

Bepalen luchtverontreiniging door verkeer met behulp van 3D-geo-informatie

Ceccarelli, Giulia; de Jongh, Wessel; Lánský, Imke; Li, Jinglan; Mastorakis, Konstantinos; Teeuwisse, Sander; Peters, Ravi; Garcia Sanchez, Clara; Stoter, Jantien

Publication date

2019

Document Version

Final published version

Published in

Geo-Info

Citation (APA)

Ceccarelli, G., de Jongh, W., Lánský, I., Li, J., Mastorakis, K., Teeuwisse, S., Peters, R., Garcia Sanchez, C., & Stoter, J. (2019). Bepalen luchtverontreiniging door verkeer met behulp van 3D-geo-informatie. *Geo-Info*, 16(4), 34-39.

Important note

To cite this publication, please use the final published version (if applicable).
Please check the document version above.

Copyright

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

Takedown policy

Please contact us and provide details if you believe this document breaches copyrights.
We will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Bepalen luchtverontreiniging met behulp van 3D-geo-in

Eerder publiceerden we in Geo-Info over onze methode om 3D-data zoals nodig in geluidsimulaties automatisch te genereren uit landsdekkende gegevens zoals BAG, BGT en hoogtepunten [1]. Deze geluidsimulaties zijn gebaseerd op gestandaardiseerde rekenvoorschriften voor geluidsbelasting. Ook het berekenen van de luchtkwaliteit ten gevolge van binnenstedelijk verkeer kent een Standaard Rekenmethode, beheerd door het RIVM. Deze methode is onder andere gebaseerd op de afstand tussen gebouwen en de weg en hoogtes van deze gebouwen, met andere woorden: een mooi 3D-geo-informatievraagstuk. Daarom hebben we met een groep Geomatics-studenten gekeken of we deze informatie automatisch kunnen genereren, zodat de luchtverontreiniging ten gevolge van verkeer op landelijke schaal kan worden berekend.

Door projectteam MSc Geomatics, TU Delft

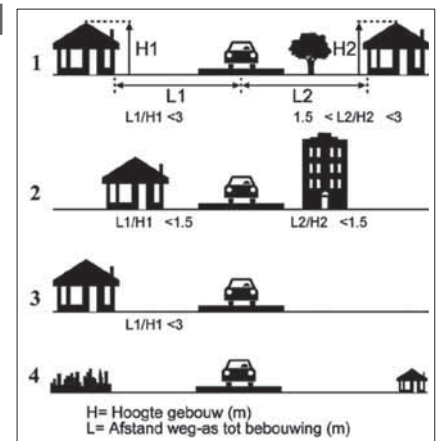
Om luchtverontreiniging ten gevolge van verkeer in bebouwd gebied te berekenen, wordt gebruik gemaakt van Standaard Rekenmethode 1 (SRM1) [2]. Deze rekenmethode wordt voorgeschreven door het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. Door de gebouwen langs wegen in bebouwd gebied ontstaan de zogenaamde 'street canyons'. Hierdoor blijft de lucht als het ware ingevangen in de straat met een verhoogde concentratie van verontreinigende stoffen tot gevolg. Dit in tegenstelling tot snelwegen en andere buitenwegen waar de uitgestoten luchtverontreiniging door verkeer direct wordt afgevoerd door de wind. Voor dit type weg geldt SRM2.

De SRM1-rekenmethode is gebaseerd op wind-tunnelonderzoek in de jaren tachtig en maakt gebruik van een wegtypering. Deze typering bestaat uit vier klassen die de configuratie van de straat beschrijven op basis van de afstand tot en hoogte van omliggende gebouwen. Samen met onder andere gegevens over snelheid, verkeersafwikkeling (mate van congestie) en verkeersintensiteit kan met SRM1 de luchtverontreiniging ten gevolge van verkeer worden bepaald. De rekenmethode SRM1 is beschikbaar via de NSL-rekentool (NSL: Nationaal Samenwerkingsprogramma Luchtkwaliteit). Via de NSL-site zijn ook de achterliggende gegevens die worden gebruikt bij de jaarlijkse monitoring van luchtkwaliteit te bekijken en te downloaden [3]. Deze achterliggende gegevens zijn onder andere verkeersgegevens, ligging van de wegen en rekenpunten, wegtype en achtergrondconcentraties. De wegtypes (onderwerp van dit artikel) zijn beschikbaar op receptorpunten die aan beide zijden van de wegsegmenten liggen.

In het kader van de nieuwe regelgeving voor geluid, welke als onderdeel van de Omgevingswet per 1 januari 2021 in werking treedt, dienen gemeenten vanaf 1 januari 2021 regelmatig rapport uit te brengen over de geluidbronnen in hun gemeente. Onderdeel hiervan is het publiceren van verkeersintensiteiten en verkeerssnelheden voor hun wegen.

Voor wat betreft de luchtkwaliteit zijn op dit moment alleen de (ongeveer 40) grote

Wegtypering voor SRM1



Figuur 1 - Wegtypes zoals onderscheiden in SRM1.

SRM1 kent vier wegtyperingen (zie figuur 1) met de volgende beschrijvingen:

1. aan beide zijden van de weg min of meer aaneengesloten bebouwing op een afstand van maximaal 60 meter van de weg, waarbij de afstand tussen weg-as en gevel kleiner is dan drie maal de hoogte van de bebouwing, maar groter is dan 1,5 maal de hoogte van de bebouwing;
2. aan beide zijden van de weg min of meer aaneengesloten bebouwing op een afstand van maximaal 60 meter van de weg, waarbij de afstand tussen weg-as en gevel kleiner is dan 1,5 maal de hoogte van de bebouwing;
3. aan één zijde min of meer aaneengesloten bebouwing op een afstand van maximaal 60 meter van de weg, waarbij de afstand tussen weg-as en gevel kleiner is dan 3 maal de hoogte van de bebouwing;
4. alle wegen in een stedelijke omgeving, anders dan wegtype 1, 2 en 3.

Er zijn ook aanvullende richtlijnen om deze wegtyperingen te bepalen. Deze zijn als volgt:

1. de lengte van het beschouwde wegsegment moet minstens 100 meter zijn;
2. een gebouw wordt meegenomen als deze minimaal 3 meter hoog is;
3. een weg moet mogelijk een andere wegtypering krijgen als de som van ruimtes tussen de gebouwen langs het wegsegment meer dan 15 meter is.

ng door verkeer formatie

gemeentes verplicht om de luchtverontreiniging die wordt veroorzaakt door verkeer te monitoren en hiervoor (momenteel handmatig) wegtypes toe te kennen aan hun wegennetwerk (het betreft hier de grotere en drukkeren wegen). Dit zal per 1 januari 2021 niet wijzigen. Daarnaast worden berekeningen gedaan voor specifieke projecten.

Door de landelijke beschikbaarheid van verkeersintensiteit en snelheidsgegevens, voorgeschreven door de nieuwe geluidwetgeving, kan echter een eerste orde schatting worden gemaakt van de luchtkwaliteit in alle binnenstedelijke straten. Voorwaarde hiervoor is dat een goede, landelijke schatting gemaakt wordt van het wegtype.

Dit kan ook relevant zijn als er bijvoorbeeld EU-regelgeving komt met strengere normen voor de luchtkwaliteit waardoor ook binnen kleinere gemeentes luchtkwaliteit een knelpunt kan worden. Ook bij een grotere aandacht voor de relatie gezondheid en luchtkwaliteit kan het relevant worden om de luchtkwaliteit in kleinere straten te berekenen. Tenslotte kan met een automatische classificatie methode voor de wegtypen, deze classificatie worden gestandaardiseerd en gekeken worden naar verbeteringen van de rekenmethode.

Wegtypering

De SRM1-methode kent vier wegtypering gebaseerd op bebouwing die zich binnen 60 meter bevindt van de wegas (zie kader voor een meer gedetailleerde beschrijving). Wegtype 1 heeft bebouwing aan beide zijden

van de weg en min of meer aaneengesloten gevels. Wegtype 2 is vergelijkbaar met wegtype 1, maar dan met relatief hoge gevels ten opzichte van de breedte van de straat. Wegtype 3 heeft bebouwing aan één zijde van de weg, eveneens met een min of meer aaneengesloten gevel. Bij wegtype 4 staat de aanwezige bebouwing verspreid in de omgeving, bijvoorbeeld een weg met twee-onder-een-kapwoningen of vrijstaande woningen.

De vier wegtypes worden op dit moment voor de relevante wegen handmatig 'geschat' door luchtkwaliteitsexperts. Zij maken daarvoor gebruik van panoramafoto's, 3D-GIS-data en doen schattingen in de straat zelf. De vereiste waarden voor afstand tot gebouwen en bouwhoogten zijn daardoor ruwe schattingen. Bovendien vraagt deze handmatige classificatie veel tijd en kan dus slechts voor een gering aantal straten worden uitgevoerd. Tenslotte worden de wegtypering op dit moment alleen verzameld voor de gemeenten die luchtkwaliteit moeten monitoren en voor ad hoc studies.

In samenwerking met RIVM hebben MSc Geomatics-studenten (zie figuur 2 links) daarom in het kader van projectonderwijs gewerkt aan een automatisch classificatie algoritme op basis van landsdekkende 3D- en 2D-geo-informatie (figuur 2 rechts).

Input data

Voor de hoogtes van de gebouwen maken we gebruik van de 3D-BAG-dataset, die maandelijks

wordt gegenereerd door de 3D-onderzoeksgroep van de TU Delft vanuit de BAG en AHN [4]. Deze dataset bevat dakhoogten op verschillende percentielen (25, 50, 75, 90, 95 en 99).

Vanwege de vele ondergrondse constructies in Amsterdam (ons testgebied) die helaas in de BAG niet te onderscheiden zijn van bovengrondse constructies, hebben we de 3D-BAG-hoogtes via het BAG-ID gekoppeld aan BGT-geometrieën van panden (gedownload via PDOK). De BGT kent namelijk alleen maar de geometrie van bovengrondse objecten en ondergrondse geometrie wordt hiermee dus genegeerd.

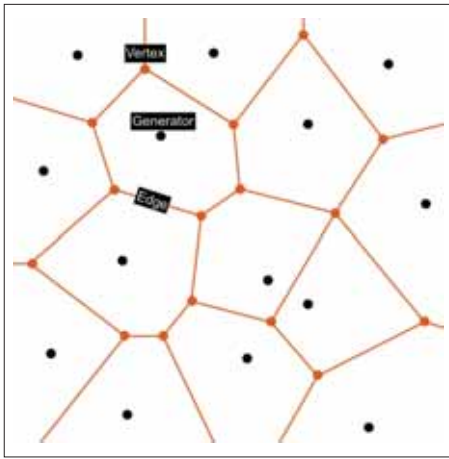
Voor het bepalen van de gebouwhoogte voor de wegtypering gebruiken we het 95^e percentiel van de hoogtepunten van de gebouwen. Volgens RIVM moet het hoogste bouwpoint in aanmerking worden genomen voor luchtkwaliteitsberekeningen. Echter, het 99^e percentiel kan ook uitschieters op schoorstenen bevatten, welke door gebruik te maken van het 95^e percentiel worden uitgefilterd. Als input voor de wegen gebruiken we de wegasen van het Nationaal Wegenbestand (NWB), beschikbaar via PDOK.

Eerstelijnsbebouwing identificeren en koppelen aan wegsegmenten

We hebben verschillende methodes ontwikkeld die allemaal de eerstelijnsbebouwing als input nodig hebben. Het bepalen van de eerstelijnsbebouwing lijkt een triviaal probleem, maar dat is het niet. Het gebruik van een of



Figuur 2 - Links: het studentenprojectteam. Rechts: resultaat van het project: automatisch geclassificeerde wegen in Amsterdam (zie legenda in figuur 5).



Figuur 3a - Principe van Voronoi-Diagram.

meerdere buffers werkt niet, omdat de afstand tot aan de wegas, zelfs binnen één segment, nogal kan variëren. Dus welke buffergrootte kies je om wel alle aanliggende gebouwen, maar tegelijkertijd niet te veel gebouwen aan te wijzen? Een andere mogelijkheid is om de wegen om te zetten naar een opeenvolging van vertices en aan weerszijden van deze punten een lijn te trekken loodrecht op de wegas en het eerstgevonden gebouw te detecteren. Deze methode is echter sterk afhankelijk van de afstand tussen de punten op de wegas en er bestaat het risico dat er gebouwen gemist worden.

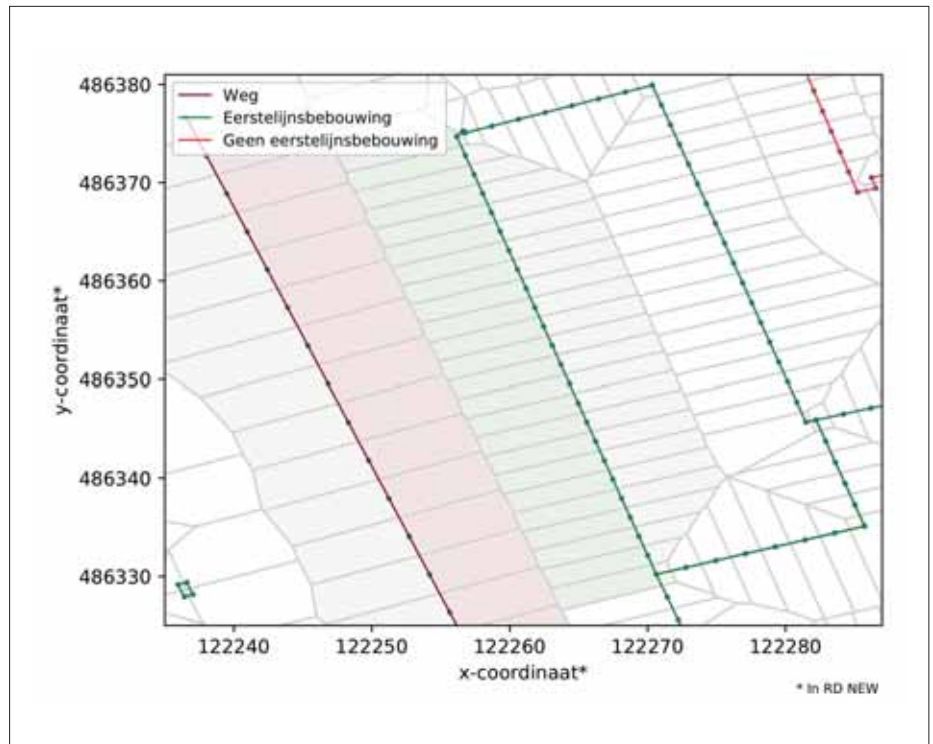
Daarom maken we gebruik van het Voronoi-Diagram (VD). Dit is een ruimtelijke indeling in veelhoeken, de zogenaamde Voronoi-cellen, op basis van een set inputpunten. De bijzondere eigenschap van deze indeling is dat iedere Voronoi-cel het gebied markeert dat het dichtste bij één bepaald input punt ligt (figuur 3a). De hoekpunten van de Voronoi-veelhoeken (cellen) liggen daarom op gelijke afstand tussen (minimaal) drie inputpunten en de lijnen van de Voronoi-cellen liggen op gelijke afstand van twee inputpunten.

Voor het genereren van het VD hebben we alle wegassen en gebouwen omgezet naar vertices en deze gebruikt als input voor het genereren van de Voronoi-cellen.

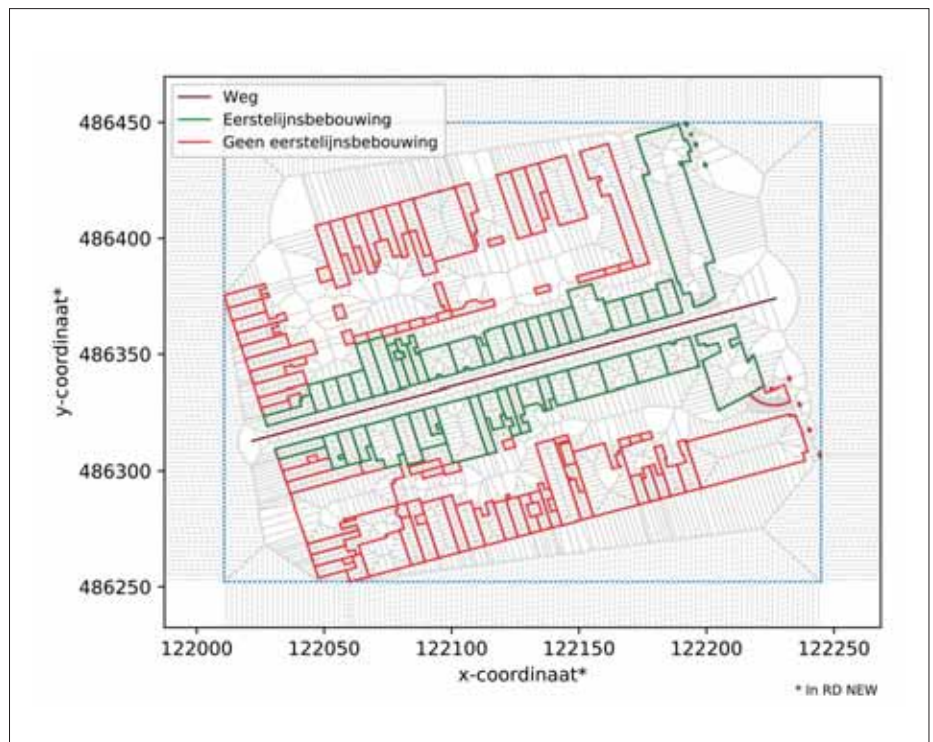
Een Voronoi-cel met daarin een gebouwpunt, welke grenst aan een Voronoi-cel met een wegsegment, geeft vervolgens aan dat het betreffende gebouw aanliggend is aan het betreffende wegsegment (figuur 3b). Figuur 3c laat zien welke gebouwen op deze manier worden gedetecteerd als liggend aan een bepaald wegsegment (groen) en welke gebouwen niet (rood).

Classificeren van wegtype

Voor de wegtypering zijn er meerdere methodes geïmplementeerd. Hieronder beschrijven



Figuur 3b - Voronoi-cellen met wegpunten grenzend aan cellen met gebouwpunten (grensgebied is rood respectievelijk groen gekleurd).



Figuur 3c - Voronoi-cellen met gedetecteerde eerstelijns gebouwen (groen) en overige gebouwen (rood).

we de twee meest belovende: één waarbij de wegtypering wordt berekend vanuit het wegsegment en één waarbij de wegtypering wordt bepaald vanuit de aanliggende gebouwen. Deze laatste levert een typering per gebouw op welke vervolgens moet worden geaggregeerd tot een waarde voor het hele wegsegment.

Gewogen gemiddelde methode

Voor de gewogen gemiddelde methode worden voor alle eerstelijns gebouwen aan beide zijden de kortste afstand tussen het gebouw en het wegsegment bepaald, zie figuur 4a. Deze afstanden worden bij elkaar opgeteld en gedeeld door het aantal gebouwen. Hetzelfde wordt gedaan voor de hoogtes van de gebou-

wen en deze gemiddelde hoogtes en afstanden worden gebruikt om het wegtype te bepalen. Om te zorgen dat kleine gebouwen minder zwaar meetellen dan grote gebouwen krijgt ieder gebouw ook een gewicht mee bij het berekenen van de gemiddelden. Deze gewichten worden bepaald op basis van het aantal Voronoi-cellen dat per gebouw grenst aan het wegsegment en worden genormaliseerd op basis van het totaal aantal Voronoi-cellen met gebouwen welke grenzen aan het specifieke wegsegment.

Double-sided ray casting-methode

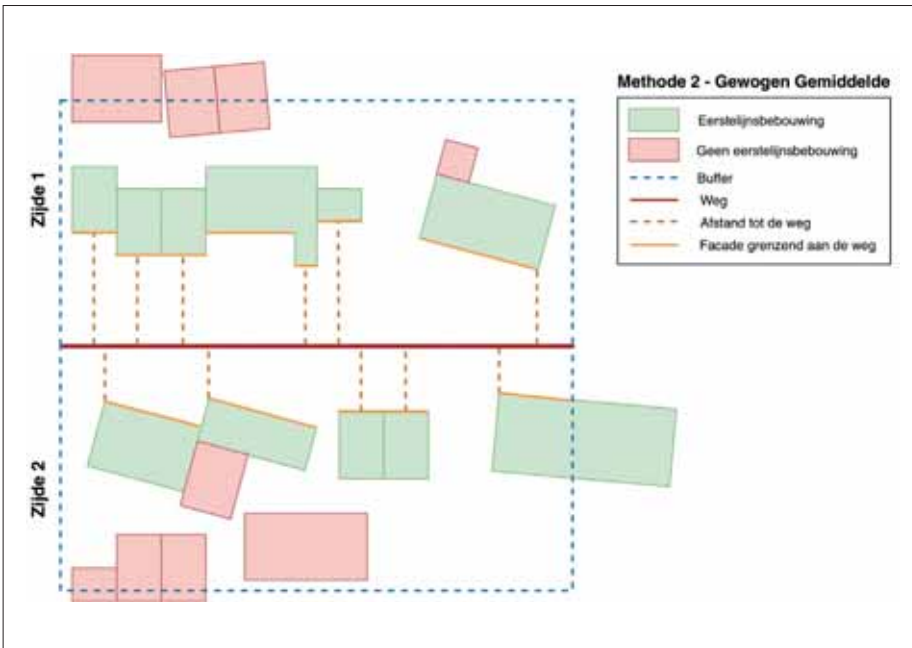
De double-sided ray casting-methode berekent voor ieder eerstelijnsgebouw de kortste afstand naar het wegsegment en plaatst hier een punt op het wegsegment (figuur 4b). De lijn van het gebouw naar dit punt wordt doorgetrokken tot 61 meter aan de andere kant van de weg (de maximale afstand van een gebouw om deze nog mee te nemen volgens SRM1). Als de lijn daar nog een gebouw raakt, wordt ook de hoogte en afstand tot de weg van dit gebouw meegenomen in de berekening om het wegtype te bepa-

len op het punt dat op de weg ligt. Het resultaat is een set datapunten op het wegsegment waarvan het aantal correspondeert met het aantal gebouwen aan beide zijden. Deze wegtypes worden geaggregeerd tot een representatief wegtype voor het betreffende wegsegment. Hiervoor wordt het dominante wegtype gekozen. In geval van gelijke frequentie van twee wegtypen wordt het eerst geïdentificeerde wegtype dat het vaakst voorkomt gekozen. Doordat deze methode wordt herhaald aan beide zijden kan het zijn dat gebouwen die relatief lang zijn ten opzichte van de andere gebouwen vaker worden meegenomen. Maar dit kan een voordeel zijn omdat hiermee grotere gebouwen zwaarder meetellen. Indien er relatief weinig gebouwen grenzen aan het wegsegment kan dit overigens een verkeerd wegtype opleveren, omdat er berekend wordt vanaf aanwezige bebouwing en open ruimte wordt genegeerd, zie figuur 4c. Dit geldt overigens ook voor de eerste methode.

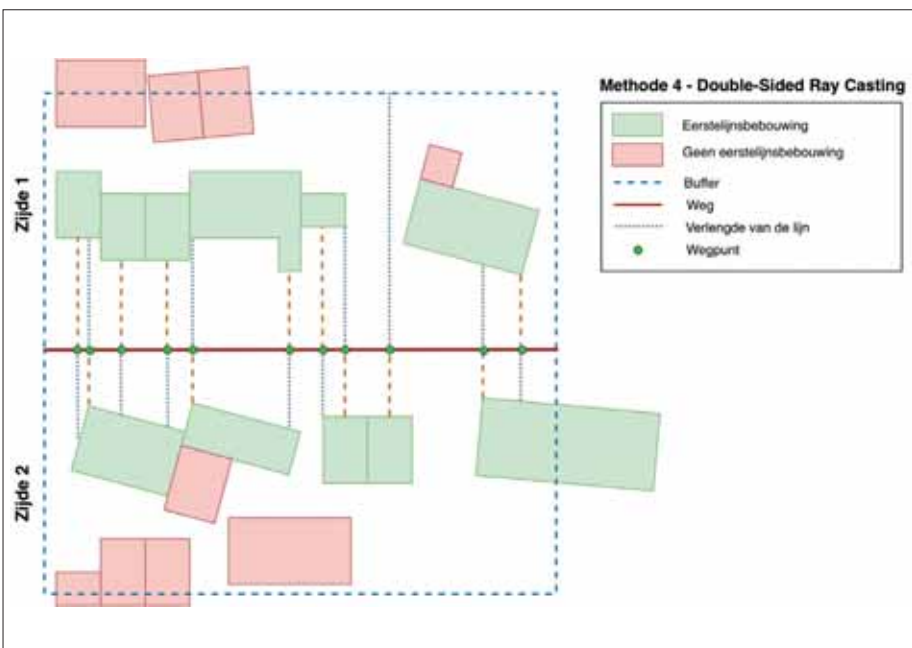
Een toekomstige, verbeterde versie zal daarom idealiter ook rekening houden met de relatieve, op de wegas geprojecteerde, lengte van de gevels ten opzichte van de lengte van het wegsegment. Het bepalen van de lengte van de gevel die aan het wegsegment grenst is een complex probleem en daarom niet opgelost binnen deze versie.

Resultaten

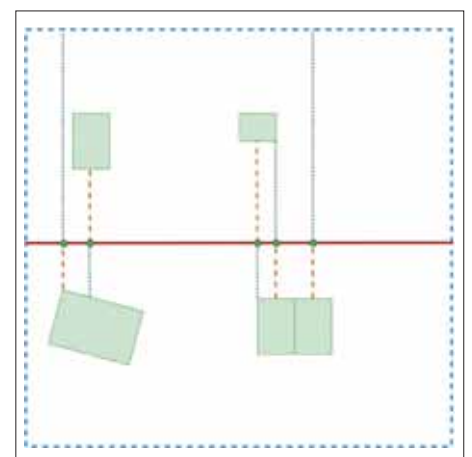
Om bovenstaande methodes te verifiëren vergelijken we de resulterende wegtypes met de wegtype-gegevens zoals beschikbaar via de NSL-site die handmatig zijn vastgesteld. Deze vergelijking geeft een beeld van de kwaliteit van onze methodes. Maar het is ook goed om te beseffen dat de handmatig bepaalde wegtypen inconsistenties kunnen bevatten door verschillen in interpretatie tus-



Figuur 4a - Gewogen gemiddelde methode waarbij de gemiddelde hoogte en gemiddelde afstand tot de weg voor alle gebouwen aan beide zijden worden bepaald.



Figuur 4b - Double-sided ray casting-methode waarbij voor ieder gebouw aan beide zijden het corresponderende gebouw aan de andere kant wordt gezocht en het wegtype wordt bepaald op het bijbehorende punt op het wegsegment.



Figuur 4c - Niet-correcte classificatie van weg omdat alleen het wegtype op de locatie van gebouwen wordt bepaald.

sen experts en door verschillen in inschatting van gebouwhoogtes en afstand tot de wegen.

In eerste instantie zijn de methoden getest op een kleine dataset, namelijk de Weesperstraat in Amsterdam. In figuur 5 zijn de resultaten te zien van de gewogen gemiddelde methode (links) en de double-sided ray casting-methode (rechts) in combinatie met de wegtypen op de receptorpunten die we gedownload hebben van de NSL-site. De data zijn niet automatisch te vergelijken vanwege een verschil in representatie (receptorpunten versus geclassificeerde wegsegmenten). Daarom hebben we de resultaten visueel vergeleken.

Voor dertig locaties leveren de beide algoritmen 26 identieke wegtyperingen op als de typeringen op NSL-site. Dat is een nauwkeurigheid van 80%, waarbij voor een aantal mismatches inderdaad de vraag was of de handmatige correctie wel juist was (bijvoorbeeld een street canyon op een locatie zonder aangrenzende gebouwen). Hiervoor is nader onderzoek nodig.

Vervolgens hebben we de double-sided ray casting-methode toegepast op het gehele wegennetwerk van Amsterdam (rekentijd: ongeveer 2 minuten). Ook hier kunnen we de resultaten alleen visueel evalueren, omdat op de NSL-site alleen receptorpunten met handmatige classificatie beschikbaar zijn voor een beperkt aantal wegen en niet op wegsegmenten, zie figuur 6. We zien een oververtegenwoordiging van wegtype 1 (brede street canyons), deze komen overeen met de nauwe grachten. Type 3 en 4 zijn zoals te verwachten valt vooral te vinden langs de bredere grachten. Wegen die niet aan grachten grenzen zijn geassocieerd als type 2 (nauwe straatconfiguratie). Ook dit is aannemelijk. Onze methode toegepast op steden als Groningen, Rotterdam en Delft liet soortgelijke resultaten zien.

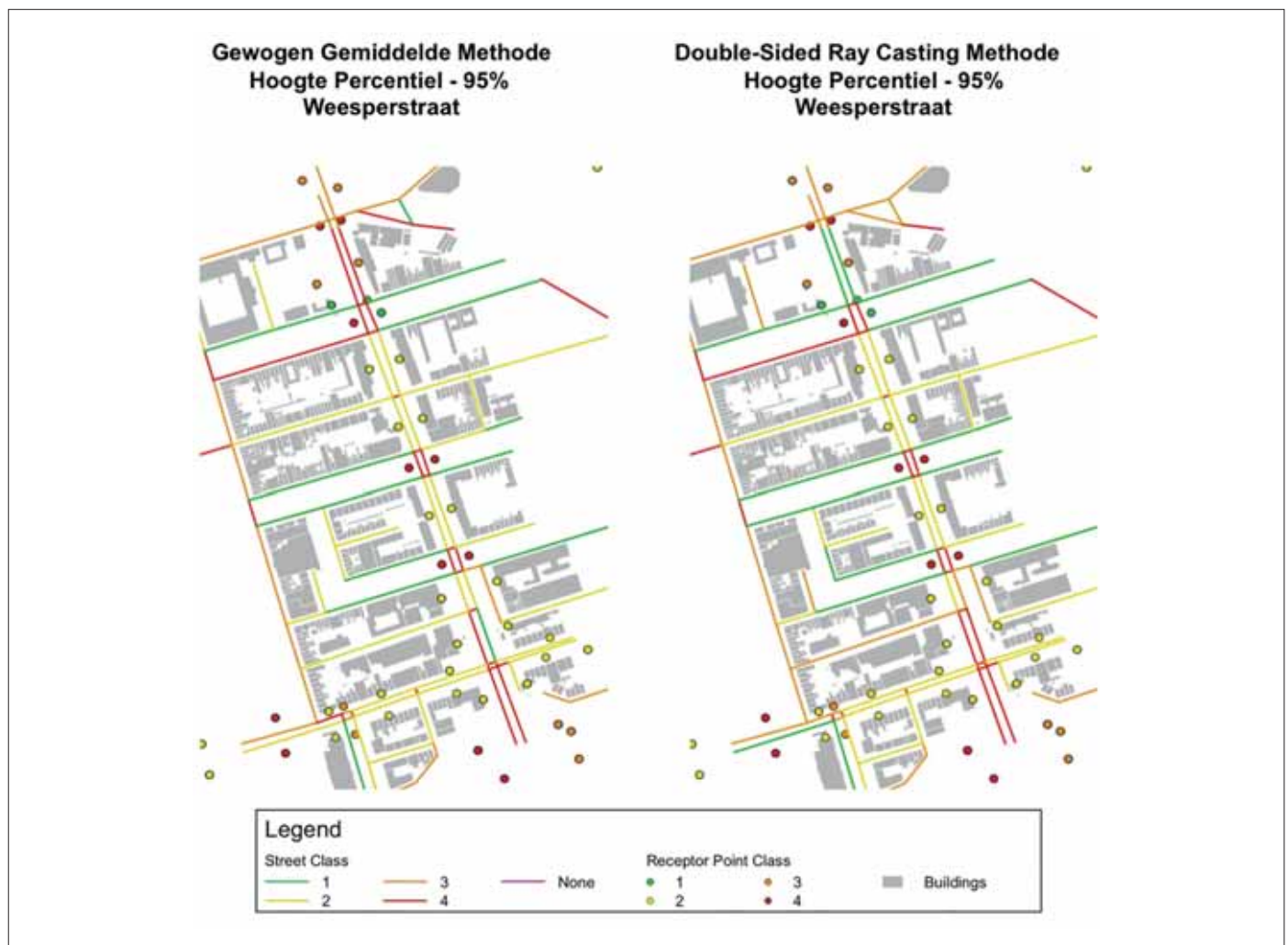
Verbeteringen

De resultaten beschreven in dit artikel zijn al veelbelovend en we vermoeden dat ze verder verbeterd kunnen worden door met een luchtkwaliteitsexpert naar de precieze implementatie te kijken en de keuzes die daarin zijn

gemaakt te heroverwegen vanuit het oogpunt van luchtkwaliteit.

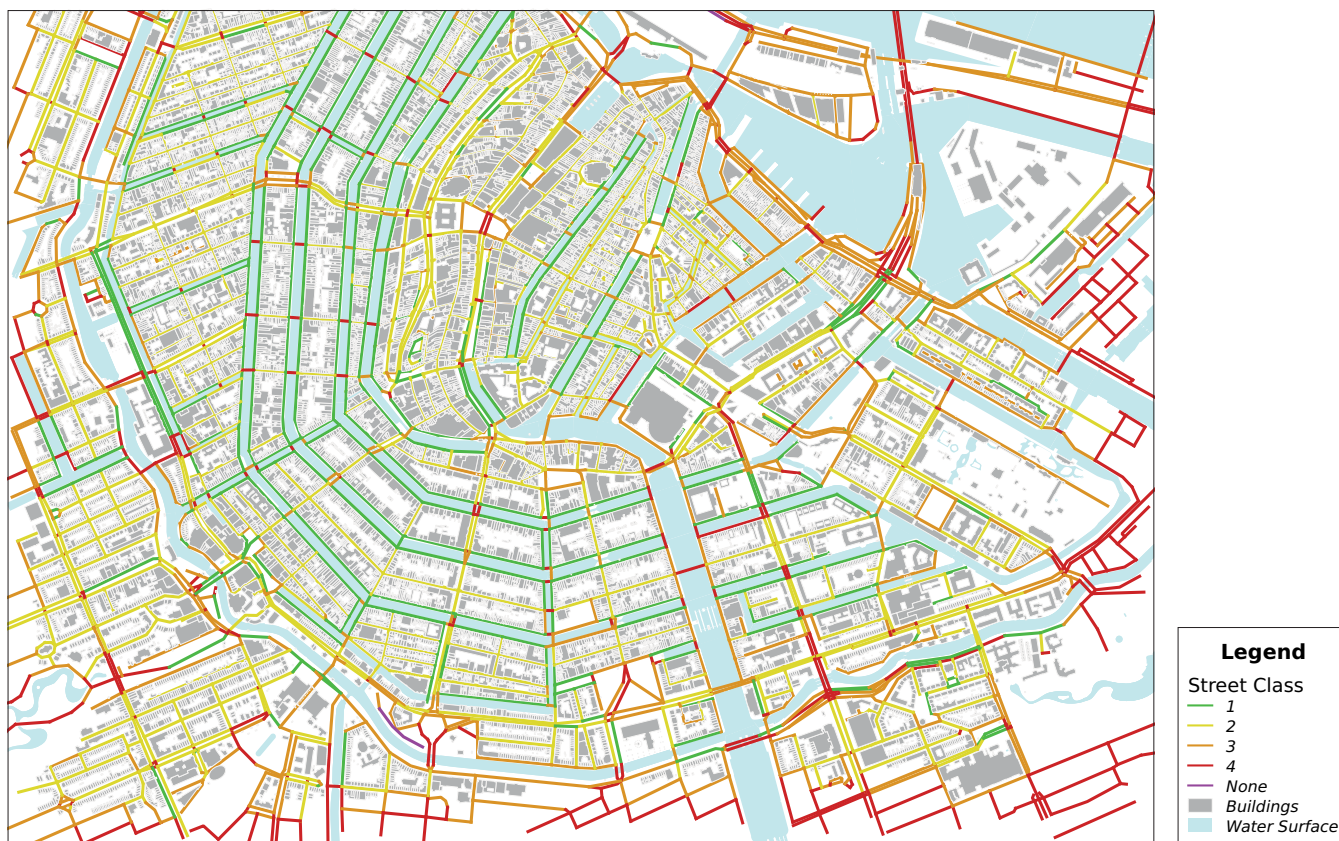
We hebben al een paar verbeterpunten geconstateerd die hierbij kunnen worden meegenomen, zoals het meenemen van de relatieve lengte van gebouwen ten opzichte van de lengte van de weg. Ook kan deze ratio gebruikt worden om betere keuzes te maken bij het aggregeren van datapunten op de weg naar een wegtypering voor het hele segment. Een andere mogelijke verbetering is een wegsegment opsplitsen als er over een bepaald gedeelte een duidelijk verschil in wegtype is. Bovendien is het interessant om met een domein expert te kijken voor welke wegen de monitoring nodig is en op welke wijze deze kunnen worden geselecteerd uit het NWB.

Tenslotte zijn er verbeteringen in het SRM1-model te overwegen. In de eerste plaats de voorgeschreven minimale lengte van een wegsegment van 100 meter. Vooral in steden kunnen er kruisingen zijn die wegsegmenten korter dan 100 meter in de praktijk kunnen



Figuur 5 - Resultaten van testgebied Weesperstraat gevisualiseerd met wegtypen op receptorpunten zoals beschikbaar via NSL-site. De wegsegmenten zijn door onze methode geassocieerd; de receptorpunten ingekleurd naar wegtype komen van de NSL-site.

Municipality of Amsterdam
Double-Sided Ray Casting Method | Height Percentile - 95%



Figuur 6: Resultaten van double-sided ray casting-methode uitgerekend voor heel Amsterdam.

rechtvaardigen omdat bouwpatronen na een kruising regelmatig veranderen. Ook schrijft SRM1 voor dat als er in totaal 15 meter open ruimte is er een nieuw wegsegment moet worden gecreëerd. Hierdoor kunnen wegsegmenten ontstaan die korter zijn dan de voorgeschreven 100 meter.

Kortom: een automatische methode vraagt om duidelijke en eenduidige richtlijnen daar waar een handmatige classificatie op basis van interpretatie kan afwijken van een van de richtlijnen ten gunste van een andere. Tegelijkertijd is het voordeel van een automatische aanpak dat soortgelijke situaties altijd identiek worden behandeld.

Tot slot

In dit studentenproject hebben we de haalbaarheid laten zien van het automatisch afleiden van wegtyperingen zoals gebruikt in SRM1 om luchtverontreiniging te berekenen met behulp van 2D- en 3D-geo-informatie. In combinatie met gegevens over het verkeer die gemeenten vanaf 1 januari 2021 beschikbaar moeten stellen, geeft dit een unieke mogelijkheid om luchtverontreiniging ten gevolge van verkeer in de

bebouwde komt voor heel Nederland te bepalen. Onze methode geeft al goede resultaten, maar kan waarschijnlijk nog aanzienlijk worden verbeterd als de verschillende parameters zoals wegingsfactoren en aggregatiekeuzes worden geoptimaliseerd in nauwe samenwerking met luchtkwaliteitsexperts.

Referenties

[1] Ravi Peters, Tom Commandeur, Balázs Dukai en Jantien Stoter. 2018. 3D-inputgegevens voor geluidssimulaties gegenereerd uit bestaande landsdekkende datasets. *Geo-Info* 6, 2018, pp. 8–12.
 [2] RIVM, 2015, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. Technische beschrijving van standaardrekenmethode (SRM-1). www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2014-0127.pdf, 2015.
 [3] NSL, 2019, Nationaal Samenwerkingsprogramma Luchtkwaliteit. NSL-monitoringstool. www.nsl-monitoring.nl/viewer/
 [4] Balázs Dukai, Hugo Ledoux en Jantien Stoter. 2018. 3D-BAG: actueel en landsdekkend. *Geo-Info* 5, 2018, pp. 38–42.

Dit project is uitgevoerd binnen het door de European Research Council (ERC) gefinancierde project: Urban modelling in higher dimensions, onder het 'European Union's Horizon 2020 research and innovation programme'. Grant agreement No 677312 UMnD.

Het projectteam van de MSc Geomatics bestaat uit:

Studenten:

- Giulia Ceccarelli, student TUD-MSc Geomatics
- Wessel de Jongh, student TUD-MSc Geomatics
- Imke Lánský, student TUD-MSc Geomatics
- Jinglan Li, student TUD-MSc Geomatics
- Konstantinos Mastorakis, student TUD-MSc Geomatics

Begeleiders:

- Sander Teeuwisse, adviseur luchtkwaliteit, RIVM
- Ravi Peters, 3D Geoinformation research group, TU Delft
- Clara Garcia-Sánchez, 3D Geoinformation research group, TU Delft
- Jantien Stoter, 3D Geoinformation research group, TU Delft