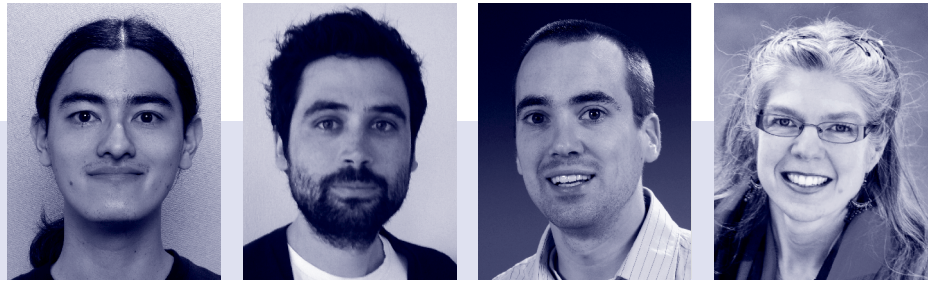


# Een landsdekkende BGT, zonder gaten en overlap

Ken Arroyo Ohoi, Hugo Ledoux,  
Martijn Meijers & Jantien Stoter  
Technische Universiteit Delft



Een van de uitdagingen van de Basisregistratie Groot-schalige Topografie (BGT) is om de data afkomstig van de vele bronhouders samen te voegen tot één landsdekkende, topologisch correcte database. De regels in de BGT-catalogus zijn duidelijk en het combineren lijkt simpel. Maar de praktijk is weerbarstiger. In dit artikel leggen we uit waarom (zeer kleine) gaten en overlap bijna niet te voorkomen zijn, leggen we ook uit waarom bestaande oplossingen moeite hebben om een inconsistente planaire partitie te corrigeren en presenteren we onze alternatieve oplossing om topologische fouten automatisch te detecteren en op te lossen.

## Gaten en overlap in ruimtelijke datasets

De regel dat BGT-data geen topologische fouten mogen bevatten is een essentieel principe bij het omgaan met geografische informatie in een digitale infrastructuur. Kleine gaten of overlap in ruimtelijke datasets, veroorzaakt door niet op elkaar aansluitende geometrieën, hoeven geen probleem te zijn bij visualisatie. Maar bij ruimtelijke analyses of bij het opslaan in een database, waar de BGT voor is bedoeld, struikelt software al snel over dit soort inconsistenties. Software kan daarbij geen onderscheid maken tussen niet-significante en significante topologische fouten: iedere topologische fout, hoe klein ook (dus ook de met het oog niet zichtbare) kan software doen crashen bij het gebruik van de dataset. De regels over topologische consistentie binnen en tussen datasets van bronhouders in de BGT-catalogus zijn helder, zie kader.

Maar hoe belangrijk topologische consistentie ook is, de aanwezigheid van overlap en gaten is bijna onvermijdelijk in een landsdekkende ruimtelijke dataset, ook wel een "planaire partitie" genoemd. Helemaal als deze dataset, zoals vaak het geval is, wordt beschreven aan de hand van geometrische primitieven per object

(zoals ook in de BGT) en niet aan de hand van topologische primitieven, waarbij buurobjecten hun grenzen expliciet delen door middel van verwijzingen. Bovendien geeft het samenvoegen van data van verschillende bronhouders bij de BGT een extra kans op inconsistenties. Te meer

## Overlap en gaten onvermijdelijk in gebiedsdekkende datasets

omdat de bronhoudersgrenzen niet als geometrie gedefinieerd zijn en dus niet gebruikt kunnen worden bij het checken van de topologie. De vaak minieme gaten en overlap (ook wel 'slivers' genoemd) die wij in onze tests vonden, kunnen zijn veroorzaakt door een menselijke digitaliseerfout, maar heeft veelal andere oorzaken. Ten eerste zijn de afzonderlijke geometrische primitieven die gebruikt worden om objecten af te bakenen een bron van fouten doordat

coördinaten op een computer niet met een oneindige precisie kunnen worden opgeslagen. Hierdoor is de kans groot dat de coördinaten van buurobjecten *net* niet op dezelfde locatie liggen, maar bijvoorbeeld 0,1 millimeter van elkaar af. Dit risico wordt nog eens vergroot wanneer de buurobjecten afkomstig zijn van verschil-

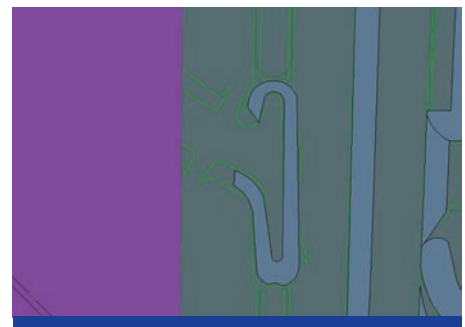


Fig. 1 Gebiedsdekkende gegevens afkomstig van verschillende bronhouders sluiten niet goed op elkaar aan.

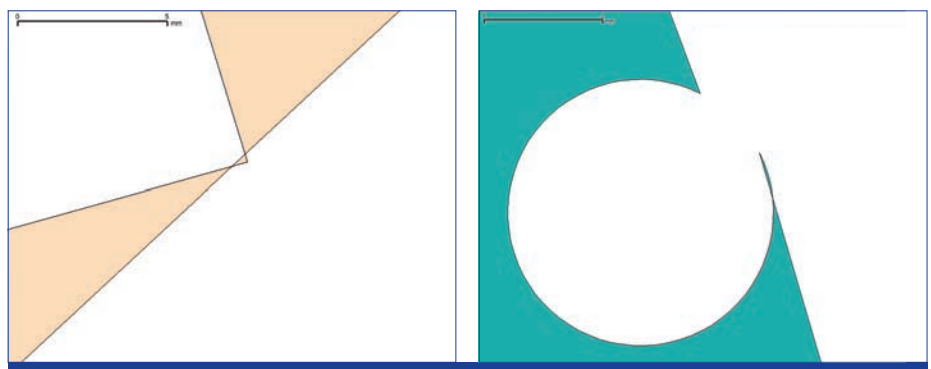


Fig. 2 Door afronding van de coördinaten kunnen valide polygonen invalide worden bij uitwisseling.



Fig. 3 Het vertalen van cirkelbogen naar expliciete coördinaten ('stroken') kan leiden tot een opeenhoping van 'slivers', omdat de cirkelbogen in twee verschillende richtingen – eenmaal voor het rechtervlak, eenmaal voor het linkervlak – worden behandeld.

lende organisaties en deze buurobjecten niet in onderlinge samenhang zijn afgebakend. Figuur 1 laat zien dat het definiëren van dezelfde grens door verschillende BGT-bronhouders in de data van de BGT-pilots leidde tot niet goed aansluiten van geometrieën (iedere kleur staat voor één bronhouder).

*Regels in de BGT gegevenscatalogus (BGT, 2012) over Topologie en Afstemming tussen bronhouders*

**Over topologie:** "De vlakobjecten in de BGT op maaiveldniveau, dus op niveau nul, partitioneren de ruimte. Dat betekent dat elk van deze objecten topologisch gestructureerd moet zijn, dat deze objecten naadloos op elkaar aan moeten sluiten en er op maaiveldniveau geen gaten mogen voorkomen en dat deze objecten elkaar niet mogen overlappen. Objecten op een niveau ongelijk aan nul doen niet mee in de topologische structuur."

**Over topologie tussen verschillende bronhouders:** "De BGT beschrijft objecten die worden aangeleverd door bronhouders. Een object valt altijd geheel binnen het gebied van één bronhouder. Bronhoudergrenzen vallen samen met objectbegrenzingsen en 'bewegen mee' wanneer er mutaties in de objectbegrenzingsen optreden. Deze regels vereisen dat tussen bronhouders afstemming nodig is over de objectafbakening op de bronhoudergrenzen."

De slivers komen zeker niet alleen voor op de grenzen van verschillende bronhouders. Zo kan ook het exporteren van ruimtelijke data tot problemen leiden. Bijvoorbeeld wanneer een Shapefile naar GML wordt geëxporteerd en coördinaten worden afgerond naar millimeter, zoals aangegeven in de BGT-catalogus: "De coördinaatgetallen zijn op millimeternauwkeurigheid [...] Zo nodig wordt daartoe afgerond". Door afronding kunnen coördinaten over kleine afstand verschuiven met slivers en overlap tot gevolg. Hierdoor kunnen ook oorspronkelijke valide polygonen niet-valide worden vanwege zelf-doorsnijding (zie figuur 2).

Een laatste oorzaak die we voor de slivers hebben gevonden in onze testen is het definiëren

van gekromde grenzen met cirkelbogen in CAD software voordat het in een GIS-omgeving komt waar BGT-data (of de voorloper ervan) wordt beheerd. In de GIS-omgeving worden de cirkelbogen vaak vertaald in expliciete coördinaten, ook al zijn GM\_Arcs toegestaan in de BGT. Bij twee vlakken die gescheiden worden door zo'n cirkelboog

wordt bij conversie voor elk vlak afzonderlijk de cirkelboog in coördinaten vertaald. Dit leidt tot een opeenvolging van slivers die met het oog niet of nauwelijks zichtbaar zijn, zoals bleek in onze testen (zie figuur 3).

### Bestaande oplossingen: automatisch repareren van een planaire partitie

Het automatisch detecteren en repareren van gaten en overlap in een landsdekkende BGT is niet triviaal. Standaard softwaresystemen als Oracle, ArcGIS, FME en PostGIS bieden hiervoor weliswaar functionaliteit, maar deze zijn alle gebaseerd op het bere-

kenen van een planaire graaf en het 'snappen' van vertices. Deze aanpak, in combinatie met de vaak enorme

hoeveelheid data die gecheckt moet worden en het grote aantal minieme slivers, doet software nogal eens crashen of is erg traag. Bovendien is veelal extra werk nodig om de eenmaal gedetecteerde problemen te analyseren. Maar het grootste knelpunt van de standaardoplossingen is dat geen van alle een robuuste oplossing biedt voor het auto-

### Software struikelt over gaten en overlap

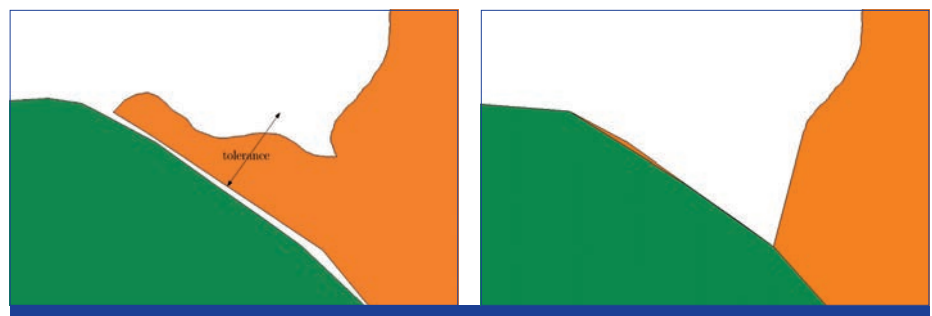


Fig. 4 Er bestaat geen optimale waarde voor een snapafstand die op een gehele dataset kan worden toegepast. In dit geval wordt een deel van de polygon onterecht tot een lijn geconverteerd vanwege een te grote tolerantiewaarde.

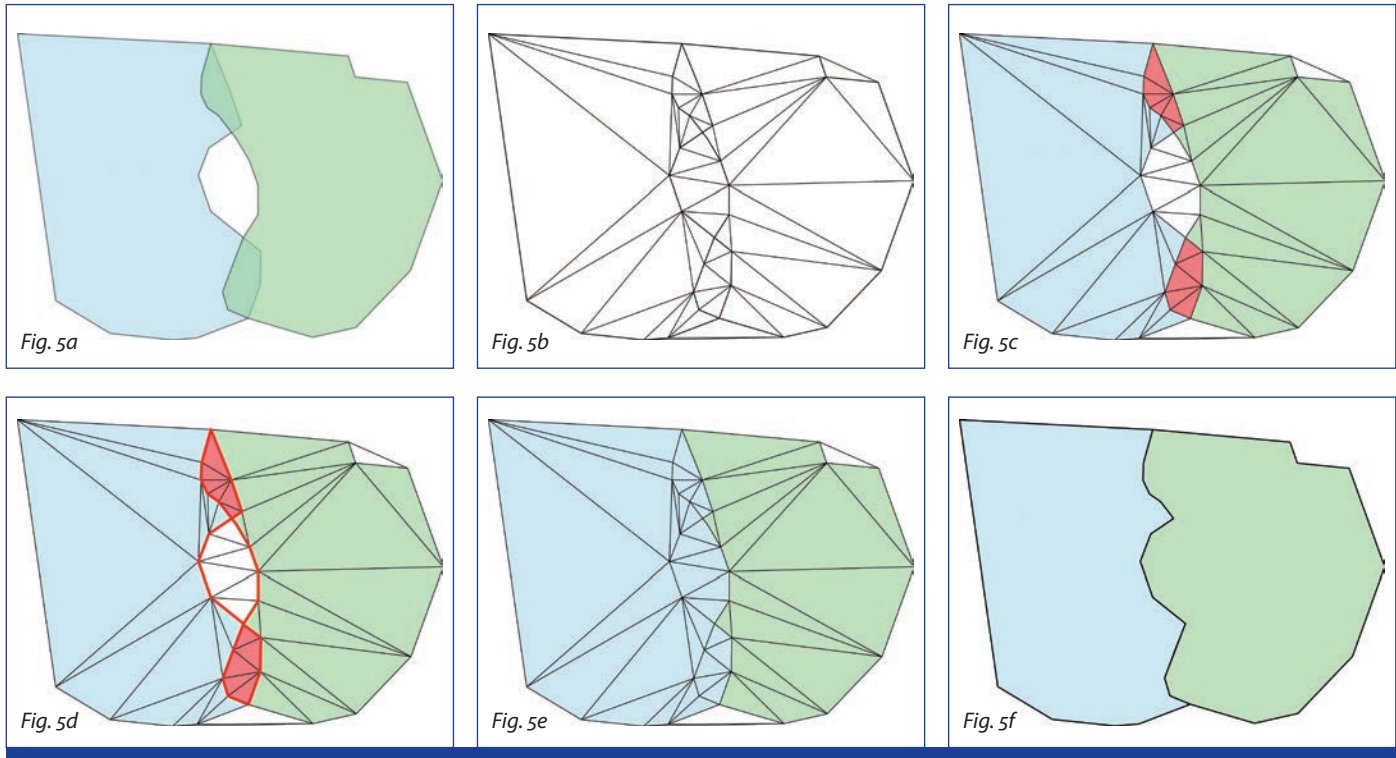


Fig. 5 De workflow van detecteren (a, b, c) en volledig automatisch repareren (d, e, f) van fouten in een planaire partitie.

*matisch repareren* van de fouten. Er bestaat bijvoorbeeld geen optimale waarde voor de snapafstand die voor de gehele dataset kan worden toegepast. Figuur 4 toont dat een bepaalde waarde voor een snapafstand sommige problemen zal oplossen, maar vervolgens ergens anders weer introduceert. De reden waarom wij hebben geïnvesteerd in een eigen oplossing was enerzijds omdat we vaak ervoeren dat bestaande ruimtelijke datasets door de aanwezige gaten en overlap niet direct bruikbaar waren als testdata binnen ons onderzoek (waarbij vaak de uitdaging is om grote hoeveelheden data automatisch te verwerken), en anderzijds dat er geen standaardoplossing voorhanden is om de data te repareren. We waren daardoor voorheen veel tijd kwijt met het prepareren van testdata. Hierdoor werd het voor ons interessant een eigen oplossing te gaan ontwikkelen voor zowel het volledig automatisch detecteren als het repareren van topologische fouten in een planaire partitie. De tool was dus in eerste instantie voor eigen gebruik bedoeld. Maar deze lost een probleem op waar niet alleen wij tegen aanlopen. Daarom was het voor ons interessant om de tool toe te passen op de data van de BGT-pilots die in het voorjaar 2011 zijn uitgevoerd.

### **De tool kan voor de BGT op verschillende plekken worden ingezet**

#### **Ons alternatief: pprepair**

De ontwikkelde validatie en reparatietool 'pprepair' bestaat uit twee stappen. De eerste stap is het automatisch detecteren van topologische fouten in een planaire partitie en de tweede stap repareert deze fouten volledig automatisch, waarbij de gebruiker controle heeft over de manier waarop dit gebeurt.

#### **Deel 1: Detectie van overlap en gaten**

De gaten en overlappen worden niet gedetecteerd door een planaire graaf te berekenen, maar door een "constrained triangulatie" (CT) uit te voeren. Dit is een triangulatie waarbij de polygoongrenzen (in dit geval de BGT-objectgrenzen) terugkomen als (een collectie van) driehoekzijden in het TIN (Triangular Irregular Network). Het berekenen van een TIN is computertech-

nisch simpeler dan het berekenen van een planaire graaf en daardoor sneller te implementeren en, wat nog belang-

rijker is, stabiel. Verder hebben driehoeken zodanige wiskundige eigenschappen dat ons proces nooit kan crashen, in tegenstelling tot bovenstaande oplossingen. Het detectieproces gaat als volgt. Als input dienen de polygonen die een planaire

partitie zouden moeten vormen (figuur 5a). Hiervan wordt een CT berekend (figuur 5b) die per definitie een planaire partitie is. De fouten worden vervolgens opgespoord door iedere driehoek de label te geven van het polygoon waarbinnen het ligt. Dit kunnen drie typen labels zijn (zie figuur 5c en 5d): de driehoek heeft één label (en is daarmee correct, want op deze locatie bestaat geen gat of overlap); de driehoek heeft twee labels (locatie met overlap) of de driehoek heeft geen label (locatie van een gat).

Een eerdere versie van de BGT-testdata uit Den Bosch werd door ons op deze manier getest en leverde de foutjes op zoals te zien in figuur 6.

Het is goed hier op te merken dat de gaten en overlap niets te maken hebben met een slecht kwaliteitsborgingproces in Den Bosch. De oorzaak bleken de redenen zoals hierboven genoemd. Soortgelijke problemen vonden we ook in de groot-schalige topografische data van Rotterdam en Vlaardingingen waarmee we mochten experimenteren (figuur 2 en 3). Bij deze testdata bleek het probleem vaak te zijn veroorzaakt door conversie van Shapefile of database naar GML: de niet-geconverteerde data was nog wel consistent. Deze testen tonen aan dat gaten en overlap, ook binnen de data van één bronhouder, bijna niet te voorkomen zijn.



Fig. 6 Detectie van gaten en overlap in de BGT-testdata. Het grootste gat dat door onze tool gevonden werd, was zo'n 5 cm breed.

## Deel 2: Automatisch repareren van gaten en overlap

Naast dat het automatische repareren van topologische fouten efficiënt is, omdat het veel tijd bespaart, heeft het automatisch repareren binnen BGT-context nog twee extra voordelen. Ten eerste wordt de afstemming tussen bronhouders die nodig is voor objectafbakening op de bronhoudersgrenzen (zoals genoemd in de BGT-catalogus) objectiever geregeld in een automatisch proces dan wanneer over ieder object dat niet aansluit overleg moet plaatsvinden. Ten tweede kan het automatische proces ervoor zorgen dat de topologische regels in heel Nederland eenduidig en op dezelfde manier worden toegepast, zie bijvoorbeeld de discussie binnen de BGT-LinkedIn groep "Mogen BGT-vlakobjecten op hetzelfde niveau ongelijk aan nul elkaar overlappen?" Het repareren met onze tool geschiedt als volgt. Bij het repareren krijgen de driehoeken die eerder gevormd en gelabeld werden een nieuw label (figuur 5e). Welk label is afhankelijk van lokale criteria, de huidige tool bevat zes mogelijkheden om labels toe te wijzen,

waarvan sommige al relevant zijn voor de BGT. Zo kunnen bepaalde typen objecten belangrijker zijn om in oorspronkelijke staat te behouden dan andere en daardoor een hogere prioriteit krijgen of kunnen objecten van de ene bronhouder een hogere prioriteit krijgen, bijvoorbeeld wanneer deze een grotere positionele nauwkeurigheid heeft. Ook kan ervoor gekozen worden om bij grotere gaten of overlap niets te doen maar wel een vlaggetje te plaatsen, omdat dit zou kunnen wijzen op objecten waarvoor er nog geen bronhouder is respectievelijk er meerdere bronhouders zijn. Figuur 7 laat zien, dat afhankelijk van de gekozen reparatiemogelijkheid, er verschillende oplossingen zijn. Figuur 7b en 7c tonen ieder een oplossing van de inconsistente planaire partitie in figuur 7a, waarbij in figuur 7b hogere prioriteit (d.w.z. meer vertrouwen) wordt gegeven aan de groene data en in figuur 7c aan de paarse data.

In een tweede stap worden de polygonen één voor één gereconstrueerd aan de hand van de nieuwe labels (figuur 5f) waarbij een algoritme wordt gebruikt dat zowel gesloten ringen maakt van de buitenranden als van de binnenringen van polygonen.

## Standaardoplossing voor automatisch repareren van toologie bestaat niet

De polygonen in het testgebied in figuur 6 zijn op deze manier gerepareerd en de foutloze data is inmiddels beschikbaar als voorbeeld BGT data via [www.geonovum.nl/dossiers/bgtimgeo/destandaard](http://www.geonovum.nl/dossiers/bgtimgeo/destandaard).

## Architectuur

De tool pprepair is ontwikkeld in C++ en gebruikt een aantal externe bibliotheken. C++ is geselecteerd om goede controle te hebben over bijvoorbeeld memory management. De tool maakt gebruik van de OGR Simple Features Library<sup>1</sup> voor het inlezen van een grote variëteit aan GIS formaten en de CGAL Library<sup>2</sup> die robuuste geometrische data structuren en operaties kent. De code is als open source onder GPL-

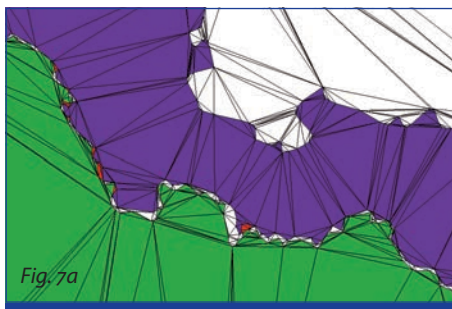


Fig. 7a



Fig. 7b

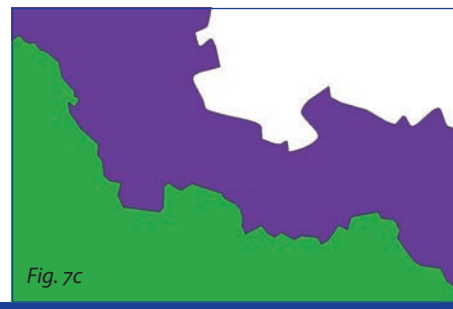


Fig. 7c

Fig. 7 Een situatie met gaten en overlap kan op meerdere manieren door pprepair worden gerepareerd.

licentie (GNU GPLv3) beschikbaar via <http://tudelft-gist.github.com/pprepair/>.

## Tot slot

Dit artikel beschrijft onze methode om te kunnen omgaan met gaten en overlap in gebiedsdekkende datasets. Doordat onze oplossing werkt op basis van een triangulatie is de tool robuust, worden vertices nooit verplaatst en is de topologische consistentie van zowel individuele polygonen als de gehele planaire partitie na afloop van het proces gegarandeerd. Bovendien heeft de gebruiker invloed op de manier waarop het repareren plaatsvindt. Voor de BGT kan de tool op verschillende plekken worden ingezet: bij individuele bronhouders om eigen data te valideren en te verbeteren, maar ook daar waar data van verschillende bronhouders

samenkomt, zoals bij het samenwerkingsverband bronhouders (SVB) of de landelijke voorziening BGT bij het Kadaster.

Bij toekomstig onderzoek willen we de beschreven aanpak uitbreiden naar de derde dimensie. Met onze huidige aanpak (Ledoux & Meijers, 2011) bereiken we valide 3D-modellen zonder gaten en overlap op basis van extrusie, maar we zijn van plan de beschreven tool op basis van 3D driehoeken en tetraëders uit te breiden, zodat ook 3D-stadsmodellen (bijvoorbeeld opgeslagen als CityGML) gevalideerd en automatisch gerepareerd kunnen worden. ♡

## Referenties

- BGT, 2010, Basisregistratie Grootchalige Topografie, Gegevenscatalogus, [www.geonovum.nl/sites/default/files/IMGEO/GegevenscatalogusBGT1definitiefv2.pdf](http://www.geonovum.nl/sites/default/files/IMGEO/GegevenscatalogusBGT1definitiefv2.pdf)

- Ken Arroyo Ohori, Hugo Ledoux & Martijn Meijers, *Validation and Automatic Repair of Planar Partitions Using a Constrained Triangulation*. In: Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation, 2012/5, 0613–0630, Stuttgart, October 2012, DOI: 10.1127/1432-8364/2012/0143.
- Ledoux, H & Meijers, M. *Topologically consistent 3D city models obtained by extrusion*. In: International Journal of Geographical Information Science, 25(4), 2011, pp. 557-574, DOI: 10.1080/13658811003623277

## Eindnoten

<sup>1</sup> OGR Simple Features Library -

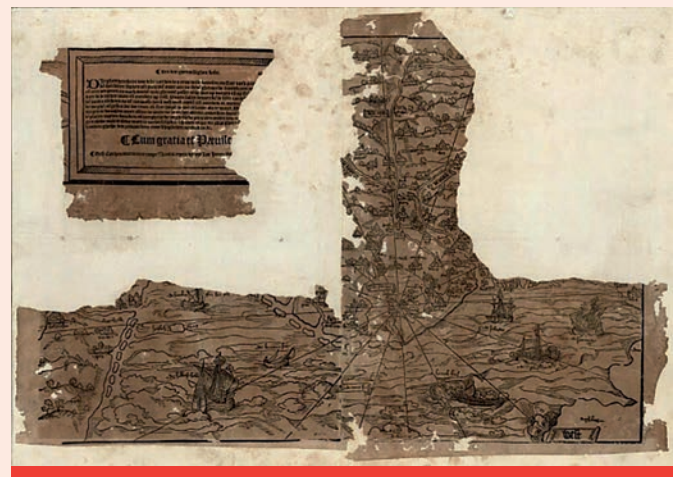
<http://www.gdal.org/ogr/>

<sup>2</sup> Computational Geometry Algorithms Library -

<http://www.cgal.org>

## Wie heeft de oudste?

‘In verschillende kranten stond een afbeelding van de oudste kaart van de zuidelijke Nederlanden. (Ook in Geo-Info 2012-2, pag. 33 en 2012-4, pag. 27, red.) De kaart was opgedoken in een antiquariaat in Breda en schijnt aangekocht te zijn door de Koninklijke Bibliotheek in Brussel. De kaart is gemaakt in 1557 door Herman I. van Borculo. Het mag dan wel de oudste kaart van de zuidelijke Nederlanden zijn, de alleroudste kaart, althans drie fragmenten daarvan, berust bij de Groninger Archieven. De fragmenten zijn van een houtsnede uit 1526, gemaakt door Jan van Hoirne. Het is de oudste topografisch betrouwbare kaart van de Nederlanden. De kaart van Herman van Borculo is duidelijk nagemaakt van de kaart van Jan van Hoirne, al is het geen exacte kopie! ♡ ([www.groningerarchieven.nl](http://www.groningerarchieven.nl))



## ‘Waschvrouw’ op GeoFort

‘In de Kazernestraat hangt sinds de opening een ‘waschvrouw’, gemaakt door beeldend kunstenaar Mieke de Waal. (...) Kaarten geven de omgeving alleen prijs aan wie heel goed kijkt. Ze zijn in delen geknipt, gespiegeld, op de kop gezet, en de meest geheime kaart van allemaal zit onder de rok! ♡

([www.geofort.nl](http://www.geofort.nl), video op [www.miekedewaal.com](http://www.miekedewaal.com))



## Levensverwachting van vakbladen

In zorgelijke tijden is het goed om te zien wat voor een wetenschappelijke instelling de verwachte einddatum van hun collectie van bepaalde vakbladen is. ♡ (*Adri den Boer*)

Geodesia/NGT Geodesia	1959-2003
Kartografisch Tijdschrift	1975-2003
VI-Matrix	1993-2010
Geo-Info	2003-9999
Geo Inside	2011-9999

([www.library.tudelft.nl/](http://www.library.tudelft.nl/))