

Wegennetwerken in vario-

Zo'n vijf jaar geleden is voor het eerst in Geo-Info het concept van vario-schaal geo-informatie beschreven (Van Oosterom en Meijers, 2012). In dit eerdere artikel werd de eerste echt geleidelijke vario-schaal structuur gepresenteerd: een delta schaal geeft een delta in de kaart (en hoe kleiner de delta schaal hoe kleiner de delta kaart). De afgelopen vijf jaar is er veel R&D verricht om het concept van vario-schaal geo-informatie te realiseren: ontwikkelen van prototypen en testen met echte data. In het kader van het Open Technologieprogramma (OTP van STW, Stichting Technische Wetenschappen [1]) project 11185 'Vario-scale geo-information' is er de afgelopen jaren veel vooruitgang geboekt. De belangrijkste resultaten zullen in een serie beknopte artikelen worden gepresenteerd. Dit is het eerste artikel in de serie.

Door Radan Šuba, Martijn Meijers en Peter van Oosterom

De artikelen zijn gebaseerd op de meer uitgebreide, Engelstalige, versies. De bijbehorende software is vrij beschikbaar; zie varioscale.bk.tudelft.nl/software/. Hiermee is het vario-schaal geo-informatie concept van het meer theoretische startpunt (met zeer bescheiden eerste prototype zowel qua kwaliteit als omvang) nu doorgroeid naar een meer volwassen oplossing, klaar om in de praktijk ingezet te worden. Hierdoor komt het hoofddoel van het onderzoek heel dichtbij: het realiseren van een paradigmaverschuiving van gebruik van serie discrete kaartschalen naar gebruik van geïntegreerde vario-schaal representatie.

Verskillende manieren van representatie

Sinds de introductie van het concept van vario-schaal geo-informatie is de inhoudelijke kaartkwaliteit een punt van aandacht geweest. De tGAP structuur (een hiërarchische vlakkenpartitie) was oorspronkelijk alleen geschikt voor de representatie van vlakobjecten. Dat is lastig voor meer kleinschalige representaties van wegnetten, die doorgaans een lijnrepresentatie gebruiken voor de wegen. Daarom is de tGAP structuur uitgebreid met de expliciete representatie van lijnobjecten en dit is nu voor het eerst ook daadwerkelijk geïmplementeerd (eerder was al aangegeven dat dit mogelijk was, maar nog niet uitgevoerd). Het vullen van de tGAP structuur is het resultaat van een generalisatieproces. In eerdere tGAP prototypen werd er hierbij geen kennis over het wegnetwerk (structuur: connectiviteit, hiërarchie) meegenomen, wat tot

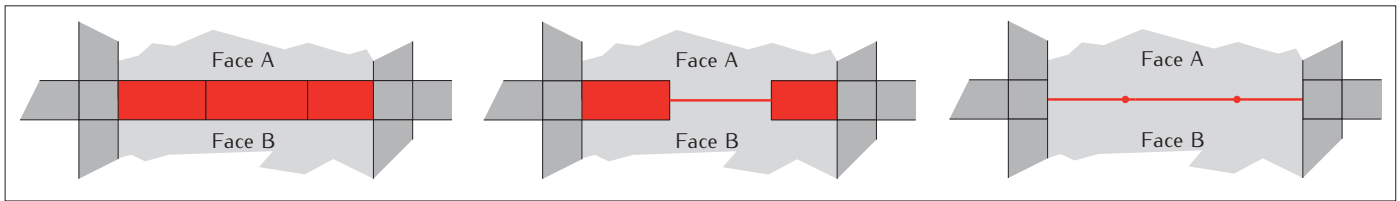
kwalitatief minder goede representaties leidde op de midden en kleinere schalen. In dit artikel wordt beschreven hoe wegnetten kwalitatief wel goed meegenomen kunnen worden in een vario-schaal representatie.

Voor andere onderzoekers en ontwikkelaars van wegnettengeneralisatie is het hoofddoel meestal om van de ene vaste schaal (groot-schalige brondata) naar een andere vaste schaal te komen (midden- of kleinschalige data). Dit kan dan leiden tot behoorlijk grote verschillen in inhoud en weergave van twee opeenvolgende kaartschalen. Bijvoorbeeld, een plotselinge verandering van de representatie van wegdelen als vlakken op de ene schaal naar lijnen op de volgende (kleinere) schaal. Of het weglaten van een bepaalde categorie wegen. Deze grote veranderingen in opeenvolgende kaartinhoud kunnen gebruikers verwaren bij het in- of uitzoomen; zie figuur 1. Daarom richten wij ons op een meer geleidelijke generalisatie van het wegnet voor het gehele schaalbereik, van de meest grootschalige representatie waar wegen worden voorgesteld als vlakken, tot midden- en kleinschalige representaties waar wegen steeds vaker worden voorgesteld als lijnen. Het gevolg van deze geleidelijke aanpak is dat er een tussenliggend schaalbereik is, waarbij tegelijkertijd sommige wegen nog worden gerepresenteerd als vlakken, terwijl andere al als lijnen worden gerepresenteerd. We hebben een nieuw datamodel, met bijbehorende datastructuur en software ontwikkeld, waarin voor alle kaartobjecten, een bereik/range van geldige kaartschalen wordt opgeslagen.



Figuur 1 - Twee kaartfragmenten van opeenvolgende stappen uit OpenStreetMap (OSM, links de meer gedetailleerde representatie, bedoeld voor grotere kaartschaal). Merk op dat alleen het water en het wegnet worden weergegeven, beide komen rechtstreeks uit de oorspronkelijke multi-schaal OSM-database zonder enige verandering aan inhoud (styling: MapBox Studio).

schaal structuren



Figuur 2 - Fijnste granulariteit bij generaliseren van een weg op basis van verschillende wegdelen: van vlakken op de meest gedetailleerde schaal (links) via gemixte representatie 'halverwege' (midden) naar lijnen op de uiteindelijke schaal (rechts).

Dit model is gebaseerd op de geïntegreerde en expliciete voorstelling van twee basisstructuren: (1) een hiërarchische vlakkenpartitie (tGAP) en (2) een lineair weggennetwerk. Hierdoor kan tijdens het generalisatieproces de kennis van het lineaire weggennetwerk worden meegenomen voor betere beslissingen bij vullen van deze vario-schaal structuur.

Generalisatie van het weggennetwerk

De wegen, als lineaire infrastructuur objecten, zijn de 'ruggengraat' van velen kaarttypes. Ze verbeteren de leesbaarheid van kaarten en helpen gebruikers te oriënteren. Vaak is ook de weggennetwerkgeneralisatie een eerste basis voordat andere topografische generalisatie kan plaatsvinden en is dus een fundamentele operatie in het totale proces van de kaart- en databaseproductie [3]. Op grootschalige kaarten in landen zoals Nederland, België, Engeland of Tsjechië, worden wegdelen door vlakgeometrie gepresenteerd. Gezamenlijk vormen alle wegdelen het weggennetwerk. Deze gebieden vormen een impliciete weggennetwerkgraaf bestaande uit knopen en verbindingen. Op kleinschalige kaarten worden de wegdelen gerepresenteerd door lijngeometrieën. Deze lijnen corresponderen direct met de verbindingen van de weggennetwerkgraaf. De overgang van een vlakrepresentatie naar een lijnrepresentatie kan worden gerealiseerd via een algoritme, dat de hartlijn (of meer algemeen, het skelet) van een vlak berekent. Bijvoorbeeld via het eerder gepubliceerde SplitArea algoritme [4]. Hierbij moet er dan wel op worden gelet dat het geheel weer een correcte vlakkenpartitie wordt; effectief worden de buurvlakken dan iets groter. Op kleinere kaartschalen kan bij generalisatie van het weggennetwerk het accent liggen op: (1) de lineaire wegrepresentatie zelf; of (2) de gebieden tussen de wegen (zoals begrensd door minimale wegcycli, die bijvoorbeeld delen van bebouwde kom, bos of terrein

representeren). Beide aanpakken hebben hun eigen voor- en nadelen [5] en in onze aanpak worden ook beide toegepast.

Granulariteit

We noemen de hoeveelheid kenmerken (objecten) die veranderen in één stap van het generalisatieproces, de granulariteit. Hierbij onderscheiden we de volgende niveaus:

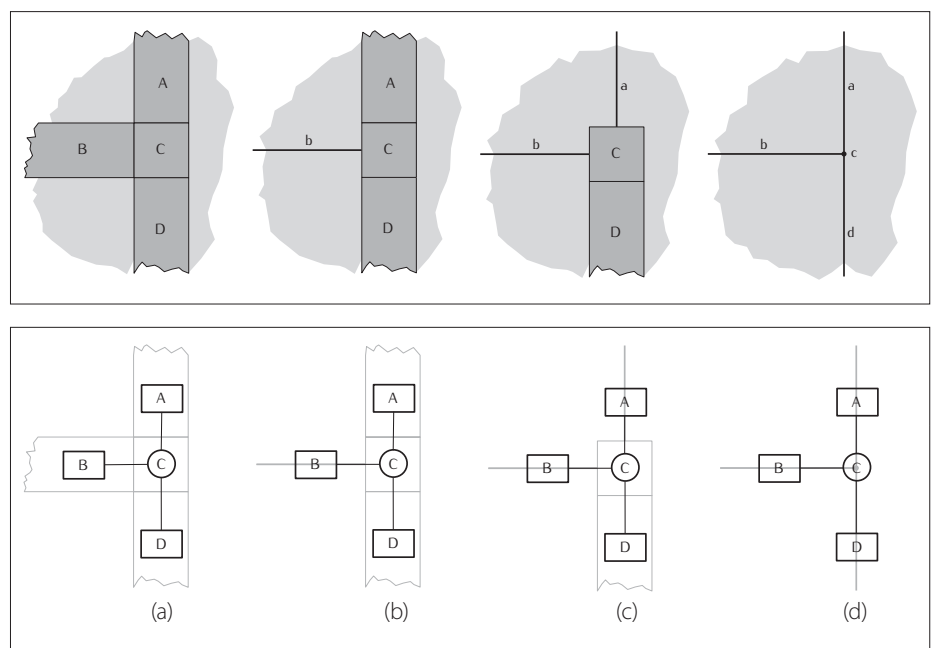
- Grove granulariteit, wanneer alle betrokken objecten, bijvoorbeeld alle wegen, tegelijk worden verwerkt (weggelaten).
- Gemiddelde granulariteit, wanneer alle objecten van een bepaalde (sub)klasse tegelijk worden verwerkt, bijvoorbeeld, alle lokale wegen met zelfde maximumsnelheid worden verwijderd.
- Fijne granulariteit wanneer één enkel object wordt verwerkt, bijvoorbeeld een specifieke doodlopende weg wordt verwijderd.

- Fijnste granulariteit, wanneer een deel van één object wordt verwerkt, bijvoorbeeld één wegdeel wordt verwijderd.

Omdat we in het vario-schaal concept streven naar meer geleidelijke overgangen zonder visuele schokken, moeten de veranderingen zo klein mogelijk zijn. In ons geval is de fijnste granulariteit dan optimaal. Hierbij passen we dan operaties toe per wegdeel, wat kan resulteren in een enkele weg die op bepaalde schaalniveaus kan bestaan uit delen van verschillende aard: zowel lijnen als vlakken; zie figuur 2.

Classificatie van wegdelen (schaal onafhankelijk)

De wegdelen worden geclassificeerd op basis van hun rol in het weggennetwerk. Omdat de ruimtelijke representatie kan verschillen (vlak/face, lijn/edge, punt/node), moeten zorgvul-



Figuur 3 - Een viertal wegdelen gedurende de generalisatie: in de planaire partitie (bovenste rij) en in de weggennetwerkgraaf (onderste rij: cirkel=kruising, rechthoek=verbindingsweg).

dige definities worden gegeven op basis van het aantal incidenties met andere weggedelen (onafhankelijk van het type ruimtelijke representatie):

- Een wegdeel is geclassificeerd als *geïsoleerd* wanneer het geen incidenties heeft met andere weggedelen.
- Een wegdeel is geclassificeerd als *doodlopend* wanneer het precies één incidentie heeft met een ander wegdeel. Het wordt gerepresenteerd door of een vlak (face) of een lijn (edge) in de topologische datastructuur.
- Een wegdeel is geclassificeerd als *verbindingsweg* wanneer het precies twee incidenties heeft met andere weggedelen. Het wordt gerepresenteerd door of een vlak (face) of een lijn (edge) in de topologische datastructuur.

- Een wegdeel is geclassificeerd als *kruising* wanneer er meer dan twee incidenties zijn met andere weggedelen. Het wordt gerepresenteerd door of een vlak (face) of een punt (node) in de topologische datastructuur.

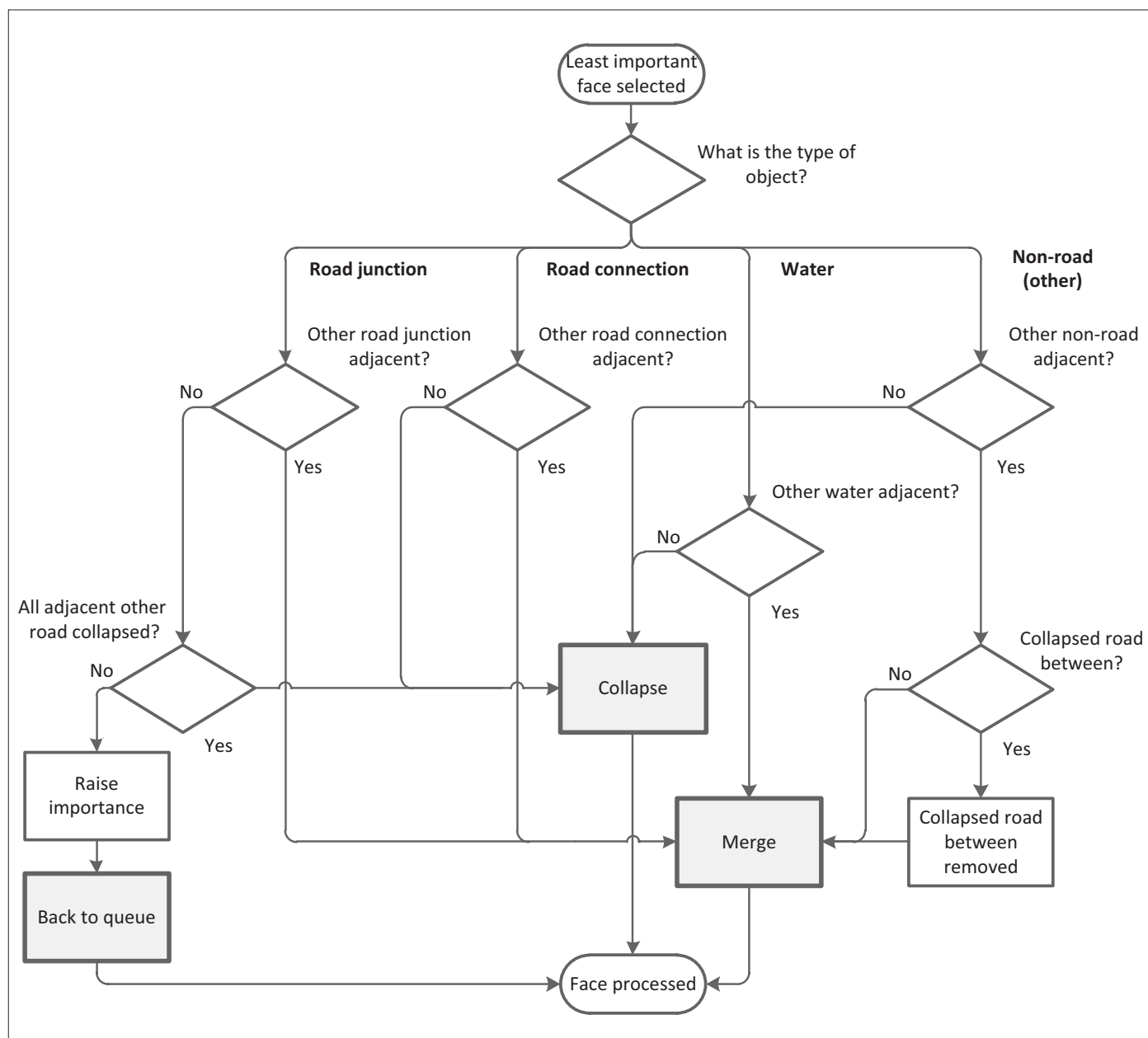
De classificatie van de weggedelen en hun rol in het weggennetwerk is van belang omdat in het generalisatieproces, het vullen van de tGAP structuur, er afhankelijk van de rol een beslissing wordt genomen. Hoewel dus de ruimtelijke representatie van een wegdeel kan veranderen, bijvoorbeeld van vlak naar lijn, blijft de classificatie als verbindingsweg gelijk (voor en na deze verandering); zie figuur 3.

Vullen tGAP structuur

Het basisgeneralisatieproces om de inhoud voor de vario-schaal datastructuur te genereren is gebaseerd op het generieke tGAP-

principe [6]: begin met de meest grootschalige representatie -in een vlakkenpartitie- en zoek steeds naar het minst belangrijke vlakobject en pas generalisatie-operaties toe (verwijderen/samenvoegen, hartlijn berekenen/splitsen, betrokken edges versimpelen, enzovoorts) en blijf dit herhalen. Bij het vaststellen van de belangrijkheid van de objecten, bij de keuze welke generalisatie-operaties toe te passen en bij het vinden van meest compatibele buur, wordt kennis van de weggennetwerkgraaf meegenomen. Afhankelijk van het type van het geselecteerde minst belangrijke vlakobject, wordt een van de volgende acties uitgevoerd (zie ook figuur 4):

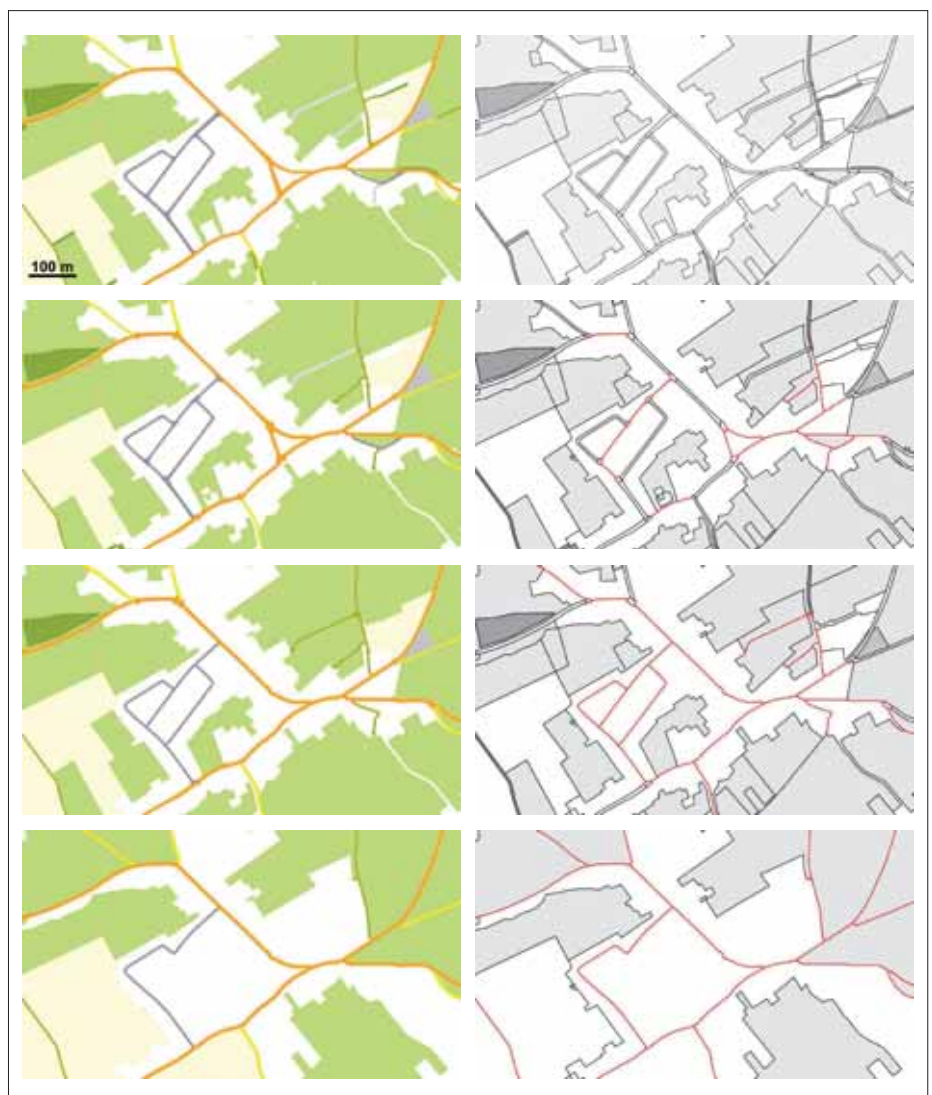
- Het geselecteerde vlakobject is een kruispunt.
1. samenvoegen met een direct buur-kruispunt vlakobject (indien bestaand); of



Figuur 4 - Visuele weergave van het generalisatieproces.

2. vervang vlak (face) door punt (node) representatie (indien alle buur-verbindingswegen inmiddels lijn/edge zijn); of
 3. stel verwerking object uit door deze (kunstmatig) belangrijker te maken (om zo later nogmaals aan de beurt te komen).
- Het geselecteerde vlakobject is een verbindingsweg.
 1. samenvoegen met directe buur-verbindingsweg (indien bestaand); of
 2. bereken hartlijn en vervang vlak (face) door lijn (edge) representatie voor dit wegdeel.
 - Het geselecteerde vlakobject is een waterdeel.
 1. samenvoegen met directe buur-waterdeel (indien bestaand); of
 2. bereken hartlijn en vervang vlak (face) door lijn (edge) representatie voor dit waterdeel.
 - Het geselecteerde vlakobject is een ander type object.
 1. voeg samen met een direct buur ook van ander type, niet zijnde weg of water (indien dergelijke buur aanwezig); of
 2. bereken hartlijn en vervang vlak (face) door lijn (edge) representatie voor dit object.

Door toepassen van dit algoritme gebeurt er grofweg het volgende met de wegdelen gedurende het generalisatieproces van grootste naar kleinste schaal: in eerste instantie worden aangrenzende wegvlakken samengevoegd, daarna worden de hartlijnen berekend (van vlak naar lijn) en ten slotte verdwijnen de (lijn) wegdelen impliciet, door de samenvoeging van het minst belangrijke vlak met ander vlak (beide van type niet-weg). Bij deze laatste operatie wordt overigens eerst gekeken naar directe buurvlakken waar geen lijn (edge) tussen zit, die een wegdeel voorstelt. Indien deze lijnen allen wegdelen voorstellen, dan wordt een keuze gemaakt om het minst belangrijke lijn-wegdeel te verwijderen (en zo buurvlakken samen te voegen). Bij het bepalen van de belangrijkheid van een lijn-wegdeel, wordt gekeken naar zowel de lokale configuratie



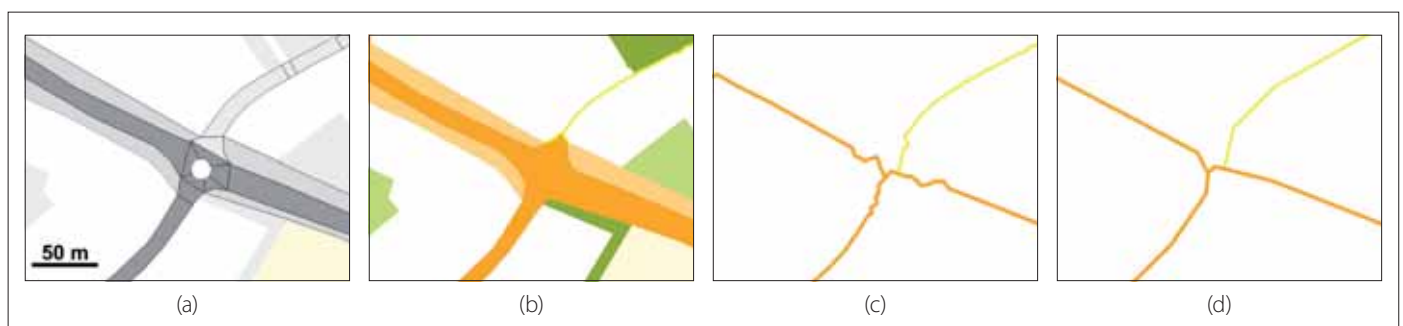
Figuur 5 - Resultaat generalisatie (op zelfde schaal getoond): het visuele resultaat na toepassing van kartografische styling van de vlak- en lijnobjecten ('DCM', links) en de onderliggende tGAP structuur ('DLM', rechts met in rood lijn-wegdelen extra benadrukt). Bovenste kaartfragment is de input, die naar onder toe steeds verder wordt gegeneraliseerd.

(verbindingen, connectiviteit) als naar de lengte van dit wegdeel [7].

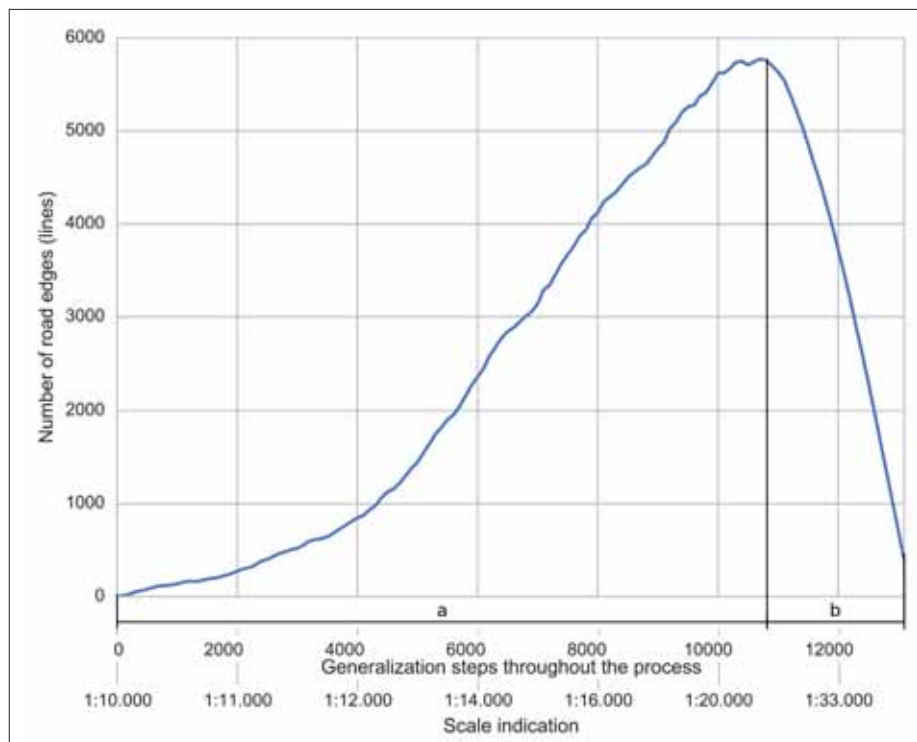
Resultaten

De met kennis van het wegennetwerk verrijkte tGAP structuur en het bijbehorende algoritme zijn getest met een aantal verschillende type topografische data sets (TopioNL), voor zowel

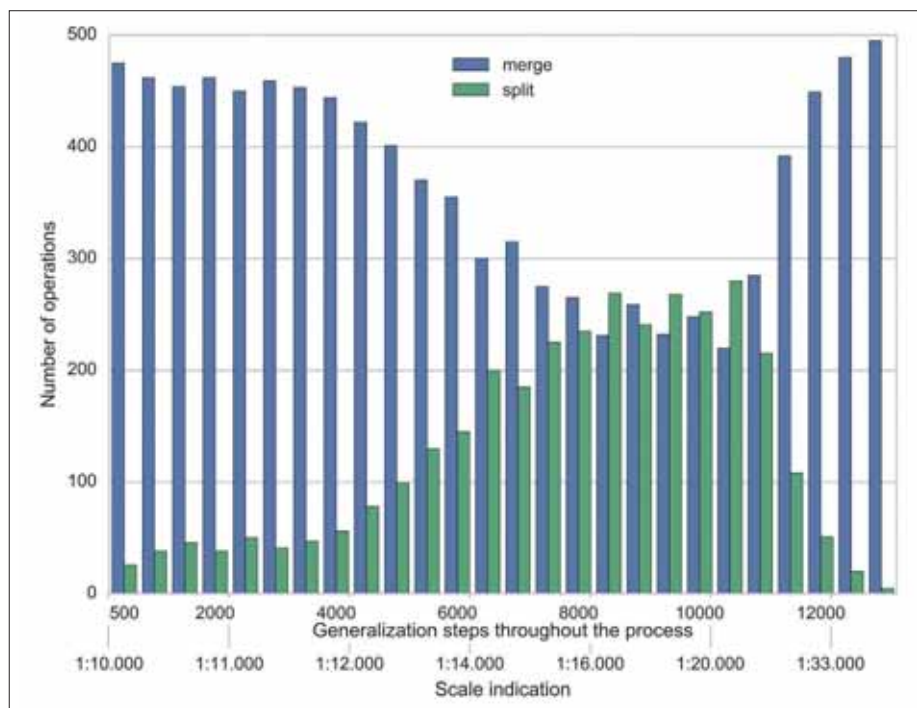
stedelijke als landelijke gebieden. Figuur 5 toont de generalisatie van landelijk gebied met daarbij de inhoud van de onderliggende tGAP structuur als de daarvan afgeleide cartografische weergave op een viertal niveaus. Merk op dat hoewel in het midden-schaal gebied er veel wegen zijn die deels door vlakken en deels door lijnen worden gerepresen-



Figuur 6 - Generalisatie van een rotonde.



Figuur 7 - Aantallen lijn-wegdelen gedurende het generalisatieproces.



Figuur 8 - Verhouding van de verschillende generalisatieoperatoren.

teerd (figuur 5, rechts), dit verschil nauwelijks zichtbaar is in de kaart (figuur 5, links) en dus een hele geleidelijke indruk geeft.

Figuur 6 toont een meer gedetailleerd voorbeeld van de verwerking van een rotonde. Hoewel deze als concept niet expliciet bestaat, verandert de representatie op een elegante manier van vlakken, via een gemixte naar lijnen representatie. Naast visuele analyse, zijn

er ook verschillende kwantitatieve analyses uitgevoerd, zoals aantallen en oppervlakten van de verschillende typen objecten gedurende het proces. Figuur 7 toont het aantal lijn-wegdelen: bij aanvang zijn er nog geen lijn-wegdelen, maar dit aantal groeit gestaag gedurende de generalisatie tot een bepaald maximum, waarna het weer daalt bij verdere generalisatie. Ook is er geanalyseerd welke type generalisatie-operatoren worden

gebruikt gedurende het proces; zie figuur 8 met de operaties aantallen samenvoeg (merge) en berekenen hartlijn (collapse/split).

Conclusie

Tot nu toe kon onze vario-schaal aanpak alleen worden gebruikt voor kaarten bestaande uit vlakobjecten. In dit artikel is aangetoond dat ook lijnobjecten naadloos in deze structuur passen. We hebben een algoritme ontworpen dat tijdens het generalisatieproces volledig automatisch de kenmerken van een wegen-netwerk maximaal behoudt voor alle schalen. Wegdelen kunnen zowel als vlakken als als lijnen worden voorgesteld, om zo zeer geleidelijke generalisatiestappen te kunnen nemen. De nieuwe aanpak is getest met echte data en zowel visueel als kwantitatief geanalyseerd.

Bronnen

- [1] Inmiddels bekend als domein Toegepaste en Technische Wetenschappen (TTW) binnen de vernieuwde Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO).
- [2] Dit artikel is gebaseerd op een Engels paper: Radan Šuba, Martijn Meijers, Peter van Oosterom, Continuous Road Network Generalization throughout All Scales, In: ISPRS International Journal of Geo-Information, MDPI AG, 5(8), pp. 145, 2016.
- [3] Roy Weiss en Robert Weibel (2014). Road network selection for small-scale maps using an improved centrality-based algorithm. J. Spat. Inf. Sci. 2014, 2014, 71–99.
- [4] Martijn Meijers en Peter van Oosterom (2013). SplitArea: een algoritme om vlakken te splitsen voor de tGAP datastructuren, Geo-Info, 10(3), pp. 14–18, 2013.
- [5] Alistair Edwardes en William Mackaness (2000). Intelligent road network simplification in urban areas. In Proceedings of the GIS Research UK 2000 Conference (GISRUK 2000), Pittsburgh, PA, USA, 4–8 April 2000.
- [6] Radan Šuba, Martijn Meijers, Lina Huang en Peter van Oosterom (2014). Continuous road network generalisation. In Proceedings of the 17th ICA Workshop on Generalisation and Multiple Representation, Vienna, Austria, 23 September 2014; pp. 1–12.
- [7] Peter van Oosterom en Martijn Meijers (2012). Variable-schaal geo-informatie, Geo-Info, 9(10), pp. 14–19, 2012.



Radan Šuba is promovendus GIS technologie bij de TU Delft. Hij is bereikbaar via R.Suba@tudelft.nl.



Martijn Meijers is onderzoeker GIS technologie bij de TU Delft. Hij is bereikbaar via B.M.Meijers@tudelft.nl.



Peter van Oosterom is professor GIS technologie bij de TU Delft. Hij is bereikbaar via P.J.M.vanOosterom@tudelft.nl.