



Inventarisatie risicovolle leidingen in een stedelijke omgeving

Koppeling rekenregels ontgrondingskuilen
met GIS

BTO 2011.016
November 2011

KWR

Watercycle Research Institute

BTO

Inventarisatie risicovolle leidingen in een stedelijke omgeving

Koppeling rekenregels ontgrondingskuilen
met GIS

BTO 2011.016
November 2011

© 2011 KWR

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Colofon

Titel

Inventarisatie risicovolle leidingen in een stedelijke omgeving - Koppeling rekenregels ontgrondingskuilen met GIS

Opdrachtnummer

B111695-104

Onderzoeksprogramma('s)

Bouwstenen leidingnetbeheer

Projectmanager

Nellie Slaats

Opdrachtgever

BTO

Kwaliteitsborger(s)

J.H.G. Vreeburg, R.H.S. Beuken

Auteur(s)

K.H.A. van Daal, A.J. Vogelaar, G.A.M. Mesman

Dit rapport is verspreid onder BTO-participanten en is openbaar

Samenvatting

De afgelopen jaren is het gebruik van geografische informatiesystemen (GIS) voor het leidingnet verbreed van registratie naar analyse. GIS draagt hier bij aan het rationeel beheren van drinkwaterleidingen dat als doel heeft een zo hoog mogelijk waarde van de netten en de kwaliteit van de levering te realiseren, tegen zo laag mogelijke kosten. Daarnaast krijgen risico's bij leidinglekage steeds meer aandacht, zowel risico's met betrekking tot de levering als risico's voor de directe omgeving. Aan de hand van een casestudie bij Brabant Water is onderzocht of het mogelijk is om een methode op te stellen om kwantitatief en realistisch vast te stellen wat de effecten zijn van ontgronding bij leidinglekage op de directe omgeving. De in dit onderzoek uitgevoerde analyse betreft een combinatie van een hydraulische analyse en risicoanalyse van het leidingnet met behulp van GIS.

De casestudie toont aan dat het mogelijk is de geëvalueerde rekenregels voor het berekenen van ontgrondingskuilen toe te passen met lokale drukken en volumestromen door gebruikt te maken van een leidingnetmodel en een leidingnetberekenningsprogramma zoals Infoworks.

Het is mogelijk de uitkomsten van het leidingnetberekenningsprogramma te koppelen aan GIS en daarmee de ontgrondingskuil te visualiseren en te gebruiken voor verdere ruimtelijke analyse in combinatie met geografische data. Dit is de basis voor het identificeren van kritische leidingen waar extra beheermaatregelen nodig zijn, gecombineerd met het identificeren van kritieke objecten waar overlast mogelijk is in geval van een leidingbreuk. De hier gepresenteerde casestudie toont aan dat de combinatie van GIS met andere analysetools waardevolle informatie oplevert voor verbeterd beheer van het leidingnet.

De geëvalueerde NEN rekenregels geven 3 formules, met toenemende precisie, om de afmetingen van de ontgrondingskuilen te berekenen. Wanneer gebruik wordt gemaakt van de meest precieze methode met lokale drukken en volumestromen zijn de afmetingen van de ontgrondingskuil kleiner dan wanneer gebruik gemaakt wordt van de gangbare rekenwijze op basis van de sterk vereenvoudigde rekenregels. Het gevolg is dat minder leidingsegmenten als risicovol hoeven te worden aangemerkt.

De casestudie geeft inzicht in het gebruik van de rekenmethode NEN 3651 in combinatie met een leidingnetberekenningsmodel. Waterbedrijven wordt aanbevolen in toekomstige studies gebruik te maken van de rekenmethode met lokale drukken en volumestromen door gebruikt te maken van een leidingnetmodel en een leidingnetberekenningsprogramma voor het berekenen van ontgrondingskuilen. De gebruikte methode is tevens geschikt voor de beoordeling externe effecten leidinglekage. Voor een nauwkeurige analyse is het van belang dat er een goede koppeling is tussen GIS en het leidingnetberekenningsprogramma.

Technologische ontwikkelingen gaan snel en het is te verwachten dat er steeds meer kwalitatief goede vlakdata beschikbaar komt die bruikbaar zijn voor waterleidingbedrijven.

Inhoud

Samenvatting	1
Inhoud	3
1 Inleiding	5
1.1 Achtergrond	5
1.2 Doel van het onderzoek	5
1.3 Aanpak	5
2 Beschrijving analysemethode	7
2.1 Analysemethode	7
2.2 Definitie kritieke objecten	7
2.3 Geografische informatie	8
2.4 Ruimtelijke data kritieke objecten	9
2.5 Rekenregels en leidingnetmodel	9
2.6 Berekenen ontgrondingsstraal	10
2.7 Ruimtelijke analyse	11
2.8 USTORE en breukfrequentie	12
2.9 Risicoanalyse	12
3 Case studie Brabant Water	13
3.1 Proefgebied	13
3.2 Ruimtelijke data kritieke objecten in het proefgebied	15
3.3 Aard en bruikbaarheid data	15
3.4 Data bewerkingen	16
3.5 Berekening ontgrondingsstraal en koppeling GIS	18
3.6 Beschouwing	21
4 Toetsing	23
4.1 Ruimtelijke analyse kritieke objecte	23
4.2 Risicoanalyse in het proefgebied	26
5 Conclusies en aanbevelingen	29
5.1 Conclusies	29
5.2 Aanbevelingen toepassingsmogelijkheden	30
6 Referenties	31
7 Bijlagen	33

I	Methodiek voor GIS analyses voor het leidingnet	35
II	Informatie over de gebruikte geodata	37
III	Storingsfrequenties Brabant Water	41

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Waterleidingbedrijven gebruiken hun leidingnetregistratiesysteem niet meer alleen voor het in kaart brengen van de ligging van leidingen maar voeren ook steeds meer analyses uit om het beheer van de assets te verbeteren. Daarbij gaat het om het rationeel beheren van de drinkwaterleidingen waarbij de waarde van de netten en de kwaliteit van de levering zo hoog mogelijk en de kosten zo laag mogelijk zijn. Daarnaast krijgen risico's bij leidinglekage steeds meer aandacht, zowel risico's met betrekking tot de levering als risico's voor de directe omgeving. Dit laatste aspect komt naar voren bij de beoordeling externe effecten leidinglekage (BEEL). Een belangrijk randvoorwaarde voor een risicoanalyse is een integrale en kwantitatieve modellering van de effecten van een leidinglekage op de directe omgeving. Voor het beheersen van risico in het leidingnet is inzicht nodig van de kans op falen en de mogelijke effecten voor de directe omgeving. Naar aanleiding van de evaluatie van de rekenmethode NEN 3651 om de afmetingen van ontgrondingskuilen bij leidinglekage te voorspellen (Mastbergen, 2010) wordt in dit onderzoek ingegaan op de mogelijke effecten bij het ontstaan van een ontgrondingskuil.

1.2 Doel van het onderzoek

In het kader van het BTO project Bouwstenen Leidingnetbeheer – bouwsteen 3: effecten leidinglekage op omgeving is onderzocht of het mogelijk is om een methode op te stellen om kwantitatief en realistisch vast te stellen wat de effecten zijn van ontgroning bij leidinglekage op de omgeving. Aangezien omgevingsfactoren een belangrijke rol spelen is het een logische stap om gebruik te maken van een geografisch informatie systeem (GIS) en specifieke geografische data. Door rekenregels voor het berekenen van ontgrondingskuilen te koppelen aan een geografisch informatie systeem (GIS) kan voor een gebied berekend en gevisualiseerd worden welke objecten in de effectzone van een leiding vallen. Hiermee krijgt een waterbedrijf een goed inzicht in de mogelijke risico's en kan een waterbedrijf een betere risico-inschatting maken.

De doelstellingen van dit onderzoek zijn:

1. De geëvalueerde rekenregels voor ontgrondingskuilen toe te passen met lokale drukken en volumestromen door gebruik te maken van een gedetailleerd leidingnetmodel.
2. De vertaalslag te maken van leidingnetmodel naar GIS om ontgrondingskuilen te kunnen visualiseren en gebruiken voor verdere ruimtelijke analyse in combinatie met geografische data.
3. Risicovolle leidingen met betrekking tot ontgrondingskuilen in een stedelijke omgeving identificeren met behulp van GIS.

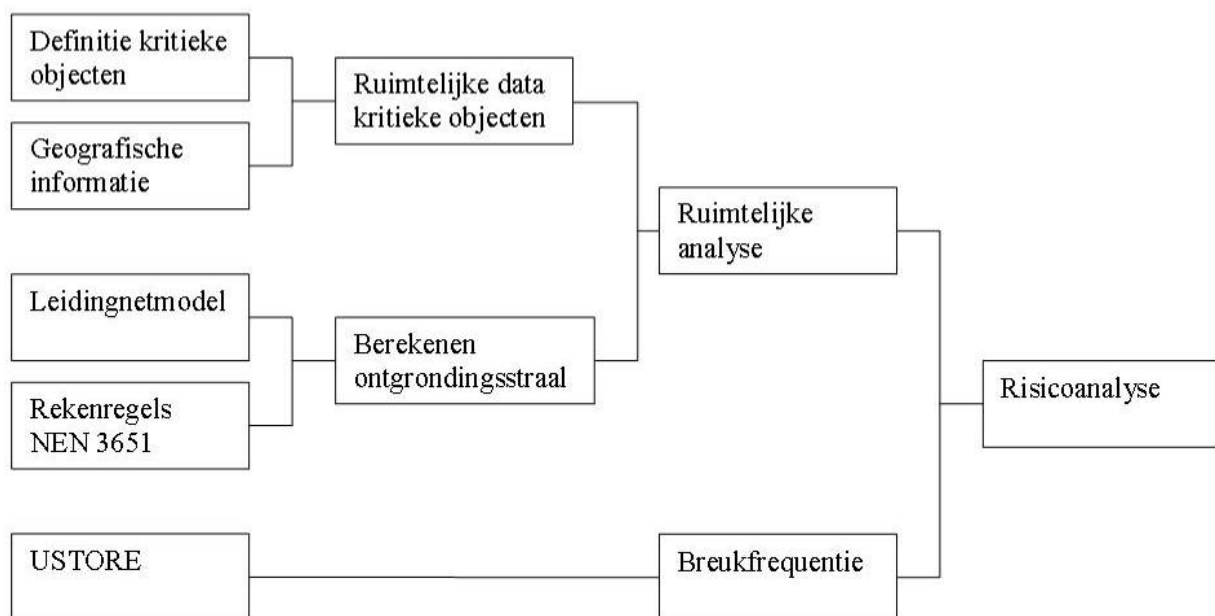
1.3 Aanpak

De analyse wordt uitgevoerd aan de hand van een pilotstudie waarbij gebruikt gemaakt zal worden van resultaten uit eerdere onderzoeken. Voor het berekenen van de ontgrondingskuilen wordt gebruik gemaakt van een onderzoek van Deltares dat is uitgevoerd in het kader van de evaluatie van de rekenmethode NEN 3651 om de afmetingen van ontgrondingskuilen bij leidinglekage te voorspellen (Mastbergen, 2010). Om de realisatie van dit onderzoek mogelijk te maken heeft een deelfinanciering plaatsgevonden vanuit het BTO. De lijst met mogelijke risicovolle objecten is afkomstig uit eerder oriënterend onderzoek naar de benadering voor risicobeheersing van externe effecten van leidinglekages in opdracht van Vewin (Beuken et al., 2004). Om de hier geschetste aanpak in de praktijk te toetsen wordt een case studie uitgevoerd naar het in kaart brengen van de effecten van leidinglekage op de directe omgeving. Deze case studie betreft een proefgebied van ongeveer 3,5 km² rondom het stadscentrum van 's-Hertogenbosch (Brabant Water).

2 Beschrijving analysemethode

2.1 Analysemethode

In eerdere BTO studies zijn verkenningen uitgevoerd naar het gebruik van GIS (Daal en Beuken, 2008 en Daal et al., 2009) en zijn meerdere casestudies uitgevoerd naar de toepassing, o.a. door een casestudie in Montfoort (Beuken, 2008) en casestudies over WML Saneringscriteria en Bodemtemperatuur bij Brabant Water (Pieterse et al., 2009). Uit de verschillende casestudies is een methodiek voortgekomen voor GIS analyses voor het leidingnet zoals beschreven in het rapport “De inzet van geografische informatiesystemen voor analyses leidingnet” (Pieterse et al., 2009), zie ook bijlage 7. Diezelfde methodiek is gebruikt bij de uitvoering van de casestudie in dit onderzoek en tevens nader geëvalueerd op toepasbaarheid. De in dit onderzoek uitgevoerde analyse betreft een combinatie van een hydraulische analyse en risicoanalyse van het leidingnet met behulp van GIS. De analysemethode is schematisch weergegeven in figuur 1. Verschillende onderdelen van de analysemethode zullen nader worden toegelicht in de volgende paragrafen.



Figuur 1. Schematische weergave van de analysemethode.

2.2 Definitie kritieke objecten

Een storing is een ongewenste situatie en ieder onderspoelingsrisico is een probleem. Welke locaties drinkwaterbedrijven willen toetsen kan door de drinkwaterbedrijven zelf worden ingevuld afhankelijk van de bedrijfsspecifieke omstandigheden (Vewin 2010). In het geval van deze pilotstudie is gekozen om gebruik te maken van een bestaande lijst met mogelijke risicovolle objecten afkomstig uit eerder oriënterend onderzoek naar de benadering voor risicobeheersing van externe effecten van leidinglekkages in opdracht van Vewin (Beuken et al., 2004). In dit onderzoek is overzicht gegeven van meest risicovolle objecten, zie Tabel 1. De lijst is een verdere uitwerking van artikel 6.5.3 uit de NEN3650 (NEN, 2003). Op initiatief van de Vewin hebben veel drinkwaterbedrijven al een eerste stap gemaakt in de risicobepaling met betrekking tot externe effecten door te onderzoeken welke waterleidingen in de buurt van infrastructurele objecten (primaire waterkeringen, spoorlijnen en primaire wegen) liggen en bij een leidingbreuk kunnen leiden tot risicovolle situaties. Voor deze studie is daarom besloten deze niet te richten op de infrastructurele objecten uit categorie 1 t/m 3 uit Tabel 1, maar op secundaire locaties

zoals genoemd in categorie 4 uit Tabel 1. De definitiebepaling is erg belangrijk om ervoor te zorgen dat de meest geschikte set gegevens, of combinatie van gegevens, worden gebruikt voor analyse.

Tabel 1. Overzicht van risicovolle objecten.

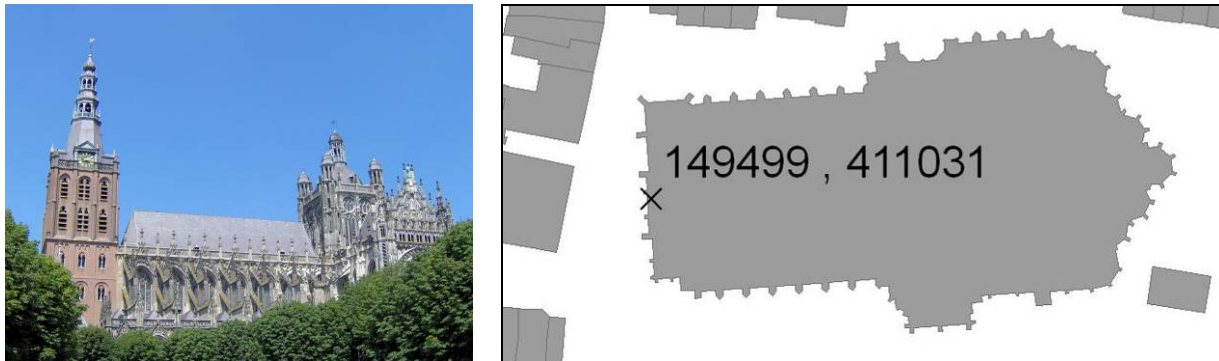
Categorie	Omschrijving
1.	Belangrijke waterstaatswerken a) Een primaire of secundaire waterkering of een boezemwaterkering b) Een primaire of secundaire weg (rijks- of provinciale weg) c) Een rijks- of provinciale vaarweg
2.	Spoorwegen: kruisingen van leidingen met spoorwegen moeten voldoen aan het zgn. 'witte boekje' van de Nederlandse Spoorwegen
3.	Overige verkeerswegen a) Drukke verkeerswegen, niet vallend onder 1. b) Verkeers-, fiets-, of voetgangerstunnels, aquaducten c) Pijlers van bruggen en viaducten
4.	Overige belangrijke locaties a) Publieke locaties, zoals ministeries, ambassades, gemeentehuizen, ziekenhuizen, brandweerkazernes, politiekantoren, kazernes defensie, treinstations, luchthavens, musea en winkelcentra b) Ondergrondse ruimten, zoals: parkeerkelders, archieven, metrostations en winkelcentra c) Monumentale panden (i.v.m. grote schadeclaims) d) Opslag van chemische goederen e) Hoogspanningslocaties: hoogspanningsmasten, hoogspanningsverdeelstations, verdeelstations, sterkstroomleidingen, etc. f) Hogedruk gasnet: HD gasleidingen, gasdrukregelstations, gasmengstations, etc. g) Overige leidingsystemen en industrie zoals voor de (petro-)chemische industrie of defensie h) Hoogwaardige natuurgebieden, waarin schade door lekkage en reparatie leidt tot grote natuurschade

2.3 Geografische informatie

Voor de analyse zijn gegevens nodig over de omgeving (kritieke objecten) en gegevens over de ligging van het leidingnet. Bij eerdere studies naar het gebruik van geografische informatie systemen voor analyses van het leidingnet komt naar voren dat het gebruik van GIS kan leiden tot bruikbare inzichten voor het beheer van leidingnetten. Dit is echter alleen mogelijk als de kwaliteit van de gebruikte data hoog is. De kwaliteitselementen van geografische data zijn:

- Toepassingschaal
Met de toepassingschaal wordt de beoogde schaal bedoeld waarop het bestand waarheidsgetrouw gebruikt kan worden.
- Ruimtelijk schema
Methode die gebruikt wordt om geografische informatie ruimtelijke te presenteren, bijvoorbeeld punten, lijnen, vlakken, grid (raster) of tekst. De vorm, omvang en oppervlakte van een object worden in het geval van vlakgerichte objecten nauwkeuriger weergegeven dan wanneer puntdata of lijndata wordt gebruikt. In Figuur 2 is het verschil tussen punt- en vlakdata weergegeven door een representatie van de Sint-Jan kathedraal in 's-Hertogenbosch.
- Nauwkeurigheid
De mate waarin attributwaarden de werkelijkheid benaderen, bijvoorbeeld of een leiding de juiste kenmerken (materiaal, diameter, jaar van aanleg) heeft meegekregen.
- Geometrische nauwkeurigheid
De precisie (mate van detail) en betrouwbaarheid (zekerheid dat de data correct is binnen gestelde marges, bronhouder) van de data.

- Temporele nauwkeurigheid
De actualiteit van de data.
- Compleetheid
Omschrijving in hoeverre een dataset compleet is, of anders gezegd, een inschatting wat er nog ontbreekt. De bodemkaart is bijvoorbeeld goed bruikbaar op landelijk gebied, maar er zijn geen gegevens voor stedelijk gebied. Hier is duidelijk een hiaat.



Figuur 2. Deze figuur illustreert de geografische weergave van de Sint-Jan kathedraal in 's-Hertogenbosch. Links een foto van de kathedraal en rechts de geografische representatie van de kathedraal als puntdata (x) en als vlakdata.

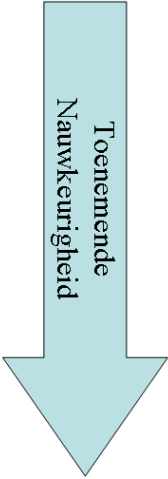
2.4 Ruimtelijke data kritieke objecten

Voor ruimtelijke analyses gaat de voorkeur uit naar vlakdata van kritieke objecten vanwege het verschil in vorm tussen puntdata en vlakdata. Een belangrijk nadeel van puntobjecten is de onbekendheid over de vorm en afmeting van het vertegenwoordigde object. De uitgebreidere informatie van vlakdata biedt uitgebreidere analysemogelijkheden. Door Europese regelgeving, zoals INSPIRE (Infrastructure for Spatial Information in Europe) en initiatieven vanuit de Nederlandse overheid, zoals basisregistraties en het project publieke dienstverlening op de kaart, (Geonovum, 2011) komt steeds meer kwalitatief goede vlakgerichte data beschikbaar.

Wanneer er geen vlakdata beschikbaar is bestaat de mogelijkheid om puntdata van kritieke objecten te vertalen naar vlakdata door de puntgegevens te combineren met andere, vlakgerichte informatie uit geografische basisbestanden. Een voorbeeld van een dergelijk geografisch basisbestand is de BAG (basisregistratie adressen en gebouwen).

2.5 Rekenregels en leidingnetmodel

Voor het berekenen van de straal van een ontgrondingskuil is gebruik gemaakt van de aanbevelingen die voortkomen uit de evaluatie rekenmethode NEN3651 (Mastbergen, 2010). Er worden drie verschillende formules beschreven om de straal van een ontgrondingskuil te berekenen, zie Figuur 3. De formules hebben een toenemende mate van nauwkeurigheid, die gepaard gaat met een toenemende databehoeft. Als er niets bekend is over de volumestroom en alleen een indicatie van de druk bekend is, is de aanbeveling om de vereenvoudigde formule aan te houden, zie formule 1 in figuur 3. Deze formule geeft echter grote kuilafmetingen (Mastbergen, 2010) die in veel gevallen een overschatting geven van de daadwerkelijk optredende kuilafmetingen. Om meer realistische afmetingen te bepalen, kan uitgegaan worden van druk en volumestroom bij het pompstation, dan is formule 2 in figuur 3 het uitgangspunt. Het strekt echter tot de aanbeveling om waar mogelijk gebruik te maken van maatgevende hydraulische gegevens (formule 3 in figuur 3). Door gebruik te maken van een gedetailleerd leidingnetmodel kan met grote nauwkeurigheid de lokale druk en de lekstroom worden bepaald. Leidingnetmodellen zijn doorgaans afkomstig uit het leidingnetregistratiesysteem (GIS), eventueel vereenvoudigd door verdunningslagen. Met de huidige beschikbare netwerkmodellen en rekenmodellen van leidingnetwerken is een goede inschatting mogelijk van de werkelijke optredende situatie.

1	$R_B = 8,0 \sqrt[8]{H_g^3 D_i^5}$	
2	$R_B = 7,8 \sqrt[4]{Q_0 H_0 \sqrt{\frac{D_i}{g}}}$ + pomprendementspunt (NEN3650)	
3	$\frac{R_B}{d_g} = 7,8 \left(\frac{QH}{g^{1/2} \mu d_g^{7/2}} \right)^{0,243}$ + leidingnetmodel	

R_B	Straal van ontgrondingskuil	(m)
H_g	Globale maatgevende druk boven maaiveld in voorzieningsgebied	(mwk)
D_i	leidingdiameter (intern, inwendig)	(m)
Q_0	Debiet bij het rendementspunt van de pomp	(l/s)
H_0	Druk bij het rendementspunt van de pomp	(mwk)
H	Druk boven maaiveld in de leiding ter plaatse van het lek	(mwk)
μ	Afvoercoëfficiënt gat	(-)
d_g	Gatdiameter	(m)
g	Versnelling zwaartekracht	(m/s ²)
Q	Volumestroom van lek	(l/s)

Figuur 3. De verschillende formules voor het berekenen van de ontgrondingskuil zoals ze voortkomen uit de evaluatie rekenmethode NEN3651 (Mastbergen, 2010).

Erratum (30-6-2022):

Eenheid van Q en Q_0 is in m³/s

2.6 Berekenen ontgrondingsstraal

Met behulp van de drie formules uit Figuur 3, leidingnetberekeningsprogramma en een gedetailleerd netwerkmodel is het mogelijk om de straal van de ontgrondingskuil te berekenen. Voor de berekeningen is gebruik gemaakt van onderstaand stappenplan:

1. Laad een model in een leidingnet berekeningsprogramma (LNBP).
2. Zorg dat relevante voedingen (pompstations) en hun QH-relatie in het model zitten
3. Analyses om de maatgevende situatie te bepalen (= P_{max} dit is het vermogen van het uitstromende water waarbij de grootste ontgrondingskuil ontstaat). Dit is binnen een voorzieningsgebied afhankelijk van de ligging van de breuk ten opzichte van de pompstations. Over het algemeen bestaat de keuze uit de volgende analyse mogelijkheden:
 - normale dag tijdens nachtsituatie (bij laag verbruik);
Gedurende de nachtsituatie zijn drukverliezen als gevolg van het ontbreken van het verbruik het laagst. Er is dan volop water beschikbaar om uit het lek te stromen en hiermee een hoog vermogen.
 - maxdag maxuur (bij hoog verbruik);
Onder deze omstandigheden is de druk over het algemeen het hoogst en het mogelijke vermogen in de breuk kan dan het hoogst zijn.
 - calamiteit (bijvoorbeeld voeding vanuit ander gebied of tijdelijk hogere druk);
De situatie bij een calamiteit kan ook bepalend zijn.
4. Routine leidingnet berekeningsprogramma voor berekenen van Q en H op knopen
 - Simulatie van fictieve lekken op alle knopen in het analysegebied.
5. Berekeningsresultaat exporteren naar spreadsheet

De bij punt 5 gegenereerde output is een spreadsheet met gegevens (Q en H) van de knopen in een leidingnetwerk. Het bestand moet geschikt zijn om in te laden in GIS. Met de gegevens uit het

spreadsheet kan de straal van de ontgrondingskuil berekend worden. De berekening kan in GIS plaatsvinden of in een spreadsheet programma. Per locatie (knoop) kan de grootte van de ontgrondingskuil berekend worden via de in een spreadsheet of model (GIS) opgenomen variant van formules Figuur 3, waarbij de variabelen volledig van Q en H afhankelijk zijn gemaakt. Wanneer de straal van de ontgrondingskuil is berekend in Excel kan aan het invoerbestand nog een kolom RB worden toegevoegd. Een voorbeeld van een mogelijk invoerbestand is gegeven in Tabel 2

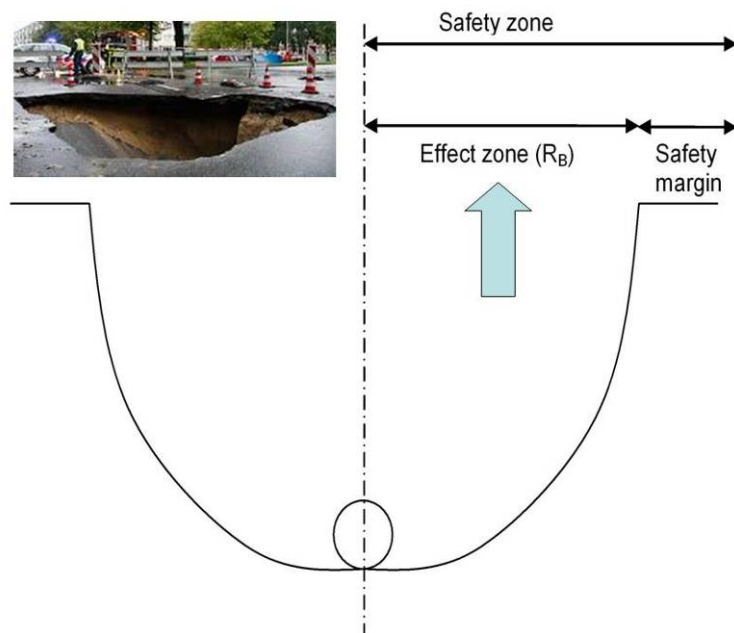
Tabel 2. Voorbeeld van een geschikte invoer met informatie over knooppunten.

Node	X	Y	H	Q	R _B
BK_00024	148490,1	409810,6	25	13	2,08
BK_00025	148490,3	409811,9	25	13	2,09
BK_00028	148368,5	409835,8	25	335	5,9
BK_00034	148409,5	409886,4	25	340	5,92
BK_00037	148420,6	409902,8	25	24	2,57
BK_00042	148433,5	409910	25	25	2,57

2.7 Ruimtelijke analyse

Door de output van het leidingnetberekeningsprogramma te koppelen aan GIS kan de ontgrondingskuil visueel worden weergegeven en worden gebruikt voor ruimtelijke analyse. De GIS analyse bestaat uit de volgende stappen:

1. Importeren uitkomsten leidingnet berekeningsprogramma
2. Hydraulische gegevens knopen koppelen aan leidingsegmenten
Binnen GIS wordt ieder leidingsegment in het proefgebied gekoppeld aan de dichtstbijzijnde knoop op basis van zijn locatie. Elk leidingsegment krijgt de gegevens van deze knoop toegevoegd in extra kolommen.
3. Nabijheidsanalyse kritische objecten
De maximale straal van de ontgrondingskuil dient als input voor de nabijheidsanalyse. De maximale straal vorm samen met een eventuele extra marge de veiligheidszone die om een leiding wordt aangehouden (zie Figuur 4). In GIS wordt bekeken waar de veiligheidszone raakt aan risicovolle objecten. Dit geeft aan waar mogelijke effecten te verwachten zijn bij leidingbreuk. Bij de nabijheidsanalyse worden de objecten geselecteerd die raken aan of vallen binnen de veiligheidszone (buffer) van een leidingsegment. Er zijn twee mogelijkheden om te bekijken of een kritiek object hieraan voldoet:
 - Een 'select by location' actie in GIS. Hiermee wordt het gehele object geselecteerd dat raakt aan een de veiligheidszone, ook wanneer er slechts een klein deel is dat binnen de veiligheidszone valt of de raakt.
 - Een 'intersect' actie in GIS. Hiermee wordt gekeken of de buffers raken aan kritieke objecten en wordt niet het gehele object, maar alleen het deel dat werkelijk binnen de veiligheidszone valt of de veiligheidszone raakt geselecteerd.
4. Selectie kritische leidingsegmenten
Beide GIS acties onder stap 3 resulteren in een nieuw vlakgericht bestand met (delen van) kritische objecten. Om te kunnen weergeven welke leidingsegmenten raken aan deze kritieke objecten moet een extra actie uitgevoerd worden. Het resultaat van de 'select by location' of de 'intersect' actie bevat gegevens over het originele leidingsegmenten. Door het uitvoeren van een 'join' actie in GIS is het bestand te koppelen aan het originele leidingbestand en kunnen de leidingsegmenten die raken aan kritieke objecten getoond worden.



Figuur 4. De straal van de ontgrondingskuil (R_B) en een eventuele extra veiligheidsmarge vormen samen de veiligheidszone rondom een leidingsegment.

2.8 USTORE en breukfrequentie

Voor een risico-inschatting van externe effecten bij leidinglekkage is het van belang om niet alleen te kijken naar de mogelijke effecten bij een storing, maar ook naar de kans op het optreden van een storing. Om de kans op een storing te kwantificeren wordt gebruik gemaakt van de storingsfrequentie. De storingsfrequentie is te herleiden uit de storingsregistratie, bijvoorbeeld USTORE. Er is voor gekozen de storingsfrequentie te nemen per kilometer per jaar en deze onder te verdelen naar:

- Gemiddelde storingsfrequentie van een leiding met een bepaalde combinatie van materiaalsoort, diameter en jaar van aanleg
- Gemiddelde storingsfrequentie van een leiding met een bepaalde combinatie van materiaalsoort en diameter
- Gemiddelde storingsfrequentie van een leiding van een bepaalde materiaalsoort
- Gemiddelde storingsfrequentie van alle leidingen

In het GIS is de storingsfrequentie vervolgens gekoppeld aan de leidingsegmenten. Dit is in eerste instantie gedaan op basis van de combinatie van materiaal, diameter en jaar van aanleg. Wanneer deze niet voorkomt is de storingsfrequentie toegekend op basis van de combinatie van materiaal en diameter. Komt ook deze combinatie niet voor dan is de storingsfrequentie toegekend op basis van de materiaalsoort. Wanneer er geen storingen hebben plaatsgevonden op een materiaal dan is de gemiddelde storingsfrequentie van alle materialen gebruikt.

2.9 Risicoanalyse

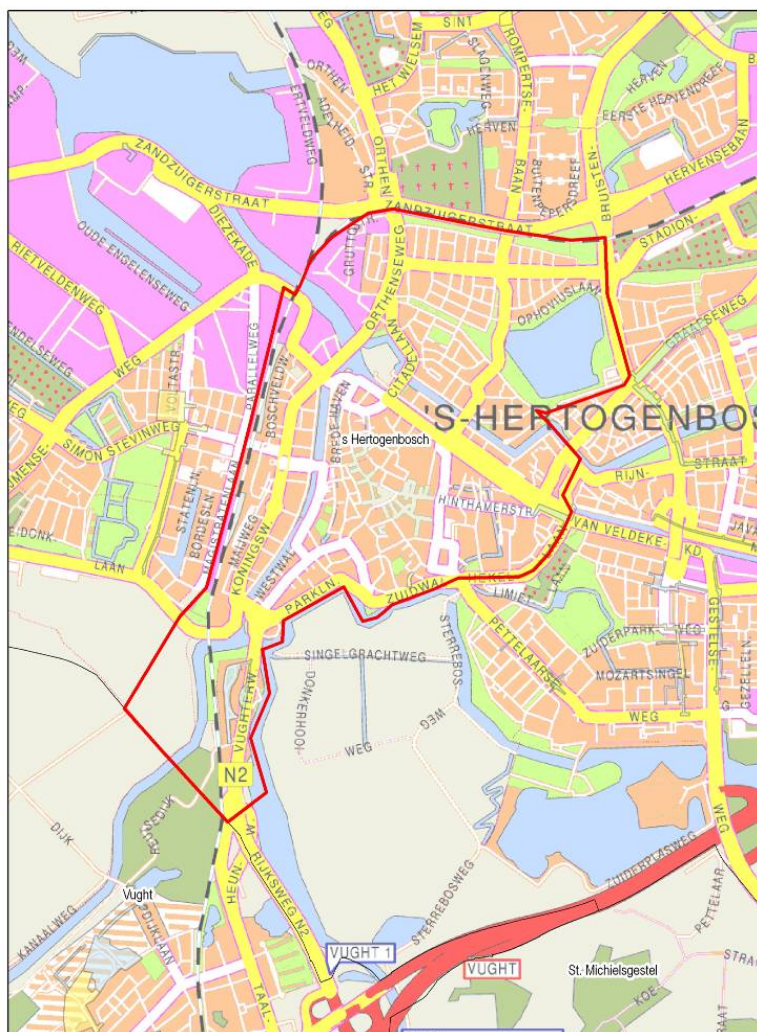
Door de uitkomsten van de GIS analyse te combineren met de breukfrequentie kan een risicoprofiel van een leiding worden opgesteld. Per leidingsegment is bekend of de veiligheidszone van het leidingsegment raakt aan een kritiek object en of er een mogelijk effect is. Tevens is bekend wat de storingsfrequentie is van het segment. Deze twee aspecten gecombineerd vormen een risicoprofiel per leidingsegment. De kennis over het risicoprofiel van de leidingen kan als input gebruikt worden voor keuzes betreffende onderhoud, inspectie en vervanging.

3 Case studie Brabant Water

3.1 Proefgebied

Voor de toepassing van de analysemethode is gekozen voor een case studie met een bestaand leidingnet en beschikbare geografische informatie. De case studie wordt uitgevoerd in een proefgebied van ongeveer 3,5 km² rondom het stadscentrum van 's-Hertogenbosch (Brabant Water). Om het proefgebied te begrenzen is gebruik gemaakt van de wijkenkaart van gemeente 's-Hertogenbosch. De wijkenkaart geeft de situatie weer van 2010 en bevat begrenzingen van 12 wijken in de gemeente. De wijken *Binnenstad* en *Muntel/Vliert* vormen samen het proefgebied. Voor de ligging van het proefgebied, zie Figuur 5.

Brabant Water heeft al een aantal stappen gezet bij het identificeren van risicovolle leidingen in het kader van de beoordeling externe effecten leidinglekage (BEEL) en zij hebben interesse om die beoordeling uit te breiden met nieuwe objecten. Tevens beschikt Brabant Water over een gedetailleerd hydraulisch model van het leidingnet waarmee lokale drukken en volumestromen berekend kunnen worden. In deze case studie wordt vooral aandacht besteed aan de toegevoegde waarde van de gedetailleerde data. De gevoeligheid van de uitkomst van de analyse voor deze mate van detail en nauwkeurigheid wordt getoetst.



Figuur 5. Topografische kaart van 's-Hertogenbosch met rood omcirkeld het proefgebied

De gegevens over de leidingen binnen het gekozen proefgebied zijn geselecteerd uit het GIS bij Brabant Water (ArcFM UT). Er is voor gekozen om alleen het transport en distributienet mee te nemen. Het transport en distributienet in het proefgebied bestaat uit 3279 segmenten met een gezamenlijke lengte van ruim 70 kilometer. De segmenten variëren in lengte tussen de 13 cm en 432 meter. In Tabel 3 wordt een overzicht gegeven van de leidingmaterialen, diameterverdeling van het leidingnet in het proefgebied.

Tabel 3. Gegevens over het leidingnet in het proefgebied in 's-Hertogenbosch

Materiaal	Lengte (m)	Diameter (mm)	Lengte(m)	Jaar van aanleg	Lengte (m)
AC	17629	0-49	3930	onbekend	37
CU	197	50-74	11764	1900-1949	22794
GIJ	20628	75-99	200	1950-1959	22295
HZ	1107	100-124	33418	1960-1969	0
ONB	85	125-149	0	1970-1979	262
PE	1494	150-199	5877	1980-1989	7375
PVC	29285	200-299	7987	1990-1999	8793
ST	167	300+	7415	2000-nu	9035

3.2 Ruimtelijke data kritieke objecten in het proefgebied

Geografische gegevens over kritieke objecten zijn verkregen via Brabant Water en via de gemeente 's-Hertogenbosch. Voor alle benodigde gegevens over risicovolle objecten zoals genoemd in paragraaf 2.2 wordt hieronder in Tabel 4 aangegeven of de gegevens beschikbaar zijn en welke gegevens zijn gebruikt voor analyse. Paragraaf 3.3 gaat dieper in op de bruikbaarheid van de data en in paragraaf 3.4 wordt beschreven welke bewerkingen nodig zijn geweest om de gegevens bruikbaar te maken voor analyse.

Tabel 4. Beschikbaarheid geografische gegevens voor de geografische analyse in het proefgebied.

Geografische gegevens	Aanwezig
Ministeries	Niet aanwezig in het proefgebied
Ambassades	Niet aanwezig in het proefgebied
Gemeentehuizen	Puntgegevens via gemeente, bestand voorzieningen
Ziekenhuizen	Vlakgegevens via TOP10NL
	Puntgegevens via gemeente, bestand voorzieningen (*)
Brandweerkazernes	Puntgegevens via gemeente, bestand voorzieningen
Politiekantoren	Vlakgegevens via TOP10NL
	Puntgegevens via gemeente, bestand voorzieningen (*)
Kazernes defensie	Niet aanwezig in het proefgebied
Treinstations	Vlakgegevens via TOP10NL (*)
	Puntgegevens via gemeente, bestand voorzieningen (*)
Luchthavens	Niet aanwezig in het proefgebied
Musea	Puntgegevens via gemeente, bestand voorzieningen
Winkelcentra	Vlakgegevens GBKN gemeente 's-Hertogenbosch
Parkeerkelders	Puntgegevens via gemeente, bestand voorzieningen
Archieven	Puntgegevens via gemeente, bestand voorzieningen
Metrostations	Niet aanwezig in het proefgebied
Monumentale panden	Puntgegevens via gemeente, bestand adressen
Opslag chemische goederen	Niet beschikbaar voor pilot
Hoogspanningsmasten	Niet beschikbaar voor pilot
Hoogspanningsverdeelstations	Niet aanwezig in het proefgebied
Hoogspanningsleidingen	Niet aanwezig in het proefgebied
Hogedruk gasleidingen	Niet aanwezig in het proefgebied
Gasdrukregelstations	Niet beschikbaar voor pilot
Gasmengstations	Niet beschikbaar voor pilot
Overige leidingsystemen	Niet beschikbaar voor pilot
Hoogwaardige en/of kwetsbare natuurgebieden	Niet aanwezig in het proefgebied

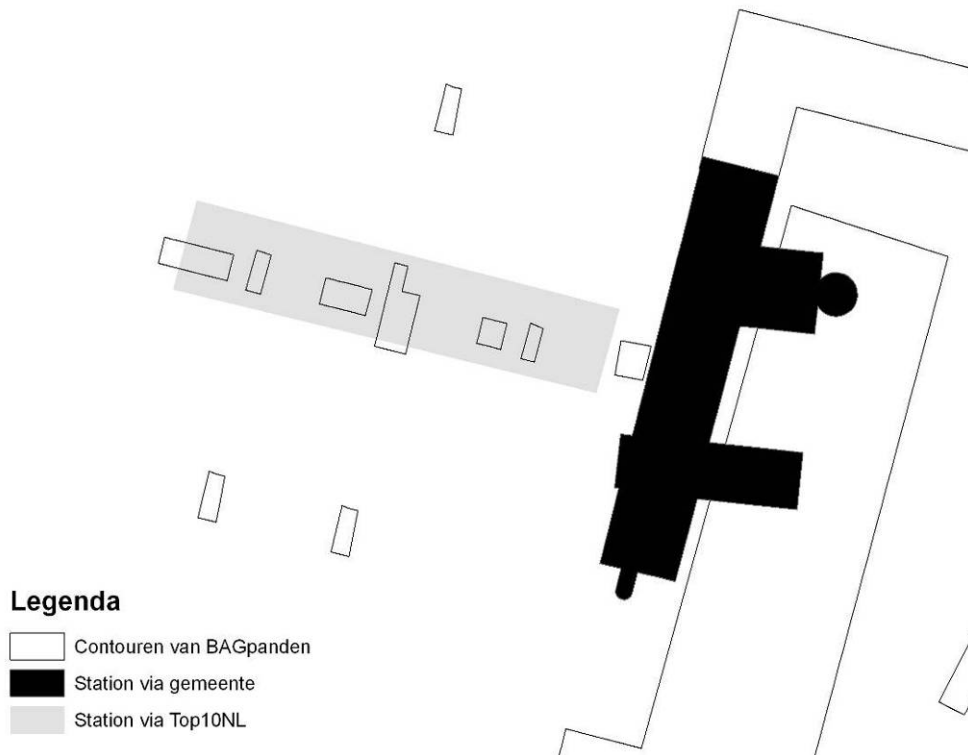
(*) Wanneer er meerdere bronnen van gegevens zijn geeft het * aan welke bron is gebruikt. Wanneer bij beide bronnen een * staat betekent dit dat de bronnen zijn gecombineerd.

3.3 Aard en bruikbaarheid data

De kwaliteit van de resultaten van een analyse is voor een groot deel afhankelijk van de kwaliteit van de gebruikte data. Ontbrekende of kwalitatief slechte data leiden tot onjuiste analyseresultaten. Om inzicht te geven in de toepasbaarheid van de resultaten is het van belang aan te geven welke kwaliteit de gebruikte data hebben. In bijlage II is meer informatie te vinden over de gebruikte data, onder andere een korte beschrijving per dataset en gegevens over de kwaliteit van de geografische data.

Behalve de kwaliteit van de data is het ook belangrijk voorafgaand aan de analyse een definitie vast te leggen van de verschillende kritische objecten. De definitiebepaling is erg belangrijk om ervoor te zorgen dat de meest geschikte set gegevens, of combinatie van gegevens, worden gebruikt voor analyse. In het proefgebied ligt het station van 's-Hertogenbosch. Voor dit voorbeeld is het in het kader van de analyse van belang te bepalen of onder het station alleen de stationshal valt of dat ook de winkeltjes en kiosken

en alle trappen en perrons worden meegenomen. Gegevens over het station zitten in verschillende datasets. Zowel in de TOP10NL kaart als in gemeentelijke bestanden zitten gegevens over het station. Daarnaast is er nog de BAGdata. In figuur 6 wordt duidelijk hoe deze bestanden van elkaar verschillen. In het puntenbestand van de gemeente is alleen de stationshal weergegeven als station, in het TOP10NL kaart is de traverse over de sporen aangegeven als station en de BAG bevat alleen contouren van de kiosken en winkels. Voor de analyse is ervoor gekozen om in dit geval beide bestanden met elkaar te combineren om meer gedetailleerde vlakdata te verkrijgen.



Figuur 6. Voorbeeld van verschillen tussen databestanden. In zwart het station volgens de gemeente (de stationshal), in grijs het station volgens de TOP10NL (de traverse) en daarnaast de contouren uit de BAG.

3.4 Data bewerkingen

Allereerst is voor alle data een selectie gemaakt van de objecten die binnen het proefgebied vallen. Daarnaast zijn er nog enkele bewerkingen uitgevoerd om de data geschikt te maken voor analyse.

Indien al vlakgegevens aanwezig zijn kunnen deze vaak rechtstreeks gebruikt worden. Soms dient er een selectie gemaakt te worden op het type voorziening. Er zijn ook risicovolle objecten die in meerdere bestanden geregistreerd zijn. Er is dan een keuze gemaakt wel bestand er gebruikt wordt of de gegevens uit de verschillende bestanden zijn gecombineerd middels een “merge” actie in GIS

Een aantal gegevens zijn aangeleverd als puntobjecten. Een belangrijk nadeel van puntobjecten is de onzekerheid over de vorm en afmeting van het vertegenwoordigde object. Er is geprobeerd alle gegevens die als puntobjecten beschikbaar zijn te vertalen naar vlakgegevens. Dit is gedaan door de puntgegevens te koppelen aan vlakgegevens zoals beschikbaar in het bestand met BAG panden.

Om deze koppeling te maken zijn in GIS de volgende stappen doorlopen:

1. Op basis van de geometrische locatie de punten koppelen aan het vlak waar ze in vallen (met een eventuele foutmarge) middels een "spatial join".
2. De vlakken selecteren van de BAG verblijfsobjecten waar een voorziening of adrespunt in valt.
3. De geselecteerde vlakken exporteren naar een nieuw bestand.

In veel gevallen gaat het vertalen van punt- naar vlakdata goed, maar het kan ook tot fouten leiden. Dit wordt hieronder met twee voorbeelden toegelicht.

Voorbeeld monumentale panden (hierbij gaat de koppeling goed):

Monumentale panden zijn via de gemeente 's-Hertogenbosch beschikbaar als puntgegevens. De puntgegevens liggen altijd binnen de contouren van een BAGverblijfsobject. Het is eenvoudig om het punt te vertalen naar een vlak door er vanuit te gaan dat het BAGverblijfsobject waar het punt in ligt de contour vormt van het monumentale gebouw. Deze vertaalslag is in GIS eenvoudig te maken met een zogenaamde *spatial join* actie, zie figuur 7.



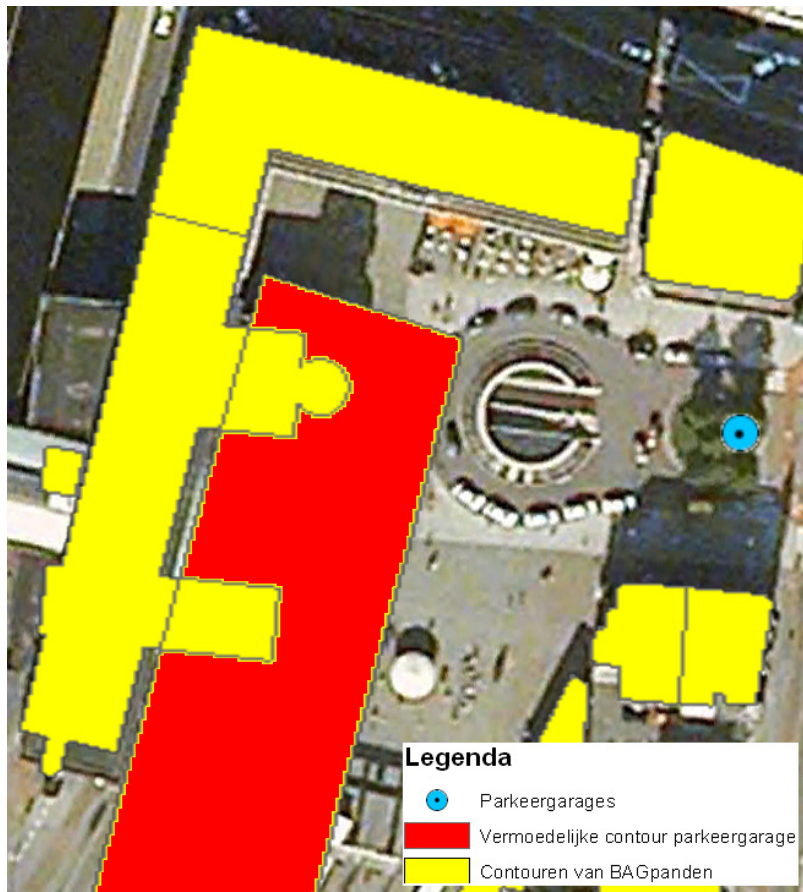
Legenda

- Monumenten
- Rijksmonumenten
- Gemeentelijke monumenten
- Contouren van BAGpanden

Figuur 7. In het figuur zijn de puntgegevens van monumentale gebouwen en de contouren van BAGverblijfsobjecten aangegeven. In kleur is te zien welke vlakken het GIS middels de spatial join actie geselecteerd heeft als monument.

Voorbeeld parkeergarages (hierbij gaat de koppeling niet goed):

Ook parkeergarages zijn via de gemeente 's-Hertogenbosch beschikbaar als puntgegevens. Deze puntgegevens liggen echter niet altijd binnen de contouren van een BAGverblijfsobject. Het punt representeert meestal de ingang van de parkeergarage. In dit geval is het niet eenvoudig om een punt te vertalen naar een vlak. Met lokale kennis, is het mogelijk om handmatig aan te geven welke contouren de desbetreffende parkeergarages vormen, maar dit zal dan altijd een handmatige exercitie blijven. Zie ter illustratie figuur 8.



Figuur 8. De puntgegevens van parkeergarages liggen niet altijd binnen BAGverblijfsobjecten. In dit geval representeert het punt (blauw) de ingang van de parkeergarage. De vermoedelijke contour van de parkeergarage is in het figuur in rood aangegeven, maar is niet via een analyse rechtstreeks uit GIS te halen.

Een beperking bij GIS analyses is de beschikbaarheid en nauwkeurigheid van geodata. Door de toenemende aandacht voor geodata bij rijksoverheden en lokale overheden is het aannemelijk dat de beschikbaarheid van data in rap tempo zal toenemen.

3.5 Berekening ontgrondingsstraal en koppeling GIS

Voor het proefgebied in 's-Hertogenbosch is voor 6 situaties (leiding met een diameter van 100, 300 en 600 mm, zowel dichtbij als ver van het pompstation gelegen) de straal van de ontgrondingskuil (R_B) berekend volgens de drie formules uit figuur 3. De uitkomsten van de berekeningen zijn te zien in tabel 5. Het hanteren van formule 3 uit figuur 3 in combinatie met een leidingnetberekeningsmodel levert meer realistische resultaten op (Mastbergen, 2010). Aangezien een nauwkeurig leidingnetmodel beschikbaar is, is voor het vervolg van de analyse uitgegaan van het advies van Mastbergen (2010) om gebruik te maken van een gedetailleerd hydraulisch model en een leidingnetberekeningsprogramma om een zo goed mogelijke inschatting te maken van de werkelijke optredende druk en volumestroom op het punt van een lekkage (formule 3). De aanbeveling van Mastbergen (2010) is om de minder diepgaande formules 1 of 2 te gebruiken indien de lokale gegevens niet beschikbaar zijn. Tabel 5 laat zien dat de meest gedetailleerde berekeningsmethode bovendien kan leiden tot kleinere kuilafmetingen. Dit heeft tot gevolg dat in de verdere analyse minder leidingen naar voren zullen komen waarvan de ontgrondingskuil raakt aan een kritiek object. De grootste afname van de berekende ontgrondingskuil treedt op bij kleinere leidingen die zich relatief ver van het pompstation bevinden. Opgemerkt wordt dat deze situatie veruit de meeste leidingen representeert. Dit heeft tot gevolg dat een aanzienlijke reductie is te verwachten van het aantal leidingen met een ongunstig risicoprofiel. Het is dus de moeite waard om tijd en geld te steken in de kwaliteit van de data om leidingen met een hoog risicoprofiel te reduceren.

Tabel 5. Berekende R_B voor 6 situaties in het proefgebied (leidingen met een diameter van 100, 300 en 600 mm, waarbij er weinig weerstand tussen de voeding en het lek aanwezig is (dichtbij pompstation) en de situatie waarbij er veel weerstand tussen de voeding en het lek aanwezig is (ver van pompstation), met behulp van de drie formules zoals weergegeven in figuur 3.

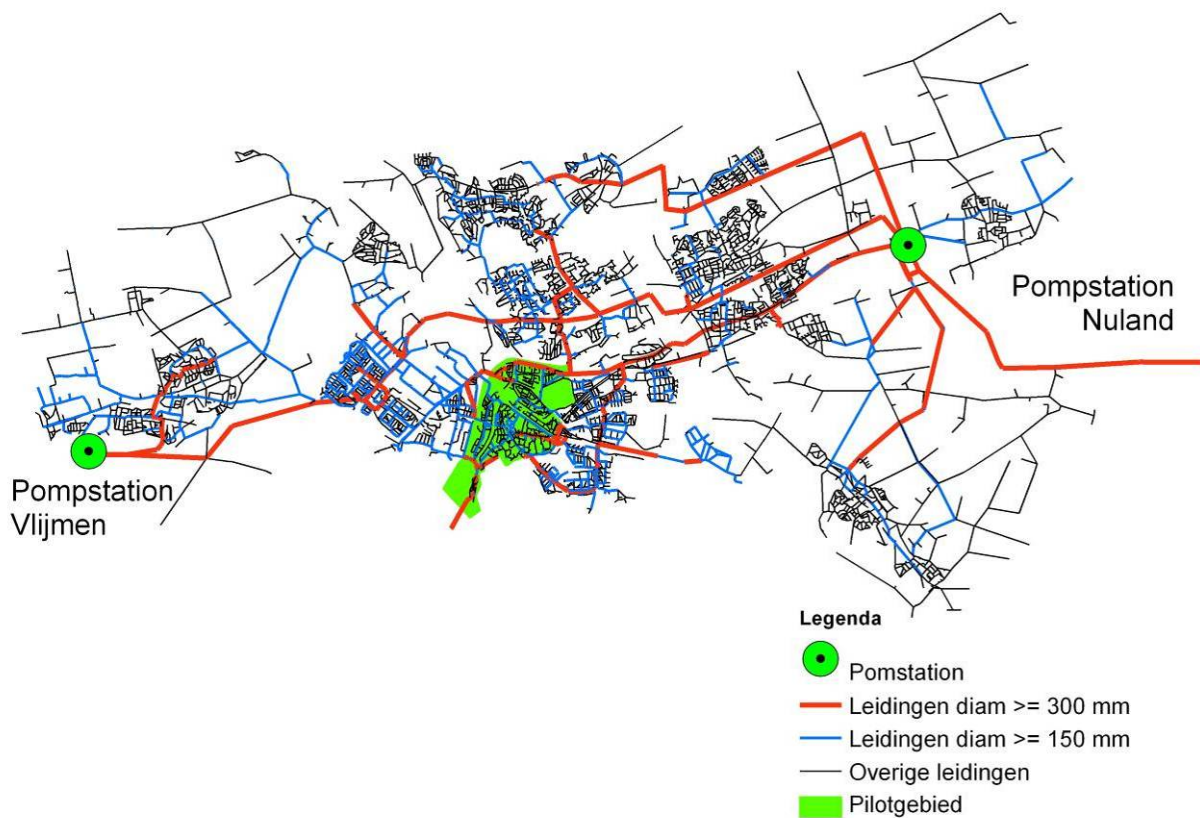
Formule	R_B (m)	100 mm		300 mm		600 mm	
		ver van pompstation	dichtbij pompstation	ver van pompstation	dichtbij pompstation	ver van pompstation	dichtbij pompstation
1	H lokaal	7,9	7,9	15,7	15,7	24,2	24,2
2	QH pompstation	10,9	10,9	12,5	12,5	13,6	13,6
3	Leidingnetmodel	2,7	7,0	6,4	9,7	11	13,1

Om de leidingnetberekeningen uit te voeren in het proefgebied is gebruik gemaakt van het programma Infoworks. Omdat Brabant Water op dit moment nog geen leidingnetmodellen heeft die direct uit het huidige GIS (ArcFM UT) zijn geëxporteerd, is gebruik gemaakt van een reeds bestaand Aleidmodel. Dit model is opgebouwd vanuit het oude LIS van Brabant Water. Op dit model zijn een aantal verdunslagen toegepast om hydraulisch minder belangrijke leidingen, bijvoorbeeld leidingen met een diameter kleiner dan 50 mm, te verwijderen. Voor berekeningen in de toekomst kan het model vanuit het huidige GIS opgebouwd worden. Naar verwachting zijn bij Brabant Water medio 2011 de eerste modellen vanuit het huidige GIS beschikbaar. Een directe koppeling van leidingnetberekeningen aan GIS levert meer realistisch, up-to-date leidingnetberekeningen. Met een goed leidingnetberekeningsmodel kan een realistisch beeld van het rissicoprofiel worden gemaakt. Koppelen van GIS aan het leidingnetberekeningsprogramma is een goede waarborg om tot goede modellen te komen.

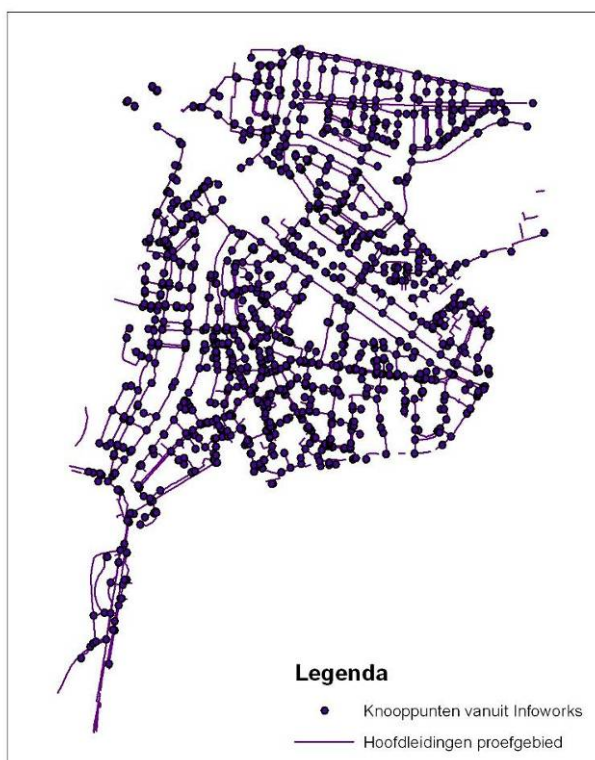
De eerste stap in de analyse is het bepalen van de maatgevende situatie in het proefgebied. Dit is het tijdstip waarop de hoogste drukken optreden. De maatgevende situatie hangt af van de ligging van het gebied ten opzichte van pompstations. Er zijn daarom voor het proefgebied een aantal verschillende situaties doorgerekend. Het proefgebied in 's-Hertogenbosch wordt gevoed door twee pompstations zie Figuur 9. Dit zorgt ervoor dat een simulatie van een dag met relatief laag verbruik (nachtverbruik bij normale dag, referentie 01.00 u 's nachts) het hoogste product van $Q \cdot H$ geeft, en daarmee de maximale straal van de ontgrondingskuil. Indien een proefgebied dicht bij één van de pompstations ligt, kan echter een maxdag-maxuur situatie maatgevend zijn.

Voor het bepalen van de grootste ontgrondingskuil wordt een model opgesteld met hydranten op de plaats van mogelijke lekken. Voor 1459 knooppunten in het proefgebied zijn de $Q - H$ relaties bepaald. Uit de berekeningen voor het proefgebied blijkt dat de maximale R_B optreedt bij een drukhoogte H van circa 25 meter. De berekende volumestroom (Q) en de drukhoogte (H) worden samen met de x - y coördinaten van de knopen weggeschreven in een Excelbestand waar per knooppunt de ontgrondingskuil berekend wordt.

Het document met de gegevens van de knopen in het netwerk van 's-Hertogenbosch wordt geïmporteerd in GIS, zie figuur 10. Binnen GIS wordt vervolgens ieder leidingsegment in het proefgebied voorzien van de gegevens van de dichtstbijzijnde knoop. De koppeling gebeurt op basis van locatie.

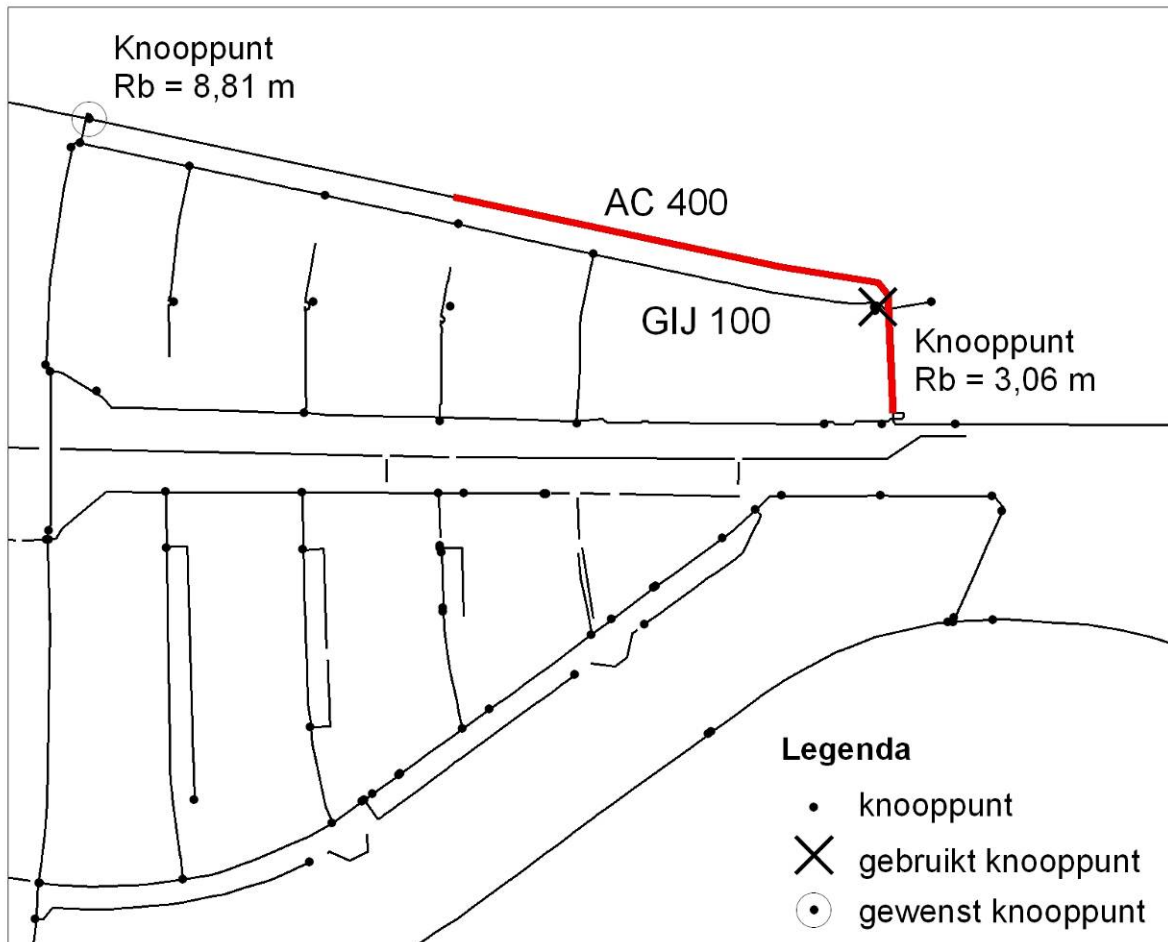


Figuur 9. Schets van de ligging van het proefgebied ten opzichte van de pompstations.



Figuur 10. Het leidingnet in het proefgebied en de vanuit Infoworks geïmporteerde knooppunten.

Bij de pilot in 's-Hertogenbosch levert het bepalen van de dichtstbijzijnde knoop voor elk leidingsegment niet altijd het gewenste resultaat. In sommige gevallen is het dichtstbijzijnde knooppunt niet representatief voor het leidingsegment. Dit heeft gevolgen voor de berekening van de straal van de ontgrondingskuil. Doordat aan sommige leidingsegmenten niet het gewenste knooppunt is toegekend is in sommige gevallen ook de berekende R_B foutief, zie het voorbeeld hieronder in figuur 11. In dit figuur is te zien dat het dichtstbijzijnde knooppunt bij een AC400 leiding een knooppunt is dat niet op deze leiding ligt, maar op een GIJ100 leiding (X). De verkeerd gekoppelde gegevens leiden tot een berekende R_B van 3,06 meter. Wanneer het juiste knooppunt was gekoppeld (knooppunt is omcirkeld) dan was voor deze AC400 leiding een R_B van 8,81 meter uit de berekening gekomen.



Figuur 11. Illustratie van een foutieve koppeling van een knooppunt aan een leidingsegment.

3.6 Beschouwing

Om fouten zoals hiervoor genoemd te voorkomen is het van belang een goede koppeling te hebben tussen het leidingnetberekeningsmodel en GIS. Binnen het perspectief van de pilot zijn de volgende aanbevelingen gedaan om deze koppeling te verbeteren:

- Het hydraulisch model direct vanuit het bestaande GIS opbouwen, zodat de locaties van knooppunten overeenkomen met de locaties in het GIS. De koppeling zal dan nog steeds plaatsvinden op basis van locatie, maar zal nauwkeuriger zijn.
- Unieke ID's voor het GIS en het hydraulisch model, zodat koppeling niet meer plaatsvindt op basis van locatie, maar op basis van een unieke ID.

Belangrijke aspecten bij het opbouwen van het hydraulische model zijn daarnaast:

- Indien mogelijk niet alleen hydraulische knopen meenemen maar ook tussenknopen (buigpunten) op de leidingen weergeven. Door deze knopen mee te nemen bij de analyse worden de leidingsegmenten waar de berekende straal van de ontgrondingskuil aan toegekend is korter en daarmee het resultaat meer representatief dan voor lange leidingen.
- Kleine leidingen (<50 mm) zijn hydraulisch minder belangrijk; echter de verbruikstoewijzing dient wel aan de juiste leidingen met aanliggende knopen gekoppeld te zijn.

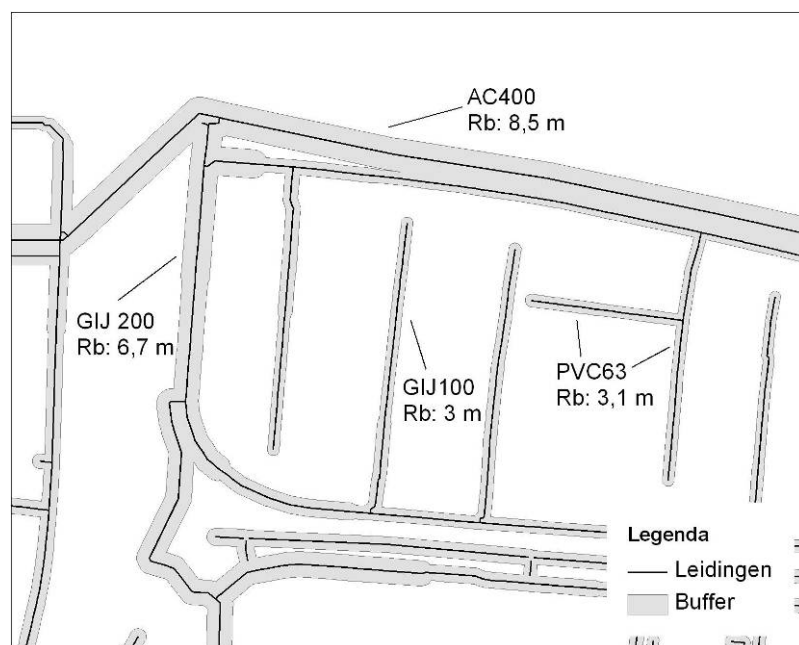
Het berekenen van de straal van de ontgrondingskuil zou nog nauwkeuriger kunnen als in formule ook grondsoort zou worden meegenomen. Bij de proeven waarop de ontgrondingsformules nu zijn gebaseerd is uitgegaan van fijn waterverzadigd zand, omdat dit als de meest erosiegevoelige grondsoort kan worden beschouwd. In sterk cohesieve grond (bijvoorbeeld klei) of in grof zand zijn de kuilafmetingen naar verwachting ten hoogste gelijk of kleiner (Mastbergen, 2010). De aanname van fijn zand als bodemmateriaal geeft een conservatieve (veilige) schatting van de ontgrondingskuil.

4 Toetsing

4.1 Ruimtelijke analyse kritieke objecte

Door de output van het leidingnetberekenningsprogramma te koppelen aan GIS kan de ontgrondingskuil visueel worden weergegeven en worden gebruikt voor ruimtelijke analyse. De maximale straal van de ontgrondingskuil, zoals berekend dient als input voor de analyse van kritieke objecten. De maximale straal vormt samen met een eventuele extra veiligheidsmarge de input voor de veiligheidszone die om een leiding wordt aangehouden. Elk leidingsegment beschikt over een kolom met de berekende R_B . Een mogelijkheid is bijvoorbeeld om 1 meter extra veiligheidsmarge om een leiding te leggen vanwege de eventuele onnauwkeurigheid van de ligging van een leiding. Deze 1 meter is gebaseerd op de eisen die worden gesteld in het kader van de wet informatie-uitwisseling ondergrondse netten (WION).

In de pilot is er voor gekozen om geen extra veiligheidsmarge aan te houden. De veiligheidszone rondom een leiding wordt dus gelijkgesteld aan de berekende ontgrondingsstraal, R_B . Met een 'buffer' actie in GIS wordt er een buffer ter grootte van R_B om de leiding gelegd, zie figuur 12. Door het gebruik van de 'buffer' tool ontstaat een nieuw bestand met polygoenen in plaats van lijnen.

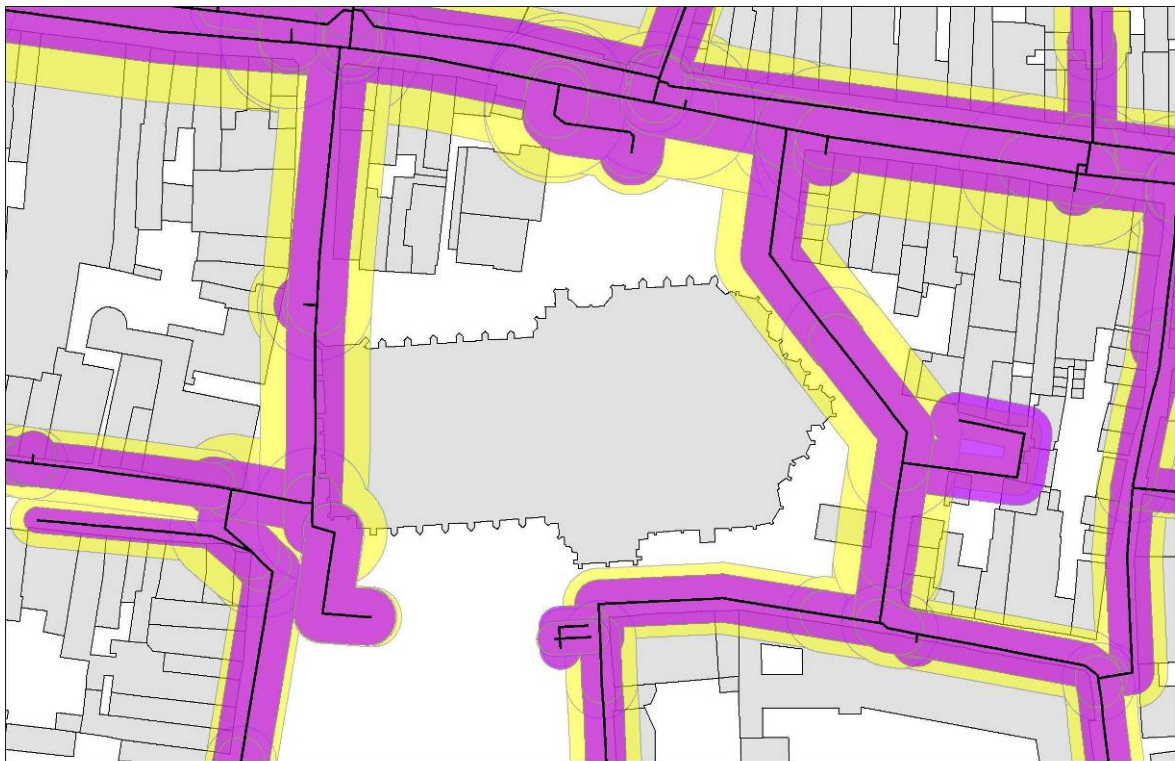


Figuur 12. Leidingen met daaromheen een buffer ter grootte van R_B .

Ter vergelijking is de analyse uitgevoerd met een veiligheidszone rondom een leiding die gelijk is aan de ontgrondingsstraal berekend volgens 2 methoden

- de meest eenvoudige methode (formule 1 uit Figuur 3).
- de meest nauwkeurige methode (formule 3 uit Figuur 3).

Het totale oppervlak van de buffers wanneer er gebruik wordt gemaakt van de eenvoudige methode is 2.000.000 m², het totaal wanneer de nauwkeurige methode wordt gebruikt is 900.000 m², zie Figuur 13.



Figuur 13. Leidingen met daaromheen een buffer ter grootte van RB, berekend volgens 2 verschillende methoden. In geel de eenvoudige methode, in paars de meer precieze methode.

Nadat een leiding is voorzien van een buffer kan er in GIS worden bekeken waar de veiligheidszone raakt aan risicovolle objecten. Dit geeft aan waar mogelijke effecten te verwachten zijn bij leidingbreuk.

Er zijn twee manieren om te bekijken of een kritiek object raakt aan de veiligheidszone (buffer) rondom een leiding:

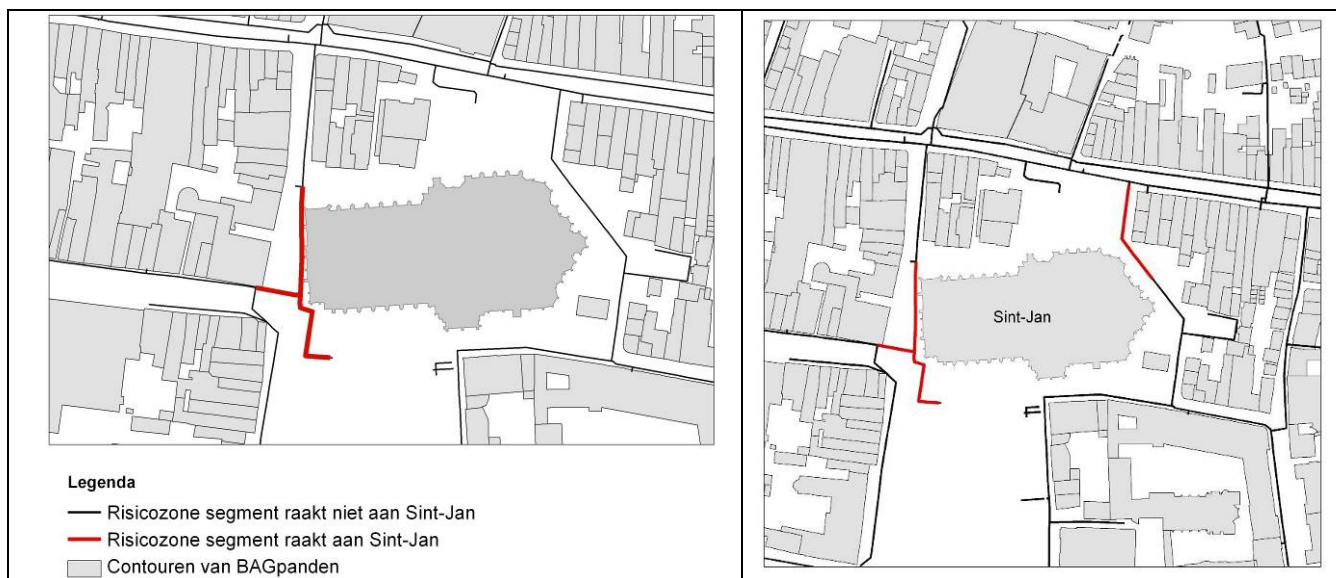
- Een 'select by location' actie in GIS. Hiermee wordt het gehele object geselecteerd dat raakt aan een de veiligheidszone, ook wanneer er slechts een klein deel is dat de veiligheidszone raakt.
- Een 'intersect' actie in GIS. Hiermee wordt gekeken of de buffers raken aan kritieke objecten en wordt niet het gehele object, maar alleen het deel dat werkelijk binnen de veiligheidszone valt geselecteerd.

Ter illustratie zie figuur 14 waar beide manieren zijn uitgewerkt voor de Sint-Jan kathedraal in 's-Hertogenbosch.



Figuur 14. Delen van de Sint-Jan raken aan de veiligheidszones rondom de leidingen (weergegeven in roze). Wanneer een 'select by location' wordt uitgevoerd wordt de hele Sint-Jan geselecteerd (linkerfiguur). Wanneer er wordt gewerkt met de 'intersect' tool worden alleen de delen van de Sint-Jan geselecteerd, die ook daadwerkelijk binnen de veiligheidszones vallen (rechterfiguur).

De analyse in het proefgebied is verder uitgewerkt aan de hand van de 'intersect' methode. Na de analyse zijn de polygonen terug gekoppeld aan het originele leidingbestand door middel van een 'join' actie in GIS. Op deze manier kunnen de leidingsegmenten die raken aan kritieke objecten getoond worden. Hier zijn wederom de meest eenvoudige en de meer precieze methode gebruikt als buffer. Voor de resultaten rondom de St. Jan zie figuur 15.



Figuur 15. Na een 'join' actie zijn ook de leidingsegmenten te achterhalen, waarvan de risicozone raakt aan een kritiek object. Links gebruikmakend van R_B verkregen via leidingnetberekening, rechts R_B verkregen via de meest eenvoudige methode.

De voorbeelden in het proefgebied tonen aan dat het gebruik van de meer gedetailleerde methode voor het berekenen van de ontgrondingskuil leidt tot kleinere buffers rondom leidingen. Door gebruik te

maken van deze kleinere buffers liggen vallen er minder objecten binnen de risicozone en zijn er minder leidingen die als risicovol moeten worden beschouwd. De combinatie van GIS en hydraulische berekeningen kan analyse van kritieke objecten en kritieke leidingdelen nog verder aanscherpen.

4.2 Risicoanalyse in het proefgebied

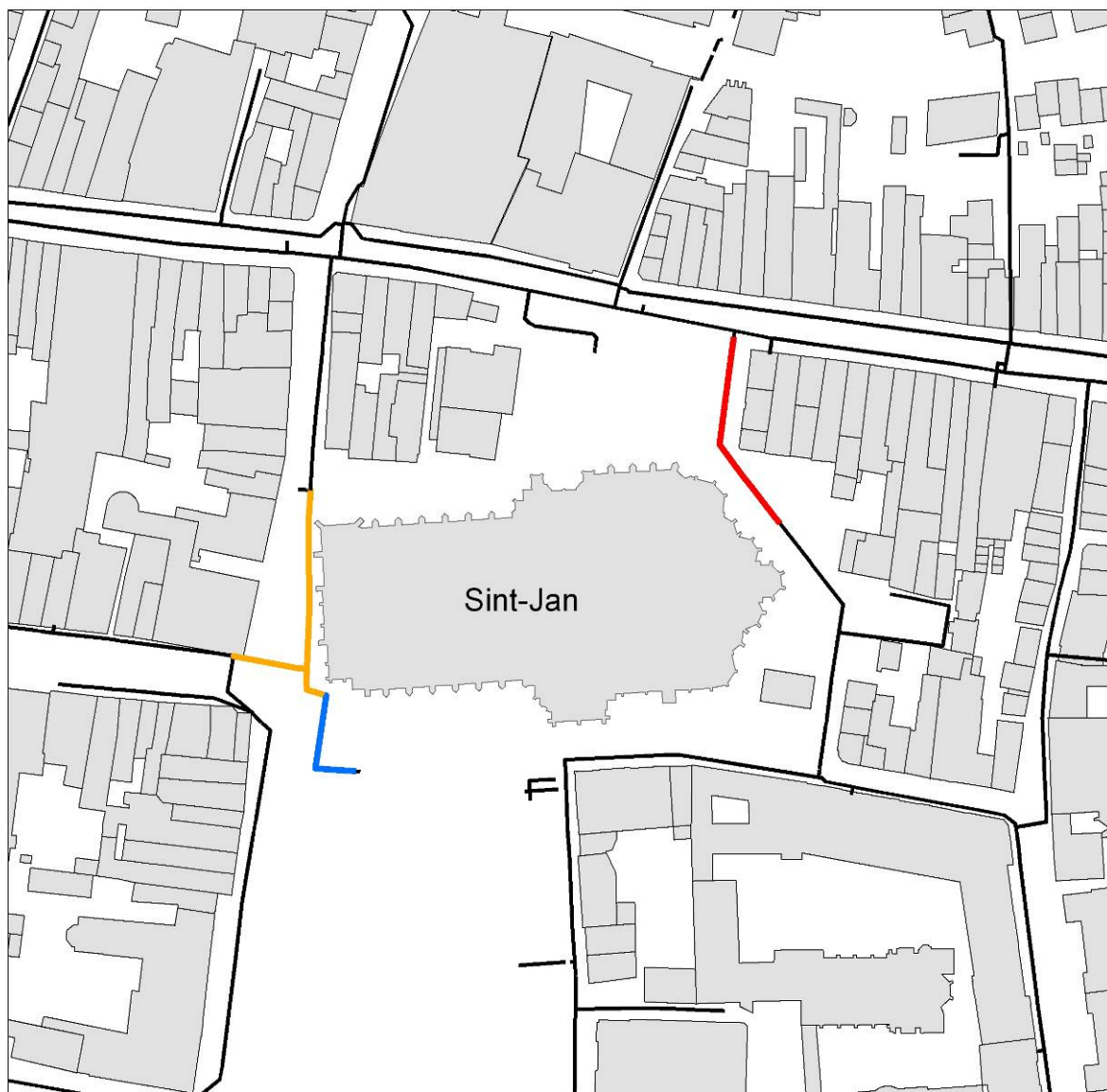
Door de uitkomsten van de GIS analyse te combineren met de breukfrequentie kan een risicoprofiel van een leiding worden opgesteld. Per leidingsegment is bekend of de veiligheidszone van het leidingsegment raakt aan een kritiek object en of er een mogelijk effect is. Tevens is bekend wat de storingsfrequentie is van het segment. Deze twee aspecten gecombineerd vormen een risicoprofiel per leidingsegment.

Naast de geografische gegevens over de ligging van het leidingnet en extra administratieve gegevens zoals materiaalsoort, diameter en jaar van aanleg zijn er ook gegevens verkregen over de storingsfrequentie in de periode 2006 t/m 2009. De storingsfrequentie van het leidingnet is aangeleverd door Brabant Water. Er is voor gekozen de storingsfrequentie te nemen per km per jaar en deze onder te verdelen naar:

- materiaalsoort
- combinatie materiaalsoort / diameter
- combinatie materiaalsoort / diameter / jaar van aanleg

Om de storingsfrequentie te berekenen is gebruik gemaakt van de storings in de gehele gemeente 's-Hertogenbosch. De hoeveelheid storings is afgeleid uit toegekende storings (60%) op een leiding met materiaalsoort/diameter/jaar van aanleg en storings (40%) die niet toegekend zijn aan een specifieke leiding. Deze laatste groep storings is evenredig verdeeld over de groepen waar al storings aan zijn toegekend. Daarmee is de bepaalde storingsfrequentie niet de werkelijke storingsfrequentie maar op basis van de beschikbare gegevens de best denkbare benadering.

In het GIS is de storingsfrequentie vervolgens gekoppeld aan de leidingsegmenten. Per leidingsegment is nu bekend of de veiligheidszone van het leidingsegment raakt aan een kritiek object en of er een mogelijk effect is. Tevens is bekend wat de storingsfrequentie is van het segment. Deze twee aspecten gecombineerd vormen een risicoprofiel per leidingsegment. De leidingsegmenten kunnen vervolgens naar keuze van het drinkwaterbedrijf worden onderverdeeld in verschillende klassen. In figuur 16 is voor het voorbeeld rondom de Sint-Jan het effect en de storingsfrequentie gecombineerd weergegeven. Deze kennis over het risicoprofiel van de leidingen kan als input gebruikt worden voor keuzes betreffende onderhoud, inspectie en vervanging. In dit figuur is te zien dat de leiding ten oosten van de Sint-Jan, uitgaande van de storingsfrequentie, het hoogste risicoprofiel krijgt. Deze leiding komt in de GIS analyse naar voren als risicovol als gebruik gemaakt wordt van R_B verkregen via de meest eenvoudige methode. Wanneer in de analyse gebruik gemaakt wordt van R_B verkregen via leidingnetberekening valt deze leiding buiten de risicozone om de leiding valt.



Legenda

- Contouren van BAGpanden
- Niet in de buurt van een kritisch object
- Kritisch object valt binnen veiligheidzone; storingsfrequentie 0,04
- Kritisch object valt binnen veiligheidzone; storingsfrequentie 0,05
- Kritisch object valt binnen veiligheidzone; storingsfrequentie 0,07

Figuur 16. Wanneer effect en storingskans worden gecombineerd ontstaat een risicoprofiel. In dit figuur is voor de leidingen rondom de Sint-Jan een indeling gemaakt naar storingskans (storings/km/jaar).

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

In deze pilotstudie is nagegaan of het mogelijk is om de geëvalueerde NEN3651 rekenregels voor het berekenen van ontgrondingskuilen (Mastbergen, 2010) toe te passen in een situatie met lokale drukken en volumestromen door gebruik te maken van een gedetailleerd leidingnetmodel. Hiermee is een vertaalslag gemaakt van leidingnetmodel naar GIS om risicovolle leidingen in stedelijk gebied te kunnen identificeren. Op basis van de in 's-Hertogenbosch uitgevoerde pilot kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

1. Het is mogelijk de meer nauwkeurige rekenregels voor het berekenen van ontgrondingskuilen toe te passen met lokale drukken en volumestromen door gebruikt te maken van een leidingnetmodel en een leidingnetberekeningsprogramma zoals Infoworks
2. Het is mogelijk de uitkomsten van het leidingnetberekeningsprogramma te koppelen aan GIS en daarmee de ontgrondingskuil te visualiseren en te gebruiken voor verdere ruimtelijke analyse in combinatie met geografische data.
3. De koppeling van de uitkomsten van het leidingnetberekeningsprogramma aan GIS is verder te verbeteren door het hydraulisch model direct vanuit het bestaande GIS op te bouwen of een uniek ID in zowel het GISbestand als het leidingnetmodel te gebruiken dat een koppeling mogelijk maakt.
4. Middels ruimtelijke analyse is het mogelijk kritieke objecten te identificeren die binnen de risicozone van een leidingsegment vallen. Andersom is het tevens mogelijk om de risicozone van leidingen te identificeren die zich in de nabijheid bevinden van kritieke objecten.
5. De methode zoals hier gebruikt is ook geschikt om leidingen te identificeren waar andere risicovolle objecten (zoals dijken en snelwegen) binnen de veiligheidszone vallen.
6. Doordat de berekende ontgrondingskuil op basis van nauwkeurige leidingnetberekeningen naar verwachting kleiner zal zijn dan bij eerdere berekeningen op basis van vereenvoudigde rekenregels, zal het gevolg zijn dat minder leidingsegmenten als risicovol hoeven te worden aangemerkt.
7. Een beperking bij GIS analyses is de beschikbaarheid en nauwkeurigheid van geodata. Door de toenemende aandacht voor geodata bij rijksoverheden en lokale overheden is het aannemelijk dat de beschikbaarheid van data in rap tempo zal toenemen. Waterbedrijven hebben daar een groot belang bij omdat het de kwaliteit van de GIS-analyses van risicovolle leidingen sterk verbetert.
8. Het uitvoeren van GIS analyses vergt een goede en uniforme methodiek. Door het toepassen van een methodiek is het mogelijk gestructureerd te werken en gestructureerd om te gaan met de grote hoeveelheden data bij GIS analyses. Dit rapport geeft een handreiking voor een dergelijke gestructureerde aanpak.

5.2 Aanbevelingen toepassingsmogelijkheden

Op basis van dit onderzoek worden de volgende aanbevelingen gedaan:

1. Door gebruik te maken van meer gedetailleerde methodes voor het berekenen van de ontgrondingskuil kan de analyse van kritieke objecten en kritieke leidingdelen aangescherpt worden. Waterbedrijven wordt aanbevolen voor het berekenen van ontgrondingskuilen gebruik te maken van hydraulische gegevens verkregen uit een leidingnetberekenningsmodel, zodat meer realistische resultaten worden verkregen.
2. Voor de nauwkeurigheid van de analyse is het van belang om de koppeling tussen leidingnetberekenningsprogramma en GIS beter te laten verlopen. Er zijn een aantal aanbevelingen om deze koppeling nauwkeuriger te maken:
 - a. Het hydraulisch model 'direct' vanuit het bestaande GIS opbouwen, zodat de locaties van knooppunten beter overeenkomen met de locaties in het GIS. De koppeling zal dan nog steeds plaatsvinden op basis van locatie, maar de koppeling zal nauwkeuriger zijn.
 - b. Unieke ID's vanuit het GIS meenemen in het hydraulisch model, zodat koppeling niet meer plaatsvindt op basis van locatie, maar 1 op 1 op basis van administratieve gegevens.
 - c. Bij de opbouw het hydraulische model indien mogelijk niet alleen T-stukken meenemen maar ook tussenknopen (buigpunten) op de leidingen die beter de exacte ligging van de leiding weergeven. Hiermee is onder andere de verbruikstoewijzing aan de leidingen te verbeteren.
3. Waterbedrijven wordt aanbevolen meer gebruik te maken van geografische gegevens en informatiesystemen om analyses ten behoeve van leidingnetbeheer te verbreden en verbeteren.

6 Referenties

Beuken, R.H.S.; Blokker, E.J.M.; Trietsch, E.A. (2004). Evaluatie beheersysteem leidingnet op externe effecten door leidinglekage – oriënterend onderzoek. Rijswijk: Vewin 2004/45/5266.

Beuken, Ralph (2008). Risicoanalyse van leidingnetten. Nieuwegein: KWR. BTO 2008.003.

Daal, K.H.A. van; Beuken, R.H.S. (2008). Verkenning inzet van Geografische Informatie Systemen voor identificeren van kritische leidingen. Nieuwegein: KWR. BTO 2008.055.

Daal, K.H.A. van; Horst, P.; Beuken, R.H.S. (2009). Ondersteuning leidingnetbeheer met GIS – Inventarisatie informatiebehoefte voor rationeel leidingnetbeheer en uitwerking casestudies. Nieuwegein: KWR. KWR 09.037.

Ellenkamp, Y en Rietdijk, M. (2010). Kwaliteit van de basisregistraties adressen en gebouwen - Verdiepingsinformatie kwaliteit en de meting daarvan tijdens de toelatingsaudit (versie 2010). Den Haag: Ministerie van VROM.

GBKN (2010). Productinformatie over De grootschalige basiskaart Nederland (GBKN). Website GBKN: <http://www.gbkn.nl/nieuwesite/html/productinformatie.html>, geraadpleegd december 2010.

Geonovum (2011). Informatie over Inspire en publieke dienstverlening op de kaart is te vinden op de website van Geonovum: <http://www.geonovum.nl/dossiers/inspire> en <http://www.geonovum.nl/dossiers/pdok>, geraadpleegd januari 2011.

Mastbergen, Dick R. (2010). Ontgroning bij persleidingbreuk- of lek: evaluatie rekenmethode NEN 3651. Utrecht: Deltares. Rapportkenmerk 1201743-000-ZKS-0002.

Ministerie van VROM (2010). Basisregistraties Adressen en Gebouwen (BAG) voor afnemers. Den Haag: Ministerie van VROM.

NEN (2003). NEN 3650-1, Eisen voor buisleidingsystemen – Deel 1: Algemeen, Nederlands Normalisatie Instituut, Delft.

Pieterse, E.J.; Raterman, B.; Daal, K.H.A. van; Beuken, R.H.S. (2009). De inzet van Geografische Informatiesystemen voor analyses van het leidingnet – twee casestudies GIS. Nieuwegein: KWR. BTO 2009.016.

Rietdijk, M. (2009). Catalogus basisregistraties adressen en gebouwen (versie 2009). Den Haag: Ministerie van VROM.

Vewin (2010). Conceptrapportage Toetskader risicovolle leidingen. Rijswijk: Vewin.

7 Bijlagen

I Methodiek voor GIS analyses voor het leidingnet

Methodiek voor GIS analyses voor het leidingnet zoals beschreven in het rapport “De inzet van geografische informatiesystemen voor analyses leidingnet” (BTO 2009.016).

Tabel 6 Methodiek voor GIS-analyses voor het leidingnet

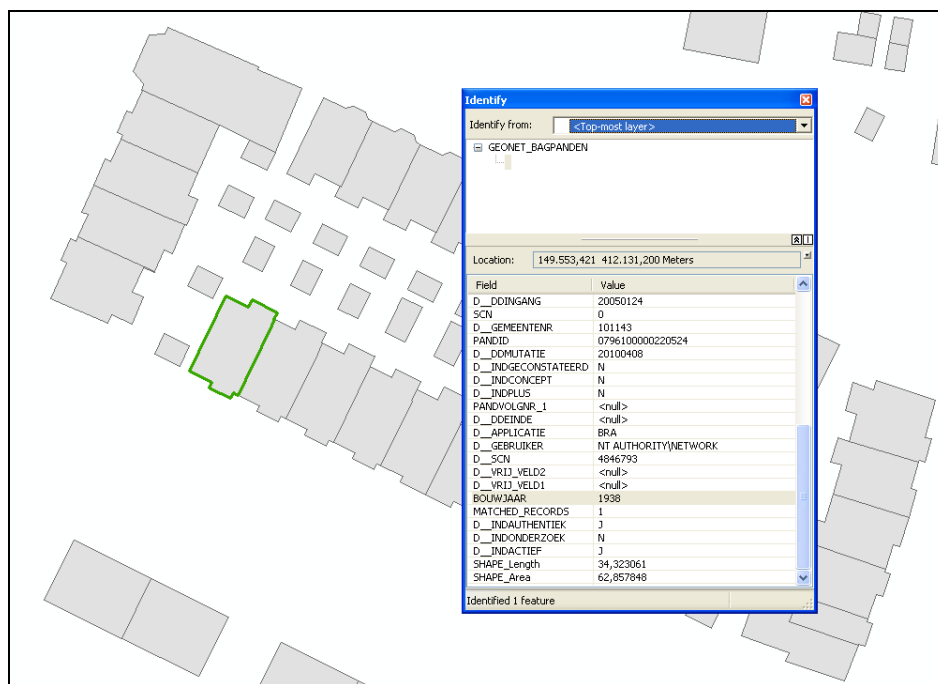
Fase	Uit te werken element	
Criterium-definitie	Doelstelling van de analyse	
	Methode van kwantificeren	
	Stel het criteria vast	
	Beschrijf het analyseniveau	
	Beschrijf databehoeft	
	Beschrijf toetsingscriteria voor data	
Vereiste middelen	Beschrijf de analysetools	
	Beschrijf benodigde menskracht, tijd, geld, etc	
Datavoorbereiding	Verzamel data M.b.t. de databehoeft zijn er 3 mogelijkheden: 1. Data is direct bruikbaar 2. Data moet bewerkt worden 3. Er is geen bruikbare data	
	Toets alle data op de vastgestelde criteria	
	Bewerk de data, zoek eventueel alternatieve data	
	Beschrijf aannamen van de data en omissies van te bewerken data	
	Toets nogmaals alle data op de vastgestelde criteria	
	Beschrijf consequentie van aannames en omissies in data	
	Autoriseer data	
	Analyse	Voer analyse uit
		Beschrijf analyseproces, inzet analysetools en data
Beschrijf aannamen analyse en beperkingen		
Beschrijf gevoeligheid van resultaat		
Rapporteer analyse		
Autoriseer analyse		
Implementatie	Evalueer resultaten aan doelstelling	
	Rapporteer gehele analyse	
	Autoriseer gehele analyse	
Verbeterpunten	Benoem verbeterpunten voor vervolganalyse	

II Informatie over de gebruikte geodata

Basisadministratie Adressen en Gebouwen (BAG)

De BAG biedt afnemers één landelijke bron waarin alle panden, verblijfsobjecten, standplaatsen en ligplaatsen zijn opgenomen met de bijbehorende adressen. Van alle panden wordt een aantal gegevens bijgehouden, volgens landelijk eenduidige definities en kwaliteitsstandaarden. Aangezien ook de geografische locatie (x,y coördinaten) en de pandcontour worden bijgehouden vormt de BAG een goede bron voor geografische ontsluiting van gegevens (Ministerie van VROM, 2010). Het in de pilot gebruikte bestand met BAG verblijfsobjecten is een bestand met vlakgegevens. Het bestand bevat polygonen van alle panden die in het kader van de Basisregistratie voor Adressen en Gebouwen zijn geregistreerd, zie figuur 17 ter illustratie.

Naam Dataset	BAG
Ruimtelijk schema	Vlakken en punten
Geometrische nauwkeurigheid	<p>Ten aanzien van de nauwkeurigheid en detaillering van niet - ingemeten pandgeometrie (in de periode tussen opname in de registratie en maximaal 6 maanden na bouw gereed) geldt:</p> <ul style="list-style-type: none">• de relatieve puntprecisie bedraagt 140 cm in bebouwd gebied en 280 cm in landelijk gebied (hetgeen overeen komt met een absolute puntprecisie van respectievelijk 100 cm en 200 cm);• details die meer dan 100 cm afwijken van de doorgaande gevellijn moeten worden opgenomen;• de niet - ingemeten pandgeometrie (voorlopige pandgeometrie) dient op de juiste wijze gepositioneerd te zijn ten opzichte van de GBKN of kadastrale kaart. <p>Ten aanzien van de nauwkeurigheid en detaillering van ingemeten pandgeometrie geldt:</p> <ul style="list-style-type: none">• de relatieve puntprecisie bedraagt 28 cm in bebouwd gebied en 56 cm in landelijk gebied (afgeleid van een absolute puntprecisie van respectievelijk 20 cm en 40 cm);• details die minder dan 25 cm afwijken van de doorgaande gevellijn worden niet opgenomen;• de opgaande gevellijnen worden ingemeten;• in het geval er sprake is van overbouw wordt de gevellijn van de overbouw ingemeten;• daar waar het pand samenvalt met een gebouw uit de GBKN, moeten de puntcoördinaten en de ligging exact overeenkomen met die gegevens uit de GBKN. <p>Bij de opbouw van de basisregistratie gebouwen is de geometrie van in de grootschalige basiskaart ontbrekende panden opgenomen met een relatieve puntprecisie van 0,6 m in bebouwd gebied en 1,2 m in landelijk gebied.</p>
Actualiteit	6 maanden
Compleetheid	Landelijk
Toepassingschaal	onbekend



Figuur 17. Uitsnede van het bestand met BAG verblijfsobjecten.

TOP10NL

De Basisregistratie Topografie (BRT) bevat de gehele topografie van Nederland met een schaal 1:10.000 of kleiner. Het belangrijkste bestand van de BRT is de TOP10NL. Brabant Water beschikt over TOP10NL gegevens voor het proefgebied.

Naam Dataset	BRT / TOP10NL
Ruimtelijk schema	Vector: Vlakken, lijnen en punten
Geometrische nauwkeurigheid	Gemiddeld -2 en +2 meter
Actualiteit	Tweejaarlijks
Compleetheid	Landelijk
Toepassingschaal	1:10.000

GBKH Gemeente 's-Hertogenbosch

De Grootchalige Basiskaart s-Hertogenbosch (GBKH) is een gedetailleerde kaart van de stad 's-Hertogenbosch. De kaart bevat topografische belijningen zoals gebouwen, bruggen, wegen, spoorlijnen, waterlopen, hekken en objecten zoals hoogspanningsmasten en telefooncellen. Het kaartgebied is per functie onderverdeeld in terreinen, wegen, water, spoorbanen, gebouwen en panden. De gemeente verwerkt elke wijziging op haar grondgebied op de kaart.

Naam Dataset	GBKH
Ruimtelijk schema	Vlakken, lijnen en punten
Geometrische nauwkeurigheid	20 cm
Actualiteit	Wegdelen tweejaarlijks, overige objecten jaarlijks
Compleetheid	Gemeente 's-Hertogenbosch
Toepassingschaal	1:500 - 1:5000

Voorzieningen

Het voorzieningenbestand is een bestand met puntgegevens geleverd door de gemeente 's-Hertogenbosch. In dit bestand staat aangegeven waar belangrijke voorzieningen in de gemeente 's-Hertogenbosch zich bevinden. Onder deze voorzieningen vallen onder andere gemeentelijke vestigingen, ziekenhuizen, brandweerkazernes, politiekantoren, treinstations, musea, parkeerelders en archieven.

Naam Dataset	Voorzieningen
Ruimtelijk schema	punten
Geometrische nauwkeurigheid	30 - 60 cm
Actualiteit	Het bestand met voorzieningen is een continu bestand. Dit wil zeggen dat de objecten doorlopend worden bijgehouden.
Compleetheid	Gemeente 's-Hertogenbosch
Toepassingschaal	1:500 - 1:5000

Adressen

Het adressenbestand is een bestand met puntgegevens geleverd door de gemeente 's-Hertogenbosch. Het bestand bevat onder andere een kolom monument waarin onderscheid wordt gemaakt tussen adrespunten zonder monumentale functie, adrespunten die een rijksmonument vertegenwoordigen en adrespunten die een gemeentelijk monument vertegenwoordigen.

Naam Dataset	Adressen
Ruimtelijk schema	punten
Geometrische nauwkeurigheid	De puntlocatie is afgeleid uit de huisnummertekeningen en moeten binnen het bijbehorende BAG verblijfsobject vallen.
Actualiteit	6 maanden (gelijk aan BAG)
Compleetheid	Gemeente 's-Hertogenbosch
Toepassingschaal	onbekend

III Storingsfrequenties Brabant Water

Naast de geografische gegevens over de ligging van het leidingnet en extra administratieve gegevens zoals materiaalsoort, diameter en jaar van aanleg zijn er ook gegevens verkregen over de storingsfrequentie in de periode 2006 t/m 2009. De storingsfrequentie van het leidingnet is aangeleverd door Brabant Water. Er is voor gekozen de storingsfrequentie te nemen per km per jaar en deze onder te verdelen naar:

- Materiaalsoort (zie tabel 7)
- Combinatie materiaalsoort / diameter (zie tabel 8)
- Combinatie materiaalsoort / diameter / jaar van aanleg (zie tabel 9)

Om de storingsfrequentie te berekenen is gebruik gemaakt van de storingen in de gehele gemeente 's-Hertogenbosch. De hoeveelheid storingen is afgeleid uit toegekende storingen (60%) op een leiding met materiaalsoort/diameter/jaar van aanleg en storingen (40%) die niet toegekend zijn aan een specifieke leiding. Deze laatste groep storingen is evenredig verdeeld over de groepen heen waar al storingen aan zijn toegekend. Daarmee is de bepaalde storingsfrequentie niet de werkelijke storingsfrequentie maar op basis van de beschikbare gegevens de best denkbare benadering.

Tabel 7. Storingsfrequentie over de periode 2006-2009 ingedeeld per materiaalsoort.

Materiaal	Storingen 2006-2009	Lengte (m)	Storingsfrequentie per km per jaar
Totaal GIJ	21,2	74979,5	0,07
Totaal PVC	24,4	349286,5	0,02
Totaal AC	50,5	237229,2	0,05
Totaal PE	1,7	15455,7	0,03
Gemiddeld			0,04

Tabel 8. Storingsfrequentie over de periode 2006-2009 ingedeeld per combinatie materiaalsoort / diameter

Materiaal	Diameter	Storingen 2006-2009	Lengte (m)	Storingsfrequentie per km per jaar
GIJ	100	21,2	40810,5	0,13
PVC	110	8,2	137520,6	0,01
PVC	63	6,5	109518,4	0,01
PVC	40	8	29694,2	0,07
PVC	25	1,7	5503,8	0,08
AC	150	14,3	43263,5	0,08
AC	100	36,1	144567,5	0,06
PE	32	1,7	3512,6	0,12

Tabel 9. Storingsfrequentie over de periode 2006-2009 ingedeeld per combinatie materiaalsoort / diameter / jaar van aanleg

Materiaal	Diameter (mm)	Jaar van aanleg	Storingen 2006-2009	Lengte (m)	Storingsfrequentie per km per jaar
GIJ	100	1900	3,2	2404,9	0,33
GIJ	100	1953	9,9	20800,9	0,12
GIJ	100	1954	1,6	5757,9	0,07
GIJ	100	1957	4,8	5195,9	0,23
GIJ	100	1960	1,7	1219,6	0,35
PVC	110	1980	1,7	2582,6	0,16
PVC	110	1997	3,1	3192,9	0,24
PVC	110	2001	1,7	1208,3	0,36
PVC	110	2005	1,7	3758,6	0,11
PVC	63	1900	3,3	10208,1	0,08
PVC	63	1976	1,6	2421,5	0,16
PVC	63	2000	1,7	691,2	0,6
PVC	40	1957	1,6	42	9,25
PVC	40	1969	1,6	341,2	1,14
PVC	40	1998	1,6	3385,2	0,11
PVC	40	2004	1,6	1524,9	0,27
PVC	40	2006	1,7	2338,3	0,18
PVC	25	1964	1,7	413	1,04
AC	150	1953	1,6	1309,6	0,3
AC	150	1956	1,6	2806,7	0,14
AC	150	1960	3,1	3203,2	0,24
AC	150	1966	4,8	9107,1	0,13
AC	150	1967	1,6	1380,3	0,28
AC	150	1979	1,7	1634,3	0,26
AC	100	1900	8,3	29456	0,07
AC	100	1954	1,7	2655	0,16
AC	100	1958	3,4	4016,2	0,21
AC	100	1960	4,9	7356,7	0,17
AC	100	1963	1,7	8368,2	0,05
AC	100	1964	8,1	8994,6	0,23
AC	100	1972	1,7	3783,9	0,11
AC	100	1975	1,6	3770,3	0,1
AC	100	1976	4,8	4356,5	0,27
PE	32	1983	1,7	119,1	3,61

