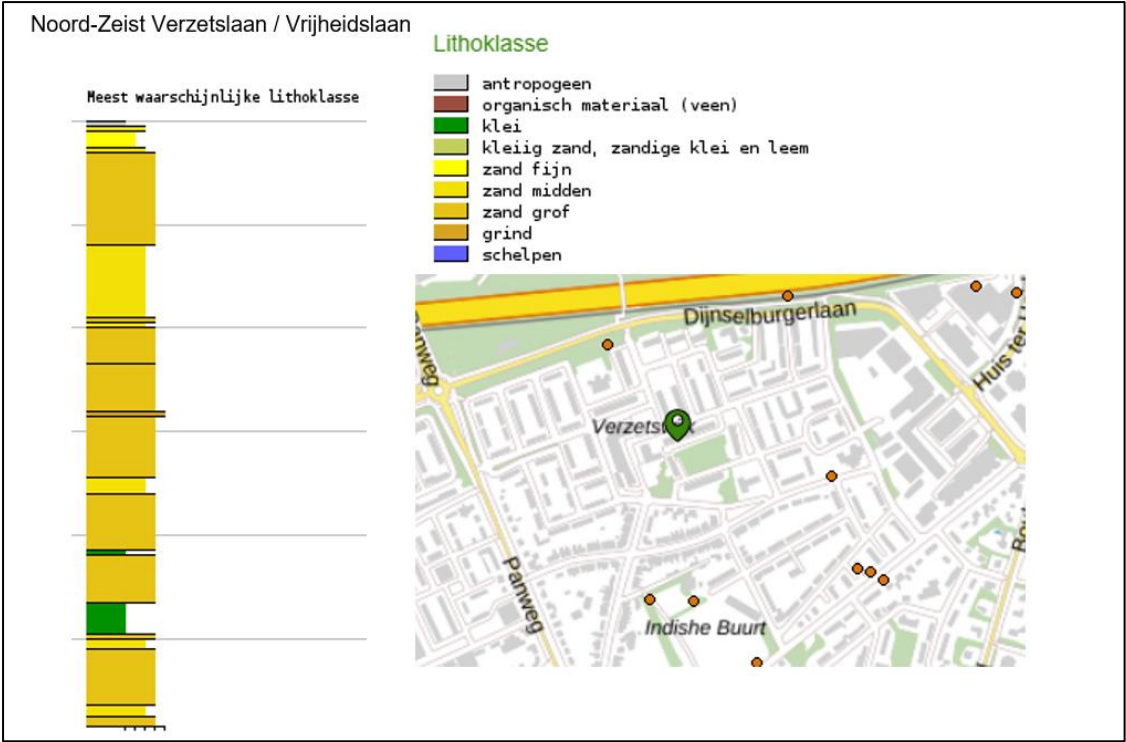
Hyd. Conductivity Fn: B10 lichte klei, Ks=0.0117 m/d

Anisotropy

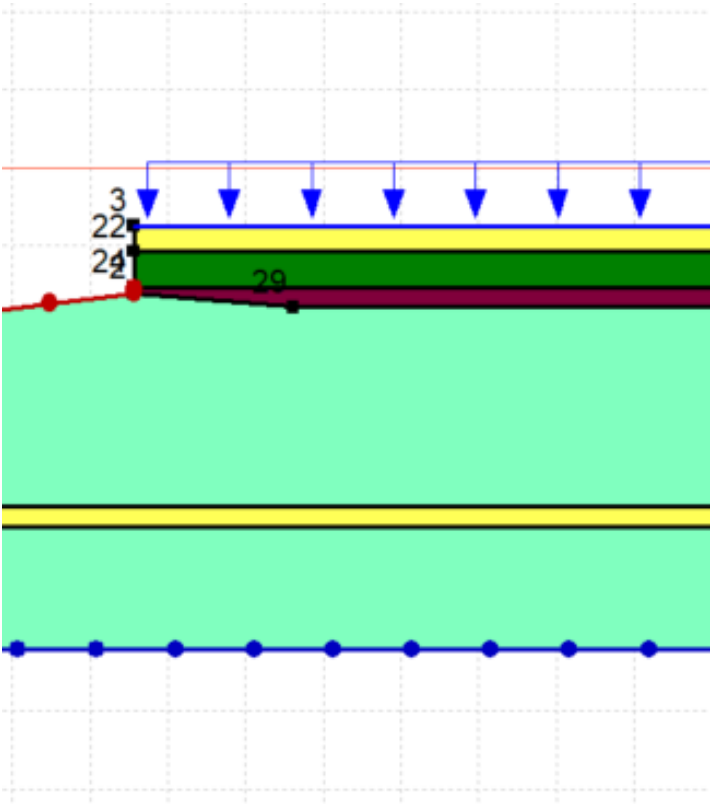
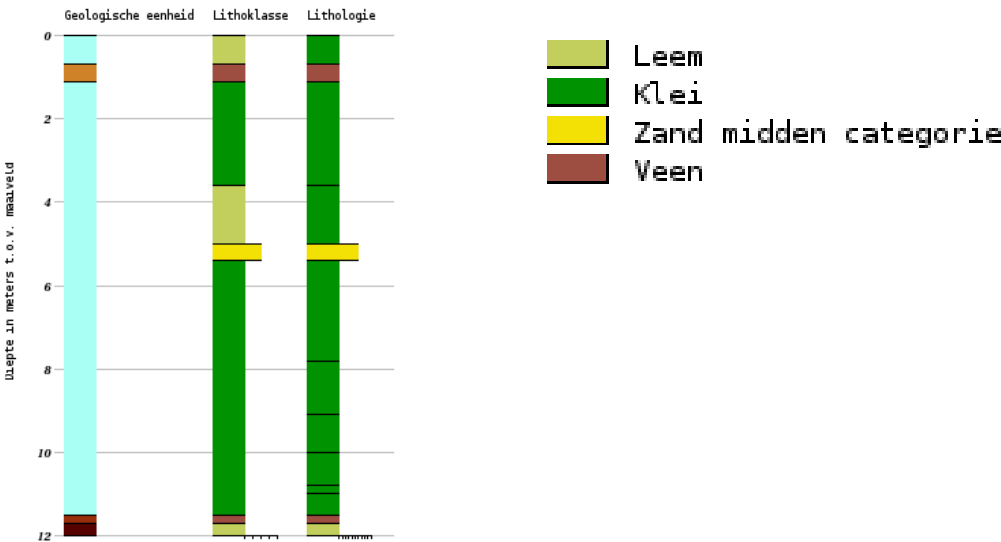
Ky'/Kx' Ratio: 0,1 Rotation: 0 °

☐ Activation PWP: 0 kPa

Bijlage 11 Bodemmaterialen Noord-Zeist (Verzetslaan/ Vrijheidsplein)



Bijlage 12 Bodemmaterialen Hendrik-Ido-Ambacht



Materials

Name

Zand grof

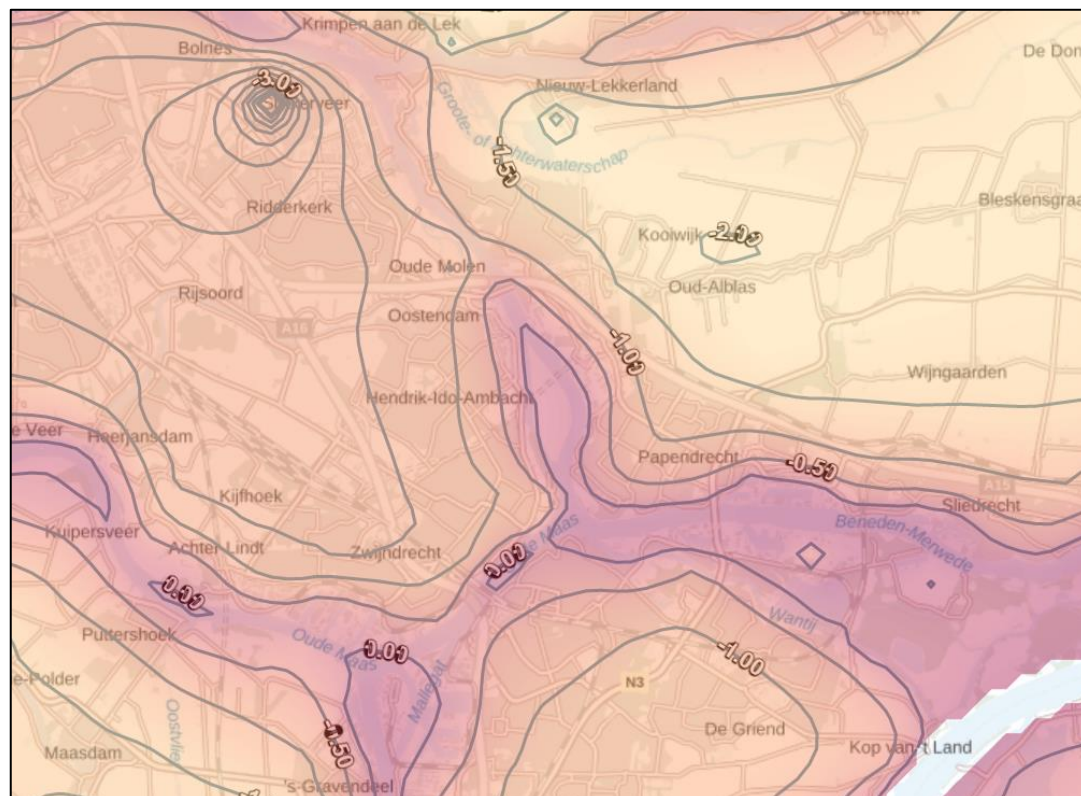
Veen

Klei (onder gws)

Klei

C...

Bijlage 13 Stijghoogtekaarten Gemeente Zeist (boven) en Gemeente Hendrik-Ido-Ambacht (onder)



Bijlage 14 Rekening Zeist-Zuid

Sectie	Tot. Opp(m2)	Groen(%)	Groen(m2)	opp infiltreert(m2)	Stoep (%)	Stoep(m2)	opp infiltreert (m2)	Wegdek (%)	Wegdek (m2)	opp. Infilteert(m2)	Parkeerplaats (%)	Parkeerplaats(m2)	opp infiltreert (m2)	Gebouw/huis (%)	Gebouw (m2)	opp infiltreert(m2)	Tot. M2 infiltratie	M3/d/m2 neerslag
1	625,0	0,8	500,0	450,0	0,2	125,0	31,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	481,3	0,053900
2	300,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	300	30	30,0	0,007000
3	160,0	0,6	96,0	86,4	0,4	64,0	16,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	102,4	0,044800
4	200,0	0,0	0,0	0,0	1,0	200,0	50,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	50,0	0,017500
5	272,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	272,0	27,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	27,2	0,007000
6	1743,0	0,3	435,8	392,2	0,7	1220,1	305,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	697,2	0,028000
7	270,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	270,0	27,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	27,0	0,007000
8	430,0	0,3	129,0	116,1	0,7	301,0	75,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	191,4	0,031150
9	120,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	120	12	12,0	0,007000
....																		

1	625,0	0,8	500,0	450,0	0,2	125,0	31,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	481,3	0,053900
2	300,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	300	30	30,0	0,007000
3	160,0	0,6	96,0	86,4	0,4	64,0	16,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	102,4	0,044800
4	200,0	0,0	0,0	0,0	1,0	200,0	50,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	50,0	0,017500
5	272,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	272,0	27,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	27,2	0,007000
6	1743,0	0,5	871,5	784,4	0,5	871,5	217,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	1002,2	0,040250
7	270,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	270,0	27,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	27,0	0,007000
8	430,0	0,3	129,0	116,1	0,7	301,0	75,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	191,4	0,031150
9	120,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	120	12	12,0	0,007000

Hierbij is sectie 6, de sectie waarbij zinloze verharding is verwijderd en vergroend.

Functie:	Infiltratiecoëfficiënten (%)
Groen	0,9
Stoep	0,25
Wegdek	0,1
Parkeerplaats	0,2
Gebouw	0,1

Neerslag 70 mm/d

Bijlage 15 Rekentabel Zeist-Noord

Sectie	Tot. Opp(m2)	Groen(%)	Groen(m2)	opp infiltreert(m2)	Stoep (%)	Stoep(m2)	opp infiltreert (m2)	Wegdek (%)	Wegdek (m2)	opp. Infiltreert(m2)	Parkeerplaats (%)	Parkeerplaats(m2)	opp infiltreert (m2)	Gebouw/huis (%)	Gebouw (m2)	opp infiltreert(m2)	Tot. M2 infiltratie	M3/d/m2 neerslag
1	660,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	660,00	66,00	66,0	0,007000
2	183,0	0,10	18,30	16,47	0,90	164,70	41,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	57,6	0,022050
3	220,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	220,00	22,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	22,0	0,007000
4	1289,0	0,10	128,90	116,01	0,45	580,05	145,01	0,35	451,15	45,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	306,1	0,016625
5	1885,0	0,15	282,75	254,48	0,25	471,25	117,81	0,35	659,75	65,98	0,25	471,25	94,25	0,00	0,00	0,00	532,5	0,019775
6	40203,0	0,15	6030,45	5427,41	0,15	6030,45	1507,61	0,70	28142,10	2814,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9749,2	0,016975
7	848,0	0,30	254,40	228,96	0,35	296,80	74,20	0,35	296,80	29,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	332,8	0,027475
8	64,0	0,15	9,60	8,64	0,15	9,60	2,40	0,70	44,80	4,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,5	0,016975
9	3069,0	0,10	306,90	276,21	0,35	1074,15	268,54	0,35	1074,15	107,42	0,20	613,80	122,76	0,00	0,00	0,00	774,9	0,017675
10	160,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	160,00	16,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,0	0,007000
11	40,0	0,00	0,00	0,00	1,00	40,00	10,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,0	0,017500
12	56,0	1,00	56,00	50,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	50,4	0,063000

Sectie	Tot. Opp(m2)	Groen(%)	Groen(m2)	opp infiltreert(m2)	Stoep (%)	Stoep(m2)	opp infiltreert (m2)	Wegdek (%)	Wegdek (m2)	opp. Infiltreert(m2)	Parkeerplaats (%)	Parkeerplaats(m2)	opp infiltreert (m2)	Gebouw/huis (%)	Gebouw (m2)	opp infiltreert(m2)	Tot. M2 infiltratie	M3/d/m2 neerslag
1	660,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	660,00	66,00	66,0	0,007000
2	183,0	0,10	18,30	16,47	0,90	164,70	41,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	57,6	0,022050
3	220,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	220,00	22,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	22,0	0,007000
4	1289,0	0,30	386,70	348,03	0,25	322,25	80,56	0,35	451,15	45,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	473,7	0,025725
5	1885,0	0,30	565,50	508,95	0,15	282,75	70,69	0,35	659,75	65,98	0,25	471,25	94,25	0,00	0,00	0,00	739,9	0,027475
6	40203,0	0,15	6030,45	5427,41	0,15	6030,45	1507,61	0,70	28142,10	2814,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9749,2	0,016975
7	848,0	0,30	254,40	228,96	0,35	296,80	74,20	0,35	296,80	29,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	332,8	0,027475
8	64,0	0,15	9,60	8,64	0,15	9,60	2,40	0,70	44,80	4,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,5	0,016975
9	3069,0	0,10	306,90	276,21	0,35	1074,15	268,54	0,35	1074,15	107,42	0,20	613,80	122,76	0,00	0,00	0,00	774,9	0,017675
10	160,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	160,00	16,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,0	0,007000
11	40,0	0,00	0,00	0,00	1,00	40,00	10,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,0	0,017500
12	56,0	1,00	56,00	50,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	50,4	0,063000

Hierbij zijn sectie 4 en 5, de secties waarbij zinloze verharding is verwijderd en vergroend. De bovenste tabel is de huidige situatie en de onderste tabel is de toekomstige situatie (zinloze verharding verwijderd)

Functie:	Infiltratiecoëfficiënten (%)
Groen	0,9
Stoep	0,25
Wegdek	0,1
Parkeerplaats	0,2
Gebouw	0,1

Neerslag 70 mm/d

Bijlage 16 Rekentabel Hendrik-Ido-Ambacht

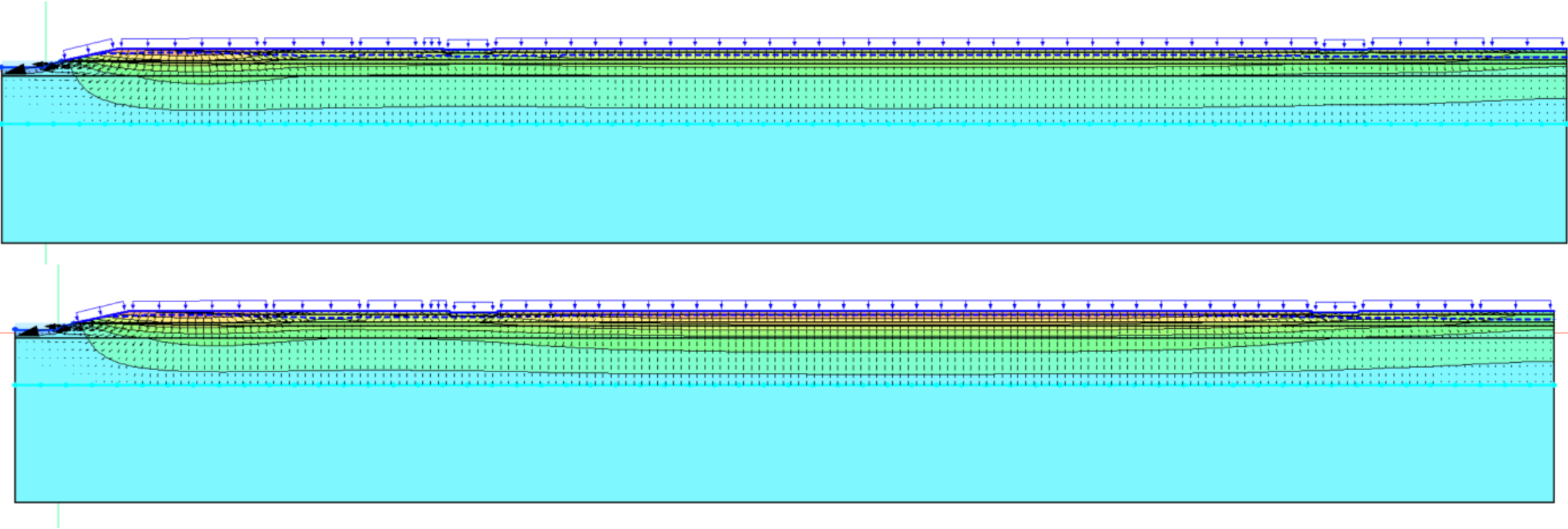
Sectie	Tot. Opp(m2)	Groen(%)	Groen(m2)	opp infiltreert(m2)	Stoep (%)	Stoep(m2)	opp infiltreert (m2)	Wegdek (%)	Wegdek (m2)	opp. Infiltreert(m2)	Parkeerplaats (%)	Parkeerplaats(m2)	opp infiltreert (m2)	Gebouw/huis (%)	Gebouw (m2)	opp infiltreert(m2)	Tot. M2 infiltratie	M3/d/m2 neerslag
1	92,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	92	9	9,2	0,007000
2	1522,0	0,1	152,2	137,0	0,0	0,0	0,0	0,6	913,2	91,3	0,3	456,6	91,3	0,0	0	0	319,6	0,014700
3	1450,0	0,0	0,0	0,0	0,3	435,0	108,8	0,7	1015,0	101,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	210,3	0,010150
4	370,0	0,05	18,5	16,7	0,95	351,5	87,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	104,5	0,019775
5	651,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	651,0	65,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	65,1	0,007000
6	1521,0	0,05	76,1	68,4	0,95	1445,0	361,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	429,7	0,019775
7	694,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	694,0	69,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	69,4	0,007000
8	352,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	352	35	35,2	0,007000
9	1309,0	0,5	654,5	589,1	0,5	654,5	163,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	752,7	0,040250
10	352,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	352	35	35,2	0,007000
11	671,0	0,2	134,2	120,8	0,4	268,4	67,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	268	27	214,7	0,022400
12	321,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	321	32	32,1	0,007000
13	2112,0	0,2	422,4	380,2	0,4	844,8	211,2	0,2	422,4	42,2	0,2	422,4	84,5	0,0	0	0	718,1	0,023800
14	562,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	562	56	56,2	0,007000
15	2639,0	0,3	791,7	712,5	0,4	1055,6	263,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	792	79	1055,6	0,028000
Sectie	Tot. Opp(m2)	Groen(%)	Groen(m2)	opp infiltreert(m2)	Stoep (%)	Stoep(m2)	opp infiltreert (m2)	Wegdek (%)	Wegdek (m2)	opp. Infiltreert(m2)	Parkeerplaats (%)	Parkeerplaats(m2)	opp infiltreert (m2)	Gebouw/huis (%)	Gebouw (m2)	opp infiltreert(m2)	Tot. M2 infiltratie	M3/d/m2 neerslag
1	92,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	92	9	9,2	0,007000
2	1522,0	0,1	152,2	137,0	0,0	0,0	0,0	0,6	913,2	91,3	0,3	456,6	91,3	0,0	0	0	319,6	0,014700
3	1450,0	0,0	0,0	0,0	0,3	435,0	108,8	0,7	1015,0	101,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	210,3	0,010150
4	370,0	0,25	92,5	83,3	0,75	277,5	69,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	152,6	0,028875
5	651,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	651,0	65,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	65,1	0,007000
6	1521,0	0,25	380,3	342,2	0,75	1140,8	285,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	627,4	0,028875
7	694,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	694,0	69,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	69,4	0,007000
8	352,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	352	35	35,2	0,007000
9	1309,0	0,5	654,5	589,1	0,5	654,5	163,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	752,7	0,040250
10	352,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	352	35	35,2	0,007000
11	671,0	0,2	134,2	120,8	0,4	268,4	67,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	268	27	214,7	0,022400
12	321,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	321	32	32,1	0,007000
13	2112,0	0,2	422,4	380,2	0,4	844,8	211,2	0,2	422,4	42,2	0,2	422,4	84,5	0,0	0	0	718,1	0,023800
14	562,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	562	56	56,2	0,007000
15	2639,0	0,3	791,7	712,5	0,4	1055,6	263,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	792	79	1055,6	0,028000

Hierbij zijn sectie 4 en 6, de secties waarbij zinloze verharding is verwijderd en vergroend. De bovenste tabel is de huidige situatie en de onderste tabel is de toekomstige situatie (zinloze verharding verwijderd)

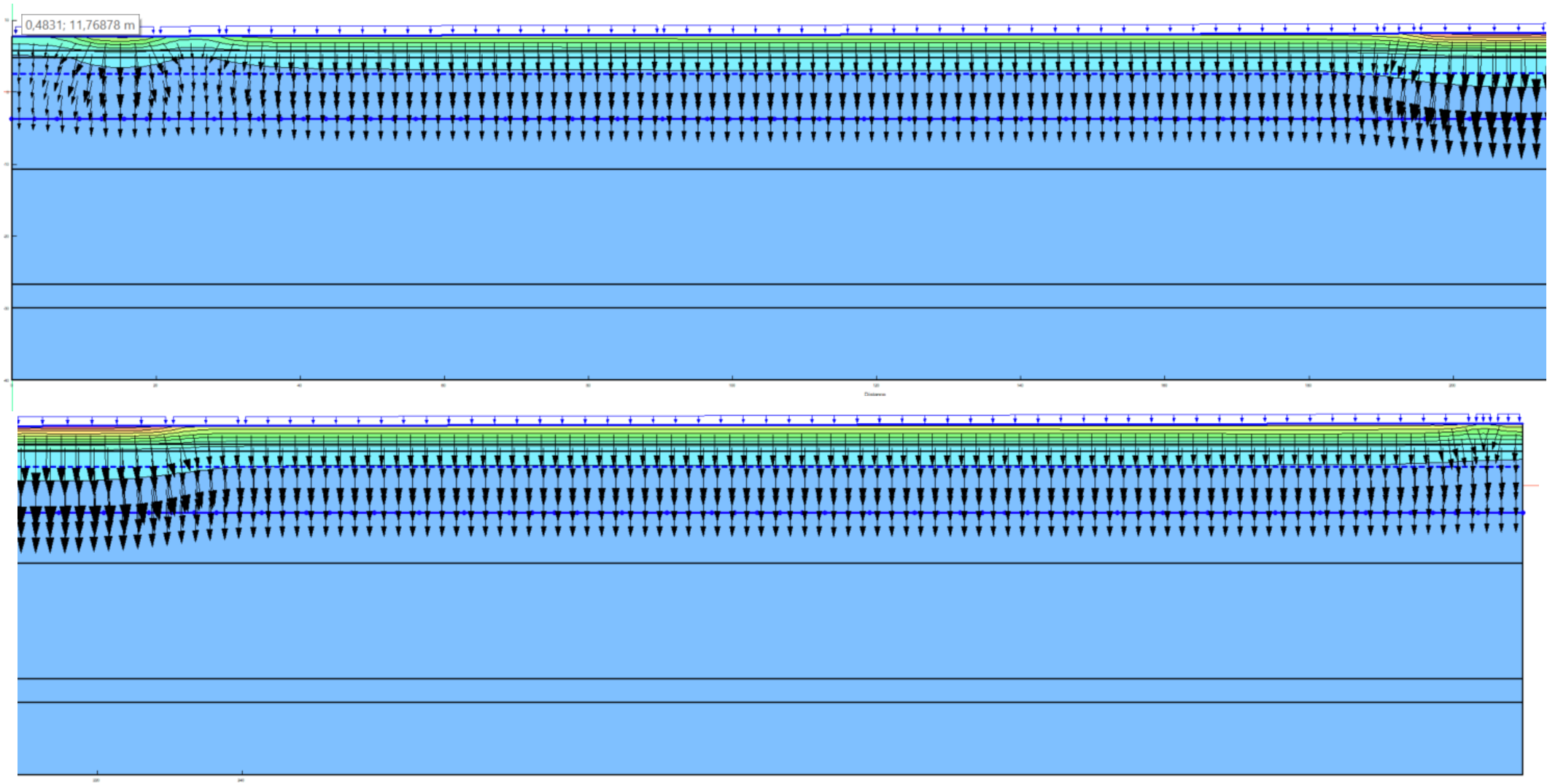
Functie:	Infiltratiecoëfficiënten (%)
Groen	0,9
Stoep	0,25
Wegdek	0,1
Parkeerplaats	0,2
Gebouw	0,1

Neerslag 70 mm/d

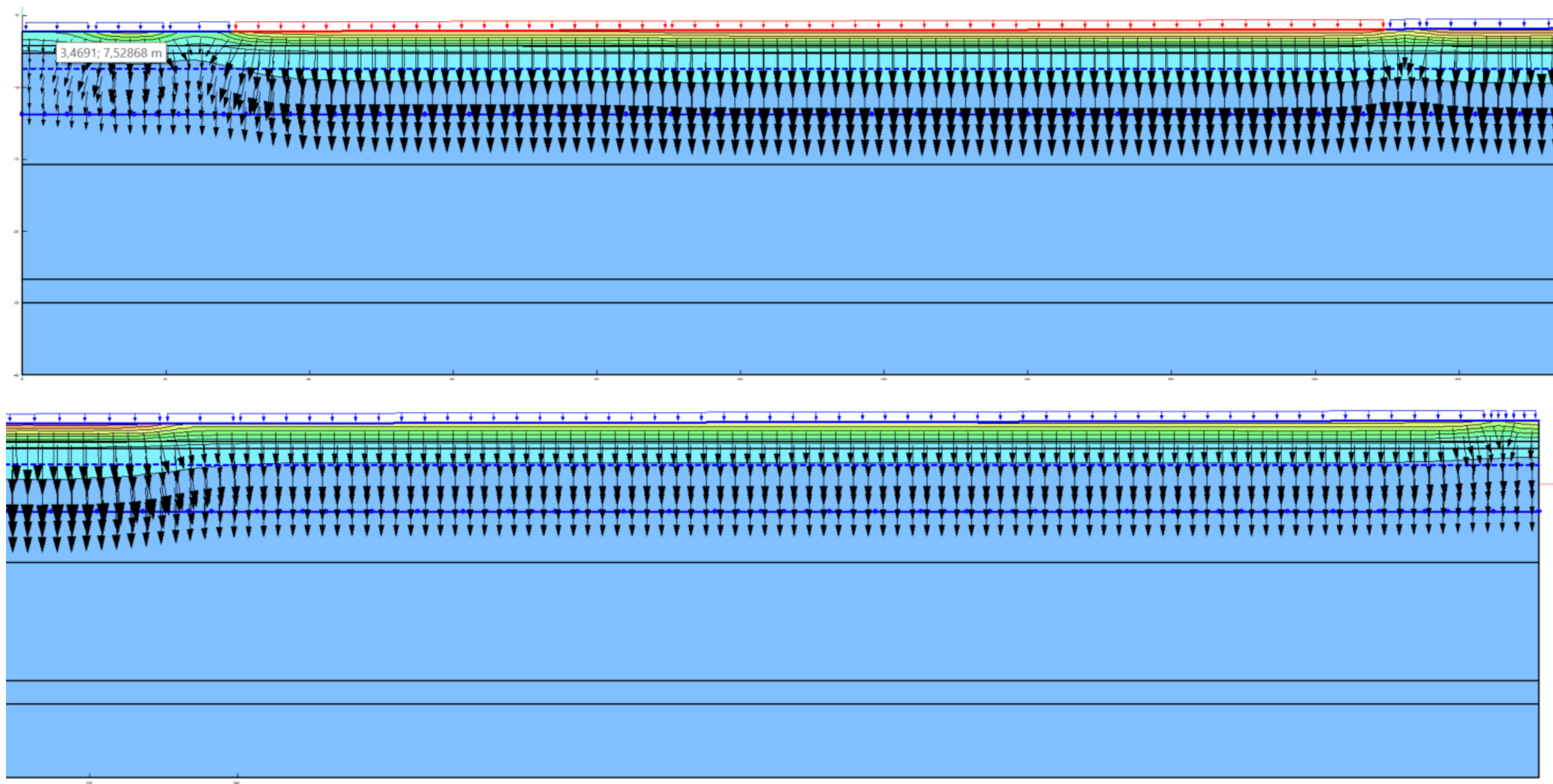
Bijlage 17 Model Zeist-Zuid



Bijlage 18 Model Zeist-Noord (huidige situatie)

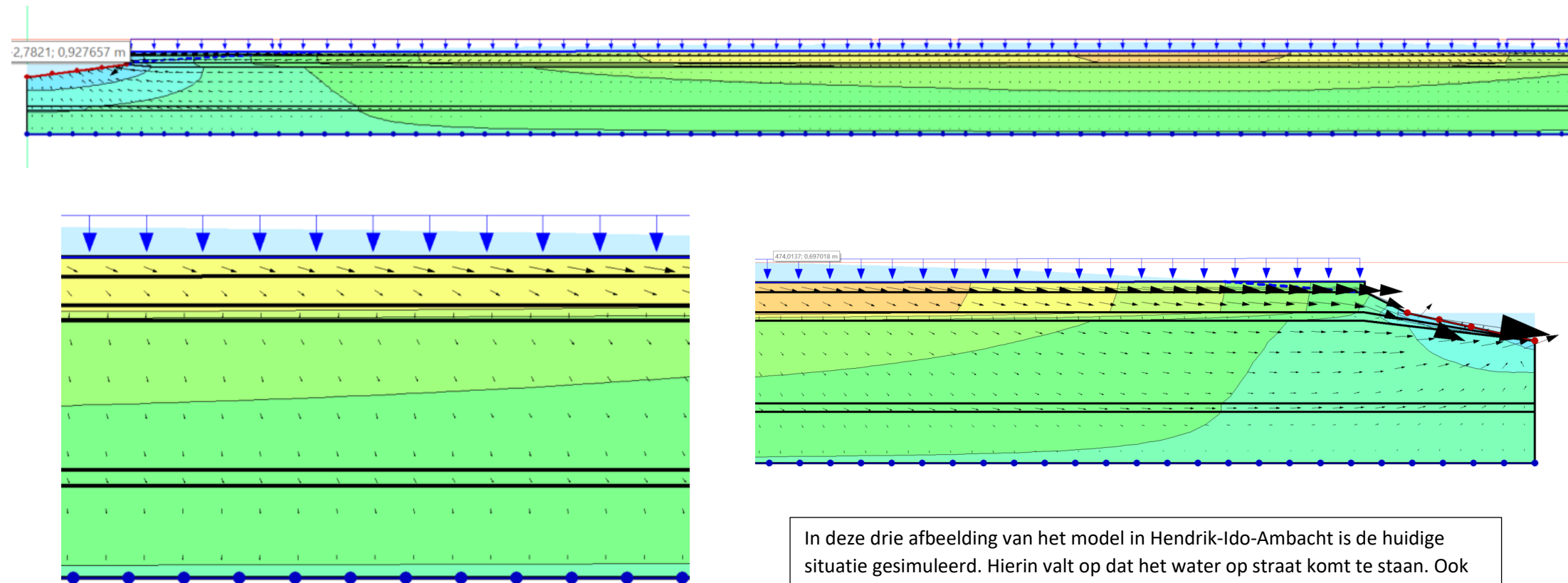


Bijlage 19 Model Zeist-Noord (toekomstige situatie)



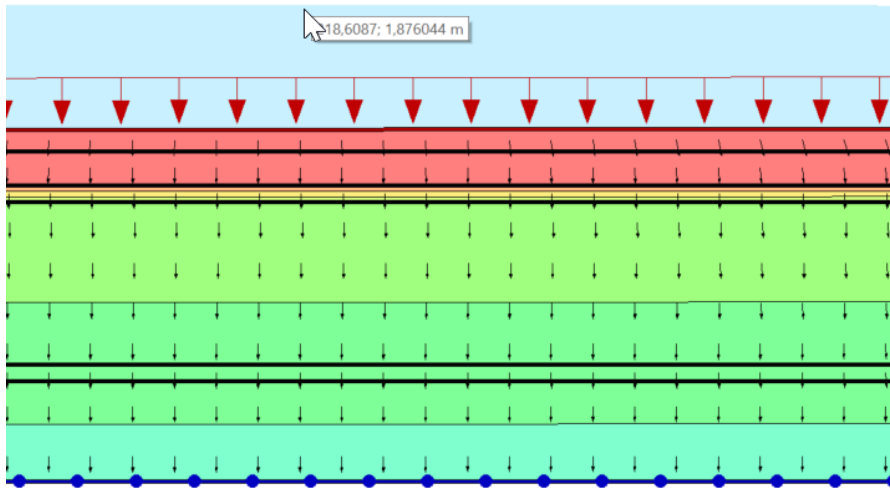
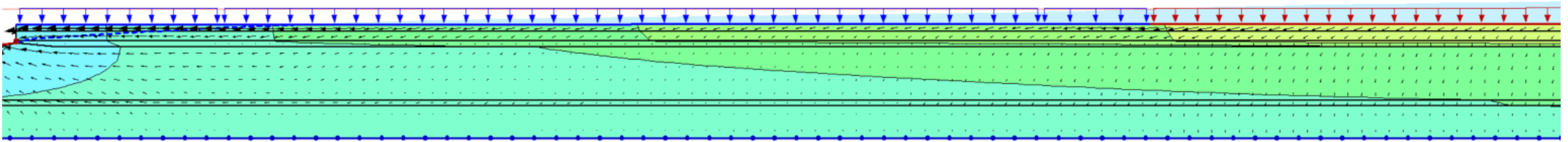
Hier valt op dat met meer infiltrerend hemelwater de grondwaterstand nog steeds 2.5 m is en niet is veranderd. De rode pijlen is de sectie waar meer hemelwater infiltreert door het verwijderen van zinloze verharding.

Bijlage 20 Model Hendrik-Ido-Ambacht (huidige situatie)



In deze drie afbeelding van het model in Hendrik-Ido-Ambacht is de huidige situatie gesimuleerd. Hierin valt op dat het water op straat komt te staan. Ook zijn beide afbakening met watergangen te zien.

Bijlage 21 Model Hendrik-Ido-Ambacht (toekomstige situatie)



In deze afbeelding is te zien dat het model aangeeft dat de “grondwaterstand” boven het maaiveld ligt. Dat er eigenlijk water op straat staat. De rode pijlen op het maaiveld zijn de secties waar de zinloze verharding is verwijderd en vergroend. Hier heeft zelfs een stijging van meer dan 1.0 m plaatsgevonden.