

De riolering op straat

Maaiveldhoogtekaarten voor het bebouwd gebied



De riolering op straat

Maaiveldhoogtekaarten voor het bebouwd gebied

Mei 2014

© Stichting RIONED, Ede

auteurs

ing. Marcel Glasbergen, ARCADIS

ir. Michel Moens, ARCADIS

eindredactie

Harry van Luijtelaar, Stichting RIONED

tekstadvies

Lijntekst, Utrecht

vormgeving

GAW ontwerp+communicatie, Wageningen

druk

Drukkerij Modern, Bennekom

isbn

978 90 73645 43 1

Stichting RIONED is zich volledig bewust van haar taak een zo betrouwbaar mogelijke uitgave te verzorgen. Niettemin kunnen Stichting RIONED en de auteurs geen enkele aansprakelijkheid aanvaarden voor eventueel in deze uitgave voorkomende onjuistheden.

Inhoud

Voorwoord	4
1 Inleiding	5
1.1 Aanleiding	5
1.2 Doel	5
1.3 Leeswijzer	5
2 Inwinnen van data	6
2.1 GPS	6
2.2 LiDAR	6
2.3 AHN	7
2.4 MLM	8
3 Nabewerking van de ruwe data	10
3.1 Soorten verstoringen	10
3.2 Correctie en filtering AHN	11
3.3 Correctie en filtering MLM	13
4 Haalbare kwaliteit	15
4.1 Betrouwbaarheid	15
4.2 Kwaliteit AHN	15
4.3 Kwaliteit MLM	15
5 Toepassing bij water-op-straatberekeningen	17
5.1 Uitbreiding 1D-rioleringsmodel	17
5.2 Vier maaiveldscenario's	18
5.3 Inloopmodel en afstromingsmodel	20
5.4 Maaiveldmodel schematiseren	22
5.5 Resultaten doorrekening scenario's	22
6 Aandachtspunten en nabeschuwing	28
6.1 Datakeuze bij modellering maaiveld	28
6.2 Aandachtspunten voor toepassing in de praktijk	28
6.3 Toekomstige ontwikkelingen	29
6.4 Nabeschuwing	29
Literatuur	30
Bijlage 1 Resultaten met inloopmodel	31
Bijlage 2 Resultaten met afstromingsmodel	35

Voorwoord

Hevige regenbuien komen steeds vaker voor. Daarom willen gemeenten naast het ondergronds functioneren van de riolering ook de bovengrondse afstroming van neerslag en water op straat beter in beeld hebben. Hiervoor is zeer gedetailleerde informatie over het maaiveld nodig. De belangrijkste bronnen voor deze informatie zijn het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN2) en het minder bekende Mobile Laser Mapping (MLM). Beide bieden interessante mogelijkheden en hebben eigen keuzecriteria, die in deze publicatie aan bod komen. Ook geeft De riolering op straat inzicht in de resultaten bij toepassing van AHN2- en MLM-gegevens in modelberekeningen. Het aantal onzekerheden blijkt af te nemen, waardoor de onderbouwing van (bovengrondse) verbetermaatregelen steviger wordt.

Waar circa tien jaar geleden nog enige scepsis heerste rond gedetailleerde afstromingsberekeningen voor water-op-straat simulaties, lijkt de tijd nu rijp voor de toepassing ervan. Het AHN2 is voor heel Nederland beschikbaar en steeds vaker worden nieuwe meettechnieken zoals MLM gebruikt om de omgeving nauwkeurig in beeld te brengen. Het is slechts een kwestie van tijd dat de reken capaciteit voldoende is voor grotendeels geautomatiseerde verwerking van de enorme hoeveelheid gegevens. De data zijn beschikbaar, de rekenmodellen zijn erop toegerust. Er ontstaan nieuwe mogelijkheden om de impact van extreme buien te simuleren en beter onderbouwd daarop te anticiperen.

Dit rapport is samengesteld door Michel Moens en Marcel Glasbergen van ARCADIS. Het project is namens Stichting RIONED begeleid door Harry van Luijelaar. Een samenvatting van dit rapport is eerder gepubliceerd in RIONEDreks 18, *Ervaringen met de aanpak van regenwateroverlast in bebouwd gebied*.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Nu steeds vaker heviger regenbuien voorkomen, neemt de behoefte toe om naast het ondergronds functioneren van riolsystemen de bovengrondse afstroming van neerslag en water op straat beter in beeld te brengen. Maar traditionele rioleringsmodellen met alleen putten, leidingen en kunstwerken zijn niet betrouwbaar zodra het water boven maaiveld komt. Het model berekent ophoping van water bij de put waaruit het stroomt in plaats van spreiding over straat. Bovendien kan water op straat zich op heel andere locaties manifesteren dan de berekening aangeeft. Dit komt door de afstroming van neerslag over maaiveld en/of uittredend water dat zich bovengronds verspreidt. Niet zichtbaar is of het water binnen de banden blijft staan, het trottoir op- of afstroomt of tegen bebouwing aan komt te staan. Hierdoor is het effect van verbetermaatregelen of ingrepen in de openbare ruimte niet goed in te schatten. Modellen met alleen een maaiveldcomponent zijn ook minder geschikt, omdat daarbij de interactie met het ondergrondse riolsysteem ontbreekt.

Wens gemeenten

Door toename van de rekencapaciteit, de versnelde ontwikkeling van geïntegreerde 1D/2D-rekensoftware en een sterke ontwikkeling in het verzamelen van betrouwbare maaiveldhoogtegegevens is tegenwoordig nauwkeuriger te rekenen aan water op straat (en eventueel zelfs overlast) in bebouwd gebied. Dit loopt synchroon met de wens van gemeenten om oorzaken van wateroverlast en het effect van onder- én bovengrondse maatregelen hiertegen beter in beeld te brengen.

Nauwkeurige en betrouwbare informatie

Het 'nieuwe' rekenen vereist vakmanschap met oog voor detail en precisiegereedschap. Een belangrijk deel van het precisiegereedschap bestaat uit een hoogtemodel met zeer gedetailleerde informatie over het maaiveld. Dit is nodig om de interactie met het ondergrondse rioolstelsel te berekenen en de stroming over het maaiveld goed in beeld te brengen. Voor het berekenen van de interactie met de riolering is bovendien nauwkeurige en betrouwbare informatie over de ondergrondse infrastructuur nodig. Door de verkanting van de weg spelen kolken en

kolkleidingen een belangrijke rol in die interactie. Zo kan een beperkte capaciteit van de kolkleidingen tijdens extreme regen voor een langdurige water-op-straatsituatie zorgen.

1.2 Doel

Dit rapport gaat in op de twee belangrijkste informatiebronnen voor maaiveldhoogtes om gecombineerde rekenmodellen (stroming door riolering én over maaiveld) te maken: het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN) en Mobile Laser Mapping (MLM). Naast informatie over de inwinnings- en correctietechnieken van beide bronnen is een vergelijking gemaakt op betrouwbaarheid, updatefrequentie, resolutie, gebiedsdekking en gebruik in modellen.

Het doel van dit rapport is om de mogelijkheden en beperkingen van AHN en MLM inzichtelijk te maken, voor zowel gebruik in rioleringsmodellering als bredere toepassing.

1.3 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft hoe AHN- en MLM-data worden ingewonnen.

Hoofdstuk 3 gaat in op correctie van verstoringen in en filtering van de ingewonnen gegevens.

Hoofdstuk 4 belicht de haalbare kwaliteit van de AHN- en MLM-datasets.

Hoofdstuk 5 beschrijft de toepassing van laserdata in een geïntegreerd 1D/2D-rekenmodel.

Hoofdstuk 6 bevat aandachtspunten, toekomstige ontwikkelingen en een korte nabeschuiving.

Bijlage 1 geeft de rekenresultaten met een traditioneel inloopmodel.

Bijlage 2 geeft de rekenresultaten met een 2D afstromingsmodel

2 Inwinnen van data

Een bruikbare beschrijving van de maaiveldhoogte begint met het inwinnen van data. Op basis van de inspectieput-hoogten in een rioolbeheerbestand is al een eenvoudig en ruimtelijk grove schematisatie van de maaiveldhoogte te genereren. Deze puthoogten worden tegenwoordig vaak ingemeten met gps-metingen of (nog nauwkeuriger) met waterpassing. Maar het hieruit opgestelde maaiveldmodel geeft alleen op hoofdlijnen een beeld van het gedrag van water op het maaiveld. AHN en MLM zijn gebaseerd op een combinatie van GPS-metingen en LiDAR (laseraltimetrie). Dit hoofdstuk beschrijft deze twee inwintechnieken en de daaruit volgende AHN- en MLM-data.

2.1 GPS

Het Global Positioning System (GPS) is niet meer weg te denken uit onze maatschappij. Vrijwel iedereen heeft een apparaat met GPS, variërend van een navigatiesysteem of telefoon tot camera's en meetapparatuur. De ontwikkeling van GPS is al in 1967 gestart voor de Amerikaanse strijdkrachten. Pas vele jaren later is het systeem opengesteld voor niet-defensiegerelateerde toepassingen. Hierbij werd wel het signaal bewust verstoord, wat de beschikbare nauwkeurigheid beperkte voor civiele toepassingen.

Zenden

Het GPS-systeem bestaat uit een zend- en ontvangst-systeem. Het zendsysteem omvat 32 satellieten die in zes banen om de aarde draaien. De satellieten zijn niet-geostationair. Een geostationaire satelliet draait met een dusdanige snelheid om de aarde dat deze altijd boven hetzelfde punt op aarde staat. Dit wordt vooral toegepast voor communicatiesatellieten. De GPS-satellieten maken in een vaste tijd een rondje om de aarde in een van de zes banen. Doordat de baan en de tijd (in de satelliet zelf bepaald door een zeer nauwkeurige atoomklok) bekend zijn, is altijd bekend waar de satelliet zich bevindt. De banen en omlooptijden van de satellieten zijn zodanig ingesteld dat overal op aarde altijd minimaal vier satellieten beschikbaar zijn.

Ontvangen

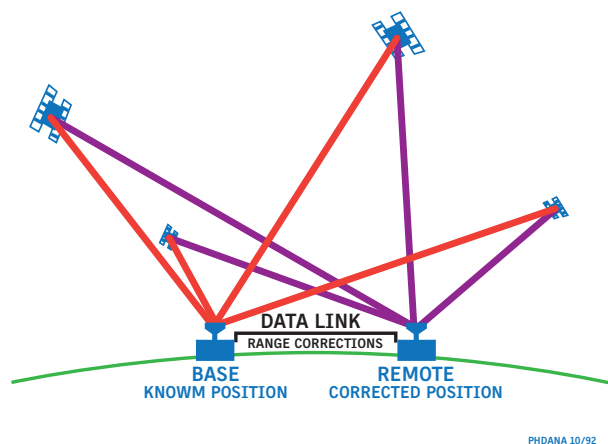
De satellieten zenden een radiosignaal uit dat het ontvangst-systeem opvangt. Op basis van het satellietnummer en de uitgezonden tijd van de satelliet bepaalt de ontvanger de

afstand tot de satelliet. Bij ontvangst van een signaal van minimaal vier satellieten is de positie van de ontvanger te bepalen. Hoe meer satellieten worden ontvangen, hoe nauwkeuriger de plaatsbepaling wordt.

dGPS

Voor inmetingen op basis van GPS wordt vaak dGPS (differential global positioning system) gebruikt. Hierbij worden de satellietdata aangevuld met informatie van een of meerdere grondstations, waarvan de locatie en hoogte zeer precies zijn ingemeten. Door het uitzenden van een correctiesignaal zorgt dit extra referentiepunt voor een veel nauwkeuriger plaats- en hoogtebepaling. Door het nauwkeurig inmeten van het grondstation wordt de meetfout van de GPS zichtbaar gemaakt en gebruikt om de positie van de mobiele GPS te corrigeren.

DIFFERENTIAL GPS POSITIONING



Figuur 1 Schematische weergave dgps-systeem
(Bron: www.samhassan.com)

2.2 LiDAR

LiDAR (Light Detecting And Ranging) of laseraltimetrie gebruikt een sensor die kan zenden én ontvangen. De werking komt overeen met die van het bekendere RaDAR (Radio Detecting And Ranging): uit de tijd die een uitgezonden puls/signaal erover doet om het object te bereiken, te reflecteren en weer terug te keren in de zender/ontvanger, is de afstand tussen de zender en dat object te bepalen. De gemeten afstand wordt gecorrigeerd met de veranderingen in de positie van de sensor op het moment

van uitzenden (draai-, rol- en duikbewegingen van het vlieg-, voer- of vaartuig waaraan de zender is bevestigd).

Hoge resolutie

Het verschil met RaDAR is dat LiDAR elektromagnetische straling met kortere golflengten (een hogere frequentie) gebruikt. De uitgezonden bundel is hierdoor vele malen smaller (hoe hoger de uitgezonden frequentie, hoe smaller de bundel). Daardoor is een veel hogere resolutie te bereiken dan met de huidige radarsystemen en zijn veel kleinere objecten zichtbaar. In de scheepvaart moeten kleinere schepen een radarreflector hebben om ze zichtbaar te maken voor de scheepsradar, terwijl met LiDAR ook watervogels zichtbaar zijn.

De hoge resolutie van LiDAR is een groot voordeel, maar tegelijkertijd het grootste nadeel: de enorme hoeveelheid data maakt met name van de nabewerking een lastig en zeer arbeidsintensief proces (zie hoofdstuk 3). Door de hoge frequentie is LiDAR – in tegenstelling tot RaDAR – niet geschikt voor gebruik bij slecht weer of wolken (bij gebruik vanuit de lucht). De korte golven komen namelijk niet door de waterdruppels heen.

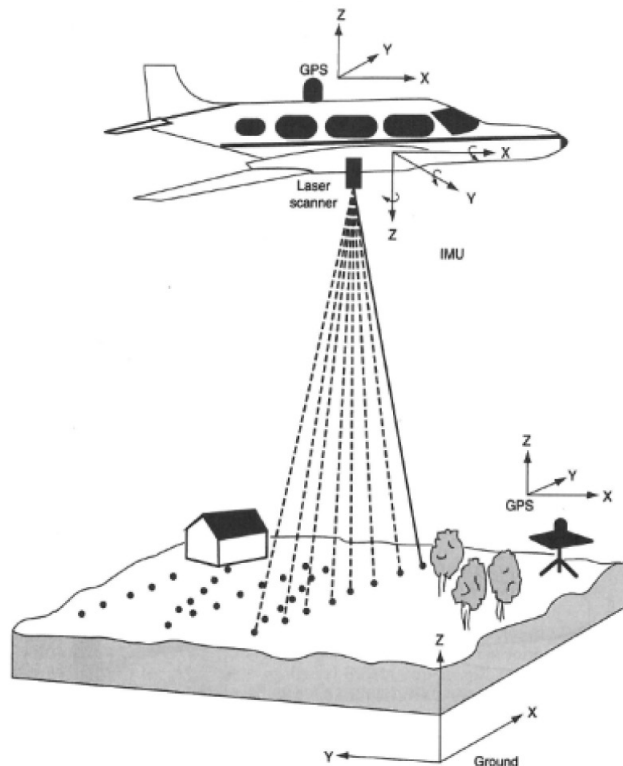
Laserdatabronnen

In Nederland zijn op dit moment twee laserdatabronnen voorhanden die voldoende nauwkeurig zijn om in geïntegreerde 1D/2D-rekenmodellen te gebruiken:

- Het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN), dat wordt gemaakt in opdracht van Rijkswaterstaat en de waterschappen. AHN2 is het meest recente bestand, dit is in de periode 2007-2013 gemaakt.
- Een Mobile Laser Map (MLM), die gespecialiseerde bedrijven in opdracht maken.

2.3 AHN

Het AHN is een vorm van Airborne Laser Scanning (ALS). De sensor is bevestigd aan een vliegtuig of helikopter, zodat in korte tijd een groot gebied is te scannen. Door de relatief grote afstand tot het te meten oppervlak (het maaiveld) is de maximaal haalbare resolutie van de punten op het oppervlak lager dan bij metingen vanaf de grond. Bovendien zijn alleen de meest bovenopgelegene delen zichtbaar, doordat het geheel van bovenaf wordt



Figuur 2 Schematische weergave LiDAR-systeem vanuit vliegtuig (Airborne Laser Scanning)
(Bron: Lillesand et al., 2004; naar: EarthData International & Spencer B. Gross Inc.)

bekeken. Objecten of oppervlakken onder een (af)dak, begroeiing of wolken zijn niet zichtbaar en worden daardoor niet gemeten.

Weersafhankelijk

ALS is sterk weersafhankelijk. Bij bewolkt of nat weer is niet alles te detecteren, doordat de laser weerkaatst op waterdruppels en natte oppervlakken. Bij te harde wind kan überhaupt niet worden gevlogen. Door de uitbarsting van de vulkaan Eyjafjallajökull in IJsland in 2010 was het luchtruim boven Nederland een tijdlang gesloten. Uiteindelijk bleek dit een voordeel te hebben voor de AHN-inwinning. Doordat Schiphol gesloten was, kon het veel lager (onder de aswolk) vliegende inwinvliegtuig de data van Schiphol vergaren.

Volledige vernieuwing van het landsdekkende AHN is kostbaar en vergt ook enkele jaren, omdat de data alleen

tijdens de wintermaanden (december-april, minste begroeiing) en op onbewolkte dagen te verzamelen zijn. De updatefrequentie bedraagt zo'n 5 tot 6 jaar.

Actualiteit

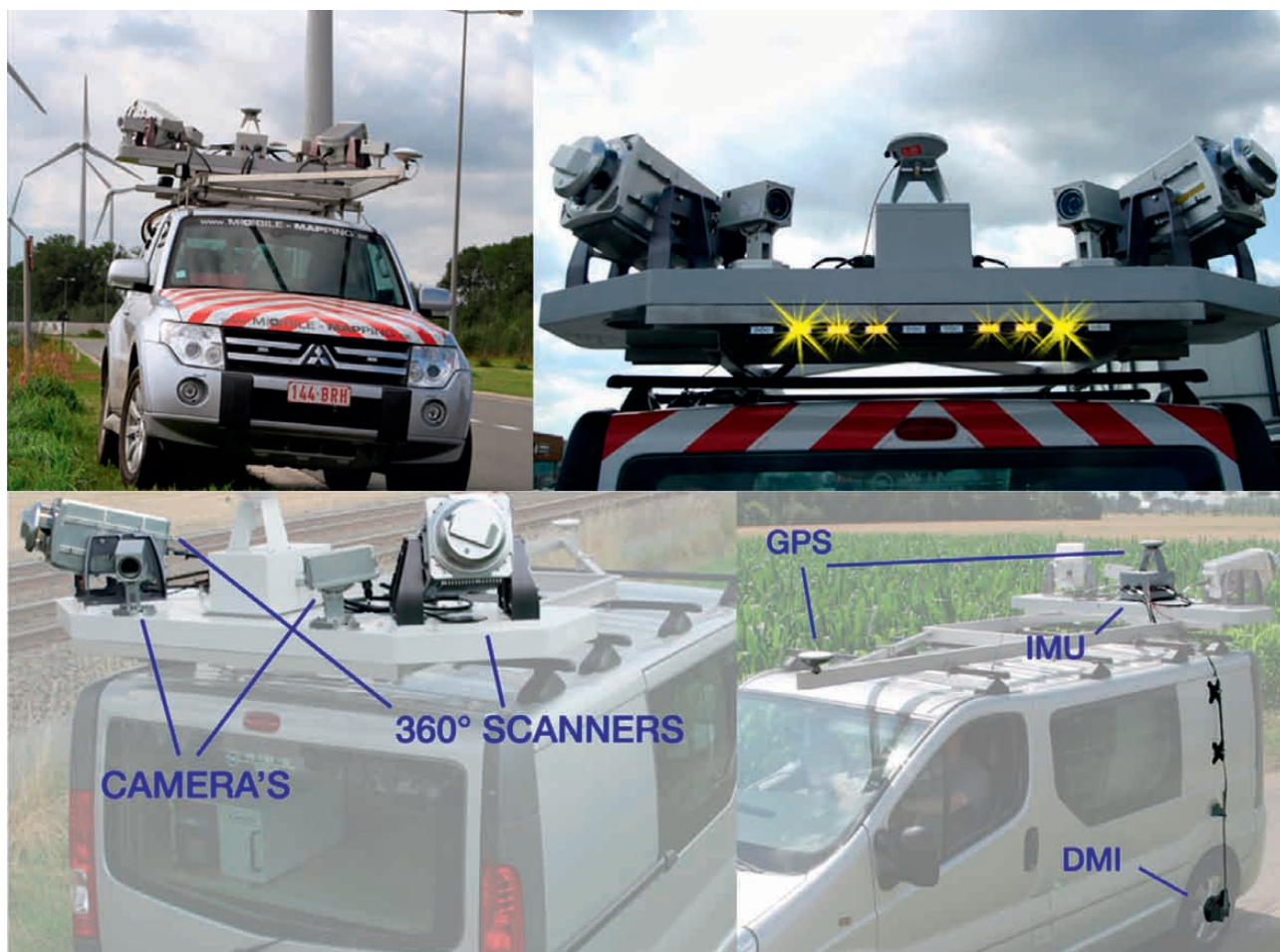
De actualiteit van de data is afhankelijk van wanneer de gegevens zijn/worden ingewonnen. Tot nu toe gebeurde dat over het algemeen op het niveau van de waterschappen. Het huidige AHN2 is ingewonnen in de periode 2007 (gebied voormalig waterschap Zeeuwse Eilanden) tot 2012 (waterschappen Reest en Wieden, Regge en Dinkel, Peel en Maasvallei en Roer en Overmaas). De oudste data in het AHN2 zijn in 2014 dus alweer 6 jaar oud, terwijl de meest recente gegevens pas in de loop van 2013 beschikbaar zijn geworden. Na het inwinnen van de data duurt het ongeveer een jaar voordat de gegevens worden

vrijgegeven vanwege correctie en filtering van de data (zie hoofdstuk 3).

2.4 MLM

MLM is een vorm van Mobile Laser Scanning (MLS). Hierbij is de sensor bevestigd aan een rijdend voertuig. Door de lagere verplaatsingssnelheid en zeer korte afstand tot het te meten oppervlak is de resolutie van de punten op dit oppervlak zeer hoog. De nauwkeurigheid van de positiebepaling van het voertuig (GPS) is gelijk aan die bij ALS.

Doordat het geheel vanaf de grond wordt bekeken, zijn ook objecten onder een afdak en onder bomen te detecteren. De keerzijde is dat alleen de meest vooraan-gelegen delen van objecten zichtbaar zijn. Plaatsen waar



Figuur 3 MLM-voertuig (Bron: Teccon bvba.)

het voertuig niet kan komen (afgesloten terreinen, tuinen, te smalle straten) en objecten achter muurtjes, borden, schermen of begroeiing worden niet ingemeten.

Seizoensafhankelijk

MLS is minder weersafhankelijk dan ALS en seizoensafhankelijk. Ook bij bewolkt weer, harde wind en zelfs 's nachts kan het voertuig zijn werk doen. Alleen bij regen, sneeuw en/of plasvorming is MLS niet mogelijk. Dit komt doordat druppels of sneeuwvlokken het zicht van de sensoren ontnemen en waterplassen het signaal verstoren. Bij plasvorming is bovendien het maaiveld zelf (onder de plassen) niet zichtbaar.

Zeer actueel

De relatief lage kosten en seizoensafhankelijkheid maken een updatefrequentie van minder dan een jaar goed mogelijk. Zolang neerslag uitblijft, is een locatie zo vaak als wenselijk opnieuw in te meten. Bijkomend voordeel hiervan is dat ook een uitspraak is te doen over bijvoorbeeld maaiveldzakkingen. Afhankelijk van de hoeveelheid zijn de ingewonnen data na ongeveer anderhalve maand (ongefilterd) beschikbaar. Filtering van de data om een maaiveldmodel voor 2D-afstromingsberekeningen te kunnen genereren, duurt ongeveer een maand, uitgaande van zo'n 250 km ingereden weg (zie ook paragraaf 3.3).

3 Nabewerking van de ruwe data

De data van beide technieken zijn na inwinning niet meteen te gebruiken. Eerst moeten de gegevens worden gecorrigeerd op onvolkomenheden door onder meer bewegingen van het vlieg- of voertuig. Ook moeten alle objecten die niet tot het maaiveld behoren er nog uit worden gefilterd, zoals bomen en auto's.

3.1 Soorten verstoringen

Alle laserdata worden ingewonnen met indirecte (contactloze) metingen, de sensor raakt het te meten oppervlak niet aan. Dit betekent dat de data verstoringen kunnen bevatten, veroorzaakt door:

- de sensor;
 - objecten tussen de sensor en het te meten oppervlak;
- het te meten oppervlak.

Verstoringen veroorzaakt door de sensor

Deze verstoringen bestaan uit afwijkingen in de sensorpositie: de afstand en hoek tot het te meten oppervlak. Als de positie van de sensor tijdens de opname nauwkeurig wordt vastgelegd, zijn deze verstoringen doorgaans eenvoudig (geautomatiseerd) te herstellen. Zowel in een vliegtuig als voertuig gebeurt dit met zeer nauwkeurige GPS en gyroscopische sensoren.

Verstoringen veroorzaakt door objecten tussen de sensor en het te meten oppervlak

Deze foutbron bestaat uit ruis of blinde vlekken door (deeltjes in) de lucht of tussenliggende objecten. Deze verstoringen zijn vaak lastig in geautomatiseerde processen te verhelpen. Met statistische methoden (vormherkenning) is een goede eerste slag te maken, maar handmatige beoordeling en aanpassing zijn altijd noodzakelijk om de laatste 'restjes' van bomen, auto's en andere zaken te verwijderen en zo de hoogst mogelijke betrouwbaarheid van de dataset te verkrijgen.

onder de auto is niet zichtbaar en daardoor niet in te meten. De ervaring leert dat het weinig zinvol is een traject (bijvoorbeeld woonstraten) meerdere malen te rijden, omdat vaak dezelfde auto's op dezelfde plaatsen staan.

NB: De auto in figuur 4 is in de twee meetrondes niet verplaatst, onder de auto is dus geen data beschikbaar. In figuur 5 is er wel data zichtbaar onder de auto, maar ook de auto zelf, dus heeft tijdens een van de twee meetrondes de auto niet op die plaats gestaan.



Figuur 4 Auto zorgt voor blinde vlek tijdens data-inwinning



Figuur 5 Verplaatste auto levert wel data op

De aanwezigheid van tussenliggende objecten leidt altijd tot verlies van data (blinde vlekken). Dit is zo veel mogelijk te voorkomen door de opnamen in de winter (weinig vegetatie) of 's nachts (weinig verkeer op straat) te maken. Stilstaande objecten die geen deel uitmaken van het maaiveld maar er wel op staan (zoals geparkeerde auto's), zijn voor alle inmeetmethoden een probleem. Het maaiveld

Verstorings veroorzaakt door het te meten oppervlak

De derde verstoring bestaat uit ruis of blinde vlekken door de materiaaleigenschappen van het oppervlak. Deze kunnen ervoor zorgen dat de uitgezonden laserpulsen later of zelfs helemaal niet worden teruggekaatst naar de sensor. Bijvoorbeeld in geval van water (volledige absorptie) of glas (verbuiging van de pulsen). Het resultaat is dat de afstand tot een oppervlak verkeerd wordt berekend en daardoor op een verkeerde positie in het eindproduct wordt geplaatst.

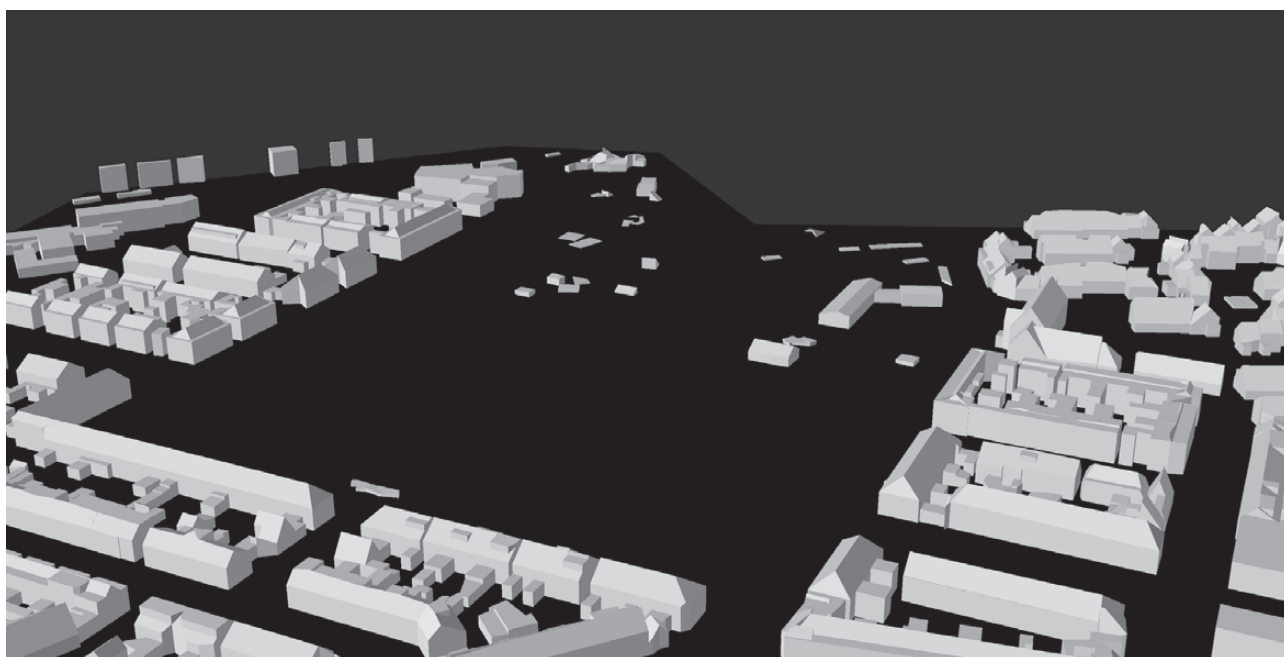
3.2 Correctie en filtering AHN

Het doel van het AHN is het vervaardigen van een landelijk dekkend bestand dat zeer nauwkeurig en op een hoge resolutie het maaiveld representeert. Dit betekent dat alle objecten die niet tot het maaiveld behoren (zoals gebouwen, vegetatie en voertuigen) niet in het eindproduct mogen voorkomen. Overigens zijn deze 'uitgefilterde' gegevens wel beschikbaar als afzonderlijke bestanden.

De vluchtgegevens worden gebruikt om alle ingewonnen datapunten binnen een vluchtstrook van circa 400 meter breed te corrigeren op de bewegingen van het vliegtuig, zoals hoogteverschillen en verdraaiingen. Door paspunten

(nauwkeurig ingemeten controlepunten) op de grond te gebruiken, worden de verschillende losse stroken op de juiste hoogte (t.o.v. NAP) gebracht. De stroken worden op elkaar aangesloten door overlappende punten en/of objecten (vooral zadeldaken) te gebruiken. Via geautomatiseerde filterstappen worden de datapunten ingedeeld in de categorieën maaiveld en niet-maaiveld (zoals begroeiing en bebouwing).

Van alle punten in de gefilterde AHN2-dataset (het maaiveld) wordt gecontroleerd of ze juist zijn geclassificeerd. Waar nodig wordt dit met de hand bijgewerkt. Uiteindelijk wordt van de maaiveldpunten een rasterbestand gemaakt, dat bestaat uit vakken van 5 x 5 meter of 0,5 x 0,5 meter met elk één hoogtewaarde. Overigens zijn de bestanden ook beschikbaar als puntenwolk, waarmee de gebruiker een eigen hoogtemodel (met een andere resolutie) kan maken. Wel is de omvang van een dergelijk bestand vele malen groter (tot circa 400 keer) dan van het rasterbestand. Van het AHN2 zijn zowel het maaiveld als de uitgefilterde punten (vegetatie, bebouwing) beschikbaar. Uit een combinatie van beide zijn onder meer 3D-visualisaties te genereren, vergelijkbaar met bijvoorbeeld een maquette (zie figuur 6).



Figuur 6 3D-model bebouwing op basis van AHN2-punten

In figuur 7 zijn 4 verschillende filteringen van de AHN2 uitgewerkt:

A – DEM (Digital Elevation Model)

Afbeelding A is de ruwe uitvoer van een LiDAR-meting, in dit geval een deel van het AHN2. In dit bestand zitten alle meetpunten en daarmee alle ingemeten objecten, inclusief vegetatie, bebouwing en auto's, die geen deel uitmaken van het maaiveld. In rood zijn de ontbrekende data aangegeven. Op het wateroppervlak wordt de laser zodanig verstrooid dat hier geen signaal terugkomt. Verder verloopt de kleur van zwart (laag) naar wit (hoog).

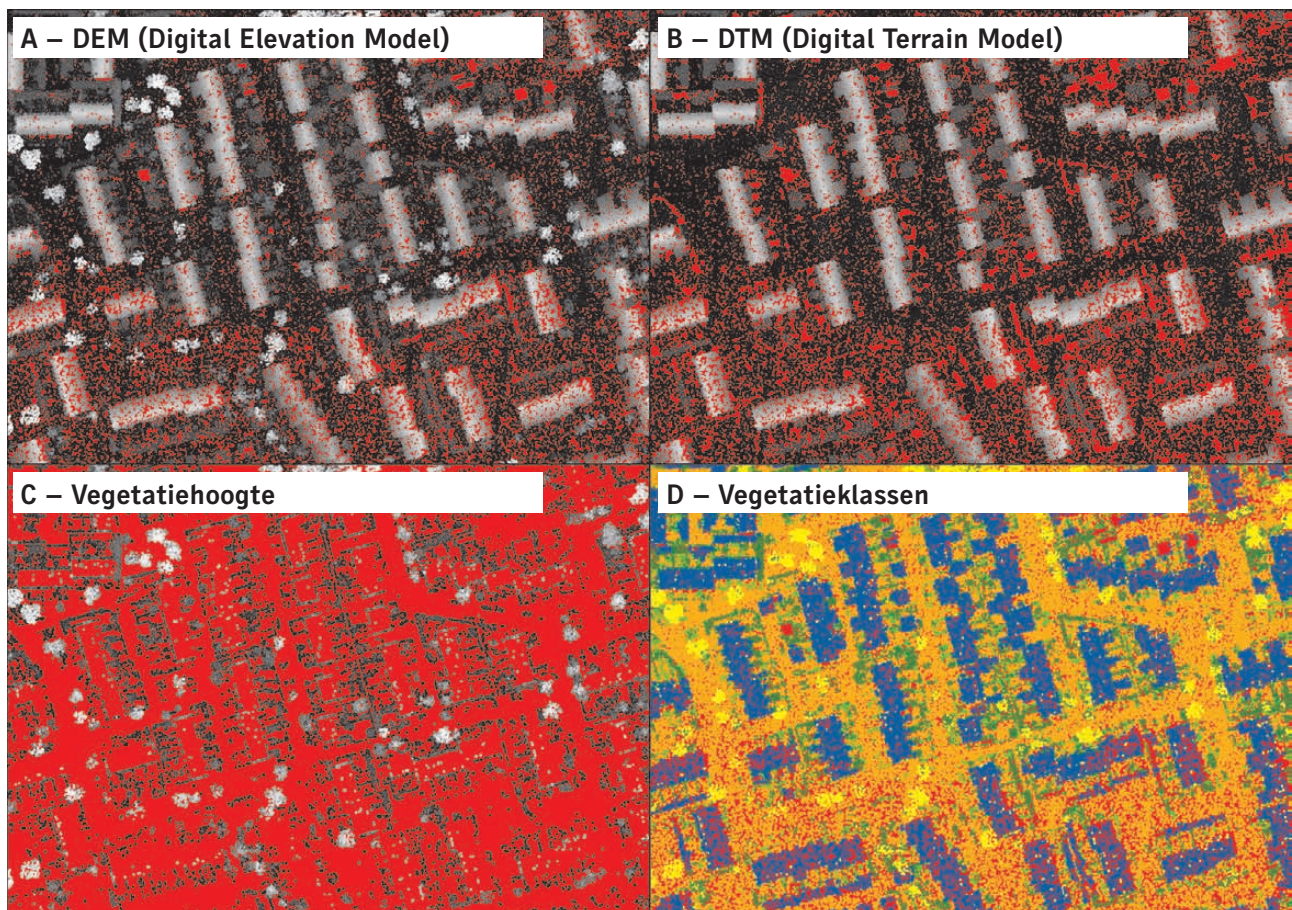
B – DTM (Digital Terrain Model)

Het digitale terreinmodel bestaat uit een combinatie van het daadwerkelijke maaiveld en de bebouwing. Objecten

die op het maaiveld staan (vooral vegetatie) zijn uit dit bestand gefilterd. Hierdoor ontstaan op de locaties waar een meetpunt uit vegetatie bestond extra delen met ontbrekende data. De laser weerkaatst op het eerste object dat hij tegenkomt (in dit geval de vegetatie) en levert daardoor geen informatie over het daadwerkelijke maaiveld ter plaatse. In rood zijn de ontbrekende data aangegeven. Op het wateroppervlak wordt de laser zodanig verstrooid dat hier geen signaal terugkomt. Verder verloopt de kleur van zwart (laag) naar wit (hoog).

C – Vegetatiehoogte

De bij het digitale terreinmodel uitgefilterde datapunten vormen vooral vegetatie, naast andere objecten (zoals auto's). Deze uitgefilterde punten zijn zichtbaar in afbeelding C. De datapunten zijn bijvoorbeeld onder



Figuur 7 Verschillende bewerkingen van de AHN2 data van een woonwijkdeel (vrij naar: Mason et al., 2007)

te verdelen in hoogteklassen om onderscheid te maken tussen struiken en bomen. In rood zijn de ontbrekende data aangegeven (in dit geval water en de tot het DTM behorende punten). Verder loopt de kleur van zwart (laag) naar wit (hoog).

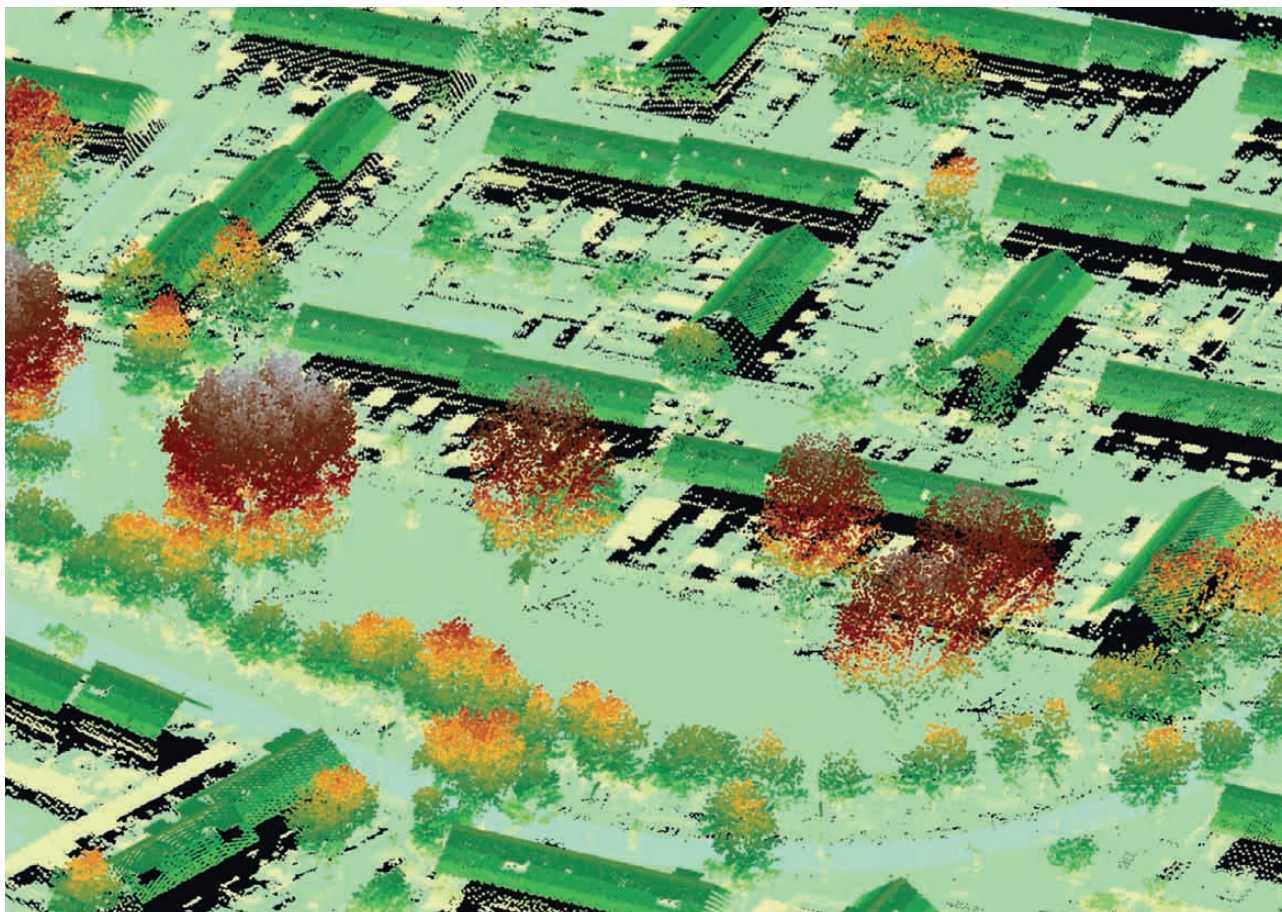
D – Vegetatieklassen

Kaart D is een combinatie van verschillende filters. De oranje en blauwe kleur zijn gegenereerd uit het DTM. Het maaiveld is oranje, waarbij alle punten met een te grote afwijking van de omliggende punten uit de verzameling zijn gehaald. De bebouwing is blauw. Uit de vegetatiehoogte is een klassenindeling gemaakt: de struiken en kleine bomen (tot een hoogte van circa 3 m) zijn groen, de hogere vegetatie is geel. Net als in de andere kaarten zijn de ontbrekende data in rood aangegeven.

3.3 Correctie en filtering MLM

Het doel van MLM is om een zo nauwkeurig mogelijke 3D-opname van de buitenruimte te maken (figuur 8). Daarom blijven (in tegenstelling tot het AHN) alle datapunten behouden in het eindproduct. Overigens wordt het MLM-principe ook binnenshuis gebruikt, bijvoorbeeld bij het inmeten van een ruimte voor het plaatsen van een keuken. Maar dan is sprake van een statische sensor in plaats van een mobiele.

Net als bij AHN worden bij MLM eerst de ritgegevens gebruikt om alle datapunten van een opnamesessie te corrigeren op de bewegingen van het voertuig, zoals hoogteverschillen en verdraaiingen. Ook hier worden voor de correctie afzonderlijk ingemeten paspunten gebruikt om de ingemeten puntenwolk op de juiste hoogte te



Figuur 8 Kleurenweergave MLM-data van deel 1e Havendwarsstraat in Lisse

brenge. Binnen de bebouwde kom worden hiervoor vaak de hoogten van de gemeentelijke rioolputdeksels gebruikt (mits nauwkeurig bekend).

In tegenstelling tot AHN vindt bij de eerste oplevering geen verregaande controle of filtering van de datapunten plaats, omdat de puntenwolk als geheel het eindproduct vormt. De gebruiker moet zelf een verdere classificatie (laten) uitvoeren voor toepassing in rioleringsmodellering.

Maaiveldmodel

Voor water-op-sraatsimulaties is een model van het maaiveld nodig. Dit betekent dat de punten die behoren tot (de gewenste delen van) het maaiveld uit de dataset geselecteerd moeten worden. Dit vraagt om een serie van opeenvolgende classificaties, doorgaans op basis van statistische analyses. Vanwege de zeer grote hoeveelheid datapunten kunnen de huidige beschikbare analyses in de gebruikte softwarepakketten een MLM-bestand niet altijd voor 100% filteren. Volledig automatische filtering zou voor MLM leiden tot een onacceptabel verlies aan punten of zou er juist voor zorgen dat foutieve data behouden blijven. Als de laser bijvoorbeeld een kolk in is geschoten, kunnen daardoor honderden meetpunten ontstaan met een ongewenste hoogte (geen maaiveld). Maar honderden punten worden statistisch gezien niet als afwijking gedetecteerd. Daarom is vrijwel altijd nog een zekere handmatige opschoning nodig om ook de laatste restjes ongewenste datapunten te verwijderen. Deze opschoning wordt meestal in een en dezelfde opdracht als de inwinning uitgevoerd en levert dan voor de gebruiker geen extra werk op.

4 Haalbare kwaliteit

4.1 Betrouwbaarheid

De betrouwbaarheid van zowel AHN2- als MLM-datasets hangt samen met de systematische fout, de relatieve fout en een eventuele interpolatie van ontbrekende data. De systematische fout in de hoogtemeting ontstaat door de (on)nauwkeurigheid van het GPS-systeem en is voor beide bronnen ongeveer 5 cm. Dit levert een hoogtefout op ten opzichte van het NAP (plus of min 5 cm ten opzichte van de werkelijke hoogte).

De relatieve (of stochastische) fouten – onjuiste hoogteverschillen tussen twee naastgelegen meetpunten – zijn voor beide technieken verschillend. Deze fouten ontstaan door de ruis op het signaal als gevolg van bijvoorbeeld wolken of luchtvervuiling. Voor AHN2 is de stochastische fout 5 cm. Uitgaande van een normale verdeling betekent dit dat minimaal 68,2% van de punten binnen een stochastische fout van 5 cm valt (1 maal de standaarddeviatie), minimaal 95,4% binnen een fout van 10 cm (2 maal de standaarddeviatie) en minimaal 99,7% binnen een fout van 15 cm (3 maal de standaarddeviatie). De systematische fout en stochastische fouten samen betekenen dat met een betrouwbaarheid van 95,4% een AHN2-meetpunt maximaal 15 cm (5 cm systematisch en 10 cm stochastisch) van de werkelijkheid afwijkt.

Bij MLM is de stochastische fout 1,5 cm. Hiervoor geldt dat met een betrouwbaarheid van 95,4% een MLM-meetpunt maximaal 8 cm (5 cm systematisch en 3 cm stochastisch) van de werkelijkheid afwijkt. De MLM-meetpunten zijn dus veel nauwkeuriger.

4.2 Kwaliteit AHN

Het AHN1 is gemaakt in de periode 1997-2003. De horizontale resolutie bedraagt tussen de 0,06 en 1 meetpunt per m², met een standaardfout (systematische fout) van 5 tot 15 cm in de absolute hoogtewaarde. Dit maakt het AHN1 nagenoeg ongeschikt voor toepassingen binnen de stedelijke omgeving. Temeer omdat de filtering en controle op maaiveld alleen voor het landelijke gebied hebben plaatsgevonden. Ook zal in de tussentijd het nodige veranderd zijn in de inrichting van de openbare ruimte.

AHN2

Het AHN2 is gemaakt in de periode 2007-2013. De horizontale resolutie bedraagt gemiddeld 8 meetpunten per m². Zowel landelijk als stedelijk gebied is gefilterd en gecontroleerd op maaiveldhoogte. Rijkswaterstaat en de waterschappen hebben daarnaast de beschikking over luchtfoto's die gelijktijdig met de laseropnamen zijn gemaakt. Dit kan de (visuele) interpretatie en controle van de data ten goede komen. De fotografische informatie (kleur) maakt het gemakkelijker om vormen en objecten te herkennen.

In tegenstelling tot het AHN1 is het AHN2 wel geschikt voor gebruik binnen de stedelijke omgeving. Het belangrijkste voordeel ten opzichte van MLM is dat ook data beschikbaar zijn van bijvoorbeeld achtertuinen en wegen/paden die voor de auto ontoegankelijk zijn. Met gemiddeld 8 punten per m² is het AHN2 vooral geschikt om hoogten toe te kennen aan lijnen en vlakken die al aanwezig zijn in 2D-tekeningen of die in kaart worden gebracht met hoge resolutie luchtfoto's.

Interpretatie

Object- en/of vormherkenning – rechtstreeks uit de hoogte-informatie – is met het AHN2 beperkt tot relatief grote, homogene vlakken, zoals weggedeelten en daken. Stoepranden en kleine objecten (zoals trapjes bij de voordeur, paaltjes of betonnen bloembakken) kunnen gemakkelijk gemist of verkeerd geïnterpreteerd worden. Datzelfde geldt voor de helling en hoogte van kleine oppervlakken, zoals in- en uitritten en kleine verkeersdrempels. Met extra bestanden als de grootschalige basiskaart Nederland (GBKN) of een vlakkenkaart zijn de datapunten makkelijker te interpreteren. De locatie van de objecten is dan al bekend, waardoor er alleen een hoogte aan toegekend hoeft te worden.

4.3 Kwaliteit MLM

Afhankelijk van de snelheid waarmee het voertuig zich verplaatst, is met MLM een horizontale resolutie te behalen van 1 meetpunt per cm², ofwel 10.000 meetpunten per m². Het maximale meetbereik bedraagt circa 100 meter vanaf het voertuig. In een MLM-puntenwolk zijn nagenoeg alle objecten en vormen in de buitenruimte te

herkennen en op te meten. Dit varieert in schaalgrootte van de voegen in trottoirverharding tot boomkruinen en gevels. Eventueel is met een statische laser bij te meten om zo een completer beeld te krijgen van de situatie op plaatsen waar de auto niet kan komen.

Minder punten

Om met een MLM-dataset simulaties voor het hydraulisch functioneren van het bebouwde gebied uit te voeren moet over het algemeen het aantal punten verminderd worden. De huidige rekenmodellen (zoals InfoWorks) kunnen de enorme hoeveelheid MLM-punten namelijk niet verwerken. Vermindering van het aantal punten betekent een verlies aan kwaliteit ten opzichte van de oorspronkelijke data en van het verkregen maaiveldmodel. Dit verlies is echter beperkt; een stoeptegels hoeft niet met 900 punten beschreven te worden (10.000 punten/m²) om een betrouwbaar beeld van de hoogte te krijgen.

Variatie in resolutie

Door de grote hoeveelheid punten in een MLM-dataset is wel variatie aan te brengen in de (horizontale) ruimtelijke resolutie van de datapunten. Zo zijn punten weg te laten waar deze weinig informatie toevoegen, zoals de 900 punten van een vlakke stoeptegels van 30 x 30 cm. Waar punten waardevol zijn, kunnen ze behouden blijven, zoals stoep-randen en lokale verhogingen of verzakkingen. Met behulp van filtersoftware is op basis van een vooraf gedefinieerde betrouwbaarheid van de maaiveldbeschrijving een kleiner puntenbestand te genereren. Dit wordt overigens ook gedaan bij het gebruik van MLM en AHN samen. Hierbij worden eerst beide datasets gecombineerd en vindt daarna de filtering plaats.

Gebruik bestaande gegevens

Bij de filtering zijn bestaande gegevens te gebruiken, zoals eerdere hoogtebestanden. Maar dit is alleen verstandig als deze minimaal net zo nauwkeurig zijn als de nieuwe data. Deze kunt u bijvoorbeeld als startdata gebruiken om het maaiveld te bepalen. Op basis van de al bekende punten kan de software binnen op te geven grenzen bepalen welke punten uit de nieuwe dataset passen bij de bekende punten, om zo een opgeschoond maaiveldmodel te genereren.

5 Toepassing bij water-op-straatberekeningen

Dit hoofdstuk beschrijft de toepassing van AHN2- en MLM-data in een gecombineerd 1D -2D-rekenmodel zoals InfoWorks ICM. Het 1D rioleringsmodel berekent de 1-dimensionale ondergrondse afvoer in leidingen. Voor de berekening van het hydraulisch functioneren van de bovengrond is binnen het stedelijk waterbeheer sprake van 0D-, 1D- en 2D-modellen. Hiermee wordt bedoeld:

- 0D, alleen berging op straat vanuit de putten, geen afstroming via de straat; rioolloop via de putten.
- 1D: 1-dimensionale afstroming via de straat geschematiseerd als open kanalen; rioolloop via de putten.
- 2D: 2 -dimensionale afstroming via het maaiveld, rioolloop via de putten.
- 2D+: 2-dimensionale afstroming via het maaiveld, rioolloop via de kolken (en eventueel perceelaansluitingen).

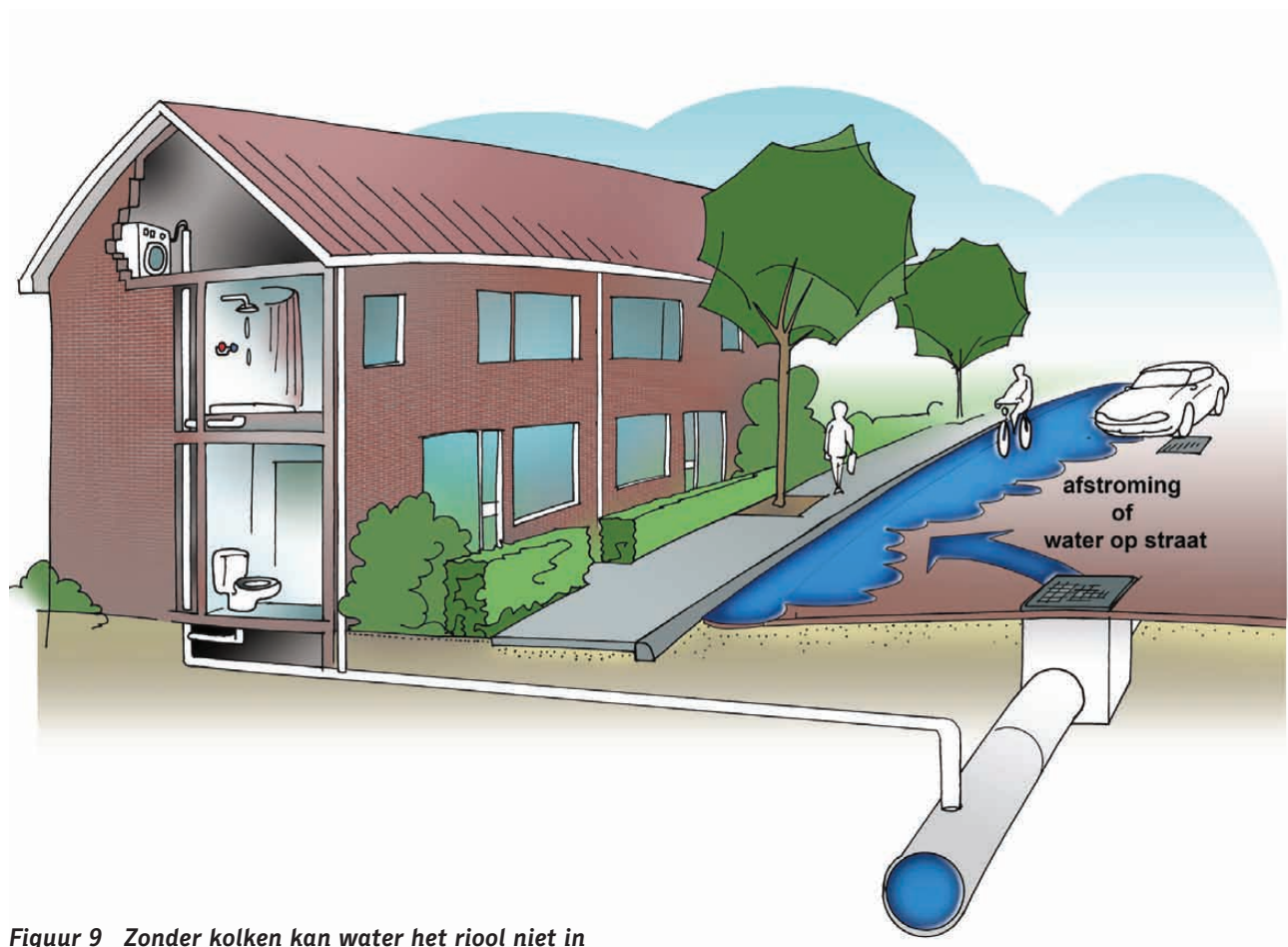
Voor de combinatie van riolering en bovengrond spreken we van 1D-0D, 1D-1D, 1D-2D en 1D-2D+ rekenmodellen.

Overigens is er ook andere commerciële software dan InfoWorks beschikbaar voor het uitvoeren van dergelijke simulaties.

5.1 Uitbreiding 1D-rioleringsmodel

Omdat kleine oneffenheden in het maaiveld de waterstroming behoorlijk kunnen beïnvloeden, zijn voor het maaiveld-(afstromings)model datasets met een hoge resolutie nodig. Bovendien is voor een goede interactie tussen de ondergrond (riolering) en bovengrond (maaiveld) een uitbreiding van het traditionele 1D-rioleringsmodel noodzakelijk.

De 1D-rioleringsmodellen bevatten de rioleringsstrengen, inspectieputten en kunstwerken. De interactie tussen de ondergrond en (fictieve) bovengrond vindt plaats via de inspectieputten. Vaak liggen de inspectieputten in het midden van een wegprofiel en loopt de weg af naar de



> 17

Figuur 9 Zonder kolken kan water het riool niet in

zij kant(en), waar zich de straat- en trottoirkolken bevinden. De kolken en kolkleidingen zijn nodig om een beter beeld van de situatie te krijgen zodra het maaiveld in detail wordt meegenomen in de modellering. Zonder uitbreiding van het 1D-rioleringsmodel met kolken en kolkleidingen kan het water de riolering wel verlaten van uit de inspectieputten, maar stroomt het naar de zijkan ten van de weg en kan het niet meer terug de riolering in. Hierdoor ontstaat een vertekend beeld (zie figuur 9).

5.2 Vier maaiveldscenario's

Met het AHN2 en een MLM-dataset is eenzelfde gebied doorgerekend met een gecombineerd 1D/2D- riolerings- en maaiveldmodel in InfoWorks ICM (Integrated Catchment Management). De in het vervolg genoemde stappen en/of uitgangspunten kunnen dan ook specifiek voor deze software zijn. De AHN2- en MLM-data zijn op vier verschillende manieren vertaald in een maaiveldmodel in InfoWorks ICM:

- 1 AHN2 0,5 x 0,5 m gridcellen.
- 2 AHN2-gefilterde (maaiveld)meetpunten.
- 3 MLM-gefilterde (maaiveld)meetpunten.
- 4 AHN2- en MLM-gefilterde (maaiveld)meetpunten.

Scenario 1 – AHN2 0,5 x 0,5 m gridcellen

Dit is het 'standaardbestand' waarin het AHN2 wordt aangeleverd. Het bestaat uit de maaiveldpunten die samengevoegd zijn tot een raster met een celgrootte van 0,5 x 0,5 m. Ontbrekende data in dit bestand (zoals vegetatie en bebouwing, die niet tot het maaiveld behoren) zijn geïnterpoleerd om te voorkomen dat het maaiveld-model op bepaalde punten geen hoogte-informatie heeft. Waar sprake is van interpolatie, is per definitie de beschrijving van de maaiveldhoogte minder gedetailleerd.

18 <

Scenario 2 – AHN2-gefilterde (maaiveld)meetpunten

Een andere manier waarop de data van het AHN2 kunnen worden aangeleverd, is via de daadwerkelijke meetpunten, ook weer gefilterd en ongefilterd (maaiveld of overige punten). Dit levert ten opzichte van de gridcellen meer informatie (hoogtemetingen) per m² op en is daarmee gedetailleerder. Nadeel kan zijn dat de individuele hoogtemetingen minder nauwkeurig zijn dan de gridcellen die

hieruit gegenereerd worden (zie ook paragraaf 6.2 bij 'Interpolatie naar een grid').

Scenario 3 – MLM-gefilterde (maaiveld)meetpunten

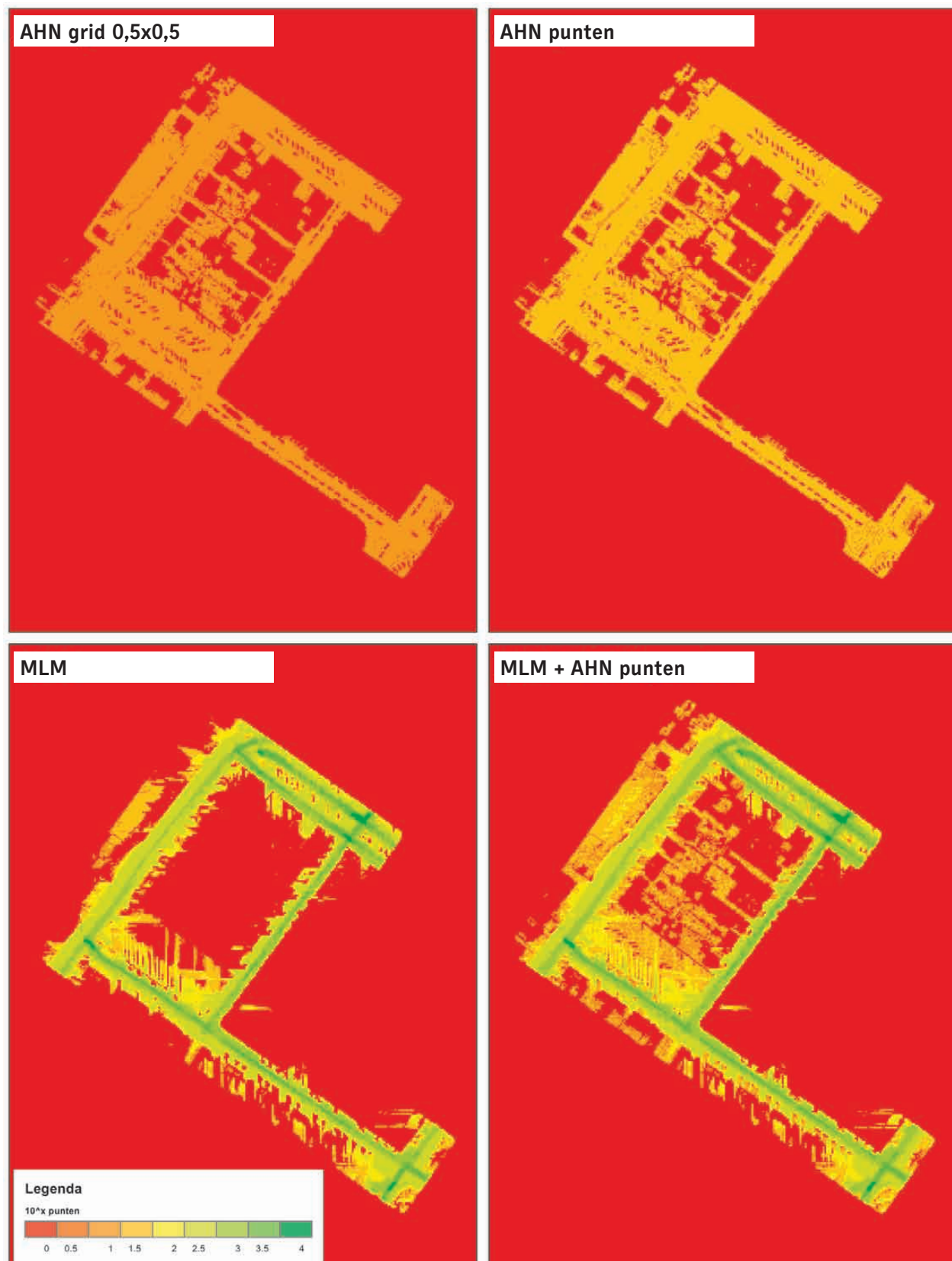
Uit een MLM-inmeting is het maaiveld gefilterd, waardoor ongewenste objecten verdwijnen, zoals bomen, auto's en woningen. Daarna wordt op basis van statistische methoden de resulterende dataset verder uitgedund om het aantal meetpunten verder te beperken, zonder daarbij het hoge detailniveau van de data los te laten. Een stoeptegelf bijvoorbeeld hoeft niet met 900 of meer hoogtepunten gedefinieerd te worden. Waar sprake is van ontbrekende data (zoals onder auto's en buiten het bereik van de laser), worden de ontbrekende maaivelddata geïnterpoleerd.

Scenario 4 – AHN2- en MLM-gefilterde (maaiveld)meetpunten

Omdat de MLM-data beperkt zijn tot datgene wat in het zicht van de lasers zit, is geen informatie beschikbaar voor bijvoorbeeld achterpaden en achtertuinten. Daarom worden de beide datasets hier gecombineerd om een zo vlakdekkend mogelijk beeld van het maaiveld te krijgen. Hiermee wordt van de voordelen van de beide sets geprofiteerd: de dekking van het AHN2 over het hele gebied met de hoge resolutie van de MLM op die plaatsen waar water op straat in beginsel ontstaat en interactie met het ondergrondse systeem plaatsvindt: de straten en trottoirs. In dit geval is geen derde dataset gebruikt (bijvoorbeeld waterpassingen) om de AHN2- en MLM-data op elkaar te passen (zie kader).

Voor elk van deze scenario's is alleen de maaiveldinformatie in het model gewijzigd. Alle andere randvoorwaarden (zoals 1D-rioleringsmodel en neerslag) en het 2D-rekenmodel (rekencelgrootte) zijn voor alle situaties gelijk. Figuur 10 geeft de resolutie van de verschillende maaiveldscenario's grafisch weer. Daarbij is aangenomen dat een hogere punt dichtheid staat voor een hogere nauwkeurigheid (hoe meer punten per m², hoe nauwkeuriger de beschrijving van die m²).

In figuur 10 is duidelijk zichtbaar dat de combinatie van AHN2- en MLM-data de hoogste punt dichtheid over het hele gebied oplevert. MLM alleen levert voor die delen



Figuur 10 Nauwkeurigheid maaiveldmodel gebaseerd op punt dichtheid

Derde dataset

De AHN2- en MLM-gegevens worden op verschillende tijdstippen en met verschillende apparatuur ingewonnen. Beide datasets hebben eenzelfde systematische fout (circa 5 cm), die ontstaat door de (on)nauwkeurigheid van het GPS-systeem (zie paragraaf 4.1). In theorie zou dat ertoe kunnen leiden dat voor hetzelfde gebied het hoogteverschil tussen de AHN2-dataset en de MLM-dataset op basis van enkel deze meetfout 10 cm verschilt. Namelijk als de afwijking van de ene dataset aan de positieve kant (+ 5 cm) zit en de andere dataset aan de negatieve kant (- 5 cm). De stochastische fout (zie ook paragraaf 4.1) is hierbij nog buiten beschouwing gelaten. Het combineren van beide datasets levert dan vreemde sprongen in het maaiveld, vooral aan de randen waar de data in elkaar overgaan.

Waar MLM-data beschikbaar zijn, zullen deze gebruikt worden, omdat het AHN2 daar statistisch gezien een afwijking vormt door de lagere punt dichtheid. Om op de overgangen tussen de beide datasets sprongen in het maaiveld te voorkomen, is een correctie mogelijk met een derde dataset, bij voorkeur op basis van een waterpassing (vanwege de nauwkeurigheid). Door zowel de AHN2- als de MLM-data te corrigeren op basis van de derde dataset, wordt de systematische fout van de beide sets verkleind en komen de data dichter bij elkaar te liggen.

waar de laser kan komen een heel hoge punt dichtheid, maar heeft geen informatie voor achterpaden en achtertuinen. Bij de interpolatie van de hoogtedata ontstaat op plaatsen waar geen hoogte-informatie beschikbaar is een onbetrouwbare maaiveldhoogte.

20 < 5.3 Inloopmodel en afstromingsmodel

Voor elk van de vier scenario's zijn twee verschillende manieren van inloop van neerslag naar de riolering gehanteerd:

- 1 Sterk geschematiseerd inloopmodel waarbij de neerslag via inloopparameters direct wordt vertaald naar inloop in de inspectieputten.

- 2 Gedetailleerd afstromingsmodel waarbij de neerslag via het (on)verharde oppervlak afstroomt naar de laagste punten. Voor neerslag op bebouwing is wel het sterk geschematiseerde afstromingsmodel gebruikt.

Kolken

In beide modellen zijn wel de kolken opgenomen. In het eerste geval kan het water bij water op straat via de kolken weer de riolering instromen. In de tweede situatie loopt ook de neerslag over het maaiveld naar de kolken en dan de riolering in. Zo worden ook knelpunten in de afstroming naar de kolken of beperkingen in de kolken en kolkleidingen zichtbaar.

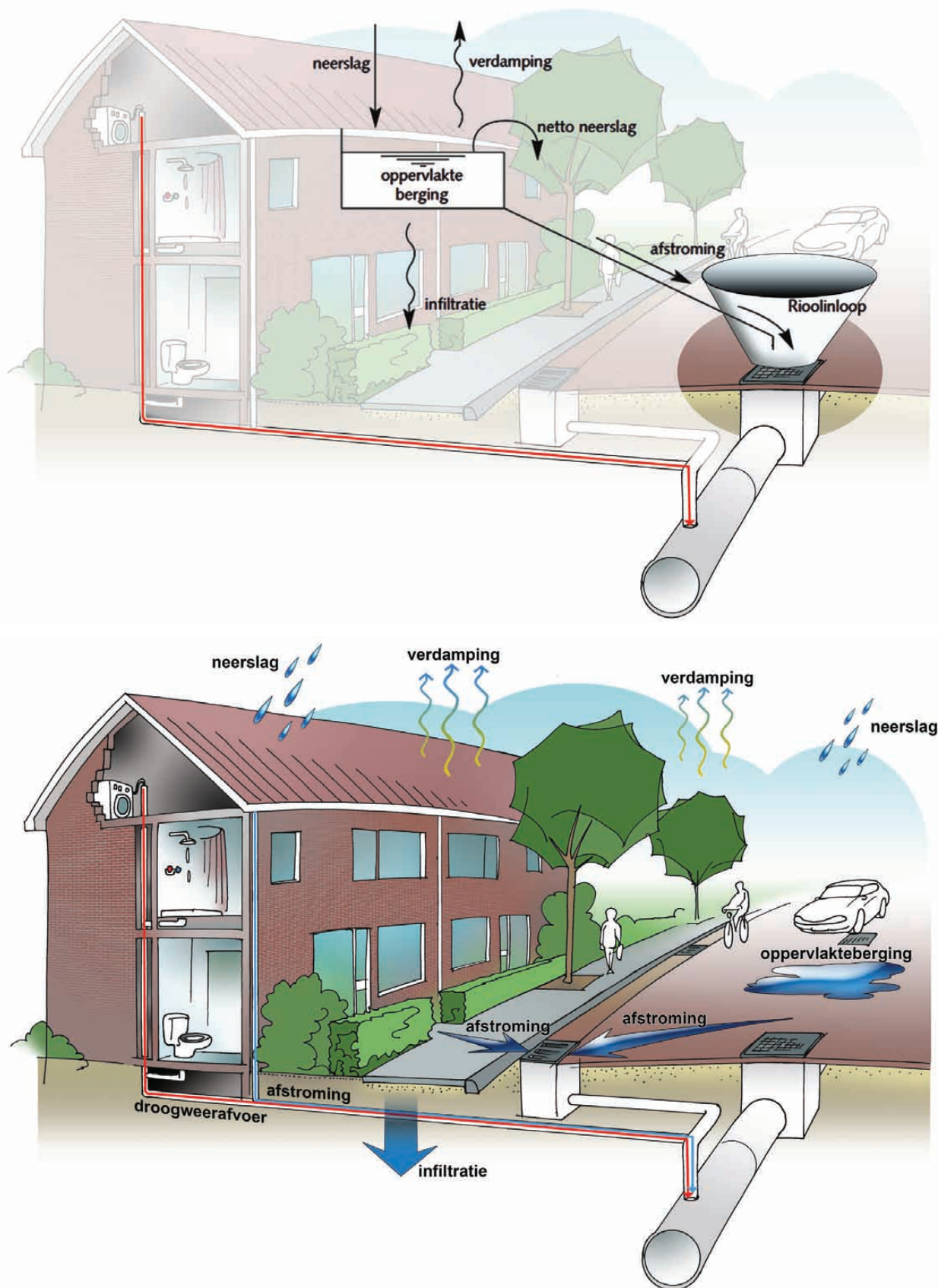
Inloopmodel

In het eerste geval is het traditionele NWRW-inloopmodel gebruikt. Hierbij wordt neerslag via een reservoirmodel met berging, verdamping, infiltratie en afstromingsvertraging vertaald naar inloop in de riolering. Water komt pas op het maaiveld zodra de capaciteit van de riolering wordt overschreden.

Afstromingsmodel

Voor de tweede situatie is de optie gebruikt om neerslag direct op het maaiveld te laten vallen. Hierbij wordt aangenomen dat de bebouwing wel via het NWRW-inloopmodel direct in de riolering loost (in de praktijk via de huisaansluitingen). Water dat op (on)verhard oppervlak valt, stroomt over het maaiveld naar het laagste punt (vaak de kolken) en belast zo het rioolstelsel. Ook hier wordt rekening gehouden met verdamping en infiltratie, bevochtiging van het oppervlak is buiten beschouwing gelaten. De oppervlakteberging wordt meegenomen in de maaiveldhoogte (verlagingen die niet leegstromen) en de afstromingsvertraging is gerelateerd aan een stromingsweerstand. Het gebruik van een weerstandscoefficiënt (bijvoorbeeld op basis van Manning) resulteert in een ruimtelijk gevarieerde afstromingsvertraging.

In figuur 11 ziet u het verschil tussen het inloop- en afstromingsmodel. In het vervolg wordt het NWRW-model aangeduid als het inloopmodel en de afstroming over maaiveld als het afstromingsmodel.



Figuur 11 Vergelijking inlooppmodel met afstromingsmodel

De belangrijkste verschillen met het inloopmodel houden verband met de toestroom naar en instroom in kolken. Door oneffenheden in het maaiveld of obstakels kan het zijn dat water kolken bijvoorbeeld niet kan bereiken. Ook als een kolk de hoeveelheid water niet kan verwerken, stroomt het water verder naar een volgend laagstgelegen punt. In de berekeningen is geen rekening gehouden met eventuele vervuiling van kolken, maar de methode biedt hiertoe wel mogelijkheden.

5.4 Maaiveldmodel schematiseren

Een maaiveldmodel ten behoeve van 2D-afstromingsberekeningen bestaat uit driehoekjes (TIN), die hun informatie (hoogte op de hoekpunten) onttrekken aan het hoogtebestand, dat op zichzelf ook als TIN in InfoWorks is opgenomen. Het is mogelijk een maaiveldmodel te genereren met een heel hoge resolutie, terwijl de hoogte-informatie een veel lagere resolutie heeft. Zo wordt de lage resolutie van de hoogte-informatie zichtbaar in het rekenmodel, zonder dat een andermaaiiveldmodel nodig is bij een hogere resolutie in de scenario's.

5.5 Resultaten doorrekening scenario's

De vier scenario's uit paragraaf 5.2 zijn doorgerekend met bui 08 uit module C2100 van de Leidraad riolering. Deze bui komt gemiddeld eens per twee jaar voor en leidt in korte tijd (circa 1 uur) tot een forse afstroming van het (on)verharde oppervlak.

5.5.1 Resultaten met inloopmodel

De berekeningsresultaten voor de vier scenario's lijken grotendeels redelijk overeen te komen (zie figuur 12). Wel zit een duidelijk verschil tussen scenario 3 (met alleen MLM-data) en de andere scenario's. Bij scenario 3 treedt in de achtertuinen geen water op straat op. Dit komt door het gebrek aan maaiveldinformatie. De hoogtegegevens zijn hier geïnterpoleerd op basis van omliggende hoogtemetingen.

In detail zijn er wat kleine verschillen in locaties van water op straat en waterdiepte. Vooral voor de scenario's 3 en 4 (respectievelijk MLM en MLM + AHN) ziet het resultaat er 'natuurlijker' uit. Het water lijkt zich veel meer te concentreren in de goten dan bij gebruik van

alleen AHN. Dit is een gevolg van de gedetailleerde hoogte-informatie en daarmee het gedetailleerder beeld van het wegprofiel bij MLM-data. De AHN-data zijn te grof om het maaiveld tot op gootniveau goed te modeleren, zelfs in scenario 2 waar de maaiveldpunten zijn gebruikt. In Figuur 13 ziet u een detail van het rekenresultaat.

Opvallend is dat het resultaat met de AHN-grid 0,5x0,5m er vloeiender uit ziet dan van de AHN-punten, in de berekening met het puntenbestand lijken veel lokale laagtes aanwezig te zijn. Dit kan te maken hebben met de verkleining van de stochastische fout van de individuele meetpunten bij het vertalen van de data naar een grid. Vooral langs de stoeprand zitten duidelijke verschillen tussen de scenario's. Deels komt dit door geparkeerde auto's in zowel de AHN- als de MLM-data. Waar een auto staat, is in beide gevallen geen maaiveldinformatie beschikbaar en is geïnterpoleerd op basis van omliggende data. Aangezien de hoogtedata op verschillende momenten zijn ingemeten, kunnen de posities van geparkeerde auto's verschillen. Dit is deels ondervangen door beide databronnen te combineren.

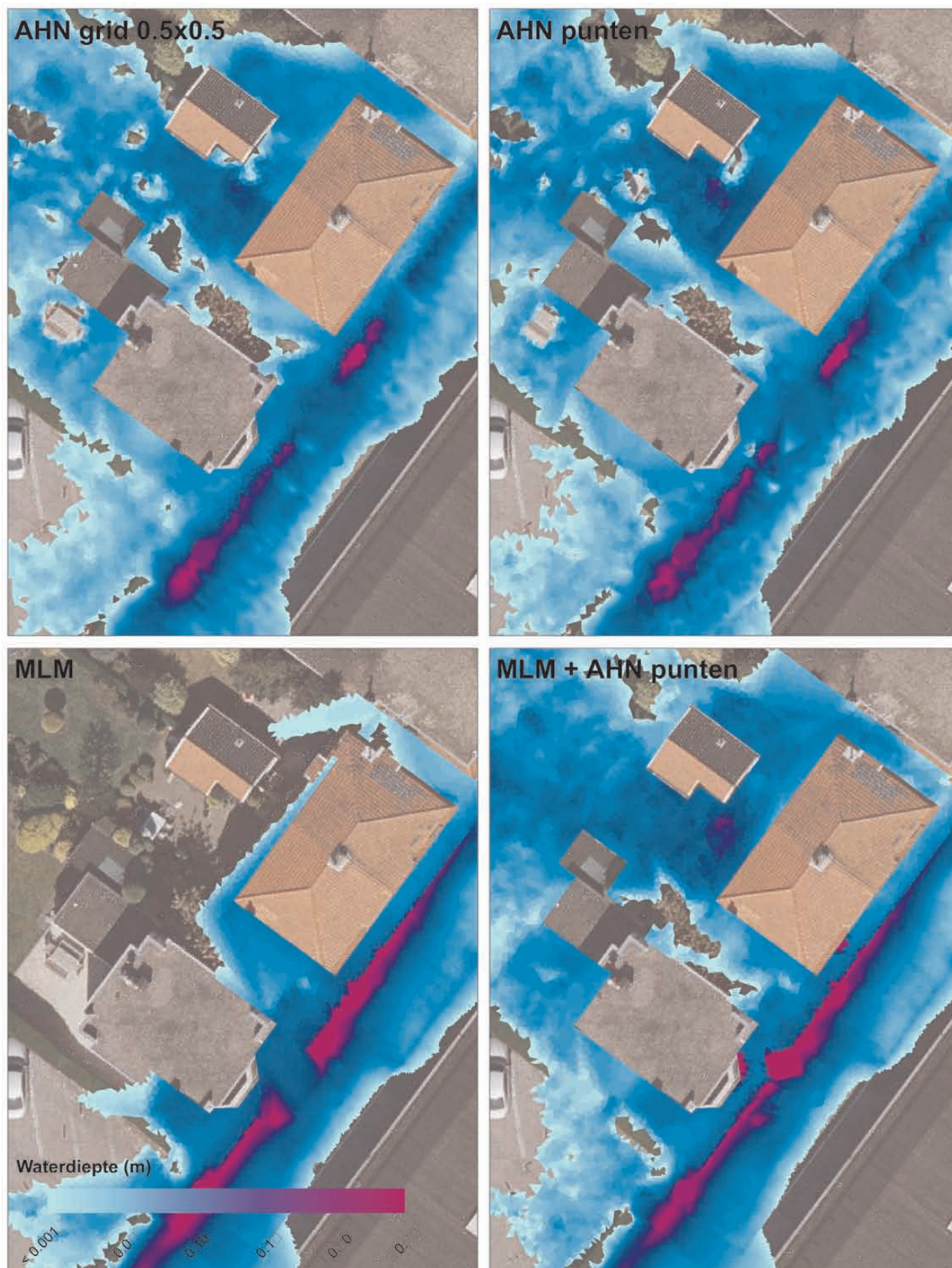
Bij de filtering van de gegevens om het aantal datapunten terug te brengen (noodzakelijk vanwege de geheugenbeperkingen van hard- en software), ontstaan ook verschillen tussen gebruik van alleen de MLM-data en gecombineerd gebruik van AHN en MLM. Voor gebruik van alleen AHN-data is een filtering op deze schaal niet noodzakelijk, omdat voor een dergelijk gebied de software niet limiterend is. In dit geval zijn beide datasets niet gecorrigeerd op basis van eenzelfde set van bekende, nauwkeurig ingemeten meetpunten vanwege het ontbreken van een dergelijke dataset.

5.5.2 Resultaten met afstromingsmodel

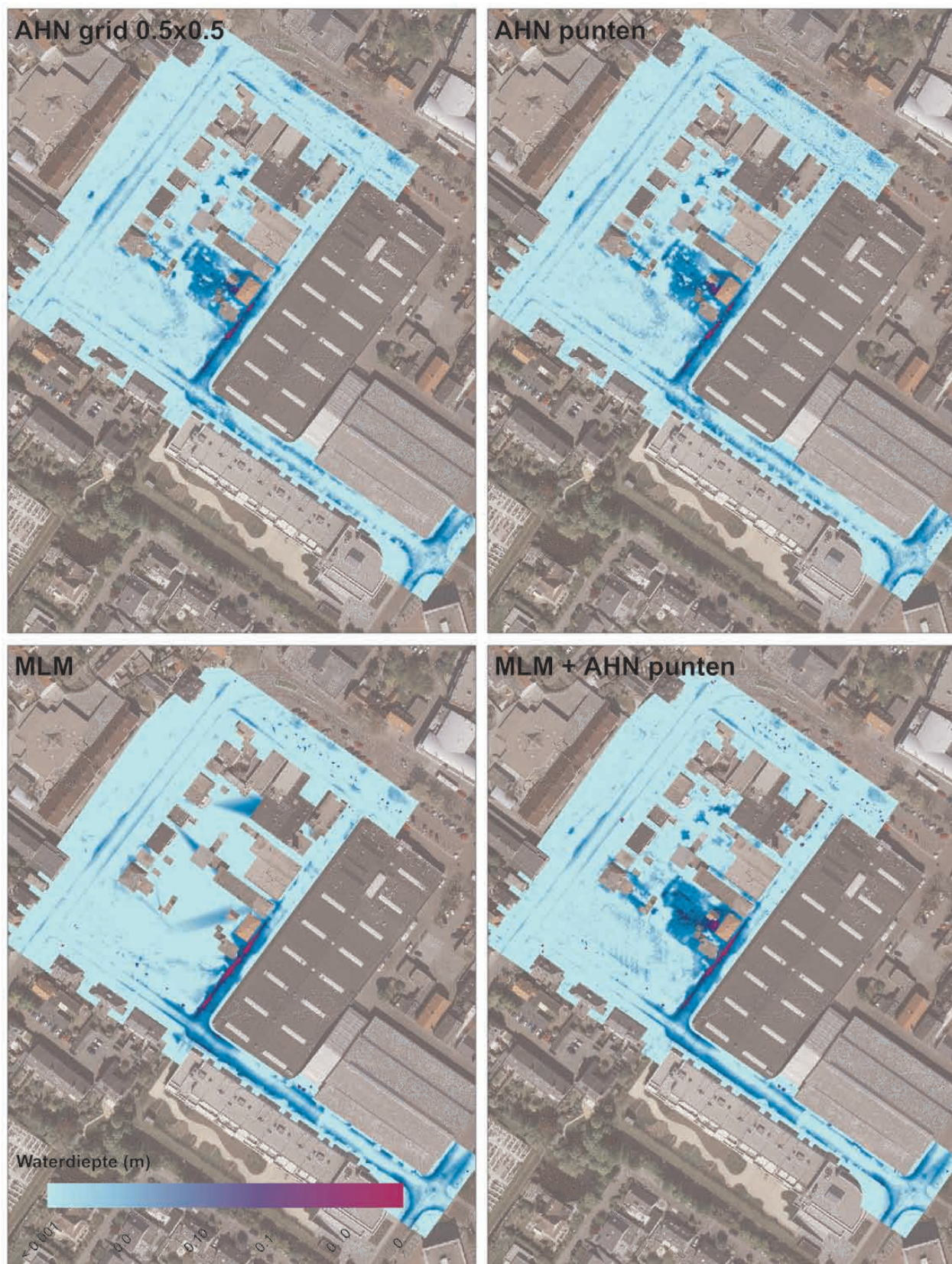
Net als bij het inloopmodel zijn de resultaten van de vier scenario's redelijk vergelijkbaar en wijkt scenario 3 (alleen MLM-data) duidelijk af bij de achtertuinen. Ook de interpolatie van de maaivelddata is zichtbaar: bij het gebruik van alleen MLM zijn in de achtertuinen onrealistische parallelle lijnen zichtbaar. In tegenstelling tot de resultaten met het inloopmodel is nu overal sprake van een zekere hoeveelheid water die over maaiveld stroomt. De neerslag valt



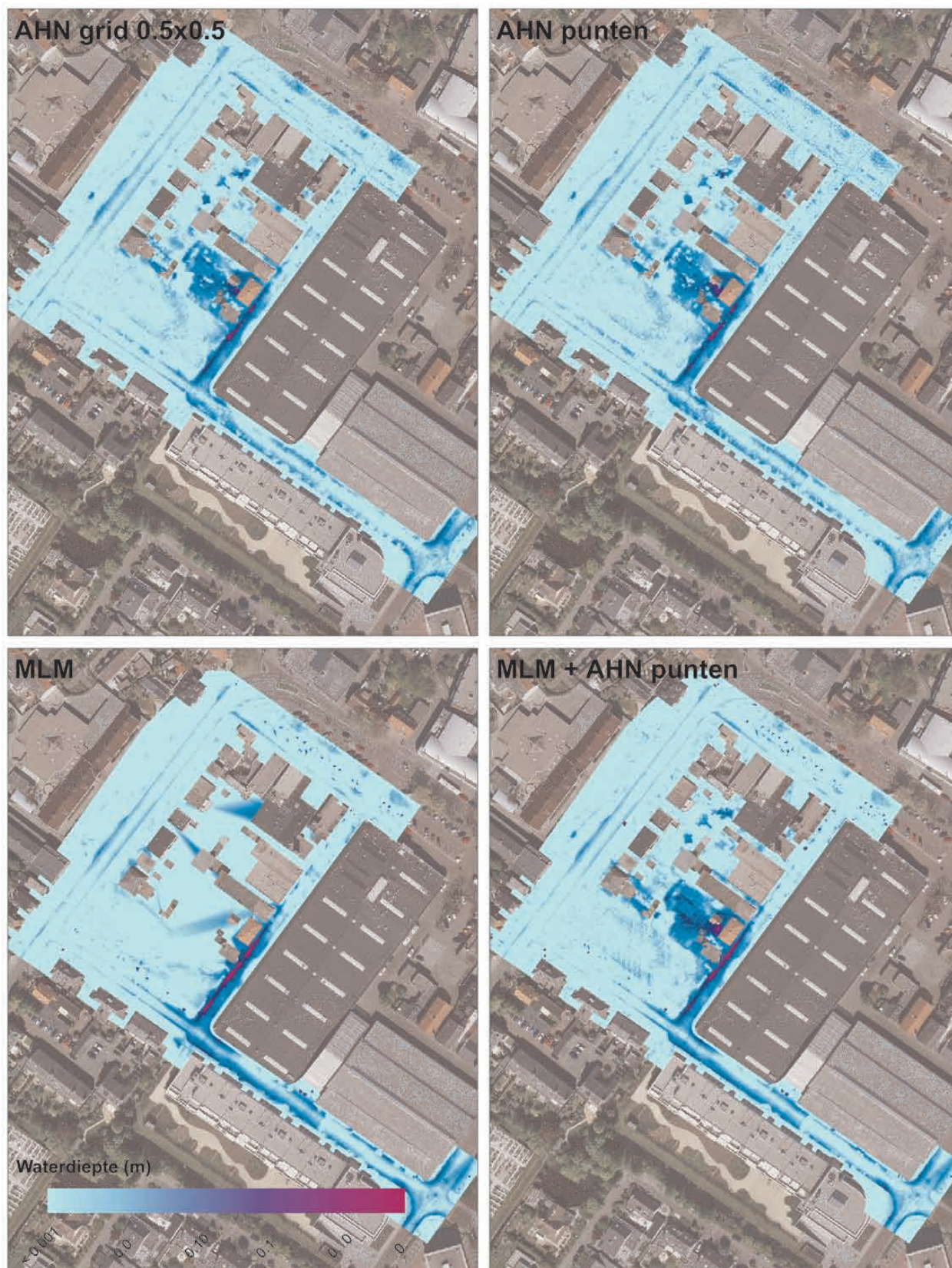
Figuur 12 Maximaal optredende waterdiepte op maaiveld bij bui 8 met inloopmodel



Figuur 13 Detail maximaal optredende waterdiepte op maaiveld bij bui 8 met inlooppmodel



Figuur 14 Maximaal optredende waterdiepte op maaiveld bij bui 8 met afstromingsmodel



Figuur 15 Detail maximaal optredende waterdiepte op maaiveld bij bui 8 met afstromingsmodel

direct op het maaiveld-model en stroomt daarna pas de riolering in. Aan de oost- en zuidzijde lijkt de maximale waterdiepte in de goten bij AHN groter dan bij MLM. Mogelijk komt dit doordat het wegprofiel gedetailleerder in de maaivelddata aanwezig is en het water daardoor beter in de richting van de kolken kan stromen. Meer in detail is vooral in de achtertuinen duidelijk meer water te zien dan bij het inloopmodel (zie figuur 15).

In figuur 15 is ook nog beter het verschil te zien tussen de resultaten met alleen MLM-data en de overige scenario's in de achtertuinen. Door het volledig ontbreken van maaiveldhoogten in dit gebied en de grove interpolatie die daaruit ontstaat, is het resultaat hier niet representatief voor de werkelijkheid. Bij de scenario's met AHN-data is bij het afstromingsmodel sprake van meer water in de tuin dan bij het inloopmodel. Dit duidt op de oppervlakkige afstroming van neerslag door de achtertuinen die niet naar de riolering stroomt. In dit geval verzamelt het water zich vooral achter een van de woningen, waar dit in de praktijk zorgt voor wateroverlast.

5.5.3 Conclusie

Samenvattend is te stellen dat een gedetailleerd afstromingsmodel met MLM-data hier een iets realistischer beeld geeft van de omvang en locatie van water op straat (op de locaties waar data beschikbaar zijn) dan een gedetailleerd afstromingsmodel met AHN-data. Belangrijkste conclusie is dat beide databronnen elkaar kunnen versterken. AHN-data zijn te gebruiken voor die delen waar MLM niet kan komen, en andersom. Samen vormen ze een completer beeld dat bij gebruik van een gedetailleerd afstromingsmodel de werkelijkheid redelijk benadert. Dit gaat vooral op voor achtertuinen waar MLM niet kan komen en AHN wel.

Kapotte scanner

Bij de scenario's met MLM-data zijn vooral aan de noordzijde kleine donkere vlekken (grote waterdiepte) te zien. Dit komt door lage punten in het maaiveld-model die bij de geautomatiseerde filtering niet zijn verwijderd. Een belangrijke oorzaak hiervan is dat het zelfcorrigerend vermogen van deze MLM-dataset beperkter is dan dat van een standaarddataset. Normaliter worden twee scanners gebruikt om de maaiveldhoogte te bepalen, waarna de data van beide scanners worden samengevoegd. In dit geval bleek een van de scanners tijdens de inwinning kapot te zijn en zeer onbetrouwbare data te leveren. Daarom zijn alleen de data van één scanner gebruikt.

6 Aandachtspunten en nabeschuwing

6.1 Datakeuze bij modellering maaiveld

Bij de modellering van het maaiveld kunt u kiezen voor AHN2- of MLM-data (ALS of MLS), of voor een combinatie. Die keuze hangt voornamelijk af van de beschikbaarheid en/of de beoogde toepassing. Het gebruik van MLS om louter aan maaiveldhoogten voor rioleringsmodellen te komen, zal bij de gemeente niet veel draagvlak vinden. Bekijk daarom of deze informatie ook voor andere afdelingen interessant is. Denk aan koppeling met bijvoorbeeld de BGT (Basisregistratie Grootschalige Topografie) om zo een driedimensionale weergave van de stad te genereren. Hiervoor zijn vele gebruiksmogelijkheden te bedenken, zoals het bepalen van dakvormen voor zonnepanelen of groene daken en akoestische studies. Andersom kunt u natuurlijk ook meeliften met MLS als dit voor andere doeleinden wordt uitgevoerd, zoals controle van bouwvergunningen.

Het AHN2 kan iedereen aanschaffen en is sinds begin maart vrij beschikbaar via PDOK (Publieke Dienstverlening Op de Kaart, zowel in de vorm van rasterbestanden als puntenwolken. Ook hebben de waterschappen en Rijkswaterstaat als opdrachtgevers het AHN2 voor hun beheergebied. Zij kunnen dit ter beschikking stellen, bijvoorbeeld op projectbasis.

Als beide datasets beschikbaar zijn, kunt u een verdere afweging maken op basis van kwaliteit (zie hoofdstuk 4 en de overige paragrafen in dit hoofdstuk).

6.2 Aandachtspunten voor toepassing in de praktijk

- Gebruik eenzelfde derde dataset om correcties door te voeren bij MLM + AHN2.
- Interpolatie naar een grid verhoogt de nauwkeurigheid van een AHN2-meting, maar doet concessies aan het detailniveau van het hoogteverloop.
- De relatief lage updatefrequentie van AHN2 kan leiden tot fouten door nieuwe ontwikkelingen.
- Het gebrek aan MLM-data in bijvoorbeeld achtertuinen noopt tot gebruik van aanvullende data.
- Modelvalidatie is lastig, dus gebruik een zo nauwkeurig en gedetailleerd mogelijk maaiveldmodel.

Derde dataset

Bij het gebruik van zowel AHN2 als MLM in eenzelfde rekenmodel is het verstandig beide datasets te corrigeren (als het ware kalibreren) op basis van eenzelfde (gecontroleerde) derde dataset, zoals inspectiepuithoogten of waterpassingen. Dit voorkomt zo veel mogelijk dat beide hoogtebestanden niet op elkaar aansluiten door verschillen in de foutmarge van hoogtemetingen. Met een betrouwbaarheid van 95,4% wijkt een AHN2-meetpunt maximaal 15 cm af van de werkelijkheid, een MLM-meetpunt 8 cm. In theorie zou eenzelfde punt in de twee datasets daardoor een hoogteverschil van 23 cm kunnen hebben. Met een derde dataset met in hoogte overeenkomstige punten wordt dit verschil kleiner en worden sprongen in de data, vooral bij de overgang van MLM- naar AHN2-data, voorkomen. (Zie ook het kader in paragraaf 5.2.)

Interpolatie naar een grid

De punt dichtheid van de AHN2-meetpunten is zodanig dat een redelijk gedetailleerd hoogteverloop van bijvoorbeeld een straatprofiel beschikbaar is en bijvoorbeeld goten zichtbaar (kunnen) zijn. Door onder meer de grote afstand van het meetinstrument (aan het vliegtuig) tot het aardoppervlak is de ruis zo groot dat de betrouwbaarheid van de punten onderling minder is dan bij bijvoorbeeld MLM. Door de conversie van de individuele meetpunten naar een grid wordt de stochastische fout in de meting in principe kleiner, uitgaande van het principe dat nabijgelegen maaiveldpunten vrijwel eenzelfde hoogte zouden moeten hebben. Nadeel is dat hierdoor 'tegels' van 0,5 x 0,5 m ontstaan met eenzelfde hoogte, waardoor het detailniveau minder wordt en bijvoorbeeld goten verdwijnen.

Fouten door lage updatefrequentie AHN

De updatefrequentie van het AHN is laag. Bij nieuwe ontwikkelingen in hoog intensief stedelijk gebied (zoals wegrenovatie en herinrichting) kan dit leiden tot fouten in het hoogtemodel ten opzichte van de actuele situatie. MLM is dynamischer en biedt meer kansen om de hoogtegegevens actueel te houden. Denk hierbij aan een opleveringsscan met een statische laser na bijvoorbeeld een wegrenovatie. Dit kan overigens ook met het AHN2 als basis, waarbij dit wordt geactualiseerd met de nieuwe informatie.

Gebruik aanvullende data

Het gebruik van alleen MLM-data is geschikt zolang het modelgebied beperkt blijft tot de gebieden waar ook meetpunten aanwezig zijn. Doordat er geen data zijn voor bijvoorbeeld achtertuinen (buiten het bereik van de laser), ontstaat daar een interpolatie op basis van omliggende meetpunten die weinig aansluiting heeft met de werkelijkheid. De combinatie van MLM en AHN lijkt hier een praktische oplossing (inclusief het gebruik van een derde dataset voor de hoogtecorrectie, zie eerste aandachtspunt).

Modelvalidatie

Als het water onder maaiveld blijft, is het met de huidige modellen en inzichten al lastig om rioleringsmodellen op basis van metingen van waterstanden en debieten goed te valideren (kalibreren). Maar het is ondoenlijk om situaties te kalibreren waarbij water op straat optreedt, zonder beschikbare informatie over hoeveel water er precies op straat staat, hoe lang en hoe ver dit zich verspreidt met welke waterdiepten. Probeer daarom bij het modelleren van het maaiveld de onzekerheden in het model zo veel mogelijk te beperken. Gebruik dus een zo nauwkeurig en gedetailleerd mogelijk maaiveldmodel. Daarnaast dragen foto's en video's van werkelijk opgetreden situaties bij aan een validatie van de modelresultaten.

6.3 Toekomstige ontwikkelingen

Naar verwachting zal het inwinnen van hoogtegegevens zich de komende tijd niet snel ontwikkelen. De huidige ALS- en MLS-systemen werken goed. Wel kan door verbetering van de sensoren de punt dichtheid toenemen. Het nieuwe AHN (AHN3) lijkt zich vooral te gaan richten op het inwinnen van aanvullende data (kleur en intensiteit) en filtering (onderscheid tussen vegetatie en overig niet-maaiveld) en niet op een duidelijke verbeteringslag in de nauwkeurigheid. Voor MLM is een toename van de punt dichtheid van weinig toegevoegde waarde. De huidige hoeveelheid punten is vaak al te groot voor de beschikbare rekensoftware en/of computercapaciteit. De aanvullende data die bij het AHN3 worden ingewonnen, maken al deel uit van de MLM-datasets.

De grootste vooruitgang is nog te boeken op het gebied van (automatische) verwerking van de ruwe meetdata,

bijvoorbeeld door objectherkenning. Automatische objectherkenning is waardevol bij de verschillende correctie- en filterstappen en komt het uiteindelijke gebruikersgemak ten goede. MLS-systemen die op het spoor worden gebruikt, herkennen bijvoorbeeld al automatisch portalen.

Ook in de software waarmee de berekeningen worden uitgevoerd, is nog winst te behalen. Door de overgang van 32- naar 64-bitssystemen is hierin al een duidelijke verbetering zichtbaar. Hierdoor is er meer ruimte voor data om het maaiveld te beschrijven. Het rekenen over een grafische kaart (GPU) in plaats van de processoren (CPU) zorgt voor een grote verbetering van de reketijden. Maar zeker bij het gebruik van hogeresolutierekenmodellen voor grote gebieden worden de grenzen van de beschikbare geheugen- en reken capaciteit nog vrij snel bereikt.

6.4 Nabeschuiving

Waar circa tien jaar geleden nog enige scepsis heerste rond gedetailleerde afstromingsberekeningen voor water-op-straatsimulaties, lijkt de tijd nu wel rijp voor de toepassing ervan. Niet zozeer vanwege een significant verschil in het te verkrijgen inzicht, maar vanwege een betere verhouding tussen benodigde inspanning en resultaat. Het AHN2 is voor heel Nederland beschikbaar en steeds vaker worden nieuwe meettechnieken zoals MLM gebruikt om de omgeving nauwkeurig in beeld te brengen. Het is slechts een kwestie van tijd dat de reken capaciteit voldoende is voor grotendeels geautomatiseerde verwerking van de enorme hoeveelheid gegevens. De data zijn beschikbaar, de rekenmodellen zijn erop toegerust, dus waarom zouden we die niet gebruiken?

Literatuur

Lillesand, T.M., Kiefer, R.W., Chipman, J.W. (2004).

Remote Sensing and Image Interpretation. Hoboken, New Jersey, USA. John Wiley & Sons, Inc. 5e druk, hoofdstuk 8: Microwave and Lidar Sensing, 638-738.

Mason, D.C., Horritt, M.S., Hunter, N.M., Bates, P.D. (2007).

Use of fused airborne scanning laser altimetry and digital map data for urban flood modelling. Hydrological Processes, 21, 1436-1447.

Zhou, L., Vosselman, G. (2012). Mapping curbstones in airborne and mobile laser scanning data. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 18, 293-304.

Zon, van der, N. (2012). Kwaliteitsdocument AHN-2. Delft:

Rijkswaterstaat Data-ICT-Dienst, Servicedesk Data, versie 1.2, 31 pagina's.

Internet

AHN

www.ahn.nl

Teccon bvba – Technology for Topography, CAD & Construction

www.teccon.be

Bijlage 1 Resultaten met inloopmodel



Ondergrond Copyright © 2014. Dienst voor het kadaster en openbare registers. Apeldoorn.

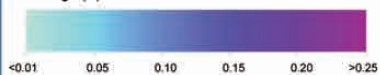
AHN2 grid neerslag op inloopmodel

Maaiveldmodellen in bebouwd gebied

10 5 0 10 20 30 40 50
Meter

Legenda

Waterhoogte (m)

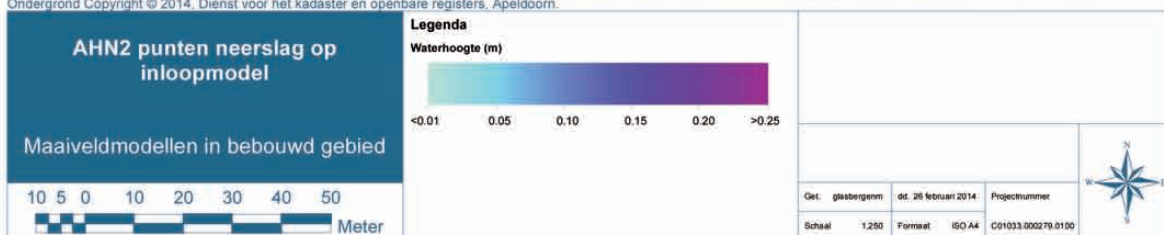


Get. gwaabergem	dd. 26 februari 2014	Projectnummer
Schaal 1:250	Formaat ISO A4	C01033.000279.0100



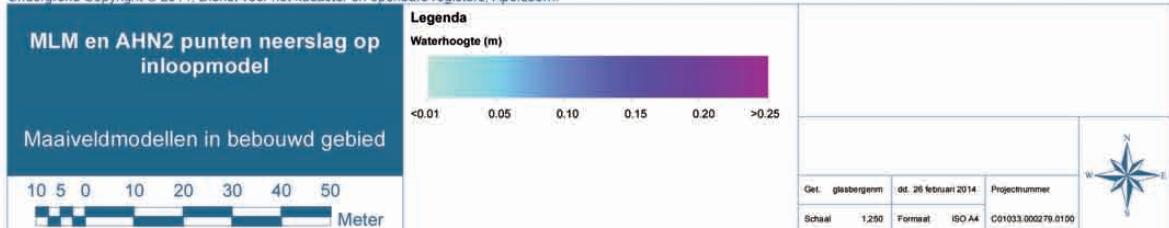


Ondergrond Copyright © 2014. Dienst voor het kadaster en openbare registers. Apeldoorn.





Ondergrond Copyright © 2014. Dienst voor het kadaster en openbare registers, Apeldoorn.





Ondergrond Copyright © 2014. Dienst voor het kadaster en openbare registers. Apeldoorn.

MLM neerslag op inloopmodel

Maaiveldmodellen in bebouwd gebied

10 5 0 10 20 30 40 50

Meter

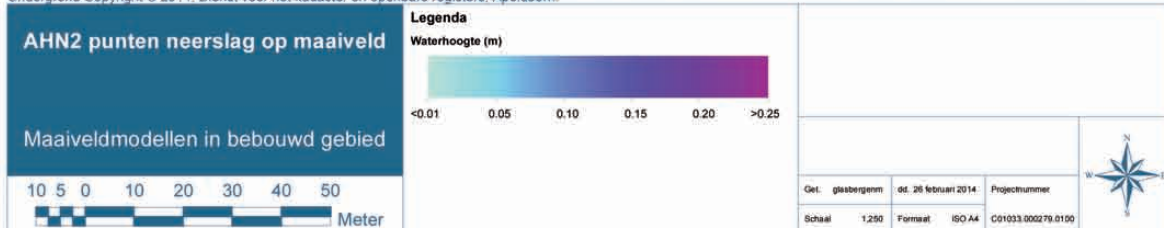
Legenda

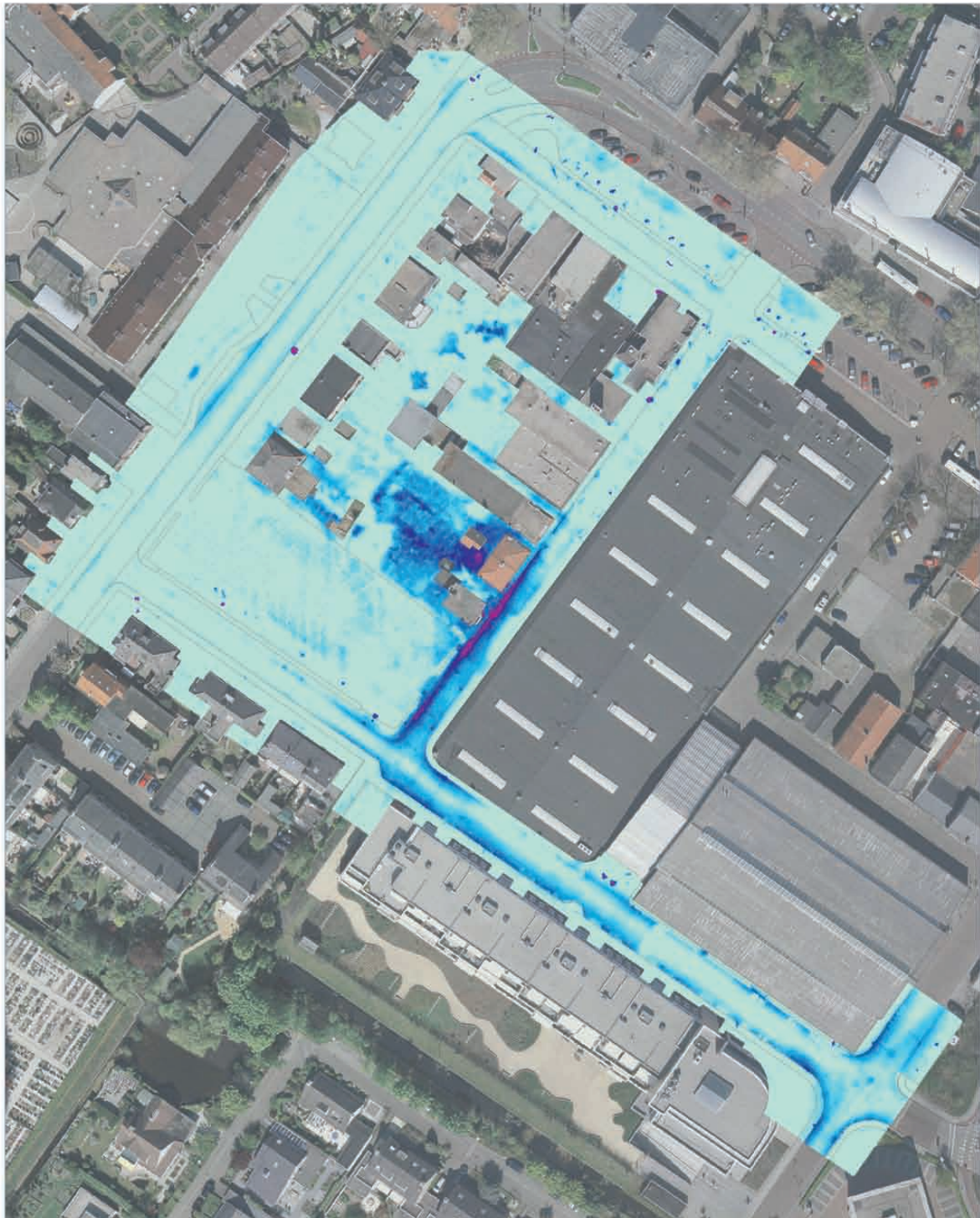
Waterhoogte (m)

<0.01 0.05 0.10 0.15 0.20 >0.25

Get. guabergem	dd. 26 februari 2014	Projectnummer
Schaal 1:250	Formaat ISO A4	C01033.000279.0100

Ondergrond Copyright © 2014. Dienst voor het kadaster en openbare registers. Apeldoorn.

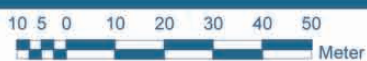




Ondergrond Copyright © 2014. Dienst voor het kadaster en openbare registers. Apeldoorn.

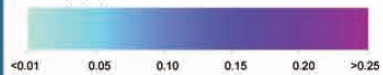
MLM en AHN2 punten neerslag op maaiveld

Maaiveldmodellen in bebouwd gebied



Legenda

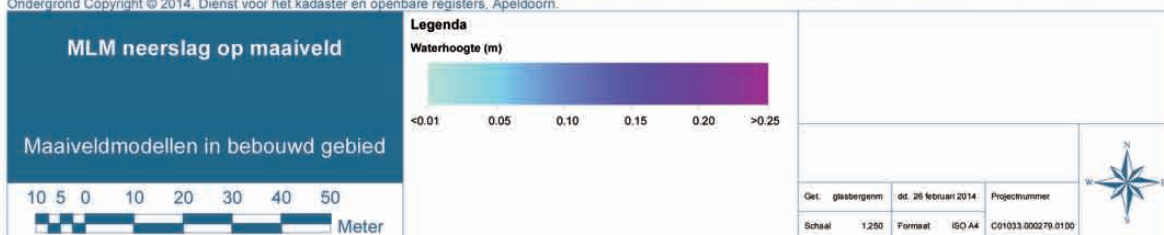
Waterhoogte (m)



Get. gasbergen	dd. 26 februari 2014	Projectnummer
Schaal 1:250	Formaat ISO A4	C01033.000279.0100



Ondergrond Copyright © 2014. Dienst voor het kadaster en openbare registers. Apeldoorn.



Het gebrek aan nauwkeurige informatie van de maaiveldhoogte in het bebouwd gebied was tot voor kort een zwakke schakel in een adequate analyse van de impact van extreme buien. De realisatie van de AHN2 (algemene hoogtekarta van Nederland) stimuleerde de ontwikkeling van nieuwe snelle rekentechnieken voor een nauwkeuriger simulatie van water op straat en regenwateroverlast.

Met het rekenen op snelle grafische processoren en de inzet van nauwkeurigere radarbeelden en weermodellen krijgen we steeds verfijnder beeld van wat er mis kan gaan bij extreme buien. Buien die we in de praktijk vaak nog niet aan den lijve hebben ondervonden. Met deze nieuwe middelen en informatie krijgen we meer grip op de risico's en op de mogelijkheden om in te grijpen. Nauwkeurige en gedetailleerde maaiveldhoogtemetingen vormen de basis van die analyse. Deze publicatie laat de (on)mogelijkheden van deze metingen zien.