



De inzet van Geografische Informatiesystemen voor analyses van het leidingnet

Twee casestudies GIS

BTO 2009.016
Oktober 2009

De inzet van Geografische Informatiesystemen voor analyses van het leidingnet

Twee casestudies GIS

BTO 2009.016
Oktober 2009

© 2009 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

De inzet van Geografische Informatiesystemen voor analyses van het leidingnet
Twee casestudies GIS

Projectnummer

B111625.102

Projectmanager

P.G.G. Slaats

Opdrachtgever

CvO

Kwaliteitsborger(s)

J.H.G. Vreeburg, E.J.M. Blokker

Auteur(s)

E.J. Pieterse, B. Raterman, K.H.A. van Daal, R.H.S. Beuken

Dit rapport is verspreid onder BTO-participanten en is openbaar

Samenvatting

In de afgelopen jaren zijn geografische informatie systemen (GIS) sterk ontwikkeld en in vele sectoren in gebruik genomen. Naast het digitaal beheer van informatie komen er steeds meer mogelijkheden voor het analyseren van geografische informatie. De ruimtelijke gegevens die beschikbaar zijn binnen een GIS maken uitgebreide analyses mogelijk van de wisselwerking tussen de omgeving en het leidingnet. Om de toepasbaarheid van GIS voor analyses van het leidingnet in de praktijk te toetsen zijn in dit onderzoek twee casestudies uitgewerkt. Deze casestudies geven inzicht in wat, met gebruik van bestaande modellen en informatiesystemen, de kwaliteit is van de resultaten van GIS analyses en welke middelen noodzakelijk zijn om dergelijke analyses uit te voeren. Deze casestudies betreffen de toepassing van de WML-Saneringscriteria op een geheel leidingnet en het koppelen van het model Bodemtemperatuur aan een leidingnet. De casestudies zijn in nauwe samenwerking uitgevoerd met respectievelijk WML en Brabant Water.

De casestudie van de WML-Saneringscriteria is gericht op de toepassing van de bestaande saneringscriteria die de WML hanteert voor de beoordeling van individuele leidingen. In deze case is onderzocht of het mogelijk is met behulp van GIS de WML-Saneringscriteria toe te passen op een leidingnet. Van de negen criteria kunnen er zes worden toegepast in een GIS-analyse. Op basis van deze zes criteria en geografische informatie over de leidingen en de omgeving, is een voorspelling gemaakt van te saneren leidingen. Hoewel de methode als zodanig toepasbaar is, komen de resultaten niet overeen met de verwachtingen van werkvoorbereiders. De verschillen zijn toe te wijzen aan datafouten, ontbrekende data en fouten in de analyse. Na analyse van de verschillen, is het te verwachten dat verbeteringen van de analyse en de onderliggende data zal leiden tot een verbeterde identificatie van te saneren leidingen.

De casestudie Bodemtemperatuur toont dat door het combineren van een bodemtemperatuurmodel met geografische gegevens van de afdekking, de bodemsoort en het leidingnet, een temperatuurverdeling rond leidingen berekend kan worden. Aangezien de temperatuur van het leidingwater voornamelijk wordt bepaald door de bodemtemperatuur, biedt deze analyse de mogelijkheid om delen van het leidingnet met een hogere watertemperatuur te identificeren. Uit de berekeningen blijkt tevens dat de aansluitleidingen vanwege de geringere diepteligging een bijzondere risicofactor vormen.

De hier gepresenteerde casestudies tonen aan dat GIS een bijdrage kan leveren aan betere inzichten over het leidingnet. GIS kan behulpzaam zijn bij het koppelen data aan leidingen, het uitvoeren van analyses en het overzichtelijk presenteren van de analyseresultaten. Door de inzet van GIS kunnen analyses die oorspronkelijk zijn ontwikkeld voor individuele leidingen, toepasbaar worden gemaakt voor een heel leidingnet. Hierdoor krijgen waterbedrijven overzicht waar zich kritische delen bevinden, wat kan leiden tot betere beslissingen over onderhoud en vervanging.

Bij het uitvoeren van GIS-analyses wordt gewerkt met grote hoeveelheden data, waarbij het overzicht eenvoudig verloren kan worden. Er worden hoge eisen gesteld aan een gestructureerde en nauwgezette wijze van werken. Naar aanleiding van de ervaringen van deze casestudies is een stappenplan opgesteld voor het uitvoeren van GIS-analyses van het leidingnet. Dit stappenplan is voorzien van aandachtspunten die waterbedrijven helpen bij de uitvoering van GIS-analyses.

Uitvoering van casestudies zoals hier gepresenteerd geven waterbedrijven inzicht in de toepassingsmogelijkheden van en de benodigdheden voor het uitvoeren van GIS-analyses van het leidingnet. Technologische ontwikkelingen volgen elkaar snel op en het is te verwachten dat in de toekomst GIS-analyses voor het leidingnet meer en betere toepassingen zullen vinden. Waterbedrijven wordt aanbevolen deze ontwikkelingen te blijven volgen en bij het (her-)inrichten van databestanden de geschiktheid als input voor GIS te onderzoeken.

Inhoud

Samenvatting	1
Inhoud	3
1 Inleiding	5
1.1 Achtergrond onderzoek	5
1.2 Doel en aanpak van de studie	6
2 Case 1, WML-Saneringscriteria	9
2.1 Doelstelling	9
2.1.1 Doel van de case	9
2.1.2 Beschrijving proefgebied	9
2.2 Beschrijving analysemethode	10
2.2.1 WML-Saneringscriteria	10
2.2.2 Berekening in GIS	10
2.3 Beschrijving gebruikte data	11
2.3.1 Databehoeftes	11
2.3.2 Niveau van de analyse	12
2.4 Analyse	13
2.4.1 Lekkages	13
2.4.2 Gevoeligheid onderbreking levering	14
2.4.3 Tijd tot herstel van de levering	15
2.4.4 Hinder bij te verwachten storingen	17
2.4.5 Druklachten / volumestroom / aangroei	20
2.4.6 Ligging leiding	20
2.4.7 Materiaalsoort / kwaliteit leiding	21
2.4.8 Leeftijd leiding	21
2.4.9 Samenwerking met derden	24
2.4.10 Keuze van te saneren leidingen	24
2.5 Conclusies casestudie	26
2.5.1 Resultaat: Identificatie van te saneren leiding	26
2.5.2 Conclusies processen	27
2.6 Aanbevelingen casestudie	27
3 Case 2, Bodemtemperatuur bij Brabant Water	29
3.1 Doelstelling	29
3.1.1 Hoge temperaturen in het leidingnet	29
3.1.2 Doel van de case	29
3.1.3 Keuze proefgebied	30
3.2 Beschrijving analysemethode	30
3.2.1 Het bodemtemperatuurmodel	30
3.2.2 De koppeling van het bodemtemperatuurmodel met GIS	31
3.2.3 Benodigde data	33
3.3 Beschrijving gebruikte data	34
3.3.1 GIS data	34

3.3.2	Gegevens voor bodemtemperatuurmodel	35
3.3.3	Weergegevens	36
3.4	Analyse	36
3.4.1	Bodemtemperatuur op verschillende dieptes	36
3.4.2	Bodemtemperatuur in proefgebied	37
3.4.3	Temperatuur in distributienet	39
3.5	Conclusies casestudie	40
3.5.1	Resultaat: Voorspelling temperatuur in het leidingnet in het proefgebied	40
3.5.2	Conclusies processen	42
3.6	Aanbevelingen: toepassingsmogelijkheden in risicoanalyse	42
4	Methodiek voor GIS-analyses voor het leidingnet	45
5	Conclusies en aanbevelingen	47
6	Referenties	49
I	Theoretisch kader case Bodemtemperatuur	51
II.1	Bodemtemperatuur als indicatie van de temperatuur van het leidingwater	51
II.2	Factoren die een rol spelen bij temperatuurstijging leidingwater	51
II.3	Opwarming van het leidingwater door de bodem	52
II.4	Temperatuur van het leidingwater in aansluitleidingen	53
II	GIS-data tabel	55
III	BBG2000 – bodemgebruiksklassen en gebruikte groepering afdekking	57
IV	GIS-data tabel met bodemtemperatuur (op 1 augustus 2008)	59

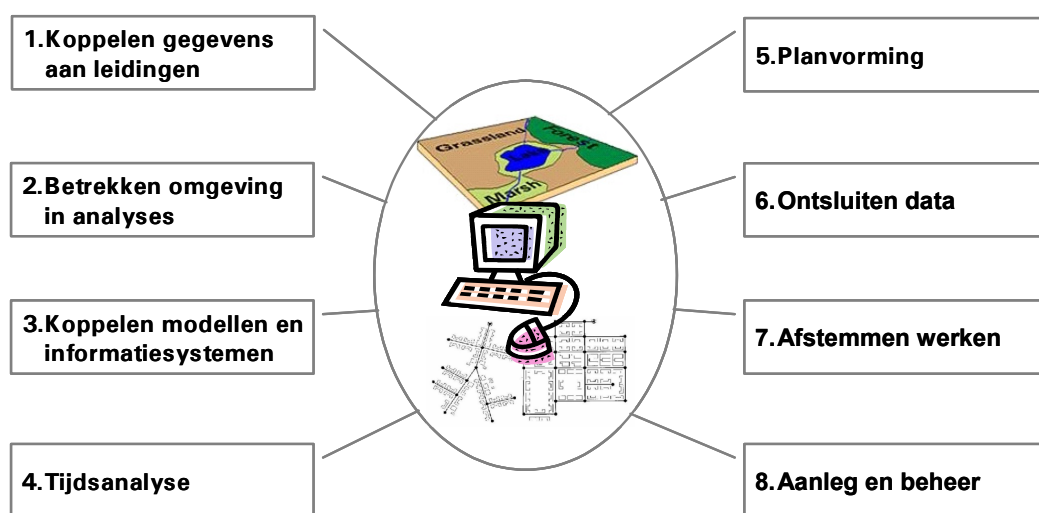
1 Inleiding

1.1 Achtergrond onderzoek

Binnen het BTO project Risicoanalyse en Risicobeheer Leidingnet zijn de mogelijkheden verkend van kwantitatieve risicoanalyses van het leidingnet. Hierbij is tevens aandacht besteed aan de mogelijkheden die geografische informatiesystemen (GIS) bieden voor de risicoanalyse van leidingnetten. In het rapport 'Verkenning inzet van Geografische Informatie Systemen voor identificeren van kritische leidingen' (van Daal, 2008) is een overzicht gegeven van de mogelijkheden van GIS, nu en in de toekomst. Om de mogelijkheden van GIS voor de analyse van het leidingnet in de praktijk nader te toetsen zijn binnen dit onderzoek twee casestudies uitgewerkt. Deze casestudies geven een inzicht in wat, met gebruik van bestaande modellen en informatiesystemen, de kwaliteit is van de analyses en welke middelen noodzakelijk zijn om dergelijke analyses uit te voeren.

Naast de verkenning in van Daal (2008) bouwt dit onderzoek voort op inzichten die zijn opgedaan in het onderzoek 'Risicoanalyse van leidingnetten' (Beuken, 2008). In deze laatste studie is de toepasbaarheid onderzocht van een kwantitatieve risicoanalyse van het leidingnet, ook hierbij staat een casestudie centraal. Er werd onder andere GIS ingezet om gevoelige klanten en kosten/veiligheid in beeld te brengen. Het voorliggende onderzoek gaat verder in op de toepasbaarheid van GIS voor analyses van het leidingnet; de scope is breder dan alleen risicoanalyses.

In de afgelopen jaren is GIS sterk ontwikkeld en in vele sectoren in gebruik genomen. Naast het digitaal beheer van informatie komen er steeds meer mogelijkheden voor het analyseren van geografische informatie. De ruimtelijke gegevens die beschikbaar zijn binnen een GIS maken uitgebreide analyses mogelijk van de wisselwerking tussen de omgeving en het leidingnet. Wanneer men heden ten dage de term geografisch informatiesysteem gebruikt, wordt veelal een ruime definitie gehanteerd. Die definitie omvat naast het softwarepakket ook de componenten hardware, data, mensen en methoden. Door Beuken et al. (2008) is een overzicht gegeven op welke manier GIS kan bijdragen aan beter leidingnetbeheer, zie ook Figuur 1. Van Figuur 1 wordt in het voorliggend onderzoek nader ingegaan op de onderdelen 'Betrekken omgeving in analyses' en 'Koppelen modellen en informatiesystemen'.



Figuur 1. Acht manieren waarop GIS kan bijdragen aan beter leidingnetbeheer (Beuken et al., 2008)

Het belang van het onderzoek naar de mogelijke inzet van GIS voor leidingnetanalyses is mede gegeven door de grote economische waarde die het waterleidingnet vertegenwoordigt en de beperkte kennis die hierover beschikbaar is. Deze kennis van het leidingnet is beperkt door:

- de grote omvang en verscheidenheid de omgeving;
- de onbekendheid van de conditie van leidingen en de beperkte toepassing van inspectiemethoden;
- de onbekendheid van de effecten van falen;
- de onbekendheid van de relatie tussen de leidingconditie en de levensduur.

In combinatie met technologische ontwikkelingen zoals verbeterde inspectietechnieken en aanlegmethoden, kan GIS meer informatie en daarmee kennis opleveren over het leidingnet. Het uiteindelijke doel is het beantwoorden van de vragen:

- Hoe garandeer ik een optimale waterkwaliteit?
- Wat is de conditie van de leidingen?
- Wanneer is het optimale vervangingsmoment?
- Hoe kunnen activiteiten optimaal worden afgestemd met derden?

1.2 Doel en aanpak van de studie

In dit onderzoek zijn twee casestudies uitgewerkt waarbij GIS is ingezet voor een analyse van het leidingnet. De cases hebben voornamelijk een illustratieve waarde voor het aantonen welke mogelijkheden GIS op dit vlak te bieden heeft. In beide cases wordt GIS toegepast voor het analyseren van een heel leidingnet op basis van lokale omstandigheden, waarbij kritieke onderdelen worden geïdentificeerd en zichtbaar gemaakt.

Het uitwerken van de GIS-cases had als doel:

- Het aan de hand van concrete voorbeelden aangeven in hoeverre GIS de mogelijkheid biedt voor analyses van het distributienet. Deze doelstelling richt zich op de kwaliteit van de resultaten.
- Het beschrijven van de processtappen die nodig zijn voor het uitvoeren van een analyse met GIS, het nagaan welke informatie hiervoor noodzakelijk is en het beoordelen van de kwaliteit hiervan. Deze doelstelling richt zich op de benodigde inspanningen.
- Het uitwerken van een methode voor het uitvoeren van GIS-analyses.

De casestudies en de bijbehorende doelstelling waren:

1. WML-Saneringscriteria: onderzoeken of de WML-Saneringscriteria¹, een systematiek die de WML hanteert voor het saneren van individuele leidingen, ook toepasbaar is voor een leidingnet.
2. Bodemtemperatuur bij Brabant Water: onderzoeken of het mogelijk is een model te koppelen aan een GIS, waarbij GIS wordt gebruikt om inputdata te verschaffen en om de resultaten van het model te presenteren. Het hier gehanteerde model berekent de warmte-indringing in de bodem (van den Molen, 2008).

De uitwerking van de cases heeft in nauwe samenwerking plaatsgevonden met de waterbedrijven WML voor de Saneringscriteria en Brabant Water voor de Bodemtemperatuur. GIS-case Bodemtemperatuur is uitgewerkt bij Brabant Water waarbij is voortgebouwd op de resultaten van het onderzoek 'Warmte-indringing in de bodem' dat in samenwerking met Brabant water is uitgevoerd.

¹ Bij de WML wordt dit aangeduid als de Saneringscriteria, welke zijn beschreven in Klantgericht Saneren, versie 3 (WML, 2005). Voor de leesbaarheid wordt in dit rapport de term 'WML Saneringscriteria' gehanteerd.

Hoewel de aard van beide casestudies verschillend is, is voor beiden dezelfde methodiek gevolgd. Deze bestaat uit de stappen:

1. Doelstelling case
2. Beschrijving analysemethode
3. Beschrijving gebruikte data
4. Analyse
5. Conclusie en discussie van resultaten
6. Aanbevelingen

De uitwerking van de WML-Saneringscriteria (Hoofdstuk 2) is voornamelijk gericht op de toepassing van een bestaande en relatief eenvoudige systematiek op een bestaand leidingnet. De WML past de Saneringscriteria toe op individuele leidingen, meestal naar aanleiding van een aantal leidingbreuken. De aandacht is in deze GIS-case voornamelijk gericht op de vraag hoe de verschillende onderdelen van de WML-Saneringscriteria voor een heel leidingnet ingevuld kunnen worden met generieke data. De uitwerking van de casestudie Bodemtemperatuur (Hoofdstuk 3) richt zich meer op de toepassing en het geschikt maken van het bodemtemperatuurmodel (Van den Molen, 2008).

In Hoofdstuk 4 wordt de gebruikte methodiek geëvalueerd dat leidt tot checklist die waterbedrijven kunnen hanteren voor het uitvoeren van GIS-analyses van het leidingnet. In Hoofdstuk 5 worden algemene conclusies getrokken voor de toepassing van GIS voor analyses van het leidingnet.

2 Case 1, WML-Saneringscriteria

2.1 Doelstelling

2.1.1 Doel van de case

In deze casestudie wordt de toepassing van GIS geïllustreerd door de WML-Saneringscriteria die zijn opgesteld voor het beoordelen van een individuele leiding, te vertalen naar een heel leidingnet. GIS wordt hierbij ingezet voor het koppelen van gegevens van diverse datasystemen, het uitvoeren van de berekeningen en het presenteren van de resultaten.

Het doel van de casestudie is om te onderzoeken of GIS een waardevolle bijdrage kan leveren voor het identificeren van leidingsegmenten die voor sanering in aanmerking komen. De door WML ontwikkelde systematiek Saneringscriteria zoals beschreven in Klantgericht Saneren, versie 3 (WML, 2005) vormt het uitgangspunt van deze case. De systematiek van de WML-Saneringscriteria is als zodanig ingezet, het er is geen intentie hierover een oordeel te geven. De in deze systematiek gehanteerde norm bepaalt of een leiding als kritisch wordt aangemerkt. Voor een korte beschrijving van de WML-Saneringscriteria, zie paragraaf 2.2.1.

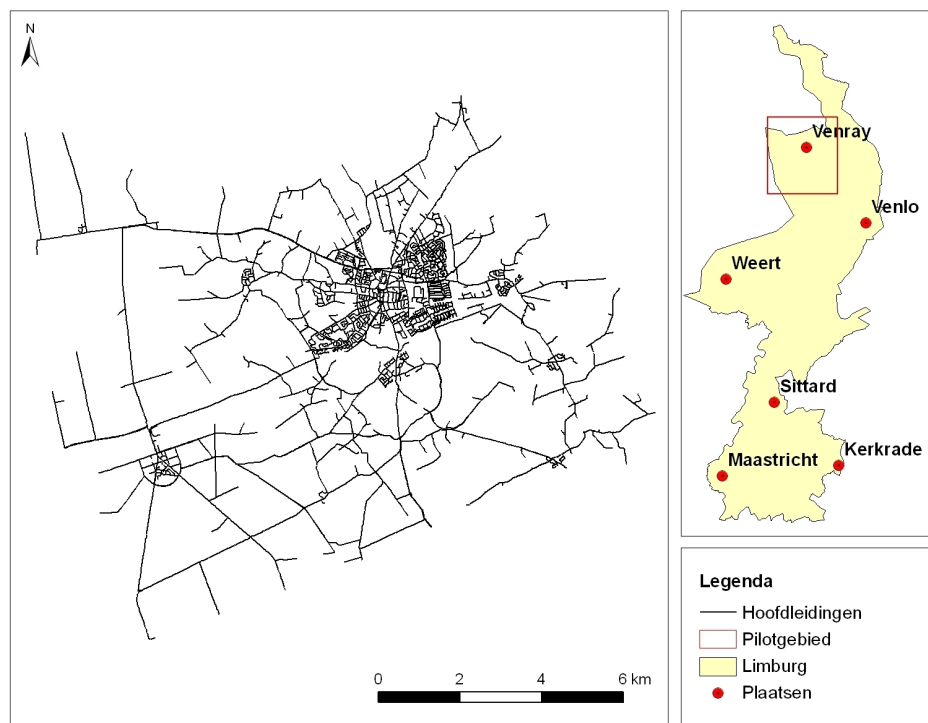
Uitvoering van deze casestudie levert WML inzicht op voor het distributiegebied Breehei:

- over het wel of niet meegaan met werkzaamheden die door derden;
- bij het opstellen van lange termijn investeringsplannen.

2.1.2 Beschrijving proefgebied

In samenspraak met WML is ervoor gekozen deze casestudie uit te voeren in het gebied Breehei rondom Venray (zie Figuur 2). Redenen waarom voor het distributienet van Breehei is gekozen, zijn dat:

- er andere studies worden uitgevoerd, waardoor relatief veel informatie beschikbaar is;
- er zowel stedelijk als landelijk gebied voorkomt;
- er zich risicovolle objecten bevinden zoals snelwegen en spoorwegen, waaraan in de WML-Saneringscriteria extra punten worden toegekend.



Figuur 2. Ligging van het pilotgebied

2.2 Beschrijving analysemethode

2.2.1 WML-Saneringscriteria

WML heeft 8612 kilometer leidingnet in beheer (Vewin, 2008). De beoordeling of een leiding voor sanering in aanmerking komt, is afhankelijk van de conditie van de leiding, de daaraan gerelateerde storingskans en de effecten die een storing heeft voor consumenten en de directe omgeving van de leiding. Om eenduidige beslissingen te kunnen nemen over het moment van saneren heeft WML de projectgroep Saneringscriteria opgericht, die in 1997 een systematiek opstelde voor het saneren van leidingen op basis van een puntentoekenning. In 2005 zijn de saneringscriteria geactualiseerd (WML, 2005). De WML-Saneringscriteria zijn een maat om te bepalen of een leidingsegment wel of niet in aanmerking komt voor sanering.

Jaarlijks worden leidingen waar zich breuken hebben voorgedaan getoetst aan negen saneringscriteria, zie Tabel 1. Elk criterium heeft een waarderingsfactor en een leidingsegment kan maximaal 100 punten scoren. Bij een score van 40 punten of meer komt een leidingsegment voor saneren in aanmerking. Specifieke uitvoeringsaspecten zoals de mogelijkheid tot samenwerking of het beschikbaar investeringsbudget, bepalen of de leiding daadwerkelijk wordt gesaneerd.

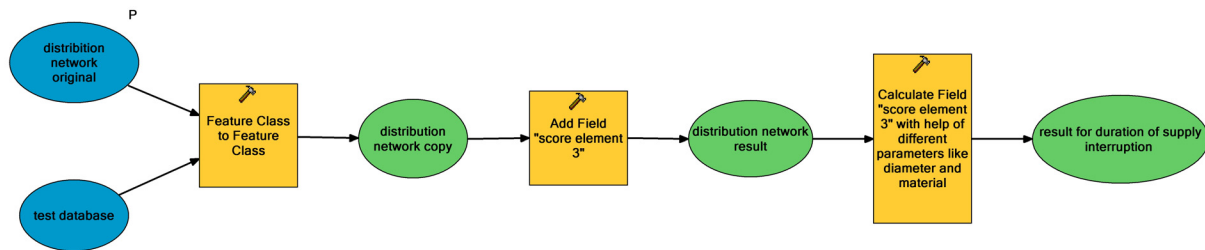
Tabel 1. Overzicht van de WML-Saneringscriteria

Criteria	Waarderingsfactor in punten
1. Lekkages / frequentie	35
2. Gevoeligheid onderbreking levering	6
3. Tijd tot herstel levering (onderbrekingsduur)	9
4. Hinder bij te verwachte storingen	6
5. Druklachten / aangroei	10
6. Ligging leiding	6
7. Kwaliteit leiding	12
8. Leeftijd leiding	4
9. Samenwerking met derden	12
	100

2.2.2 Berekening in GIS

Door het combineren van leidingnetgegevens met ruimtelijke gegevens binnen een GIS is het mogelijk te komen tot een risicoprofiel van alle leidingen in een gebied. De meeste criteria kunnen eenvoudig vertaald worden naar GIS en een groot deel van de punten kan met behulp van modellen (automatisch) uitgerekend worden.

Voor het uitwerken van de analyses is gebruik gemaakt van het softwarepakket ESRI ArcGIS 9.3. De analyses kunnen in principe in elk GIS softwarepakket met analysemogelijkheden gedaan worden. Tijdens het uitwerken van de case is gebruik gemaakt van ArcGIS met licentietype ArcInfo. Voor de deelcriteria zijn modellen opgesteld met de Modelbuilder in ArcGIS. De Modelbuilder biedt de mogelijkheid voor het modulair opbouwen van modellen. In dit geval is voor elk criterium van de WML-Saneringscriteria een aparte module geschreven. De verschillende modules zijn in één totaalmodel samengebracht. Het is dan eenvoudig om criteria aan te wijzigen, te verwijderen of toe te voegen. In Figuur 3 is een voorbeeld te zien van een module in Modelbuilder.

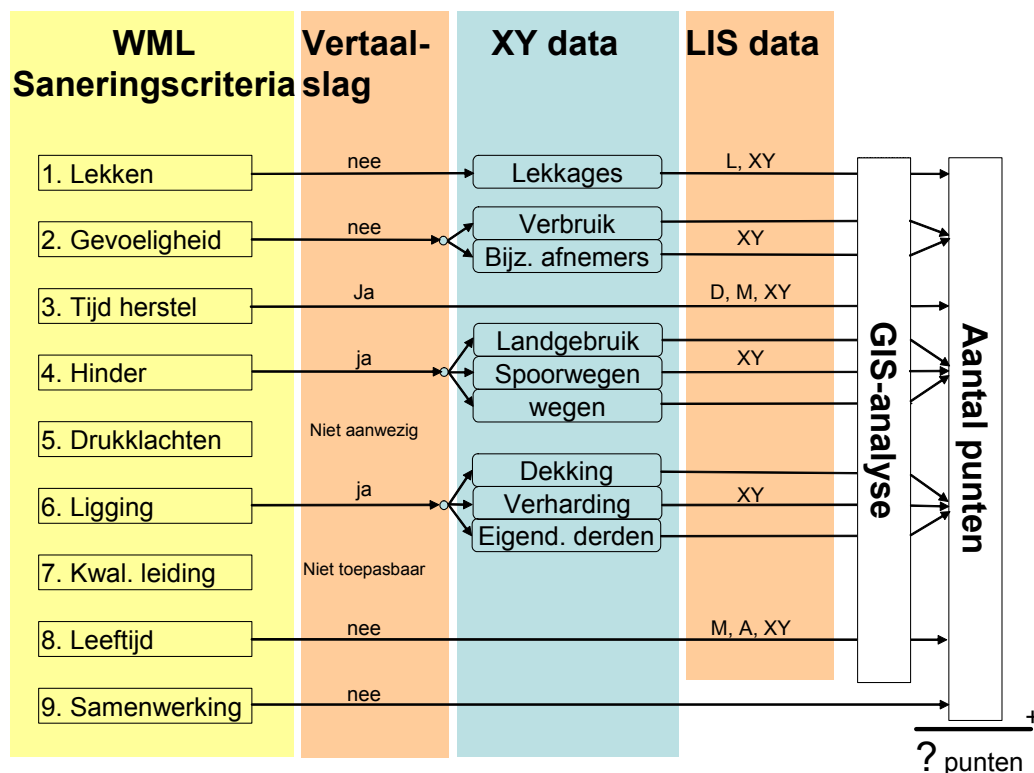


Figuur 3. Voorbeeld van de modulaire opbouw in de ESRI Modelbuilder waarbij het criterium Tijd tot herstel levering wordt berekend.

2.3 Beschrijving gebruikte data

2.3.1 Databehoefte

Om de WML-Saneringscriteria toe te passen op het hele leidingnet is eerst nagegaan welke data nodig is om invulling te kunnen geven aan de negen criteria. Dit betreft zowel data van de omgeving als van de leidingen. Vervolgens is voor het proefgebied nagegaan in hoeverre de benodigde data aanwezig zijn en of deze voldoende betrouwbaar en up-to-date zijn. In sommige gevallen konden gegevens rechtstreeks worden toegepast, bijvoorbeeld bij het criterium Tijd herstel levering, dat rechtstreeks is te vullen met data uit het LIS. In andere gevallen was een bewerking nodig, zoals bij het criterium Lekken. In sommige gevallen kan het criterium niet voor een heel leidingnet worden ingevuld, in dat geval is een vertaalslag gemaakt met behulp van beschikbare data. Het criterium Hinder wordt bijvoorbeeld bepaald door na te gaan wat het landgebruik is en of er zich een spoorweg of verkeersaders in de nabijheid bevinden. Twee criteria zijn in deze case niet uitgewerkt. Het criterium Druklachten is niet relevant omdat volgens informatie van WML deze in dit gebied nauwelijks voorkomen. Het criterium Kwaliteit leiding is alleen in te vullen met specifieke informatie die wordt verkregen tijdens een reparatie. In Figuur 4 is een overzicht gegeven van de criteria en vertaling naar GIS. Voor nadere informatie over invulling van de criteria, wordt verwezen naar het rapport Klantgericht Saneren (WML, 2005).



Figuur 4. De verschillende saneringscriteria en de vertaling naar GIS.

2.3.2 Niveau van de analyse

In het rapport Klantgericht saneren (WML, 2005) wordt gesproken over segmenten. De kenmerken van een segment zijn dat leeftijdsverschillen niet meer dan vijf jaar zijn en dat dezelfde materiaalsoort en diameter zijn toegepast. De lengte van een segment kan variëren van enkele meters tot honderden meters. In het geval een segment langer is dan 1000 meter, is het voor toepassing in de casestudie in meerdere segmenten gesplitst.

De WML heeft een bestand met hoofdleidingen aangeleverd van het proefgebied. De aangeleverde segmenten uit het GIS zijn in 32 situaties langer dan 1000 meter. Deze segmenten zijn handmatig opgeknipt in gelijkmatige delen (met behulp van de functie Proportion). Segmenten korter dan 10 meter zijn verwijderd. Na deze acties bleven er 3107 segmenten over met een gezamenlijke lengte van 395 kilometer.

Een segment is niet hetzelfde als een afsluitersectie, de kleinste cluster leidingen die met afsluiters geïsoleerd kan worden. Voor de criteria twee en vier (respectievelijk Gevoeligheid onderbreking levering en Hinder bij te verwachte storingen) is het van belang te weten welke leidingen tot één afsluitersectie horen. Immers, bij een lekkage zullen alle aansluitingen binnen een afsluitersectie worden afgesloten. Binnen de randvoorwaarden van deze casestudie was het echter niet mogelijk om voor het pilotgebied afsluitersecties te bepalen.

De vertaling en bijbehorende informatiebehoefte is voor elk afzonderlijk criterium bepaald. Dit is nader besproken met de WML², waarna is onderzocht in hoeverre de geodata voor deze case beschikbaar was. In die gevallen dat geen bruikbare geodata beschikbaar was, zijn kennisregels opgesteld (zie hiervoor paragraaf 2.4).

² Overleg heeft plaatsgevonden met Peter Wilmsen, Henk Vogelaar en Felix Manikowski.

2.4 Analyse

De uitwerking bestaat uit onderstaande stappen:

- bepalen van databehoeftes per criterium,
- analyse van beschikbare data,
- uitvoering van de analyse in GIS.

2.4.1 Lekkages

Het aantal lekkages is een maatstaf voor de kwaliteit van de leiding en is tevens van invloed op de kwaliteit van de levering. Binnen de WML-Saneringscriteria spelen lekkages van de tien voorgaande jaren een rol. Het aantal lekkages in de jaren 1 t/m 5 telt zwaarder dan in de jaren 6 t/m 10. De hoeveelheid acceptabele lekken hangt af van de segmentlengte (zie Tabel 2). In totaal kan een segment voor dit criterium 35 punten scoren. Het aantal punten voor een segment wordt berekend door de som van het aantal lekkages in de afgelopen 5 jaar (L_{1-5}) en de helft van het aantal lekken in de 5 voorgaande jaren (L_{6-10}) te delen door het aantal acceptabele lekken (L_{acc}) en te vermenigvuldigen met het maximaal te behalen punten.

$$Punten_Lekkage = \left(\frac{L_{1-5} + 0.5 * L_{6-10}}{L_{acc}} \right) * 35$$

Tabel 2. Aantal acceptabele lekken afhankelijk van de segmentlengte

Segmentlengte (m)	Aantal acceptabele lekken (per 5 jaar)
0 – 250	3
250 – 500	4
500 – 750	5
750 – 1000	6

WML heeft een database met storingsgegevens. Voor dit onderzoek hebben zij gegevens voor de regio Breeheide aangeleverd in Excel. Hiervoor hebben zij de originele database opgeschoond en alleen de lekken geleverd in de plaatsen Venray, Venray-heide, Griendsveen, IJsselstein, Vredepeel, Merselo, Smakt, Oostrum, Oirlo, Castenray, Leunen en Veulen. In totaal bevat het Excelbestand 241 lekken.

De lekken zijn niet gekoppeld aan een leiding en bevatten geen x- en y-coördinaten. De lekken bevatten wel adresgegevens. Om de storingen in te zetten in een GIS-analyse moeten zij daarom geocodeerd worden. Geocoderen is het vertalen van adressen naar x- en y-coördinaten. Het geocoderen is gedaan met de DSP service van Bridgis (zie hiervoor www.Bridgis.nl). Van de 241 lekken zijn er 110 waarbij geen xy-coördinaten gevonden konden worden. De voornaamste reden hiervoor was het ontbreken van een huisnummer waardoor geen nauwkeurige positiebepaling mogelijk is. Het ontbreken van huisnummers komt vaak voor in het buitengebied waar de woningen erg verspreid liggen. Er zijn 131 lekken die wel coördinaten toegewezen hebben gekregen. Met deze 131 lekken is verder gegaan. Dit houdt in dat 45% (110 stuks) van de lekken niet zijn meegenomen in de puntenbepaling.

Om de storingen te koppelen aan een segment is ervan uitgegaan dat de storing heeft plaatsgevonden op de leiding die op de kortste afstand ligt van het geocodeerde adres. Voor elk lek is in het GIS het dichtstbijzijnde leidingsegment gezocht en de leidinggegevens van dit segment zijn gekoppeld aan de lekken. Vervolgens zijn het aantal lekken per jaar en per segment berekend. Hiervoor is gebruik gemaakt van twee deelmodellen: één om de dichtstbijzijnde leiding te vinden en één om de lekkages te 'tellen'. Vervolgens is met de functie *Calculate Field* de hoeveelheid punten per segment berekend. De resultaten voor dit criterium zijn weergegeven in Tabel 3.

Tabel 3. Resultaten voor het criterium lekkages

Aantal Punten	Aantal segmenten	Som lengte segmenten (km)	Percentage van totale lengte
0	3004	367	93%
1-15	87	25	6%
16-20	1	1	< 1%
21-30	10	1	< 1%
31-35	5	1	< 1%
Totaal	3107	395	100%

2.4.2 Gevoeligheid onderbreking levering

De gevoeligheid onderbreking levering is de mate waarin een afnemer last heeft van een onaangekondigde leveringsonderbreking. De puntentoekenning gebeurt op basis van het type afnemer dat door een segment voorzien wordt. Het maximum aantal te behalen punten is 6 en de puntenwaardering is onderverdeeld in vier klassen (Tabel 4)

Tabel 4. Puntentoekenning gevoeligheid onderbreking levering

Mate van gevoeligheid	Criteria	Aantal punten
Laag	<100 wooneenheden	0
Beperkt	Klein zakelijk verbruik (< 300 m ³)	2
	100-250 wooneenheden	
Aanzienlijk	Klein zakelijk verbruik (300-1000 m ³)	4
	Huisarts, tuinders en sportcomplexen	
	>250 wooneenheden	
Hoog	Zakelijk verbruik (1000-10.000 m ³)	6
	Doorleverfunctie	
	Nierdialysepatiënten, tandartsen en scholen	
	Groot zakelijk verbruik (> 10.000 m ³)	
	Key accounts	
	Zieken- en verzorginstehuizen, klinieken	

Alle in Tabel 4 genoemde criteria zijn meegenomen in de analyse, behalve het aantal wooneenheden aangezien deze gegevens niet op het niveau van leidingsegment beschikbaar waren. Om te bepalen hoeveel punten elk leidingsegment krijgt is gebruik gemaakt van een via WML verkregen puntenbestand met aansluitingen. Op eenzelfde manier als bij de lekken zijn de aansluitpunten gekoppeld aan het dichtstbijzijnde leidingsegment. Zo is het leidingsegment voorzien van de gegevens van de aansluitpunten, zoals informatie over het herleid jaarverbruik, keyaccounts en BIK-codes. De indeling met behulp van BIK-codes (de Bedrijfsindeling Kamers van Koophandel) is de indeling die gebruikt wordt om de bedrijfsactiviteit van de onderneming in te kunnen delen, zie ook www.kvk.nl.

Om te bepalen welke segmenten leveren aan de in Tabel 4 genoemde afnemers zijn selecties gemaakt op basis van herleid jaarverbruik en BIK-codes. Deze selecties zijn veelal gedaan aan de hand van de functie *select by attributes*. Met de functie *Calculate Field* zijn de geselecteerde segmenten voorzien van een score. In Tabel 5 is aangegeven welke BIK-codes zijn meegenomen in de selecties.

Tabel 5. BIK-codes gebruikt voor selecties

Criteria	BIK-codes
Ziekenhuizen, verzorgingstehuizen en klinieken (hoog)	8511: Ziekenhuizen en overige instellingen voor curatieve gezondheidszorg met overnachting 8514: Praktijken van verloskundigen, paramedici, psychologen en alternatieve genezers 8515: Instellingen voor curatieve gezondheidszorg zonder overnachting 8531: Welzijnszorg en thuiszorg 8532: Niet-medische dagbehandeling, jeugdzorg (geen huisvesting biedend) en thuiszorg
Nierdialysepatiënten, tandartsen en scholen (aanzienlijk)	802: Secundair onderwijs en educatie 8021: Voortgezet onderwijs 8022: Middelbaar beroepsonderwijs en educatie 8010: Primair onderwijs voor leerplichtigen en speciaal onderwijs 8042: Overig onderwijs 8513: Tandheelkundige praktijken 8533: Kinderopvang, maatschappelijk werk, sociaal-cultureel werk en overig welzijnswerk
Huisarts, tuinders en sportcomplexen (beperkt)	0112: Tuinbouw 0113: Fruitteelt 0130: Akker- en/of tuinbouw 8512: Medische praktijken 9262: Buitensport 9263: Binnensport 9264: Watersport 9265: Overige sport

Per segment is de hoogste score maatgevend. De uiteindelijke scores voor dit onderdeel zijn weergegeven in Tabel 6.

Tabel 6. Resultaten voor het criterium gevoeligheid onderbreking levering

Aantal Punten	Aantal segmenten	Som lengte segmenten (km)	Percentage van totale lengte
0	2332	236	60%
2	655	140	35%
4	64	11	3%
6	56	8	2%
Totaal	3107	395	100%

2.4.3 Tijd tot herstel van de levering

De tijd tot herstel levering is de tijd tussen onderbreking van de waterlevering en het moment dat de levering weer hersteld is. Bij de WML-Saneringscriteria kunnen hiervoor maximaal 9 punten gehaald worden. Normaal gesproken worden de saneringscriteria ingevuld nadat er zich een lek heeft voorgedaan en wordt het puntenaantal door registratie ten tijde van het lek bepaald. Om dit criterium toch mee te nemen zijn in overleg met WML kennisregels opgesteld. De tijd tot herstel is voor een groot deel afhankelijk van hoe snel een lek gerepareerd kan worden. Omdat het materiaaltype en de leidingdiameter van grote invloed zijn, zijn zij gebruikt in de kennisregels, zie ook Tabel 7. In de puntensystematiek is geen aparte puntentoekenning voor onderbrekingen langer dan 24 uur.

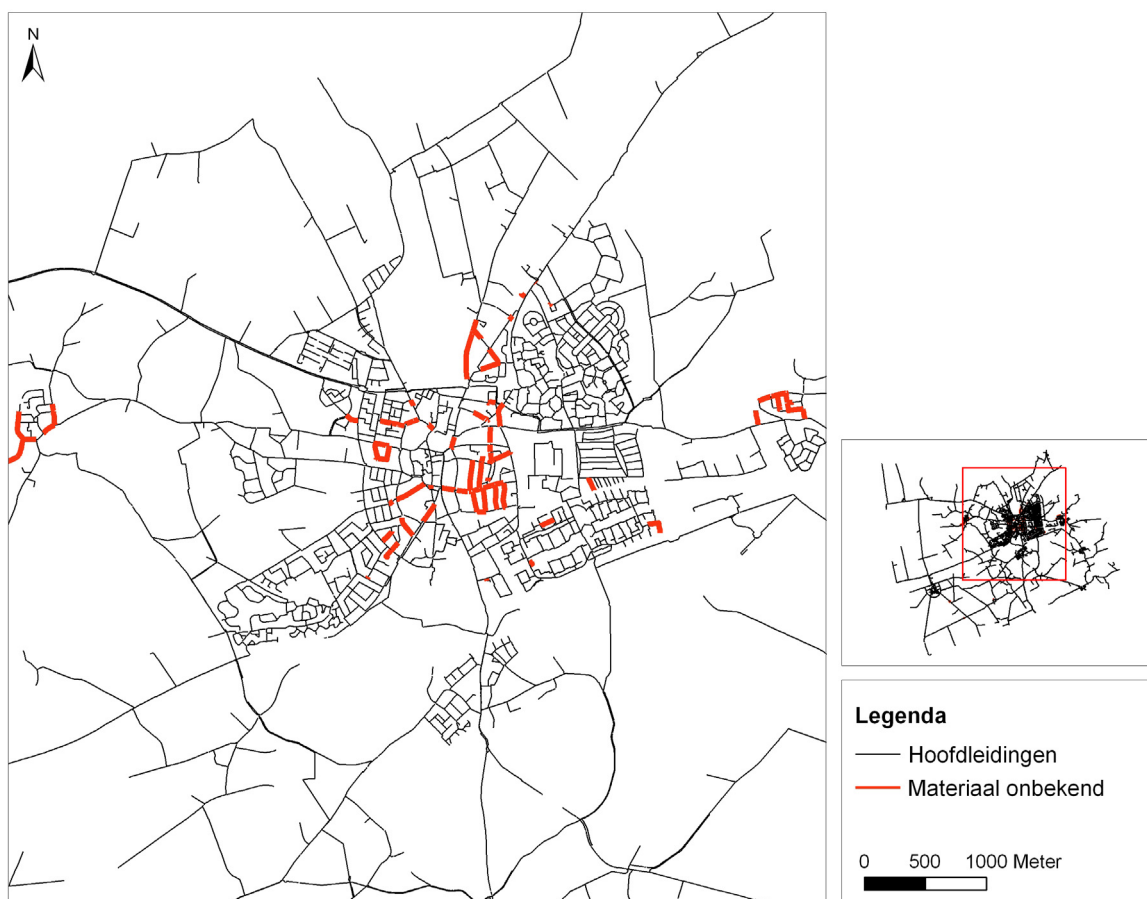
Tabel 7. Kennisregels voor het criterium tijd tot herstel levering

Duur leveringsonderbreking	Aantal punten	Materiaal	Diameter
Minder dan 4 uur	0	PVC, GIJ, NGIJ en staal	Kleiner dan 150 mm
4 – 8 uur	3	AC of onbekend	Kleiner dan 150 mm
8 – 12 uur	6	Alle	150-300 mm
Langer dan 12 uur	9	Alle	300 mm en groter

In het proefgebied Breehei is van meer dan 118 segmenten, met een gezamenlijke lengte van ruim 8,5 kilometer, de materiaalsoort onbekend (zie Figuur 5). Deze leidingen worden op dezelfde wijze gewaardeerd als AC-leidingen.

De resultaten voor dit criterium zijn weergegeven in Tabel 8). De grootste groep van de leidingen heeft drie punten, van een deel hiervan is het leidingmateriaal onbekend. Dit wil zeggen dat als er meer gegevens bekend zijn over het leidingnet de puntentoekenning voor een deel van de leidingen zal afnemen.

Figuur 5. Leidingnet Breehei met in rood de leidingen waarvan de materiaalsoort onbekend is.



Tabel 8. Resultaten voor het criterium Tijd tot herstel levering

Aantal Punten	Aantal segmenten	Som lengte segmenten (km)	Percentage van totale lengte
0	962	84	21%
3	1477	193	49%
6	585	91	23%
9	83	27	7%
Totaal	3107	395	100%

2.4.4 Hinder bij te verwachten storingen

De WML-Saneringscriteria richt zich ook op hinder bij te verwachten storingen. Hieronder wordt verstaan:

- wateroverlast ten gevolge van een leidingbreuk,
- verkeershinder ten gevolge van een leidingbreuk,
- persoonlijk letsel ten gevolge van een leidingbreuk.

De mate van hinder ten gevolge van een leidingbreuk is onderverdeeld in vier categorieën (zie Tabel 9). Een leidingsegment kan hiervoor maximaal 6 punten scoren. Voor dit criterium is veel informatie vereist uit verschillende bronnen, die niet of moeilijk zijn te verkrijgen. De meeste beoordelingsaspecten van dit criterium zijn toepasbaar nadat zich een leidingbreuk heeft voorgedaan, maar zijn dit niet a priori voor een geheel leidingnet. Het is bijvoorbeeld niet op voorhand bekend waar wateroverlast gaat ontstaan en hoe groot de gevolgschade kan zijn. Daarnaast waren er in het bestek van dit onderzoek geen gegevens beschikbaar van ruimtelijke objecten zoals trottoirs, fietspaden, OV-routes en omleidingsmogelijkheden. Om deze redenen heeft een vertaalslag plaatsgevonden naar een aantal in GIS hanteerbare criteria (zie Tabel 9, derde kolom).

Door gebruik te maken van een woonwijkenkaart van de gemeente Venray, is bepaald welke leidingen zich bevinden in het buitengebied, in woonwijken of in het centrum van Venray. Verder is gebruik gemaakt van een wegenbestand van Rijkswaterstaat met daarin de hartlijnen van snelwegen en is een wegenbestand gebruikt uit de referentieset van Geodan met daarin de hartlijnen van provinciale wegen.

Tabel 9. Puntentoekenning voor het criterium hinder

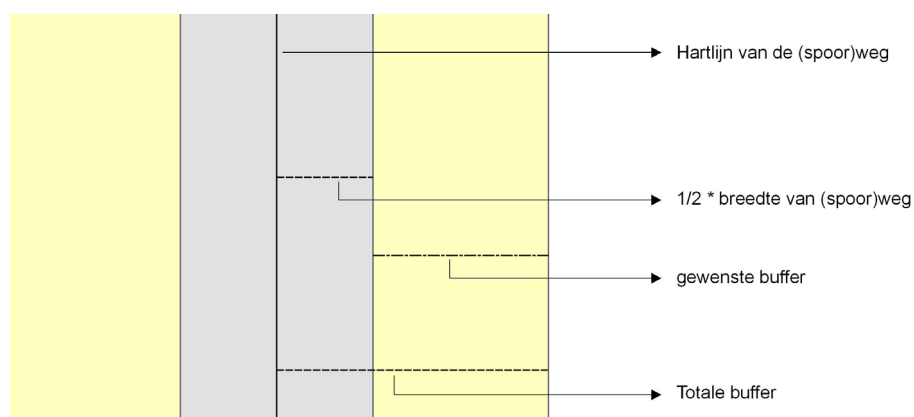
Mate van Hinder	Criteria	Vertaalslag in GIS	Punten
Laag	Geen wateroverlast Geen gevolgschade Geen verkeershinder (alleen hinder voor voetgangers) Leidingen onder trottoir, weilanden, tuinen van particulieren, e.d.	Buitengebied en geen wegen	0
Beperkt	Hoofdleidingbreuk in een woonwijk Gevolgschade tot € 2000 Alleen hinder voor (brom)fietzers Secundaire weg gestremd met omleidingsmogelijkheden	Leidingen in woonwijken met een diameter < 150 mm	2
Aanzienlijk	Hoofdleidingbreuk in stedelijk gebied (stadscentra, zakelijke centra, industriële centra) Water in maximaal twee panden, ondergelopen kelders Gevolgschade € 2000-10.000 Secundaire weg gestremd zonder omleidingsmogelijkheden Primaire doorgaande weg zonder OV-functie gestremd Leiding onder fietspaden of rijbanen met snelheden tot 50 km/u	Leidingen in stadscentra, zakelijke centra, industriële centra met een diameter < 150 mm Leidingen in woonwijken met een diameter > 150 mm	4
Hoog	Transportleiding in stedelijk gebied Water in meerdere panden (>2), ondergelopen kelders Ondergraven funderingen, andere leidingen, uitspoelen asfaltwegen Gevolgschade > € 10.000 Primaire doorgaande weg met OV-functie Stremming van autowegen, provinciale wegen Stremming van treinverkeer Leidingen onder rijbanen met een snelheid > 50 km/u	Leidingen in stadscentra, zakelijke centra, industriële centra met een diameter > 150 mm Leidingen in de nabijheid van autowegen, provinciale wegen en spoorwegen	6

In Figuur 6 is voor twee locaties een projectie gegeven uit bovengenoemde bestanden voor wegen in Google Earth. Uit deze voorbeelden blijkt dat er aanzienlijke verschillen bestaan tussen de posities. Ook maken zij duidelijk dat vectordata voor meer nauwkeurige analyses niet geschikt is, in dit geval is voor het weergeven van de afslag, data in de vorm van polygonen noodzakelijk. Opgemerkt moet worden dat ook in Google Earth afwijkingen voorkomen, met name door het omzetten van luchtfoto's naar een bolprojectie.



Figuur 6. Voorbeelden van afwijkingen tussen vectordata (bron Geodan) van een snelweg (links) en een provinciale weg (rechts) en dezelfde objecten in Google Earth.

Voor spoorwegen en wegen is het van belang een invloedsszone mee te nemen. Aangezien de geografische bestanden van de weg of spoorweg alleen hartlijnen bevatten, zal hieromheen een buffer geprojecteerd moeten worden die de breedte van de (spoor)weg, bermen, taluds en een veiligheidszone bevat (zie Figuur 7). In Tabel 10 is aangegeven hoe de buffer voor het criterium hinder is bepaald.



Figuur 7. Bepalen van de totale buffer rondom wegen en spoorwegen

Tabel 10. Breedte buffer voor het onderdeel hinder

Wat	Breedte (m)	Gewenste buffer (m)	Buffer totaal (m)
Spoorwegen	4,5	15	17,25
Autosnelwegen	30 *	25	40
Hoofdwegen	8-18 **	5	14

* inclusief middenberm en vluchtstrook

** inclusief fietspaden en trottoirs

Om de segmenten te voorzien van een uiteindelijke score voor dit criterium is er van lage naar hoge scores gewerkt. Bij leidingen met een onbekende diameter is uitgegaan van de hoogst mogelijke score. De uiteindelijke scores voor dit onderdeel zijn weergegeven in Tabel 11.

Tabel 11. Scores voor het onderdeel hinder

Aantal Punten	Aantal segmenten	Som lengte segmenten (km)	Percentage van totale lengte
0	969	163	41%
2	1220	101	26%
4	442	36	9%
6	476	95	24%
Totaal	3107	395	100%

2.4.5 Druklachten / volumestroom / aangroei

De WML gaat er van uit dat een gietijzeren of stalen leiding eerder voor sanering in aanmerking komt als deze de oorzaak is van verminderde volumestroom en/of drukkachten en als aangroei wordt geconstateerd. De toekenning gaat op basis van de aangroei in percentage van de diameter van de leiding. Tijdens reparatiewerkzaamheden kan eenvoudig bepaald worden wat de aangroei is in relatie tot de diameter. Aangezien in deze studie een generieke bepaling plaatsvindt van alle leidingen, zal hiervan een generieke kennisregel opgesteld moeten worden.

Het maximaal te behalen aantal punten op dit onderdeel is 10. Er zullen echter pas punten aan een segment worden toegekend als de aangroei hoger is dan 25% van de diameter. Betrokkenen van WML geven aan dat in dit gebied weinig aangroei van leidingen voorkomt. Om die reden is aan alle leidingsegmenten nul punten toegekend.

2.4.6 Ligging leiding

WML acht de ligging van een leiding van belang in verband met de bereikbaarheid in geval van een storing. Leidingsegmenten die voldoen aan één van de volgende kenmerken krijgen tot 6 extra punten op dit onderdeel:

- leiding ligt onder gesloten verharding en / of sierbestrating,
- leiding heeft een dekking van meer dan 1,50 meter,
- leiding ligt in de bodem die eigendom is van derden,
- leiding ligt onder obstakels zoals bomen, bebouwing of andere kabels en leidingen.

Het aantal te behalen punten wordt bepaald door de lengte van een leiding in bovenstaande kenmerken gedeeld door de totale lengte van het segment en dat maal de waarderingsfactor van 6 punten. Per kenmerk is gekeken welke leidingsegmenten hieraan voldoen. In het proefgebied wordt uitgegaan van een standaard dekking van 0,80 – 1,20 meter. Wanneer een leiding een afwijkende dekking heeft, is dit geregistreerd in het leidingregistratiesysteem. Volgens de verkregen gegevens is dit hier niet het geval.

Om te bepalen welke leidingen onder gesloten verharding of sierbestrating liggen is een gedetailleerde kaart met verharding noodzakelijk. Aangezien een dergelijke kaart voor dit onderzoek niet beschikbaar was, is in dit project gebruikt gemaakt van de wijkenkaart en twee wegenbestanden. Dit betreft dezelfde wegenbestanden als bij het criterium hinder. Uit de wijkenkaart is het vlak met de aanduiding Centrum-Venray geselecteerd. Voor beide wegenbestanden zijn met de functie *Buffer* buffers om de hartlijnen gemaakt, zodat er vlakken ontstaan. Er is gekozen voor een buffer van 15 meter (breedte weg = 30 meter) om autosnelwegen en een buffer van 9 meter om provinciale wegen. Met de functie *Merge* zijn de vlakken tot één bestand gevormd. Dit bestand bevat nu de zones waar het aannemelijk is dat er verharding en / of sierbestrating is. Met de selectiefunctie zijn vervolgens twee verschillende selecties gemaakt. Allereerst zijn de leidingsegmenten geselecteerd die volledig binnen de vlakken vallen. Deze segmenten krijgen het maximale aantal van 6 punten. Vervolgens zijn de segmenten geselecteerd die deels binnen de vlakken vallen, deze krijgen 3 punten.

Leidingen die in de bodem liggen die eigendom is van derden zijn geregistreerd in het leidingregistratiesysteem. Er is een kolom in het leidingnetbestand met de titel openbare gronden. Deze kolom kan de waarde 'ja', 'nee' en 'beide' bevatten. Voor dit onderdeel zijn alle leidingen geselecteerd met de waarde nee en beide. Deze leidingen hebben 6 punten gekregen.

Welke leidingen onder obstakels liggen is lastig te bepalen. In het rapport Klantgericht Saneren is geen volledige lijst van obstakels opgenomen, er worden slechts enkele voorbeelden genoemd zoals bomen, bebouwing of andere kabels en leidingen. Van deze obstakels is veelal geen ruimtelijke informatie beschikbaar, er is bijvoorbeeld geen bomenbestand. WML heeft onderdelen aangeleverd van de GBKN (Grootschalige BasisKaart van Nederland) met daarin lijninformatie over de begrenzing van hoofd- en bijgebouwen. Met de functie *Select by Location* is gekeken welke leidingen hieraan raken. Het blijkt dat meestal alleen het uiteinde van een leidingsegment raakt aan de begrenzing van een hoofd- of bijgebouw, daarom is ervoor gekozen hiervoor slechts 1 punt toe te kennen. Voor vrijwel alle leidingsegmenten die raken aan bebouwing geldt dat zij zich ook bevinden onder verharding.

Per leidingsegment is van de verschillende kenmerken de hoogste score aangehouden. De resultaten voor het criterium Ligging leiding zijn weergegevens in Tabel 12.

Tabel 12. Resultaten voor het criterium Ligging leiding

Aantal Punten	Aantal segmenten	Som lengte segmenten (km)	Percentage van totale lengte
0	2534	303	77%
1	25	2	<1%
3	270	58	15%
6	278	32	8%
Totaal	3107	395	100%

2.4.7 Materiaalsoort / kwaliteit leiding

Voor dit onderdeel kunnen maximaal 12 punten behaald worden. Ten tijde van een reparatie wordt gekeken naar de technische toestand van de leiding en verbindingen aan de hand van waarnemingen en / of eventuele beproevingen. In Tabel 13 is de puntenverdeling weergegeven.

Tabel 13. Puntentoekenning criterium materiaalsoort / kwaliteit leiding

Materiaalsoort	Visuele waarneming	Aantal punten
Staal / Cu	Corrosie	8
	Incourante maten	4
PVC / PE	Scheurvorming (reparabel)	8
	Scheurvorming (klapbuis)	12
AC	Dunwandig	4
	Zacht	8
	Scheurvorming (uitloging gelijk aan of minder dan 25 %)	8
Gietijzer	Scheurvorming (uitloging meer dan 25%)	12
	Verpotloding	8
Nodulair Gij	Corrosie	8
Verbindingen	Lek mof	8

Aangezien het ondergrondse infrastructuur betreft is het niet mogelijk om op grote schaal dergelijke gedetailleerde informatie te verkrijgen. Omdat dit criterium niet is toe te passen is in samenspraak met WML besloten alle leidingsegmenten nul punten toe te kennen.

2.4.8 Leeftijd leiding

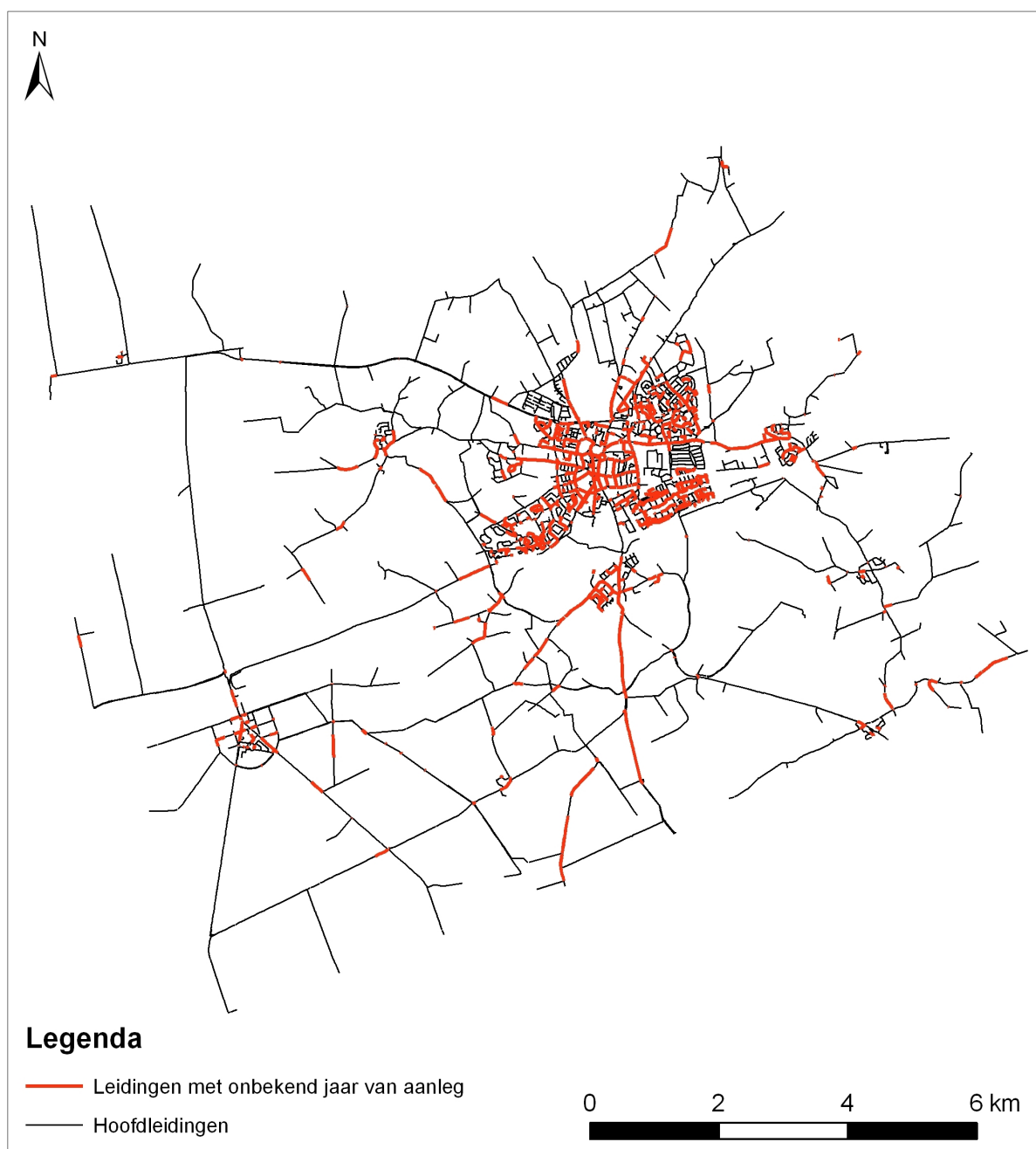
De WML-Saneringscriteria geeft maximaal 4 punten op basis van de leeftijd van het leidingsegment. Het uitgangspunt is dat naarmate de ouderdom van een leiding toeneemt de kwaliteit afneemt en de storingskans toeneemt. In Tabel 14 is aangegeven hoe dit criterium door de WML wordt ingevuld.

Tabel 14. Kennisregels voor het criterium leeftijd leiding

Leeftijd (jaren)	Staal, Gij, NGij	AC, PVC, PE, Cu
0-10	0	1
11-20	0	1,5
21-30	0	2
31-40	1	3
41-50	1,5	3,5
51-60	2	4
61-70	3	4
71-80	3,5	4
> 80	4	4

WML heeft een bestand met hoofdleidingen geleverd van het pilotgebied. Behalve de geometrie bevat dit bestand ook een heleboel andere leidingelementen zoals materiaalsoort, diameter en jaar van aanleg. Met de informatie over het jaar van aanleg kan berekend worden hoe oud de leiding is. Hierbij wordt uitgegaan van het jaar 2008. Wanneer van een leiding het jaar van aanleg onbekend is krijgt deze leiding het maximaal te behalen aantal punten. Bij ruim 1/3 van de leidingsegmenten is er sprake van een onbekend jaar van aanleg: 1088 segmenten met een gezamenlijke lengte van 74 kilometer (zie Figuur 8). Dit komt overeen met circa 19% van de gezamenlijke lengte.

De puntentoekenning op basis van de kennisregels wordt gedaan met de functie *field calculator*. Met if-then-else statements zijn de kennisregels verwerkt. De uiteindelijke scores voor dit onderdeel zijn weergegeven in Tabel 15.



Figuur 8. Een overzicht van de leidingen met een onbekend jaar van aanleg.

Tabel 15. Eindresultaat criterium leeftijd leidingen. Van de leidingsegmenten krijgt 21% 4 punten, voornamelijk vanwege een onbekende leeftijd.

Aantal Punten	Aantal segmenten	Som lengte segmenten (km)	Percentage van totale lengte
0	501	62	17%
1	245	24	6%
1,5	189	19	5%
2	359	57	14%
3	364	72	18%
3,5	301	77	19%
4	1148	84	21%
Totaal	3107	395	100%

2.4.9 Samenwerking met derden

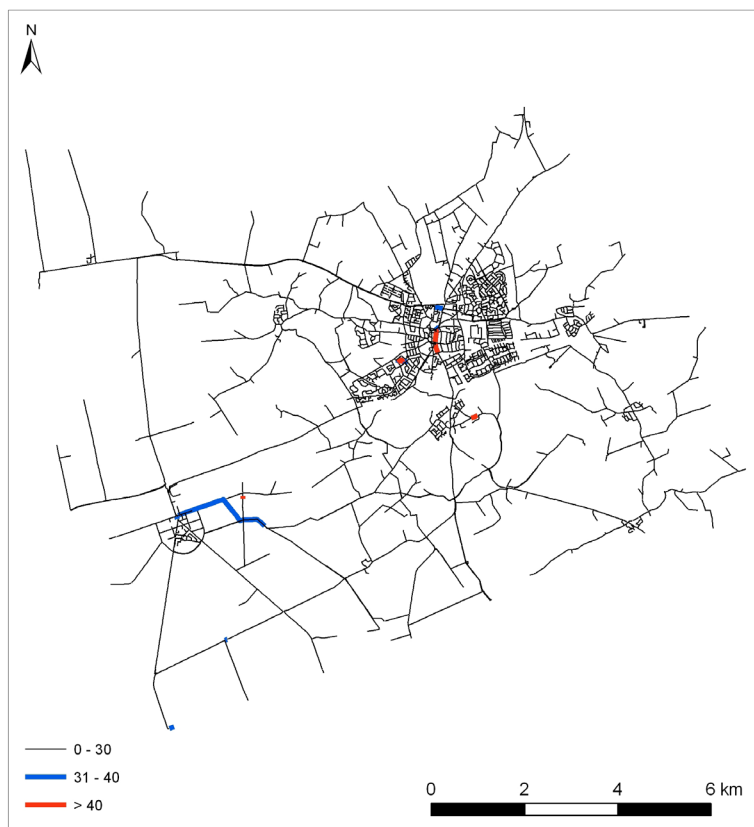
WML voert waar mogelijk samen met andere nutsbedrijven en gemeentes projecten uit. Dit ter voorkoming van overlast voor burgers en beperking van de kosten. Een leidingsegment zal daarom eerder voor sanering in aanmerking komen als werken in combinatie kunnen worden uitgevoerd. Een leidingsegment kan maximaal 12 punten behalen voor dit criterium. De 12 punten worden gehaald wanneer er voor het gehele segment samenwerking mogelijk is. Om dit punt mee te nemen in de uiteindelijke berekening is gekozen voor 2 mogelijkheden:

- geen samenwerking mogelijk: alle segmenten krijgen nul punten,
- wel samenwerking mogelijk: alle segmenten krijgen 12 punten.

De reden dat deze twee mogelijkheden zijn uitgewerkt, is dat daarmee leidingsegmenten geselecteerd kunnen worden die meer dan 40 punten halen als er geen samenwerking is te verwachten. Hiervoor kan sanering zonder samenwerking met derden worden voorgesteld. Segmenten die slechts meer dan 40 punten halen als wordt samengewerkt met derden, komen voor sanering in aanmerking als zich een mogelijkheid voor samenwerking daadwerkelijk voordoet.

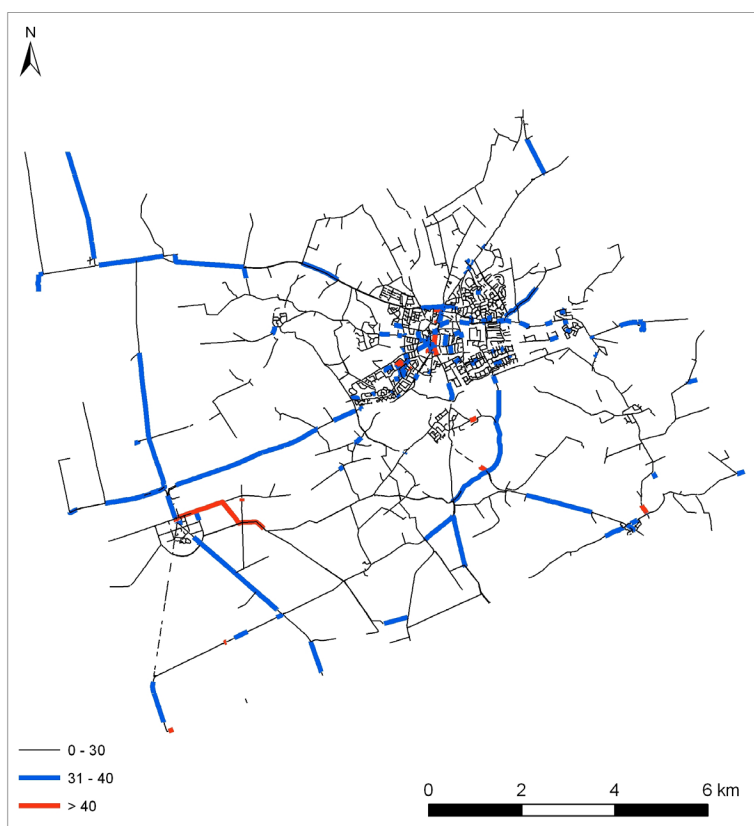
2.4.10 Keuze van te saneren leidingen

Voor elk segment zijn de deelscores per criterium opgeteld en verwerkt tot een totaalscore. Er zijn twee mogelijkheden, met of zonder samenwerking met derden. In Figuur 9 worden beide mogelijkheden gepresenteerd. Als er geen samenwerking is met derden zijn er 7 segmenten met een totale lengte van 1 km die een score hebben van 40 punten of meer. Dit komt overeen met 0.25% van de gezamenlijke leidinglengte. Als er wel samenwerking met derden mogelijk is, zijn er 34 segmenten met een totale lengte van 9 km die tot een puntenaantal van 40 punten of meer komen. Dit komt overeen met 2% van de gezamenlijke leidinglengte.



Risicoprofiel 1
40 punten of hoger zonder
samenwerking met derden

7 segmenten met een totale lengte van
1 km



Risicoprofiel 2
40 punten of hoger en met
samenwerking met derden

34 segmenten met een totale lengte
van 9 km

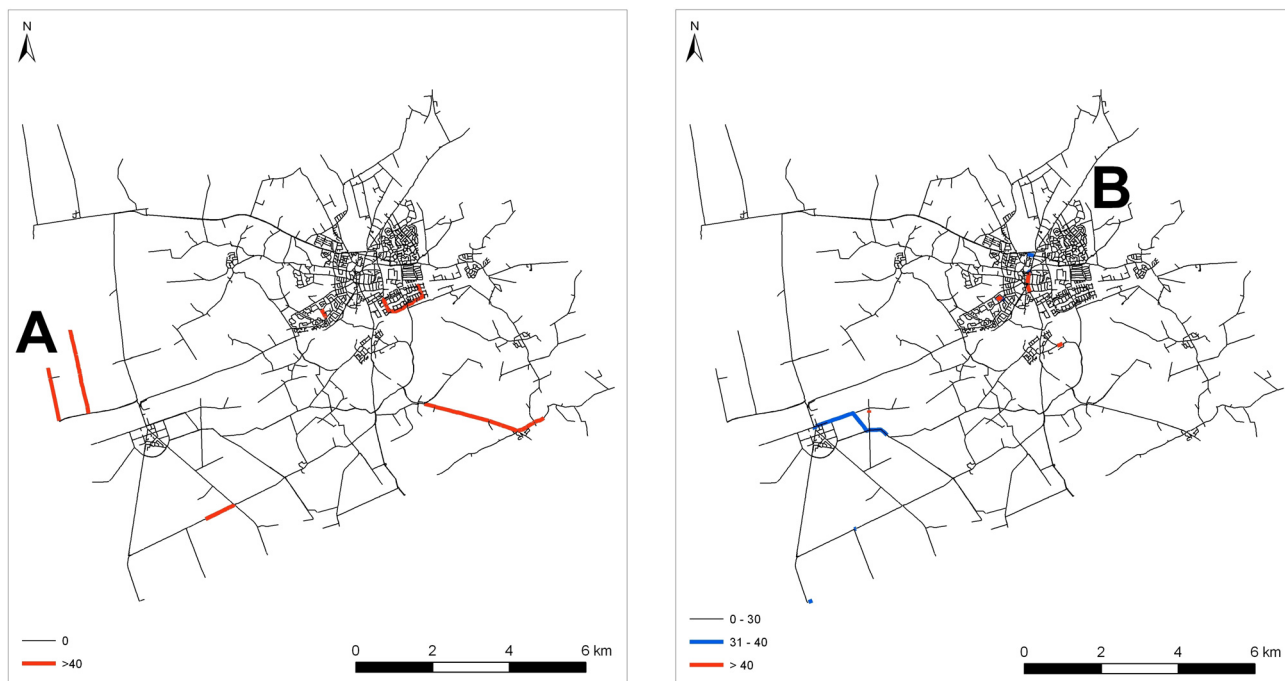
Figuur 9. Totaalscore voor het leidingnet op basis van de WML-Saneringscriteria. Twee uitgewerkte mogelijkheden: zonder mogelijkheden tot samenwerking en met mogelijkheid tot samenwerking.

2.5 Conclusies casestudie

2.5.1 Resultaat: Identificatie van te saneren leiding

In deze casestudie is aangegeven op welke wijze GIS kan worden ingezet om een methodiek voor het bepalen van te saneren drinkwaterleidingen, zoals de WML-Saneringscriteria, toe te passen voor een heel leidingnet. Daarmee kunnen vele leidingen in onderlinge samenhang worden geanalyseerd en kunnen de resultaten duidelijk gepresenteerd worden. In deze paragraaf worden de resultaten van deze casestudie nader besproken.

In Figuur 9 zijn de leidingen weergegeven die op basis van de GIS casestudie voor sanering worden voorgesteld. Om de kwaliteit van dit resultaat te beoordelen heeft een vergelijking plaatsgevonden met verwachtingen van werknemers met goede kennis van het leidingnet in het pilotgebied. Om beïnvloeding te voorkomen is aan werkvoorbereiders van de WML gevraagd die leidingen op een kaart aan te geven die zij als eerste zouden gaan vervangen. Beide kaarten zijn naast elkaar gelegd in Figuur 10. Wat opvalt is dat er nauwelijks overeenkomsten zijn tussen beide kaarten. Om te achterhalen wat de mogelijke achtergrond is van deze verschillen, wordt ingezoomd op twee locaties in het leidingnet, in Figuur 10 aangegeven met A en B.



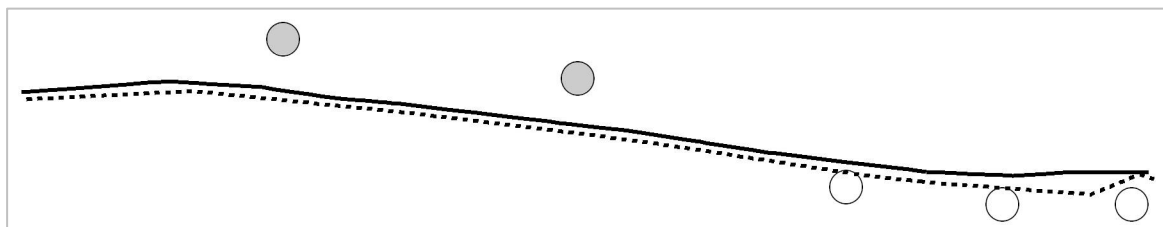
Figuur 10. De verwachtingen van de werkvoorbereiders (links) en het totaal aantal punten uitgerekend met de GIS casestudie (rechts) uitgaande van geen mogelijkheid tot samenwerking.

In locatie A (Figuur 10, links) zijn twee leidingsegmenten aangeduid die volgens de werkvoorbereiders voor sanering in aanmerking komen. De reden hiervoor is dat de laatste jaren er een groot aantal lekken zijn geweest. Van de 241 lekken, die in de afgelopen 10 jaar in het proefgebied zijn geweest, zijn er echter maar 131 lekken gegeocodeerd en aan een leiding gekoppeld. De overige 110 lekken zijn niet meegenomen in de puntenbepaling. In het GIS blijkt dat de leidingsegmenten bij A geen punten hebben ontvangen voor het criterium lekken.

Via Google Earth is gekeken wat de straatnamen zijn bij locatie A. In het bestand met opgeschoonde storingsgegevens zijn echter geen storingsgegevens te vinden op die straatnaam. In de originele database met storingsgegevens zitten wel een aantal storingsgegevens met die straatnaam, maar dit betreft storingsgegevens op een aansluitleiding en niet op een hoofdleiding.

Uit deze analyse voor locatie A blijkt dat het niet duidelijk is of de storingsgegevens waarvan de werkvoorbereiders kennis hebben, daadwerkelijk in het storingsstelsel zijn terug te vinden.

In locatie B gaat het om de leidingsegmenten met meer dan 40 punten in het centrum van Venray. Deze komen volgens de GIS casestudie in aanmerking voor sanering, maar volgens de werkvoorbereiders niet. Bij nadere analyse blijkt het wederom een gevolg van de lekkenregistratie. Het betreft hier twee leidingen die dicht bij elkaar liggen (zie *Figuur 11*), waarvan er één is vervallen (gestippelde lijn). De nieuwe leiding is in 2005 aangelegd ter vervanging van de vervallen leiding, echter de vervallen leiding was niet verwijderd uit het leidingbestand. De lekken zijn in *Figuur 11* weergegeven als cirkels. De lekkages zijn gekoppeld aan het nabijgelegen adres. Bij het koppelen van de lekkages aan een leidingsegment zijn oude lekkages ten onrechte meegenomen.



Figuur 11. Boveenaanzicht van een vervallen (gestippeld) en een nieuwe leiding en de nabij gelegen lekkages (cirkels). De grijze cirkels stellen lekkages voor die plaatsvonden voor de sanering, deze zijn onterecht gekoppeld aan de nieuwe leiding. De witte cirkels stellen lekkages voor die zijn gekoppeld aan een leiding die is vervallen en dus niet meer relevant voor de analyse.

Zowel bij locatie A als B blijkt dat de kwaliteit van de storingsregistratie een goede analyse in de weg staat. Dit criterium lekken weegt zwaar mee vanwege het hoge aantal punten dat er mee behaald kan worden (maximaal 35 punten van de 100). Voor een goede analyse is van een storing de exacte positie bekend als XY-coördinaat. Daarnaast is het van belang dat de storing aan een ID van een leiding is gekoppeld, zodat bij aanpassingen van het leidingnet de storing aan de juiste leiding wordt toegekend.

Op basis van de nadere analyse van de rekenresultaten wordt geconcludeerd dat er een aantal verbeteringen wenselijk zijn voordat de resultaten van de hier gepresenteerde analyse op brede schaal bruikbaar zijn. Deze verbeteringen hebben met name betrekking op de beschikbaarheid en de kwaliteit van de data.

De GIS-case heeft betrekking op het vertalen van een beoordelingsinstrument voor individuele leidingen naar de toepassing voor een heel leidingnet. Het blijkt dat van de 9 criteria die zijn opgenomen in de WML-Saneringscriteria er 6 niet kunnen worden toegepast voor een heel leidingnet. Deze criteria vertegenwoordigen 66 van de 100 mogelijk toewijsbare punten. Van de criteria 'Drukklachten / aangroei' en 'Materiaalsoort / kwaliteit leiding' kan alleen een waardering worden gegeven voor een individuele leiding, na specifiek onderzoek bij een leidingbreuk. Het criterium 'Samenwerking met derden' is alleen te waarderen voor individuele leidingen waarbij de mogelijkheid van samenwerking kan worden gebaseerd op plannen van derden.

2.5.2 Conclusies processen

Bij het toepassen van de WML-Saneringscriteria voor het leidingnet van Breeheij is data gebruikt van meerdere informatiesystemen van WML en van externe databases. Het was niet mogelijk om alle criteria direct met (geografische) data uit te werken. In een aantal gevallen zijn vereenvoudigde kennisregels opgesteld om deze criteria alsnog in te vullen, bijvoorbeeld bij het criterium Hinder. In andere gevallen was het nodig om bewerkelijke rekenstappen uit te voeren, bijvoorbeeld bij het criterium Lekkages. Een belangrijke verbetering van de efficiency van GIS-analyses is mogelijk als data voorzien wordt van XY-coördinaten. De meeste waterbedrijven zijn bezig met bijvoorbeeld storingsdata te koppelen aan XY-coördinaten.

Door te werken met modulaire opbouw in de Modelbuilder worden rekenstappen automatisch doorlopen. Dit houdt in dat deze rekenstappen voor meerdere analyses bruikbaar zijn.

2.6 Aanbevelingen casestudie

Door het gebruik van GIS is het mogelijk om voor een leidingnet kritische leidingen te identificeren. De WML-Saneringscriteria die in deze case als basis zijn genomen zijn specifiek ontwikkeld voor de

toepassing van individuele leidingen, waarvan bij reparatie gerichte informatie kan worden verkregen. Om de WML-Saneringscriteria beter te kunnen toepassen voor een heel leidingnet, worden onderstaande aanbevelingen gedaan.

1. Aanpassen WML-Saneringscriteria:

Voor een toepassing van de methodiek van de WML-Saneringscriteria voor een heel leidingnet, is het aan te bevelen die criteria die alleen van toepassing zijn op individuele leidingen te vervangen door criteria met een meer generiek karakter. De criteria 'Druklachten/aangroei', 'Materiaalsoort/kwaliteit leiding' en 'Samenwerking met derden' zijn niet geschikt voor een generieke toepassing voor een heel leidingnet.

Daarnaast valt op dat bij de huidige criteria slechts beperkte aandacht wordt gegeven aan de effecten van een lekkage voor de directe omgeving ('externe effecten') en de waterkwaliteit.

Voor een toepassing van de saneringscriteria voor een leidingnet zouden bijvoorbeeld de volgende criteria kunnen worden toegevoegd:

- mogelijke kosten bij een lekkage, in combinatie met externe effecten;
- waterkwaliteitsproblemen, te kwantificeren door bijvoorbeeld waterkwaliteitsmonsters, klachten, stroomsnelheid of verblijftijd;
- informatie van experts over onderhoud en reparatie van het leidingnet.

2. Verbeteren van leidingdata:

Bij uitvoering van de casestudie bleek dat de kwaliteit van de analyse voor een groot deel afhankelijk is van de kwaliteit van de data. Als data ontbreken, worden veelal aannames gemaakt. Ook leiden ontbrekende of kwalitatief slechte data tot onjuiste resultaten. In het kader van deze casestudie zijn onderstaande verbeteringen met betrekking tot de leidingdata gewenst:

- registratie van storingen op basis van XY-coördinaten;
- bepalen van afsluitersecties in het LIS, waardoor methodiek kan worden uitgevoerd op basis van afsluitersecties, wat het meest overeenkomt met gevolgen voor klanten;
- toevoegen van ontbrekende data, zoals het jaar van aanleg, deze kan bijvoorbeeld worden afgeleid van het jaar van aanleg van bebouwing;
- bepalen van het aantal wooneenheden per segment/afsluitersectie.

3. Inzet van externe data:

Voor het bepalen van een aantal criteria is van externe data nodig. Door externe data verder beschikbaar te maken kan de analyse worden verbeterd. Hierbij valt te denken aan informatie over onder andere bijzondere woon- en utiliteitsobjecten, fietspaden, ondergrondse infra van andere nutsbedrijven, locaties met duurzame bestrating en kelders. Tevens blijkt dat veel externe informatie is gebaseerd op vectordata. Omdat in GIS-analyses de grootte van objecten een rol speelt, is het aan te bevelen zo veel mogelijk polygoondata te hanteren.

3 Case 2, Bodemtemperatuur bij Brabant Water

3.1 Doelstelling

3.1.1 Hoge temperaturen in het leidingnet

Volgens het Waterleidingbesluit mag de temperatuur van water in het leidingnet niet hoger zijn dan 25°C. Hoewel bij reguliere inspectie vrijwel nooit een overschrijding van deze grens wordt gevonden, is op basis van onderzoek van de toenmalige Tilburgsche Waterleiding Maatschappij (nu Brabant Water) in 2005 geconstateerd, dat op sommige plaatsen in het leidingnet van Tilburg de temperatuur inderdaad de 25°C bereikte (Smulders, 2006). Bij hogere temperaturen worden biologische processen die kunnen leiden tot vervuiling bevorderd. Door de temperatuurstijging kunnen verschillende typen micro-organismen (algen, bacteriën, protozoa, schimmels) tot groei komen in het drinkwater of in de biofilm aan de binnenkant van de leiding (bacteriën, protozoa, schimmels). *Legionella* is hiervan het bekendste voorbeeld.

De klimaatverandering en de hoge mate van asfaltering in stedelijk gebied kunnen leiden tot een stijging van de temperatuur van het leidingwater (KNMI, 2006; Waterspiegel, 2006). Wanneer de temperatuur van het leidingwater in het distributienet voorspeld kan worden, kunnen plekken waar een hoge temperatuur verwacht wordt, de zogenaamde hotspots, gelokaliseerd worden. Dit levert een bijdrage bij het analyseren van het risico voor hoge temperaturen in het leidingwater en bij het ontwikkelen van maatregelen.

Om de temperatuur van het leidingwater te kunnen voorspellen is het essentieel om de factoren, die een rol spelen bij de opwarming van het leidingwater in kaart te brengen. Uit de uiteenzetting van deze factoren (bijlage I.2) en op basis van gelijktijdige metingen van de bodemtemperatuur en de temperatuur van het leidingwater (bijlage I.3), blijkt dat de temperatuur van het drinkwater in het leidingnet in grote mate wordt bepaald door de temperatuur van de omringende bodem. Wanneer de bodemtemperatuur bekend is, kan dus het risico voor hoge temperaturen in het leidingnet bepaald worden. Om deze reden is door de Vrije Universiteit van Amsterdam in samenwerking met KWR en Brabant Water een model getest dat de temperatuur van de bodem voorspelt als functie van de bedekking (bestrating, gras, plantsoen), de bodemsoort en de diepte in de bodem, en de weersgesteldheid (Van der Molen e.a., 2008). Hiermee kan op elke willekeurige plek en dag een voorspelling worden gedaan van de temperatuur in de bodem.

3.1.2 Doel van de case

Door het bodemtemperatuurmodel te verbinden aan geografische gegevens uit GIS, kan op verschillende plaatsen de temperatuur van de bodem berekend worden, afhankelijk van de bodemsoort, de afdekking en de diepte en de verwachte weersgesteldheid. Op deze manier kan een temperatuursverdeling voor een groot gebied worden berekend en ook worden weergegeven. De risicovolle plekken, waarbij hoge temperaturen in de bodem kunnen worden verwacht kunnen zo als hotspots in kaart worden gebracht. Door het aantal aansluitingen en gebruikers op deze hotspots te identificeren (met GIS) kan op deze wijze GIS bijdragen aan risicostudies voor het leidingnet.

In deze casestudie Bodemtemperatuur wordt de toepassing van GIS geïllustreerd door deze te koppelen aan het ontwikkelde bodemtemperatuurmodel. De procesmatige kant van deze koppeling, zoals de manier waarop dit gebeurt, de benodigde gegevens, de gemaakte aannames, wordt beschreven. Het doel van deze koppeling is om een verdeling van de te verwachten watertemperatuur in de leidingen te verkrijgen in een gekozen gebied. Deze temperatuurverdeling kan gebruikt worden in een risico-analyse, door:

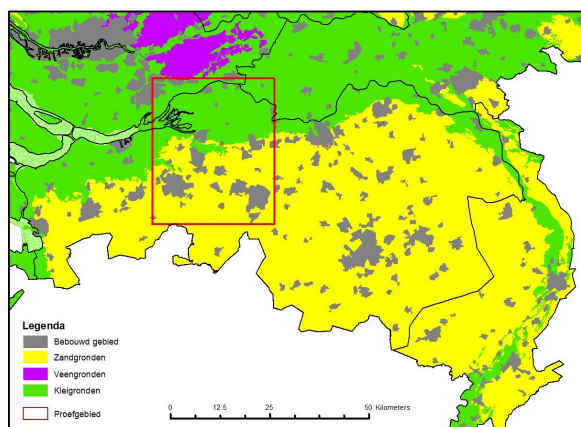
- het identificeren van hotspots
- het analyseren van het aantal aansluitingen en het type gebruikers bij de hotspots.

Uiteindelijk geeft deze case uitsluitsel of de toepassing van GIS daadwerkelijk een bijdrage levert aan risicostudies van het leidingnet.

3.1.3 Keuze proefgebied

Bij de opwarming van de bodem spelen de bodemsoort en de afdekking van de bodem een rol. Zand warmt sneller op dan klei, vochtige klei warmt sneller op dan droge klei. Grond onder bestrating warmt sneller op, dan grond onder gras of een plantsoen. De opwarming van de bodem met gras of plantsoen is veel minder snel door verdamping door de begroeiing. Om voldoende onderscheid in temperaturen te krijgen moeten in het proefgebied verschillende bodemsoorten voorkomen met verschillende afdekkingen. Er moet dus zowel landelijk als stedelijk gebied aanwezig zijn. Voor mogelijke toekomstige toepassingen, zoals validatie van de voorspelde temperatuur met metingen en de koppeling met een leidingnetmodel, is het gewenst dat in het proefgebied meetgebieden van de watertemperatuur aanwezig zijn en 1-op-1 modellen van het leidingnet.

Omdat Brabant Water bij de ontwikkeling van het bodemtemperatuurmodel was betrokken met metingen, is voor een proefgebied in Brabant gekozen. Brabant Water heeft verschillende 1-op-1 modellen van de steden Waalwijk, Tilburg, een deel van 's Hertogenbosch, Bergen op Zoom. Met behulp van de bodemkaart van Brabant (Figuur 12) is een gebied geselecteerd met verschillende bodemsoorten en met landelijk en stedelijk gebied, met de steden Breda, Tilburg en Waalwijk, waarvan 1-op-1 modellen beschikbaar zijn.



Figuur 12. Grondsoorten in Brabant(RIVM) en ligging proefgebied

3.2 Beschrijving analysemethode

Voor de voorspelling van de bodemtemperatuur op een willekeurige locatie, dag en diepte is een bodemtemperatuurmodel nodig. Dit model wordt kort uiteengezet. Vervolgens wordt dit model gekoppeld aan GIS. De procedure die hiervoor gevolgd is, wordt beschreven. Tenslotte worden de data, die nodig zijn voor de uiteindelijke berekening van de temperatuur op een locatie weergegeven. Dit betreffen data voor het temperatuurmodel als ook geografische gegevens.

3.2.1 Het bodemtemperatuurmodel

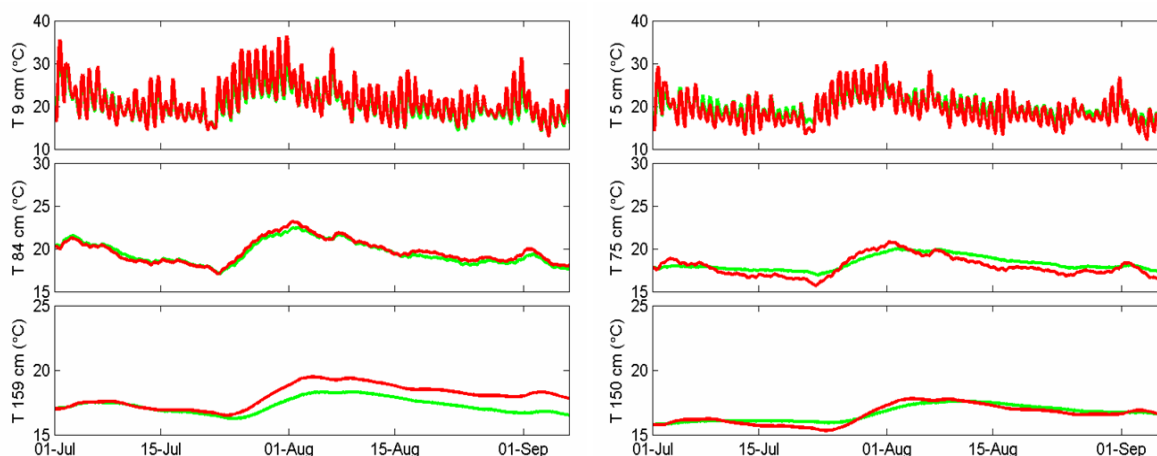
Het bodemtemperatuurmodel is opgesteld door de Vrije Universiteit van Amsterdam en KWR. De theorie, de validatie en gevoeligheid van het model zijn uitvoerig in Van der Molen e.a. (2008). Het model beschrijft de opwarming van de bodem op verschillende dieptes onder invloed van het weer: via de straling die het oppervlak bereikt, via de luchttemperatuur en via de windsnelheid. Het oppervlak dat de bodem bedekt speelt op twee manieren een rol bij de opwarming van de bodem, namelijk door het albedo van het oppervlak en door de verdamping door de begroeiing van het oppervlak. Het albedo van het oppervlak is de reflectiecoëfficiënt van het oppervlak voor zonlicht. Als het albedo laag is absorbeert het oppervlak meer zonlicht en wordt het warmer. Het albedo van bestrating varieert tussen

0.10 voor asfalt en 0.16 voor rode straatstenen. Het albedo voor begroeiing is gemiddeld 0.19. Dit houdt in dat een bestraat oppervlak tot 10 procent meer zonlicht absorbeert dan begroeid oppervlak. Uit de gevoeligheidsanalyse van het model bleek dat het verschil in albedo tussen asfalt en rode straatstenen een zeer kleine invloed heeft op de voorspelde temperatuur in de bodem. Asfalt zorgt voor een iets hogere temperatuur (op 1 meter diepte bij een gesimuleerde hittegolf slechts 0.35°C). Door de geringe invloed van het albedo bij de opwarming van de bodem onder bestrating is in dit project geen onderscheid gemaakt tussen het type bestrating (asfalt, rode of grijze straatstenen).

Ook zorgt begroeiing van het oppervlak voor een minder snelle opwarming van de bodem. Naast een kleinere absorptie van de warmte door begroeiing door een lagere albedo, wordt een deel van de hoeveelheid beschikbare energie besteed aan de verdamping van water door de planten. De bodem onder bestrating zal als gevolg van deze beide factoren dus sneller opwarmen dan de bodem onder begroeiing.

Bij de opwarming van de diepere bodem spelen de thermische eigenschappen van de bodemsoort een belangrijke rol. De combinatie van de warmtegeleidingscoëfficiënt en de warmtecapaciteit van de bodem bepalen hoe snel de bodem opwarmt. Een zandbodem warmt sneller op dan een kleibodem. Het vochtgehalte van de bodem speelt een rol, vooral bij klei.

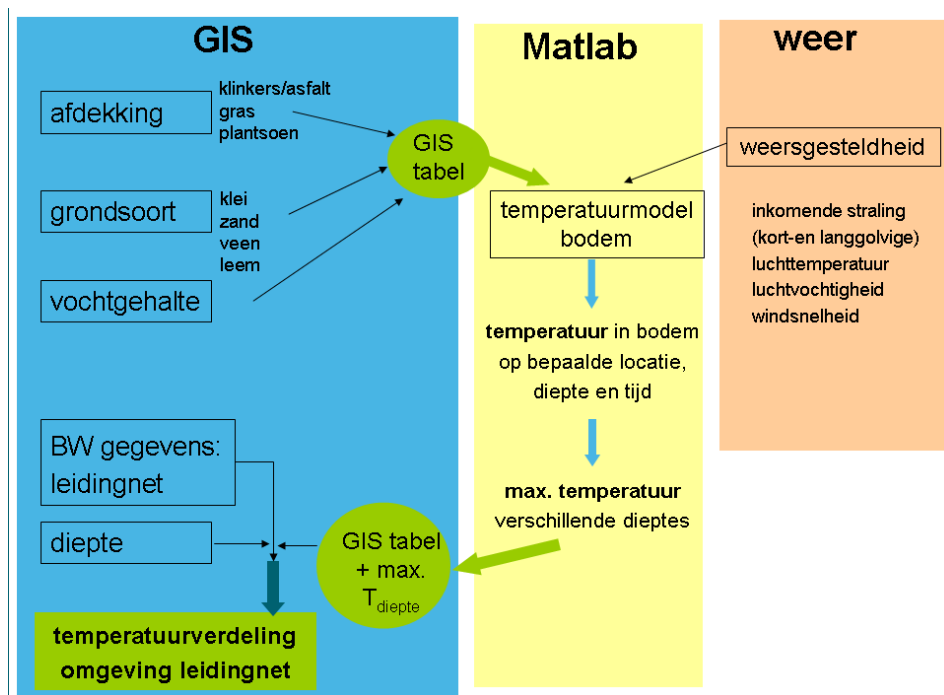
Het bodemtemperatuurmodel is uitstekend in staat op de temperatuur van de bodem op verschillende dieptes te voorspellen. Zowel de hoogte van de bodemtemperatuur als de variatie in de temperatuur worden goed beschreven. In Figuur 13 is een voorbeeld weergegeven waarin de gesimuleerde temperatuur wordt vergeleken met de gemeten temperatuur op verschillende dieptes. Op 150 cm is de gemodelleerde temperatuur maximaal één graad hoger dan de gemeten temperatuur.



Figuur 13. Vergelijking van de gesimuleerde temperatuur met de gemeten temperatuur op 9, 84 en 159 cm onder bestrating (a) en op 5, 75 en 150 cm onder gras (b) (van der Molen e.a., 2008).

3.2.2 De koppeling van het bodemtemperatuurmodel met GIS

Het bodemtemperatuurmodel, geprogrammeerd in Matlab, berekent met gegevens over het weer, het oppervlaktetype en de bodemsoort de bodemtemperatuur op elke diepte op een willekeurige locatie en dag. Door dit model te koppelen aan GIS, dat gegevens levert over de bodemsoort en oppervlaktetype, kan in een gebied op elke locatie de bodemtemperatuur berekend worden, onder invloed van het weer. Door deze verdeling van de bodemtemperatuur te verbinden aan GIS-leidingnet gegevens, kan een voorspelling gedaan worden over de temperatuur van de bodem in de omgeving van het leidingnet, dat een indicatie is van de watertemperatuur in de leidingen. In Figuur 14 is de procedure hiervoor schematisch weergegeven.



Figuur 14. Schematische weergave van de procedure om GIS en bodemtemperatuurmodel te koppelen voor de voorspelling van de bodemtemperatuur in de omgeving van het leidingnet.

De procedure bestaat uit de volgende stappen:

stap 1

Voor het proefgebied zijn binnen GIS de geografische gegevens van de bodemsoort, de afdekking en het vochtgehalte gecombineerd. De mogelijke combinaties worden in een tabel als Excel-bestand uitgevoerd. Dit levert 33 relevante combinaties op als invoer voor het temperatuurmodel. In bijlage II is een voorbeeld van een GIS-data-tabel weergegeven. Omdat in het huidige model geen gegevens bekend zijn van de thermische eigenschappen van de bodem bij verschillende vochtgehaltes wordt deze bij de berekening buiten beschouwing gelaten. Tevens is in het huidige model geen onderscheid gemaakt tussen type begroeiing van het oppervlak (gras of plantsoen). Daarnaast zijn alleen de thermische gegevens van zand, klei en veen bekend. Alle bodemtypes worden daarom gecategoriseerd binnen deze klassen, wat een extra vergroving van de data geeft, resulterend in 6 combinaties (Tabel 16).

Tabel 16. Combinaties van afdekking en bodemsoort in de GIS-data-tabel

afdekking	bodemsoort
gras/beplant	zand
gras/beplant	veen
gras/beplant	klei
verhard	zand
verhard	veen
verhard	klei

stap 2

Binnen Matlab wordt voor elke combinatie in de GIS-data-tabel het bodemtemperatuurmodel op verschillende dieptes doorgerekend, bij de weergegevens gedurende een willekeurig aantal dagen. Op de gewenste dag selecteert Matlab het moment dat de maximale temperatuur op 50 cm wordt bereikt. De temperaturen die op dit moment op vijf dieptes heersen, worden vervolgens door Matlab geselecteerd: 150, 120, 100, 80 en 50 cm. De GIS-data-tabel wordt uitgebreid met vijf extra kolommen, die voor elke

combinatie van bodemsoort en oppervlaktetype (en in toekomst vochtgehalte), de maximale temperatuur op de vijf dieptes weergeven.

stap 3

De GIS-data-tabel, uitgebreid met de bodemtemperaturen op verschillende diepten, wordt geïmporteerd in GIS. Binnen GIS worden de temperaturen behorend bij een combinatie van bodemsoort, afdekking en vochtgehalte verbonden met de bijbehorende locaties/coördinaten. Op deze manier ontstaat een verdeling van de temperatuur binnen een gebied op vijf verschillende dieptes: 150, 120, 100, 80 en 50 cm. Deze verdeling wordt vervolgens gekoppeld aan de leidingnetgegevens. Met de aanname dat transportleidingen een gronddekking hebben van 120 cm, distributieleidingen van 100 cm en aansluitleidingen van 80 cm, wordt een verdeling verkregen van de bodemtemperatuur rond de leidingen in een gebied. Gezien het feit dat de watertemperatuur de temperatuur van de bodem volgt en nadert (paragraaf 0), is deze verdeling een goede benadering van de te verwachten temperatuur van het water in het leidingnet. Per temperatuurzone wordt vervolgens binnen GIS berekend hoeveel aansluitingen in de zone liggen en de lengte van het distributienet binnen de zone. Deze analyse kan vervolgens gebruikt worden in een risicoanalyse.

3.2.3 Benodigde data

De berekening van de bodemtemperatuur op verschillende locaties, tijdstippen en dieptes berust op de beschikbaarheid van een groot aantal gegevens. Deze gegevens betreffen geografische data, data voor het temperatuurmodel en weergegevens. In

Tabel 17 zijn deze data weergegeven. De keuze van kolommen komt overeen met de schematische weergave van Figuur 14.

Tabel 17. Benodigde data voor de berekening van de bodemtemperatuur op verschillende dieptes in een gebied

GIS	Bodemtemperatuurmodel in Matlab ^a	Weer
ruimtelijke gegevens van:		temperatuur lucht relatieve vochtigheid lucht inkomende (kortgolfige) straling windsnelheid
afdekking (bestrating, gras, plantsoen)	albedo van de afdekking	
bodemsoort	warmtegeleidingscoëfficiënt van de bodemsoort (als functie van vochtgehalte)	
vochtgehalte	warmtecapaciteit van de bodemsoort (als functie van vochtgehalte)	
	begintemperatuur van de bodem op verschillende dieptes ^b	
leidingnet met transport-, distributie- en aansluitleidingen ^c		

ad ^a: het temperatuurmodel in Matlab bevat een zeer groot aantal parameters. In deze tabel zijn alleen de parameters weergegeven die relevant zijn voor deze case.

ad ^b: de (aangenomen) begintemperatuur is nodig voor de initialisatie van het bodemtemperatuurmodel.

ad ^c: in het leidingnet zijn transport, distributie- en aansluitleidingen aangegeven om een diepteligging (z-coördinaat) van het leidingnet te verkrijgen, met de aanname dat een transportleiding een gronddekking heeft van 120 cm, een distributieleiding van 100 cm en een aansluitleiding van 80 cm. Het type leiding dient dus als surrogaat van de z-coördinaat.

3.3 Beschrijving gebruikte data

3.3.1 GIS data

Bodemsoort

De digitale bodemkaart van Nederland (Alterra), schaal 1:50.000 vormt een nagenoeg landsdekkende bron van informatie. Gegevens over de bodemopbouw in stedelijk gebied ontbreken hierop echter. Bij de karteringen die in de afgelopen decennia (in Noord Brabant tot 1990) zijn uitgevoerd is meestal niet in stedelijk gebied geboord; de bodem is hier vaak geroerd, zeer heterogeen en kan niet worden geclassificeerd. Ook kan in bebouwd gebied niet de benodigde dichtheid aan boringen worden gehaald om een 1:50.000 kartering mogelijk te maken.

Uiteindelijk is het uiteraard met name interessant om in stedelijk gebied meer over de bodem te weten als we het temperatuurmodel verder willen toepassen. Bij de betreffende gemeenten kan dan meer informatie worden verkregen. In de meeste gevallen is er een bodemloket met versnipperde informatie over bodemgesteldheid en (mogelijke) bodemverontreiniging in het stedelijke gebied. Een interpretatieslag is dan nog steeds noodzakelijk. In het kader van deze case is de tijdconsumerende interpretatieslag niet verder uitgezocht, omdat dit voor de doelstelling van de case niet nodig is.

Omdat voor deze case slechts een algemene bodemtypering en textuurklasse (grof/matig/fijn zand, zware/lichte klei, leem, veen) nodig is, is uitgegaan van een gegeneraliseerde bodemkaart (schaal 1:50.000) van Noord Brabant. Gezien de gegevens voor stedelijk gebied volledig ontbreken, is voor stedelijk gebied aangenomen dat de leidingen in een zandcunet liggen.

Afdekking

De bodembedekking (type begroeiing of verharding) kan worden afgeleid van GIS kaarten met informatie over landgebruik (ook wel bodemgebruik genoemd). Als databron is hier meer keuzemogelijkheid dan bij bodemsoort het geval is.

Voor het landelijke gebied geeft het LGN3plus, LGN4 of LGN5 (Alterra, 2004) bestand de meeste informatie in de vorm van gridcellen van 25x25 meter. In principe zijn dit gegevens die van een satellietbeeld zijn afgeleid en zijn gecombineerd met veldgegevens en topografische kaarten (Top10), ten behoeve van de classificatie van landbouwpercelen. Het zal duidelijk zijn dat de meeste infrastructuur (wegen, watergangen) met deze resolutie niet waarneembaar is.

De GBKN (Grootschalige Basis Kaart Nederland) is een mogelijke databron. Binnen stedelijk gebied is op een schaal van 1:1000 gekarteerd, in het buitengebied 1:5000. Doel van de GBKN is echter vooral te dienen als topografische referentie voor allerlei toepassingen. De waterbedrijven gebruiken de GBKN dan ook als referentie in hun LIS. Het is echter een lijnenbestand en geen vlakkenbestand; er is geen informatie aan vlakken toegevoegd in de database. Een aantal grote gemeenten beheren hun eigen GBKN versies en deze kiezen soms voor het toevoegen van informatie aan de vlakken, zodat er meer toepassingsmogelijkheden zijn.

Het Top10NL bestand (Kadaster TDN) heeft wel vlakinformatie en is op dit moment het meest geschikt als basis voor een classificatie van verhard/onverhard oppervlak, ook het type begroeiing is globaal aangegeven (bos, grasland, akkerland). Er zijn echter aanzienlijke kosten verbonden aan het gebruik van deze gegevens (ca. 42.000 euro per jaar voor het landsdekkende bestand).

Voor deze case studie is uiteindelijk gebruik gemaakt van het BBG2000 (Bestand Bodemgebruik 2000 door CBS, 2003) welke voor de provincie Noord-Brabant beschikbaar was bij KWR (zie bijlage III). Dit bestand is op de Topografische kaart met schaal 1:10.000 gebaseerd en geeft de situatie van het jaar 2000 weer. Ook binnen stedelijk gebied is er een goed onderscheid in bebouwing, wegen en (openbaar) groen (parken, plantsoenen, sportvelden, etc.). Dit bestand wordt niet meer geactualiseerd door het CBS omdat het Kadaster met de Top10NL deze informatie nu kan leveren.

Leidingen

De gegevens over de leidingen binnen het gekozen proefgebied zijn door Brabant Water geleverd in een FileGeodatabase (ArcGIS). Er is onderscheid gemaakt in:

- Het transport en distributienet (122.000 segmenten);
- De huisaansluitingen (227.000 segmenten).

Naast de geografische ligging van de leidingen zijn ook enkele aanvullende gegevens in de gekoppelde databestanden meegeleverd zoals materiaal, diameter en jaar van aanleg.

Bewerking van GIS data

De invoer voor het bodemtemperatuurmodel is een tabel met relevante combinaties van bodem en afdekking. Om deze invoer uit het GIS te maken is een aantal stappen doorlopen:

- 1 Groepering van de bodemkaart in 12 typen met bijbehorende vochtklassen (reeds beschikbaar).
- 2 Groepering van het bodemgebruik (38 klassen) naar 3 klassen met afdekking (water, verhard, gras en beplant).
- 3 Combineren van beide GIS kaarten (stap 1 en 2) door middel van een "Union". Het resultaat is een kaart met polygonen (vlakken) die is ontstaan uit een versnijding van 1 en 2. Hierbij worden de eigenschappen in de bijbehorende attribuuttabellen ook gecombineerd en toegevoegd aan de nieuw gevormde vlakken.
- 4 Groeperen van de polygonenkaart (stap 3) op basis van de unieke combinaties in bodemtype en afdekking. Omdat een aantal combinaties met het type 'water' afvallen zijn dit 33 relevante combinaties. Zie bijlage II, voor het resultaat. In de polygonenkaart (stap 3) wordt voor elke unieke combinatie een code (1 t/m 33) toegevoegd zodat een latere koppeling met de resultaten van het temperatuurmodel eenvoudig te maken is.

Bij de bewerking van GIS data kan de kwaliteit achteruitgaan. Vooral bij het combineren van kaarten kunnen kleine onnauwkeurigheden in de bronbestanden leiden tot grotere afwijkingen in het resultaat. Hoewel met het GIS tot de kleinste details kan worden ingezoomd (zeker met vector data) dient men zich te realiseren dat de bronbestanden met een bepaald doel en daarmee schaalniveau zijn geproduceerd. Met het schaalniveau varieert ook de onzekerheidsmarge van waar de begrenzing tussen 2 vlakken zich daadwerkelijk bevindt (bij een schaal 1:50.000 is die marge ongeveer 10 meter). Indien 2 van dergelijke kaarten worden gecombineerd kan er, zeker bij een scherpe snijhoek, een grotere onnauwkeurigheid (100 meter of meer) ontstaan. Omdat in deze case een 1:50.000 kaart met een 1:10.000 kaart wordt gecombineerd is deze onnauwkeurigheid minder (maximaal ongeveer 20 meter).

Na berekening van de bodemtemperatuur op verschillende dieptes en de koppeling hiervan aan het leidingnet (stap 3 in paragraaf 3.2.2) is een extra bewerking van de geografische data nodig. Vóór deze koppeling is het nodig een filtering op de temperatuur uit te voeren. Zoals in Figuur 17 zichtbaar is, lijken volgens de GIS-data veel distributieleidingen in het buitengebied onder de wegverhardingen te liggen, zodat ze een hogere temperatuur krijgen. In de praktijk is echter bekend dat, zeker in het buitengebied, de leidingen in de berm van de weg liggen. De oorzaak voor dit verschil ligt zeer waarschijnlijk in het BBG2000 bestand; de breedte van de wegen is hier overdreven. Op topografische kaarten wordt dit vaak gedaan om cartografische redenen. Dit probleem is opgelost door het eerst verrasteren van de temperatuurkaart in een 10x10 meter raster en vervolgens toepassen van een 'majority filter' met een window van 5 bij 5 cellen waardoor deze wegen in het buitengebied als het ware worden opgelost in de grotere vlakken. Binnen stedelijk gebied, met grotere aaneengesloten verharde gebieden, heeft deze filtering een verwaarloosbaar effect (gebiedsgrenzen worden hierdoor vaak iets minder hoekig).

3.3.2 Gegevens voor bodemtemperatuurmodel

De gegevens voor het bodemtemperatuurmodel zijn afkomstig van van der Molen e.a. (2008), die het model opgesteld hebben. De albedo waarden zijn gebaseerd op, in dit onderzoek uitgevoerde metingen. Door de geringe invloed van het albedo bij de opwarming van de bodem onder bestrating is in dit project geen onderscheid gemaakt tussen het type bestrating (asfalt, rode of grijze straatstenen). De thermische eigenschappen van de verschillende bodemsoorten zijn voor zand en klei afkomstig van van der Molen e.a. (2008). Voor veen zijn de gegevens afgeleid uit Hoeven en Lablans (1992). De waarden die voor de thermische eigenschappen zijn gebruikt zijn vrij onzeker, gezien de onduidelijke grens

nat/droog in literatuurwaarden en door de grote variabiliteit in de gemeten waarden door van der Molen e.a. (2008). Bij verdere toepassing van dit model is een uitgebreid literatuuronderzoek naar of experimentele vaststelling van deze parameters noodzakelijk, omdat het model zeer gevoelig is voor λ en C_p . Als de grondwaterstanden in de toekomst meegenomen worden in de voorspelling van de bodemtemperatuur, dan is daarnaast het vaststellen van de vochtafhankelijkheid van deze parameters vereist.

3.3.3 Weergegevens

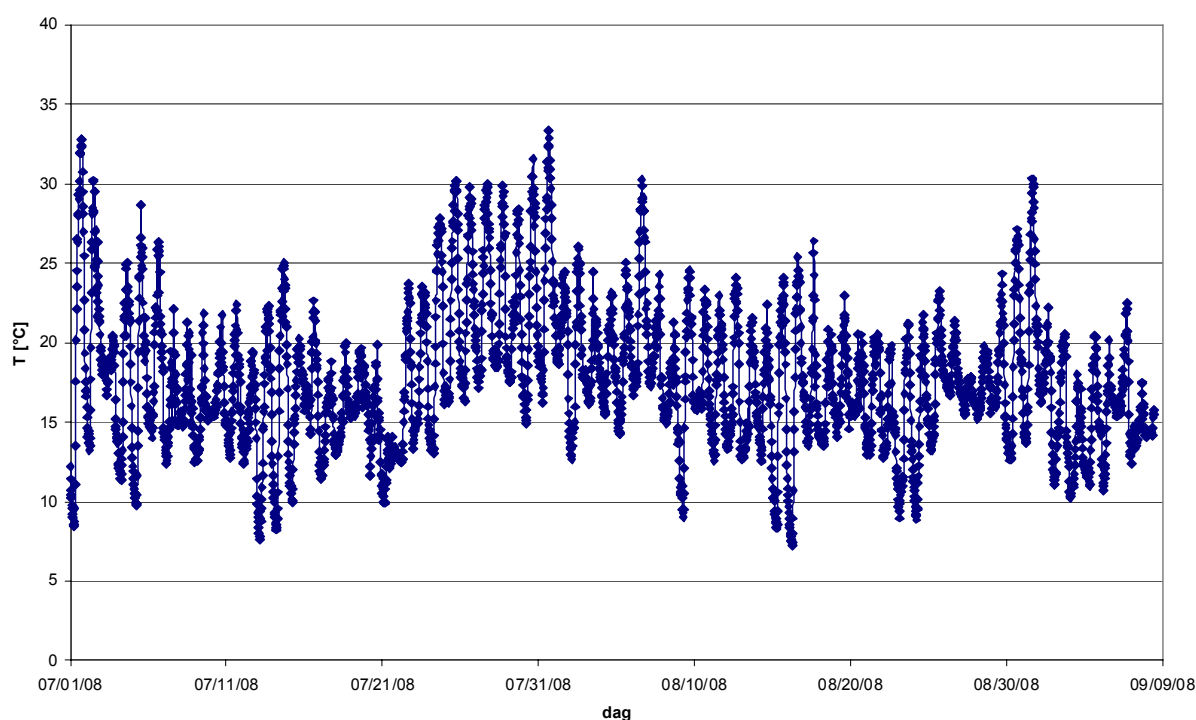
De gegevens van de weersgesteldheid die nodig zijn voor de berekening van de opwarming van de bodem, kunnen gemeten worden met weerstations, die uitgerust zijn met stralingssensoren, thermometers en een windmeter (Van der Molen e.a., 2008). Daarnaast kunnen ze opgevraagd worden bij het KNMI of meteoconsult voor verschillende meetstations. Dit kunnen zowel historische meetgegevens zijn als gegevens op basis van weersvoorspellingen.

In deze analyse is een meetfrequentie van de weergegevens aangehouden van één meting per uur.

3.4 Analyse

3.4.1 Bodemtemperatuur op verschillende dieptes

Voor elke combinatie van afdekking, grondsoort en vochtgehalte in de GIS-data-tabel (bijlage II) is het bodemtemperatuurmodel doorgerekend met weergegevens van Breda voor de periode van 1 juli tot 9 september 2008. De weergegevens zijn afkomstig van metingen van Van der Molen e.a. (2008). Bij de berekeningen is aangenomen dat dit de gemiddelde weergegevens in het hele proefgebied zijn. In Figuur 15 is de gemeten luchttemperatuur weergegeven. Uit de figuur blijkt dat 31 juli de warmste dag was. Met een “na-ijl effect” van ca. 24 uur (bijlage I) kan de maximale bodemtemperatuur dus op 1 augustus verwacht worden.



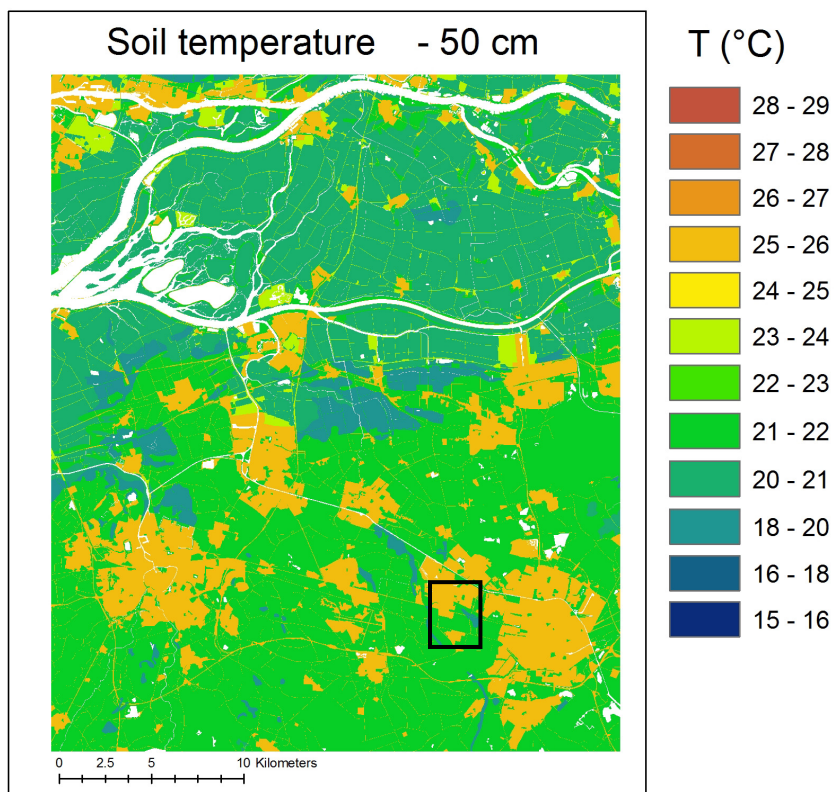
Figuur 15. De gemeten luchttemperatuur in de periode van 1 juli tot 9 september 2008 in Breda.

Voor deze case is om deze reden 1 augustus 2008 als dag gekozen, waarop de verdeling van de bodemtemperatuur in het proefgebied wordt weergegeven. Voor elke combinatie wordt het tijdstip geselecteerd waarop op 1 augustus de maximale bodemtemperatuur bereikt wordt op 50 cm diepte. De temperaturen die op dit tijdstip op 80, 100, 120 en 150 cm heersen worden ook geselecteerd en toegevoegd aan de GIS-data tabel. Deze wijken 0.2-0.6°C af van de maximale temperaturen die op een later tijdstip op deze diepte worden bereikt, door het "na-ijl effect" beschreven in bijlage I. In bijlage IV is de tabel met bodemtemperaturen op 150, 120, 100, 80 en 50 cm voor de verschillende combinaties weergegeven. Uit de bodemtemperaturen blijkt dat de hoogste temperatuur wordt bereikt in zandbodem onder bestrating, de laagste temperatuur wordt bereikt onder beplant veen, zoals volgens de theorie verwacht wordt. In zandbodems onder bestrating varieert de temperatuur tussen 18.7°C op 150 cm diepte en 25.6°C op 50 cm diepte. Voor beplant veen bedragen deze temperaturen respectievelijk 15.8°C en 19.1°C. Het temperatuurverschil tussen de bodems bedraagt dus op 50 cm 6.5 °C. Dieper in de grond wordt dit verschil kleiner en bedraagt op 150 cm nog 3°C.

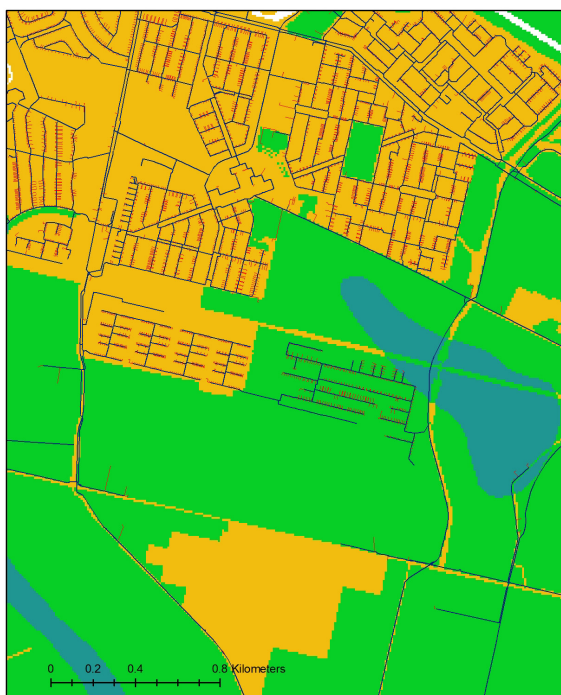
De GIS-data-tabel zoals weergegeven in bijlage IV wordt in GIS geïmporteerd om de bodemtemperatuur in het proefgebied te kunnen weergegeven.

3.4.2 Bodemtemperatuur in proefgebied

Door de tabel te koppelen aan de gecombineerde kaart (zie 3.3.1) zijn deze resultaten beschikbaar voor analyse en presentatie in het GIS. Per diepteniveau is vervolgens een temperatuurkaart gemaakt. Figuur 16 toont een voorbeeld voor het hele gebied en Figuur 17 een detailuitsnede inclusief het leidingnet.



Figuur 16. Temperatuur in de bodem op 50cm-maaiveld op 1 augustus 2008 (modeluitkomsten).



Figuur 17. Detailvoorbeeld (overgang van stedelijk naar landelijk gebied) van temperatuur in de bodem (50cm-mv) en het dieper gelegen leidingnet (zie Figuur 16 voor positie en temperatuurlegenda).

Uit Figuur 16 blijkt dat in stedelijk gebied de hoogste temperaturen worden bereikt. In buitengebieden is er minder verharding. De begroeiing van het grootste deel van de bodem in de buitengebieden zorgt ervoor dat de opwarming van de bodem langzamer gaat. In de bebouwde gebieden is een onderscheid zichtbaar tussen leidingen onder verharde oppervlakken en onder begroeide oppervlakken. De leidingen onder verharde oppervlakken bereiken hogere temperaturen (Figuur 17). Daarnaast is aangenomen dat in stedelijk gebied de leidingen in zandbodem liggen, die een snellere opwarming laten zien.

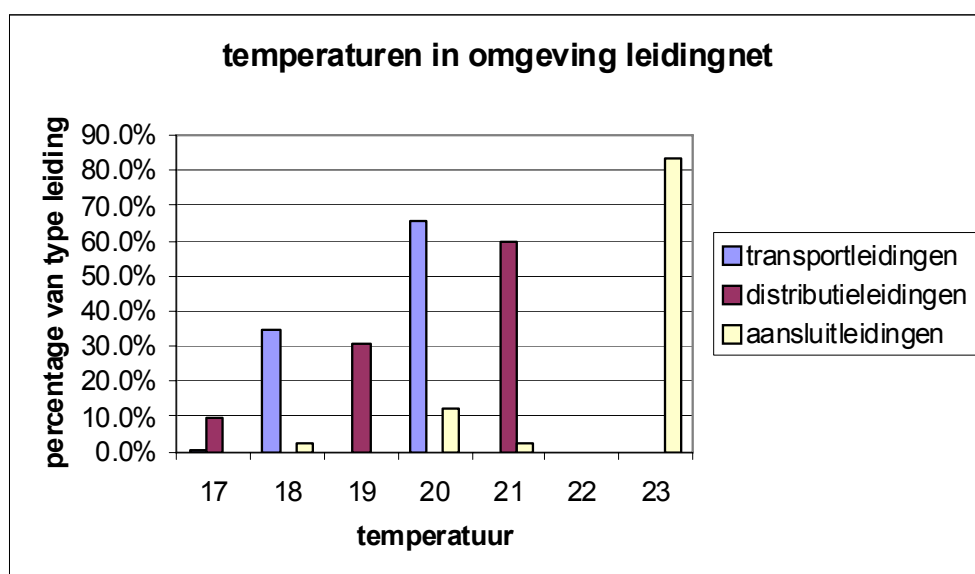
3.4.3 Temperatuur in distributienet

Door het uitvoeren van zogenaamde 'spatial joins' (het op basis van ruimtelijke positie toekennen van gegevens en statistieken) in het GIS zijn de temperatuurgegevens gekoppeld aan de leidingen en huisaansluitingen. Hierbij is uiteraard rekening gehouden met de gemiddelde gronddekking van leidingen. Aangenomen is dat de gronddekking voor transportleidingen 120 cm is, voor distributieleidingen 100 cm en voor huisaansluitingen 80 cm. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 18.

Tabel 18. Totale lengtes van leidingen en het aantal aansluitingen per temperatuurzone binnen het proefgebied

Temperatuur in bodem (°C)	120 cm - maaiveld lengte transportleidingen (m)	100 cm - maaiveld lengte distributieleidingen (m)	80 cm - maaiveld lengte huisaansluitingen (m)	80 cm - maaiveld aantal huisaansluitingen
15-17	108	1062108	0	0
18-20	91056	3469931	190114	19941
21-23	0	6736819	1145479	208654

In Figuur 18 is de verdeling over de temperatuurzones grafisch weergegeven. Van elk type leiding is het percentage van de totale lengte van dit leidingtype zichtbaar dat een bepaalde temperatuur heeft. Zo heeft ongeveer 60% van de lengte van de distributieleidingen een temperatuur van 21°C.



Figuur 18. Percentage van de totale lengte van transportleidingen, distributieleidingen en aansluitleidingen, dat zich in een bepaalde temperatuurzone bevindt.

Uit Figuur 18 en uit Tabel 18 blijkt dat bij de aansluitleidingen de hoogste temperatuur wordt bereikt. De temperatuur rond de transportleidingen ligt lager dan rond de distributieleidingen. De reden hiervoor is dat de transportleidingen dieper liggen en dat ze zich vaker onder begroeide oppervlakken bevinden, dat een extra afkoelend effect geeft. Uit Tabel 18 blijkt tevens dat 90% van de aansluitleidingen zich in de hoogste temperatuurzone bevindt. De aansluitleidingen die liggen in de lagere temperatuurzone bevinden zich onder begroeiing en/of in een kleibodem.

De bodem rond de aansluitleidingen in stedelijk gebied bereikt dus de hoogste temperatuur. De sterkste opwarming treedt in aansluitleidingen op om de volgende redenen:

- a) aansluitleidingen liggen minder diep
Op minder diepe locaties worden hogere temperaturen gemeten. Op één moment kan de temperatuur in de bodem variëren tussen de 18°C op 150 cm en bijna 30°C op 10 cm diepte (Van der Molen e.a., 2008). Omdat de aansluitleidingen minder diep liggen, hebben zij een grotere kans op het bereiken van hogere temperaturen.
- b) aansluitleidingen liggen in stedelijk gebied: onder bestrating en met zand als bodemsoort.
Uit metingen en het model blijkt dat de bodem het snelst opwarmt in zand en onder bestrating. Dit is bijna altijd het geval voor aansluitleidingen, zeker in nieuw aangelegde wijken. Daarnaast kunnen effecten, die (nog) niet in het GIS-bodemtemperatuurmodel zijn opgenomen, leiden tot extra temperatuurverhoging van leidingwater in stedelijk gebied. De oppervlakte en lucht temperaturen zijn in de stad namelijk hoger dan in landelijker gelegen gebieden ('urban heat island effect'), waardoor de bodem in de stad sneller op zal warmen. Tevens blijkt uit metingen van Van der Molen e.a. (2008) dat de temperatuur dicht bij de gevel van huizen sterk kan oplopen, tot een temperatuurverschil van ca. 7°C op 1 meter van de gevel. Deze hogere temperatuur wordt toegeschreven aan de afname van de windsnelheid dicht bij de gevel. De aansluitleidingen, die zich dichtbij het huis bevinden, kunnen hierdoor hogere temperaturen bereiken.

Uit de analyse in bijlage I.4 blijkt dat de uiteindelijke temperatuur van het water in de aansluitleidingen afhankelijk is van het verbruik en van het leidingmateriaal. Het water in de aansluitleiding heeft daardoor minimaal de temperatuur van het water in de distributieleiding, dat slechts bij voldoende verblijftijd zal opwarmen tot de temperatuur van de bodem die de aansluitleidingen omringt. De consequentie hiervan is dat in de aansluitleidingen de hoogste watertemperatuur wordt behaald. De aansluitleidingen vormen dus de hotspots. Echter niet de temperatuur van de bodem rond de aansluitleidingen is een indicatie van de bereikte watertemperatuur, maar de bodemtemperatuur rond de distributieleidingen. De temperatuur van de bodem rond de distributieleidingen is namelijk de indicatie van de minimale watertemperatuur in de aansluitleidingen, die bij voldoende verblijftijd opwarmt naar de temperatuur van de bodem rond de aansluitleidingen.

3.5 Conclusies casestudie

3.5.1 Resultaat: Voorspelling temperatuur in het leidingnet in het proefgebied

Door het combineren van een bodemtemperatuurmodel met geografische gegevens van de afdekking, de bodemsoort en het leidingnet, wordt een temperatuurverdeling verkregen rond de leidingen. Deze verdeling is een indicatie van de temperatuur die in het leidingnet bereikt kan worden. Hotspots kunnen worden weergegeven in het proefgebied en kwantitatief geanalyseerd worden.

De aansluitleidingen binnen het leidingnet vormen het grootste risico voor het bereiken van hoge temperaturen. De hotspots zijn dan ook in aansluitleidingen in stedelijk gebied te vinden. De uiteindelijke watertemperatuur die in de aansluitleidingen wordt bereikt is afhankelijk van het waterverbruik. Daarom is de temperatuur van de bodem rond de distributieleidingen een indicatie van de minimale watertemperatuur in de aansluitleidingen, die bij voldoende verblijftijd opwarmt naar de temperatuur van de bodem rond de aansluitleidingen.

De temperatuurverdeling die in deze case is verkregen is behoorlijk grof, doordat de 33 mogelijke combinaties van bodemsoort, grondbedekking en vochtgehalte door beperkte beschikbare

gegevens/parameters voor het bodemtemperatuurmodel gereduceerd werd tot slechts 6 combinaties. Met een aanpassing/verfijning van het bodemtemperatuurmodel en een hoger detailniveau van de GIS-data kan met de procedure ontwikkeld in deze case op de woning nauwkeurig de temperatuur voorspeld worden.

Aanpassing/verfijning van het bodemtemperatuurmodel

- literatuuronderzoek naar de thermofysische eigenschappen van meerdere grondsoorten, de warmtegeleidingscoëfficiënt en de warmtecapaciteit. De huidige temperatuurverdeling is gebaseerd op drie grondsoorten, namelijk zand, klei en veen. Uit bijlage II blijkt dat het aantal grondtypen veel groter is. Wanneer de stand van het grondwater meegenomen wordt in de berekening van de temperatuursverdeling zijn deze parameters nodig als functie van het vochtgehalte.
- In het ontwikkelde model wordt momenteel geen onderscheid gemaakt in het type begroeiing. Door (literatuur-)onderzoek uit te voeren naar het albedo en de verdampingskarakteristieken van verschillende type begroeiing, zoals gras, tarwe of bomen kan dit onderscheid in het model opgenomen worden.
- In het huidige model is, voor de geleiding van de warmte naar diepere lagen van de bodem, één warmtegeleidingscoëfficiënt gebruikt voor de geleiding door de bedekking en de bodem. Zo is de geleidingscoëfficiënt van zand onder bestrating $2.0 \text{ [W.m}^{-1}\text{.K}^{-1}\text{]}$, terwijl die onder gras $1.6 \text{ [W.m}^{-1}\text{.K}^{-1}\text{]}$ bedraagt. Voor andere bodemsoorten zijn deze geleidingscoëfficiënten niet bekend, terwijl het wel degelijk invloed heeft op de opwarming van de bodem. De vraag is of dit onderscheid in warmtegeleiding echt wordt veroorzaakt door de geleiding door de bedekking of door het verschil in vochtgehalte in de bodem als gevolg van het water gebruik door de begroeiing. Een mogelijkheid is om de geleiding door de afdekking als aparte laag te modelleren of door het bepalen van deze coëfficiënt voor andere ondergronden.
- Het vochtgehalte van de bodem heeft invloed op de temperatuursverandering van de bodem. De grondwaterstand beïnvloedt dus de temperatuursverdeling in de bodem. Lage grondwaterstanden veroorzaken een laag vochtgehalte bovenin de bodem, wat de opwarming (van aansluitleidingen) zal versnellen. Met geografische gegevens van grondwaterstanden kunnen deze in verschillende klassen van grondwaterstanden worden onderverdeeld. Per grondwaterstand-klasse kan een grondwaterprofiel worden berekend, dat het vochtgehalte op verschillende diepten in de bodem aangeeft. Met vochtafhankelijke thermofysische eigenschappen (geleiding en warmtecapaciteit) kan dan de temperatuur op verschillende dieptes berekend worden afhankelijk van de grondwaterstand. Eventueel kunnen ook vochtgehalten bij veldcapaciteit gebruikt worden, die een soort evenwicht van het vochtprofiel in de bodem representeert. Dit vochtgehalte is weergegeven in de GIS-data tabel in Bijlage IV.

Een gevoeligheidsanalyse naar de invloed van bovenstaande punten op de uiteindelijke bodemtemperatuur die voorspeld wordt, zal uitsluitsel geven over het gewenste detailniveau van het bodemtemperatuurmodel.

Detailtering van GIS data

- Een grotere detaillering van de geografische data van stedelijk gebied leidt tot een hoger detailniveau van de temperatuurverdeling in de bodem. Stedelijke informatie kan bij een gemeente verkregen worden, al is dan vaak nog een tijdsintensieve interpretatieslag nodig. GBKN data met schaal 1:1000 kunnen ook tot een verhoging van het detailniveau leiden. Het verschil in bestrating (asfalt, rode of grijze klinkers) zal leiden tot een meer onderscheidende verdeling van de temperatuur in stedelijk gebied.
- Door gebruik te maken van locale weergegevens en deze te koppelen aan de geografische data kan een hogere nauwkeurigheid van de temperatuurvoorspelling en de identificatie van de hotspots verkregen worden. Het 'urban heat effect' en de hogere temperaturen in de nabijheid van een gevel kunnen hier meegenomen worden.
- Met modules binnen GIS kan de invloed van hoge gebouwen op de temperatuur in de stad bepaald worden. Hoge gebouwen in de omgeving van een woning kunnen leiden tot schaduw of tot extra reflectie van warmte, waardoor de temperatuur op die locatie wordt beïnvloed. Met behulp van de 'Solar radiation toolset' binnen GIS en de oriëntatie en hoogte van een gebouw bepaalt GIS of het gebouw een schaduw veroorzaakt of niet. Hiermee kan de temperatuur van een leiding op woning niveau berekend worden, met de in de voorgaande punten beschreven detaillering.

Toepassing bodemtemperatuurmodel bij lage temperaturen en vorst

Deze case is gericht op het aangeven van hotspots in het leidingnet, plaatsen waar een hoge temperatuur verwacht kan worden. Lage temperaturen zijn echter ook interessant door de invloed van vorst op het falen van leidingen. De verwachting is dat het bodemtemperatuurmodel toepasbaar is voor vorst, zolang er niet teveel vocht in de bodem zit. In zandgronden vormt dit geen probleem, in klei en veengronden is meer vocht aanwezig. De thermofysische eigenschappen (geleidingscoëfficiënt en warmtecapaciteit) moeten aangepast worden, door ze afhankelijk te maken van het vocht/ijs gehalte. Ijs geleidt warmte immers anders dan water. Het model kan slechts toegepast worden als worst case model. Bij bevriezen komt namelijk warmte vrij. Deze warmte is niet als energiestroom in het model verwerkt, waardoor de voorspelde temperatuur dus minder snel zal dalen dan in werkelijkheid. De koudste limiet is dan gemodelleerd.

Verwaarlozing horizontale warmtetransport

In de case wordt alleen gekeken naar de verticale warmteoverdracht naar diepere lagen in de bodem. Als echter verschillende afdekkingen of grondsoorten aan elkaar grenzen zal er ook een horizontale overdracht van warmte optreden. Wanneer bijvoorbeeld een zandgrond met verharding grenst aan zandgrond met begroeiing, zoals bij een straat met plantsoen, zal er warmte overgedragen worden van de verharde zandbodem met hogere temperatuur naar de begroeide zandbodem. Binnen de nauwkeurigheid van de data en van het bodemtemperatuurmodel kan deze opwarming verwaarloosd worden. Daarnaast zal het voor het aantonen van de hotspots van minder belang zijn, omdat deze horizontale overdracht zorgt voor een verlaging van de temperatuur van het gebied met de sterkste opwarming.

3.5.2 Conclusies processen

Bij het afleiden van de combinatiekaart (bodem en afdekking) is een aantal stappen doorlopen (zie paragraaf 3.4.1) waarbij het oorspronkelijke doel en daarmee het schaalniveau van de brondata een beperking hebben gevormd;

- Door het ontbreken van bodemgegevens in stedelijk gebied moesten hier aannames worden gedaan.
- Doordat in het BBG2000 bestand de wegen breder zijn gerepresenteerd bleek het nodig achteraf een filtering uit te voeren op de resultaten.

Door het gebruiken van gedetailleerdere brondata kan, naast een grotere nauwkeurigheid van de uitkomsten, tevens de procedure voor invoer in het model en nabewerking van de uitvoer efficiënter verlopen.

De uitwisselingsprocedure tussen GIS en Matlab bleek eenvoudig te verlopen via een tabel in Excel formaat. De import en export van de tabel is een handmatige actie maar kan ook na enig programmeerwerk geheel geautomatiseerd verlopen. Het is eveneens mogelijk een gemeenschappelijke tabel te gebruiken waarin de resultaten door zowel GIS als Matlab rechtstreeks worden weggeschreven en ingelezen. Dit maakt het bijvoorbeeld ook mogelijk een gebiedsuitnede te kiezen in het GIS en vervolgens het model te laten rekenen. De resultaten kunnen dan weer direct in het GIS getoond worden.

3.6 Aanbevelingen: toepassingsmogelijkheden in risicoanalyse

Het combineren van het bodemtemperatuurmodel met GIS heeft een duidelijke bijdrage aan de risicoanalyse. Hotspots kunnen worden geïdentificeerd en in een kaart aangegeven worden. Daarnaast kan geanalyseerd worden hoeveel aansluitingen risicovol zijn en de lengte van het leidingnet in risicovol gebied. Hoe meer detaillering opgenomen wordt in het bodemtemperatuurmodel en de data, des te nauwkeuriger de locatie van de hotspots is. De detaillering kan leiden tot een voorspelling van de temperatuur rond de distributie- en aansluitleidingen.

De combinatie van het bodemtemperatuurmodel met GIS kan op de volgende manieren worden toegepast in de risicoanalyse van het leidingnet:

1. Het uitvoeren van scenario-studies:
Met de combinatie van het bodemtemperatuurmodel met GIS kunnen verschillende scenario-studies uitgevoerd worden. Zo kunnen de gevolgen van een hittegolf gesimuleerd worden en de invloed daarvan op het optreden van hotspots berekend worden. Tevens kunnen klimaatscenario's doorgerekend worden, die geformuleerd zijn voor het onderzoek naar de mogelijke invloeden van klimaatverandering (KNMI, 2006).
2. Toekomstige hotspots voorspellen op basis van weersvoorspellingen:
Door weersvoorspellingen te gebruiken als invoer van het bodemtemperatuurmodel (paragraaf 3.3.3) kan door de koppeling van het bodemtemperatuurmodel met GIS toekomstige hotspots in het leidingnet gelokaliseerd worden en zo het risico berekend worden.
3. Uitbreiden met een watertemperatuurmodel
Door de combinatie van het bodemtemperatuurmodel en GIS te koppelen aan een model dat de opwarming van het water in het leidingnet beschrijft kan de invloed van verbruikpatronen en leidingmateriaal op de temperatuur van het water meegenomen worden in de analyse. Een daadwerkelijke voorspelling van de watertemperatuur wordt dan verkregen. Tevens kunnen dan de bijdragen van stadsverwarming en riolering aan de opwarming van het leidingwater meegenomen worden. Hiervoor zijn geografische gegevens van de ligging van de stadsverwarming en riolering als ook de temperaturen die daar heersen nodig.
4. Uitbreiden met het type gebruikers
Door het type gebruikers vast te stellen, die verbonden zijn aan de aansluitleidingen kan een analyse worden gedaan welk type gebruikers getroffen worden bij de gevonden hotspots.

Naast het risico van hogere temperaturen van het water in het leidingnet, is bekend dat hoge bodemtemperaturen rond de leidingen kunnen leiden tot het falen van de leidingen. Zo treden door hogere temperaturen, in combinatie met droogte, volumeveranderingen in kleigronden op, die kunnen leiden tot storingen in leidingen (Kleiner en Rajani, 2001). Ook vorstperiodes vormen een risico voor storingen (Kleiner en Rajani, 2002). Dit betekent dat de combinatie van het bodemtemperatuurmodel met GIS kan bijdragen aan het voorspellen van het optreden van storingen in het leidingnet.

4 Methodiek voor GIS-analyses voor het leidingnet

De GIS-cases zijn in dit onderzoek uitgewerkt volgens een methode die bestaat uit 6 stappen (zie paragraaf 1.2). Op basis van de ervaringen van deze casestudies zijn deze stappen voorzien van aandachtspunten, zie Tabel 19. De hier gepresenteerde methodiek kan waterbedrijven helpen met het opzetten van GIS-analyses voor het distributienet. De hier genoemde aandachtspunten zullen niet voor alle analyses van toepassing zijn.

Tabel 19. Stappenplan en aandachtspunten voor GIS-analyses van het leidingnet

Stappen:	Aandachtspunten:	Voorbeelden m.b.t. Case Saneringscriteria:
Doelstelling	Doelstelling van de analyse	Te saneren leidingen
	Methode van kwantificeren	WML-Saneringscriteria
	Stel het criterium vast	40 punten
	Bepaal het onderzoeksgebied	Breehei
	Beschrijf databehoeft	Storingen, leidingdiameters, ...
	Beschrijf toetsingscriteria voor data	Leidingdata niet ouder dan 1 jaar
	Beschrijf benodigde menskracht, tijd, geld, etc	
Methode van analyse	Beschrijf de analysetools	ArcGIS, storingenregistratie, etc
Gebruik van data	Verzamel data M.b.t. de databehoeft zijn er 3 mogelijkheden: 1. Data zijn direct bruikbaar 2. Data moeten bewerkt worden 3. Geen bruikbare data beschikbaar	Leidingnet WML Lekkages Samenwerking met derden
	Beschrijf het analyseniveau	Leidingsegment
	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	Storingen toewijzen aan dichtstbijzijnde leiding
	Toets nogmaals alle data op de vastgestelde criteria	
	Beschrijf consequentie van aannames en omissies in data	Gevolgen dat niet alle storingendata zijn te geocoderen
	Autoriseer data	
	Voer analyse uit	
Analyse	Beschrijf analyseproces, inzet analysetools en data	
	Beschrijf aannamen analyse en beperkingen	Buffergrootte bij criterium hinder
	Beschrijf gevoeligheid van resultaat	
	Rapporteer analyse	
Conclusie	Autoriseer analyse	
	Evalueer resultaten aan doelstelling	
	Rapporteer gehele analyse	
	Autoriseer gehele analyse	
Aanbevelingen	Benoem verbeterpunten voor vervolganalyse	

5 Conclusies en aanbevelingen

Om de toepasbaarheid van GIS voor analyses van het leidingnet in de praktijk te toetsen zijn twee casestudies uitgewerkt. Deze casestudies geven inzicht in wat, met gebruik van bestaande modellen en informatiesystemen, de kwaliteit is van de resultaten van GIS analyses en welke middelen noodzakelijk zijn om dergelijke analyses uit te voeren. Deze casestudies betreffen de toepassing van de WML-Saneringscriteria op een geheel leidingnet en het koppelen van het model Bodemtemperatuur aan een leidingnet. De casestudies zijn in nauwe samenwerking uitgevoerd met respectievelijk WML en Brabant Water. Naar aanleiding van dit onderzoek zijn onderstaande conclusies getrokken.

Algemene conclusies

1. In deze studie zijn twee casestudies gepresenteerd waarin GIS een bijdrage levert aan betere inzichten over het leidingnet, waarmee betere beslissingen over onderhoud en vervanging genomen kunnen worden. Deze bijdrage bestaat uit het koppelen data aan leidingen, het uitvoeren van analyses en het overzichtelijk presenteren van de analyseresultaten. In de casestudie WML-Saneringscriteria blijkt dat het mogelijk is saneringscriteria toe te passen op een leidingnet. In de casestudie Bodemtemperatuur blijkt het mogelijk door koppeling van de resultaten van een rekenmodel met leidinggegevens een geografisch overzicht te krijgen van de bodemtemperatuur rond de leidingen.
2. Door de inzet van GIS kunnen analyses die oorspronkelijk zijn ontwikkeld voor individuele leidingen, toepasbaar worden gemaakt voor een leidingnet. Hierdoor krijgen waterbedrijven overzicht waar zich kritische delen bevinden. In beide cases zijn kritische delen geïdentificeerd en zichtbaar gemaakt.
3. Door te werken volgens een vaste methode kan worden gewaarborgd dat de berekening objectief en reproduceerbaar wordt uitgevoerd. Naar aanleiding van de ervaringen van deze casestudies is een stappenplan opgesteld voor het uitvoeren van GIS-analyses van het leidingnet, zie Hoofdstuk 4. Dit stappenplan is voorzien van aandachtspunten die waterbedrijven helpen bij de uitvoering van GIS-analyses.

Algemene conclusies met betrekking tot de casestudie WML-Saneringscriteria

4. De casestudie WML-Saneringscriteria levert een aantal kritische leidingen op. Deze leidingen komen echter niet overeen met de verwachting van de werkvoorbereiders. De verschillen zijn toe te wijzen aan datafouten, ontbrekende data en fouten in de analyse. Na analyse van de verschillen, is het te verwachten dat verbeteringen van de analyse en de onderliggende data zal leiden tot een verbeterde identificatie van te saneren leidingen.
5. Bij de uitwerking van de WML-Saneringscriteria is het mogelijk om een GIS-analyse te maken van 6 van de 9 criteria. Deze criteria vertegenwoordigen 66 van de 100 mogelijk toewijsbare punten. Van de criteria 'Druklachten / aangroei' en 'Materiaalsoort / kwaliteit leiding' kan alleen een waardering worden gegeven voor een individuele leiding, na specifiek onderzoek bij een leidingbreuk. Het criterium 'Samenwerking met derden' is alleen te waarderen voor individuele leidingen waarbij de mogelijkheid van samenwerking kan worden gebaseerd op plannen van derden.

Voor overige conclusies met betrekking tot deze casestudie, zie paragraaf 2.5.

Algemene conclusies met betrekking tot de casestudie Bodemtemperatuur

6. De GIS-case Bodemtemperatuur toont aan dat door het combineren van een bodemtemperatuurmodel met geografische gegevens van de afdekking, de bodemsoort en het leidingnet, een temperatuurverdeling rond leidingen berekend kan worden. Aangezien de temperatuur van het leidingwater voornamelijk wordt bepaald door de bodemtemperatuur, biedt deze analyse de mogelijkheid om delen van het leidingnet met een hogere watertemperatuur te identificeren. Uit de berekeningen blijkt tevens dat de aansluitleidingen vanwege de geringere diepteligging een bijzondere risicofactor vormen.
7. De temperatuurverdeling die in deze case is verkregen is relatief grof. Dit komt omdat de 33 mogelijke combinaties van bodemsoort, grondbedekking en vochtgehalte vanwege beperkte

beschikbaarheid van data zijn gereduceerd tot 6 combinaties. Een gedetailleerdere voorspelling van bijvoorbeeld de bodemtemperatuur per leiding is mogelijk met de in deze casestudy ontwikkelde methode. Hiervoor is echter een aanpassing van het bodemtemperatuurmodel en een hoger detailniveau van de GIS-data nodig.

Voor overige conclusies met betrekking tot deze casestudie, zie paragraaf 3.5.

Conclusies over de toepassing van GIS

8. Bij het uitvoeren van GIS-analyses wordt gewerkt met grote hoeveelheden data, waarbij het overzicht eenvoudig verloren kan worden. Er worden hoge eisen gesteld aan een gestructureerde en nauwgezette wijze van werken. Illustraties van typische fouten zijn de verkeerde toewijzing van lekkages bij de casestudie WML-Saneringscriteria en de projectie van de leidingen onder de wegen in het buitengebied bij de casestudie Bodemtemperatuur.
9. De grootste beperking bij het uitvoeren van GIS-analyses is de beschikbaarheid van data. Er wordt vaak gebruik gemaakt van informatiesystemen die zijn opgezet voor andere doeleinden. Om hieruit geschikte data te genereren zijn vaak tijdrovende bewerkingen nodig. Dit speelde bijvoorbeeld bij de casestudie bij WML waarbij de koppeling van lekkages aan huisadressen werd omgezet naar een koppeling aan leidingID's. Bij de Casestudie Bodemtemperatuur bleek de beschikbare thermische informatie van de bodem een beperkende factor.
10. Het niveau van analyse is een punt waaraan in de analyse tijdig aandacht gegeven dient te worden. De WML-Saneringscriteria zijn gebaseerd op het niveau van leidingsegmenten. Voor enkele onderdelen van deze systematiek is echter een benadering op het niveau van afsluitersecties meer geschikt, bijvoorbeeld bij de gevoeligheid van een onderbreking. Ook speelt de vraag of bij het kruisen van een segment met een object, zoals een spoorweg, de impact voor de waardering voor het hele segment van toepassing is of slechts voor dat gedeelte dat het object kruist.
11. Door de sterke visuele eigenschappen van GIS, kunnen de resultaten van een GIS-analyse de suggestie wekken dat er een nauwkeurige berekening aan ten grondslag ligt. Elke analyse bevat echter aannamen en fouten. Bij een GIS-analyse is het belangrijk de nauwkeurigheid van de data aan te geven.

De aanbevelingen die naar aanleiding van dit onderzoek aan de waterbedrijven worden gedaan zijn:

1. De hier gepresenteerde casestudies tonen aan dat GIS een instrument waarmee analyses kunnen worden uitgevoerd voor heel leidingnet. Door de toenemende ontwikkelingen van datasystemen en GIS mag verwacht worden dat GIS-analyses voor het leidingnet in de toekomst meer en betere toepassingen zullen vinden. Waterbedrijven wordt aanbevolen deze ontwikkelingen te blijven volgen, bijvoorbeeld via het BTO. Om de mogelijkheden voor de bedrijfsvoering van GIS-analyses te verkennen, wordt aanbevolen ook in de toekomst casestudies, zoals hier gepresenteerd, uit te voeren.
2. Voor het uitvoeren van een GIS-analyse wordt aanbevolen te werken volgens een vastgestelde methodiek. Door toepassing van deze methodiek is het mogelijk gestructureerd te werken en expliciet aan te geven wat de beperkingen van de analyse zijn en de gevoeligheid van de resultaten. Hiervoor is in Hoofdstuk 4 een methodiek voorgesteld.
3. De kwaliteit van de data is veelal de beperkende factor bij GIS-analyses. Om inzicht te geven van de toepasbaarheid van de resultaten wordt aanbevolen expliciet aan te geven wat de aannamen bij de databewerking en bij de analyse zijn.
4. Waterbedrijven wordt aanbevolen zich bewust te zijn van de (toenemende) mogelijkheden van GIS voor het uitvoeren van analyses van het leidingnet. Bij het (her-)inrichten van databestanden (bijvoorbeeld storings, klachten, leidinginformatie, monsternamen waterkwaliteit) wordt aanbevolen zorg te dragen dat deze geschiktheid zijn als input voor GIS.
5. De GIS-analyse van de bodemtemperatuur kan nog verder worden verbeterd door aanpassingen van het model en toepassing van meer nauwkeurige data. Aanbevolen wordt een vervolganalyse uit te voeren. Voor nadere details, zie paragraaf 3.5.1.

Voor specifieke aanbevelingen over de casestudies wordt verwezen naar de paragrafen 2.6 en 3.6.

6 Referenties

- Beuken, R. (2008). *Risicoanalyse van leidingnetten, onderzoek naar toepassing in de praktijk*. Nieuwegein: KWR. BTO-rapport 2008.003.
- Beuken, R., K. van Daal en S. van Popering (2008): *Acht manieren waarop GIS kan bijdragen aan beter leidingnetbeheer*. H2O No 17/2008, blz. 14 – 17.
- Blokker, E.J.M. (2009). *Temperatuur in het leidingnet*. Nieuwegein: KWR. BTO-rapport (in voorbereiding)
- CBS. (2003). *Bodemgebruik in Nederland geharmoniseerd met TOP10Vector*. <http://www.cbs.nl/nl-NL/menu/themas/natuur-milieu/publicaties/artikelen/archief/2003/bodemgebruik-in-nederland-geharmoniseerd-met-top10vector.htm>
- Kleiner, Y. and B. Rajani (2001). Comprehensive review of structural deterioration of water mains: statistical models. *Urban Water*, vol. 3, p. 131-150.
- Kleiner, Y. and B. Rajani. (2002). Forecasting variations and trends in water-main breaks. *Journal of Infrastructure Systems*, vol. 8, no. 4, p. 122-131.
- KNMI (2006). *Klimaat in de 21^e eeuw: vier scenario's voor Nederland*. De Bilt: Klimatologische Dienst KNMI.
- Scheffer, W. (2003). Leidingwater te warm door stadsverwarming. *Intech K&S*, november, p. 82-84.
- Scheffer, W. (2004). Stadsverwarming jaagt temperatuur leidingwater op. *Intech K&S*, januari, p. 14-17.
- Smulders, E. (2006). *Temperatuurfluctuaties in water distributienetten*. Tilburg: Tilburgsche Waterleiding Maatschappij (niet openbaar).
- Van Daal, K. en N. Slaats (2008). *Klimaatverandering en de gevolgen voor waterdistributie - een inventarisatie van onderzoeksbehoeften*. Nieuwegein: KWR. BTO-rapport 2008.007 (s).
- Van Daal, K. en R. Beuken (2008). *Verkenning inzet van Geografische Informatie Systemen voor identificeren van kritische leidingen*. Nieuwegein: KWR. BTO-rapport 2008.055.
- Van der Hoeven, P.C.T en W.N. Lablans (1992). *Grondtemperaturen*. De Bilt: Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut. Wetenschappelijke rapporten, WR-92-05.
- Van der Molen, M., H. Kooij, E. Smulders en B. Heijmans (2008). *Warmte-indringing in de bodem*. Nieuwegein: KWR. BTO-rapport 2008.053.
- Van der Veer, A.J. (2007). Persoonlijke communicatie van A.J. van der Veer, Evides.
- Vewin (2008) – Waterleidingstatistiek 2007
- Waterspiegel (2006). Ondanks extreem warme weer geen gebrek aan drinkwater. *Waterspiegel*, no. 5, p. 14-18.
- WML (2005) - "Klantgericht saneren – versie 3"
- Website van de Kamer van Koophandel: <http://www.kvk.nl> (bezocht 10 mei 2009)

I Theoretisch kader case

Bodemtemperatuur

II.1 Bodemtemperatuur als indicatie van de temperatuur van het leidingwater

De temperatuur van het leidingwater, belangrijk voor de identificatie van hotspots en de risicoanalyse, wordt bepaald door verschillende factoren. In deze paragraaf worden deze factoren uiteengezet. Op basis van een theoretische afweging en van gelijktijdige metingen van de bodemtemperatuur en de temperatuur van het leidingwater wordt duidelijk dat de temperatuur van de bodem rond de leidingen een sterke indicatie is van de temperatuur van het leidingwater.

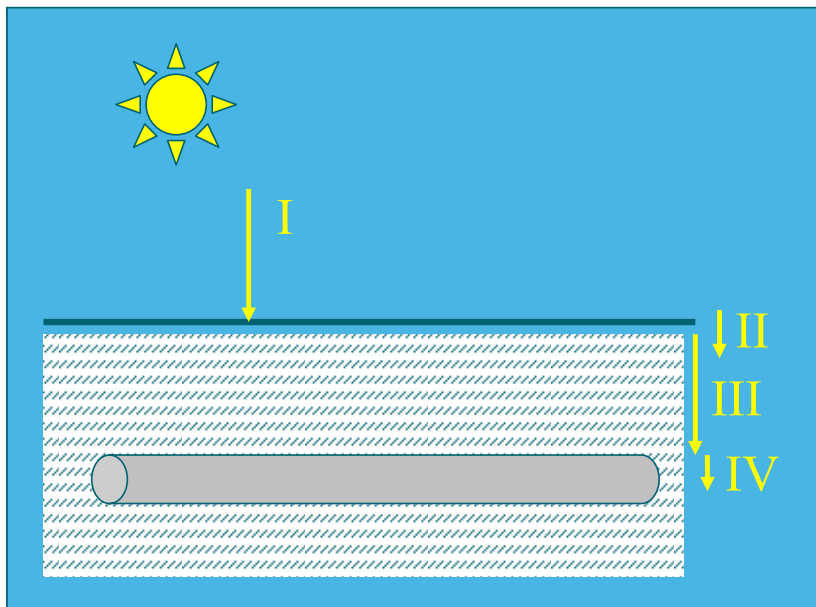
II.2 Factoren die een rol spelen bij temperatuurstijging leidingwater

Een hoge temperatuur van het leidingwater kan veroorzaakt worden door verschillende factoren:

1. opwarming door de atmosfeer, via de bodem
2. temperatuur van het water af pompstation
3. opwarming door andere warmtebronnen.

Opwarming door de atmosfeer

Hoge temperaturen en zonnestraling in de atmosfeer zorgen voor opwarming van het asfalt/grondbedekking, de bodem en de waterleiding op een bepaalde diepte in de grond. In Figuur 19 zijn de mechanismen die betrokken zijn bij de opwarming van het leidingwater onder invloed van de atmosfeer schematisch weergegeven. Door de weersinvloeden, zoals temperatuur, straling en windsnelheid warmt de grondbedekking op (transport I). Een deel van de totale geabsorbeerde energie wordt gebruikt voor het opwarmen van de grondbedekking. Deze warmte wordt door geleiding door de grondbedekking (transport II) overgedragen naar de bodem en door geleiding door de bodem (transport III) getransporteerd naar de waterleiding. Door warmteoverdracht door geleiding door de buiswand en door convection van het water, komt de warmte in het leidingwater terecht, waardoor deze in temperatuur stijgt (transport IV).



Figuur 19 Schematische weergave van de warmtetransporten betrokken bij de opwarming van het leidingwater onder invloed van de atmosfeer.

De grootste weerstand tegen warmtetransport blijkt theoretisch te liggen in de geleiding van de warmte door de bodem (Blokker, 2009). Dat betekent dat de watertemperatuur voornamelijk wordt bepaald door de snelheid waarmee de warmte door de bodem wordt doorgegeven aan het water. De bodemtemperatuur zou dan een goede indicatie zijn van de te verwachten watertemperatuur. Dit komt overeen met metingen door Smulders (2006), waaruit blijkt dat de watertemperatuur de bodemtemperatuur op 1 meter diepte volgt of aanneemt. In paragraaf II.3 worden de gelijktijdige metingen van de bodemtemperatuur en het leidingwater verder beschreven.

Hoge temperatuur van het water af pompstation

De drinkwatertemperatuur af pompstation ligt voor grondwaterbedrijven meestal tussen de 10 en 15°C en is behoorlijk constant. Bij het gebruik van oppervlaktewater kan de temperatuur van het uitgaande water met de seizoenen variëren, van 5°C in de winter tot meer dan 20°C in de zomer.

Evides heeft in de zomer temperaturen van 22°C gemeten voor het water af pompstation. Op de reguliere monsterpunten in het distributienet wordt 's zomers echter geen opwarming geconstateerd maar juist een afkoeling, terwijl in de winter juist sprake is van opwarming (Evides, A.J. van der Veer 2007). De leidingen in het betreffende voorzieningsgebied liggen in klei/veengebied. Deze bodemsoorten hebben een minder sterke opwarming dan zand. Daarnaast is het een poldergebied met een gecontroleerde grondwaterstand. Dit voorbeeld geeft aan dat de temperatuur van de bodem en de bodemeigenschappen een grote rol spelen bij de veranderingen van de drinkwatertemperatuur.

Opwarming door andere warmtebronnen

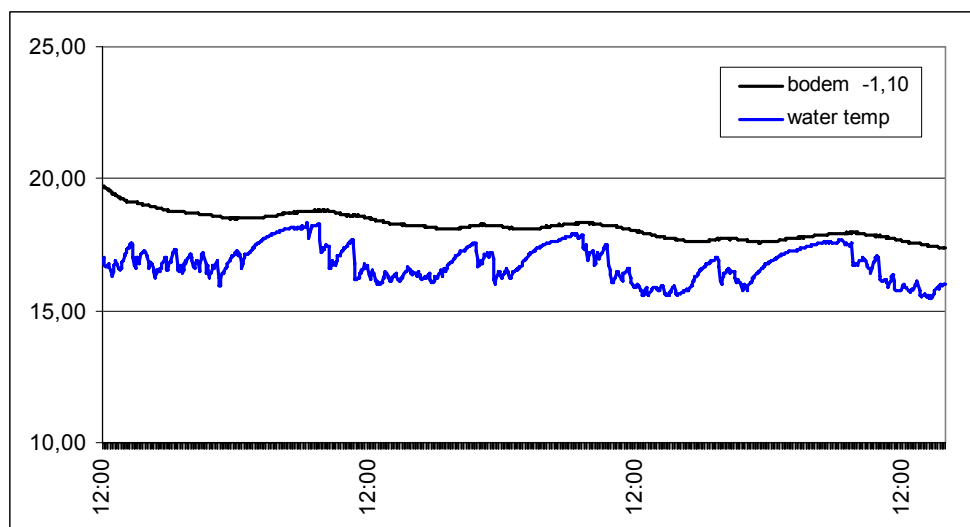
Opwarming van het drinkwater in het distributienet door riolering of stadsverwarming kan een rol spelen. Verschillende onderzoeken uitgevoerd door TNO en Uneto-VNI tonen aan dat stadsverwarming hoge temperaturen van het leidingwater kan veroorzaken (Scheffer, 2003 en 2004; van Wolferen, 2007).

II.3 Opwarming van het leidingwater door de bodem

Gelijktijdige metingen van de bodemtemperatuur en de temperatuur van het leidingwater tonen aan dat de temperatuur in de leidingen de bodemtemperatuur benadert. Een voorbeeld is weergegeven in Figuur 20. De metingen laten het volgende zien:

1. De temperatuur van het water is afhankelijk van het verbruik. Gedurende laag verbruik in de nacht/vroege ochtend is de watertemperatuur vrijwel gelijk aan de bodemtemperatuur.
2. De snelheid van de temperatuurstijging van het water in de periode met verbruik is afhankelijk van:
 - het verbruik (hoger verbruik geeft een snellere temperatuurstijging van het water door een sterkere stroming. De verblijftijd in de leiding is hierdoor echter korter, waardoor de uiteindelijke temperatuurstijging van het water lager is)
 - de begintemperatuur van het water (temperatuur af pompstation)
 - het temperatuursverschil tussen het water en de bodem (groter temperatuursverschil betekent een snellere temperatuurstijging)
 - de bodemtemperatuur
3. De temperatuurstijging van het water varieert tussen $3.5 \cdot 10^{-3}$ – $17.4 \cdot 10^{-3}$ [°C/min]. Dit komt overeen met 0.2-1 [°C/uur].
4. Het maximale temperatuursverschil bij verbruik tussen de bodemtemperatuur en de watertemperatuur varieert tussen 0.5 en 2°C.

De bodemtemperatuur volgt het verloop van de buitentemperatuur. De maxima en minima manifesteren zich ook in de ondergrond, waarbij de grootte en variatie van de pieken afneemt op grotere diepte. De bodemtemperatuur vertoont een “na-ijl effect” ten opzicht van de schommeling van de temperatuur van de atmosfeer. Dit “na-ijleffect” is afhankelijk van de diepte. Op 35 cm bedraagt die ongeveer 6 uur, op 70 cm diepte ca. 12 uur en op 110 cm diepte ca. 18-24 uur (Smulders, 2006).



Figuur 20 Verloop van de watertemperatuur in een gietijzeren leiding en de bodemtemperatuur op 110 cm op een locatie in Tilburg, 26-29 september 2005 (Smulders, 2006)

II.4 Temperatuur van het leidingwater in aansluitleidingen

De gelijktijdige metingen van de temperatuur van de bodem en het leidingwater tonen duidelijk aan dat de temperatuur van de bodem rond de leidingen voldoende informatie geeft om de te verwachten watertemperatuur te voorspellen. De bodem rond de leidingen bepaalt dus de temperatuur van het water in de leidingen.

Echter de uiteindelijke temperatuur die in het water in aansluitleidingen bereikt wordt, is afhankelijk van het verbruik:

- bij geen verbruik is er stilstaand water in de aansluitleiding. Wanneer water stilstaat, verloopt de warmteoverdracht in water langzaam en duurt het langer voordat het water opwarmt. Alleen als het water voldoende lang in de aansluitleiding verblijft, zal het water opwarmen tot de omringende bodemtemperatuur rond de aansluitleiding. Dit wordt ook duidelijk zichtbaar in Figuur 20.
- bij hoog verbruik treedt er sneller opwarming van het water op, door de resulterende stroming van het water. Aansluitleidingen zijn echter vaak kort en de verblijftijd in de aansluitleiding mogelijk te kort om het water volledig op te warmen tot de temperatuur van de omringende bodem.

Naast het verbruik speelt ook het leidingmateriaal een rol in de opwarmsnelheid van het leidingwater. In gietijzer zal het water sneller opwarmen dan in PVC. Onder dezelfde omstandigheden zal water in gietijzer 36x sneller opwarmen dan in PVC.

De uiteindelijke temperatuur, die het water in de aansluitleiding behaalt, is dus afhankelijk van het verbruik en van het leidingmateriaal en zal slechts bij voldoende verblijftijd (bijvoorbeeld in de nacht) de temperatuur van de omringende bodem bereiken. Dit betekent dat de watertemperatuur in de aansluitleidingen minimaal de temperatuur van het water uit de distributieleidingen heeft en afhankelijk van de verblijftijd kan opwarmen naar de temperatuur van de bodem die de aansluitleidingen omringt.

II GIS-data tabel

Type oppervlak	Bodemsoort	Bodemvocht	oppervlak (m2)	oppervlak (%)
gras	fijn zand	0.20	295103000	26.21
gras	lichte klei	0.40	260686000	23.15
verhard	zand	0.00	130447000	11.58
beplant	fijn zand	0.20	94425000	8.39
verhard	fijn zand	0.20	54346700	4.83
gras	zand	0.00	40446000	3.59
gras	zwarte klei	0.43	37625400	3.34
verhard	lichte klei	0.40	25296700	2.25
gras	veen	0.75	24877000	2.21
beplant	lichte klei	0.40	20447700	1.82
gras	venige klei	0.60	11597000	1.03
gras	zandig veen	0.53	7493920	0.67
gras	grof zand	0.10	5924490	0.53
beplant	zand	0.00	4259160	0.38
verhard	veen	0.75	4033710	0.36
verhard	zwarte klei	0.43	4004970	0.36
gras	matig fijn za	0.14	3922330	0.35
beplant	grof zand	0.10	3531600	0.31
verhard	grof zand	0.10	3016620	0.27
beplant	zwarte klei	0.43	2829400	0.25
gras	kleiig zand	0.29	2814640	0.25
beplant	veen	0.75	1928320	0.17
verhard	venige klei	0.60	1371250	0.12
verhard	zandig veen	0.53	1016950	0.09
beplant	zandig veen	0.53	908262	0.08
beplant	leem	0.32	762404	0.07
gras	leem	0.32	756353	0.07
verhard	matig fijn za	0.14	595964	0.05
beplant	matig fijn za	0.14	452710	0.04
verhard	kleiig zand	0.29	293149	0.03
beplant	venige klei	0.60	193898	0.02
verhard	leem	0.32	15234	0.00
beplant	kleiig zand	0.29	6537	0.00

III BBG2000 – bodemgebruiksklassen en gebruikte groepering afdekking

HOOFDGOEP	CBS_CODE	CBS_OMSCHRIJVING	Afdekking_KWR
verkeer	10	spoorweg	verhard
verkeer	11	hoofdweg	verhard
verkeer	12	vliegveld	verhard
bebouwd	20	woongebied	verhard
bebouwd	21	detailhandel en horeca	verhard
bebouwd	22	openbare voorziening	verhard
bebouwd	23	sociaal culturele voorzie	verhard
bebouwd	24	bedrijfsterrein	verhard
semi-bebouwd	30	stortplaats	verhard
semi-bebouwd	31	wrakkenopslagplaats	verhard
semi-bebouwd	32	begraafplaats	verhard
semi-bebouwd	33	delfstofwinplaats	verhard
semi-bebouwd	34	bouwterrein	verhard
semi-bebouwd	35	semi verhard overig terre	verhard
recreatie	40	park en plantsoen	gras
recreatie	41	sportterrein	gras
recreatie	42	volkstuin	beplant
recreatie	43	dagrecreatief terrein	gras
recreatie	44	verblijfsrecreatie	gras
landbouw	50	glastuinbouw	beplant
landbouw	51	overig agrarisch gebruik	gras
bos en natuur	60	bos	beplant
bos en natuur	61	droog natuurlijk terrein	gras
bos en natuur	62	nat natuurlijk terrein	gras
binnenwater	70	IJsselmeer/Markermeer	water
binnenwater	71	Afgesloten zeearm	water
binnenwater	72	Rijn en Maas	water
binnenwater	73	Randmeer	water
binnenwater	74	Spaarbekken	water
binnenwater	75	water met recreatieve fun	water
binnenwater	76	water met delfstofwinfunc	water
binnenwater	77	vloei- / slibveld	water
binnenwater	78	overig binnenwater	water
buitenwater	80	Waddenzee, Eems, Dollard	water
buitenwater	81	Oosterschelde	water
buitenwater	82	Westerschelde	water
buitenwater	83	Noordzee	water
buitenland	90	buitenland	

IV GIS-data tabel met bodemtemperatuur (op 1 augustus 2008)

Type oppervlak	Bodemsoort	Bodem-vocht	oppervlak (m2)	oppervlak (%)	T 1.5 m	T 1.2 m	T 1 m	T 0.8 m	T 0.5 m
gras	fijn zand	0.20	295103000	26.21	16.6	17.7	18.6	19.7	21.8
gras	lichte klei	0.40	260686000	23.15	15.8	16.7	17.5	18.5	20.5
verhard	zand	0.20	130447000	11.58	18.7	20.2	21.4	22.8	25.6
beplant	fijn zand	0.20	94425000	8.39	16.6	17.7	18.6	19.7	21.8
verhard	fijn zand	0.20	54346700	4.83	18.7	20.2	21.4	22.8	25.6
gras	zand	0.20	40446000	3.59	16.6	17.7	18.6	19.7	21.8
gras	zware klei	0.43	37625400	3.34	15.8	16.7	17.5	18.5	20.5
verhard	lichte klei	0.40	25296700	2.25	17.2	18.4	19.4	20.7	23.2
gras	veen	0.75	24877000	2.21	15.8	16.4	16.9	17.5	19.1
beplant	lichte klei	0.40	20447700	1.82	15.8	16.7	17.5	18.5	20.5
gras	venige klei	0.60	11597000	1.03	15.8	16.4	16.9	17.5	19.1
gras	zandig veen	0.53	7493920	0.67	15.8	16.4	16.9	17.5	19.1
gras	grof zand	0.10	5924490	0.53	16.6	17.7	18.6	19.7	21.8
beplant	zand	0.20	4259160	0.38	16.6	17.7	18.6	19.7	21.8
verhard	veen	0.75	4033710	0.36	17.3	18.3	19.0	19.8	21.6
verhard	zware klei	0.43	4004970	0.36	17.2	18.4	19.4	20.7	23.2
gras	matig fijn za	0.14	3922330	0.35	16.6	17.7	18.6	19.7	21.8
beplant	grof zand	0.10	3531600	0.31	16.6	17.7	18.6	19.7	21.8
verhard	grof zand	0.10	3016620	0.27	18.7	20.2	21.4	22.8	25.6
beplant	zware klei	0.43	2829400	0.25	15.8	16.7	17.5	18.5	20.5
gras	kleiig zand	0.29	2814640	0.25	16.6	17.7	18.6	19.7	21.8
beplant	veen	0.75	1928320	0.17	15.8	16.4	16.9	17.5	19.1
verhard	venige klei	0.60	1371250	0.12	17.3	18.3	19.0	19.8	21.6
verhard	zandig veen	0.53	1016950	0.09	17.3	18.3	19.0	19.8	21.6
beplant	zandig veen	0.53	908262	0.08	15.8	16.4	16.9	17.5	19.1
beplant	leem	0.32	762404	0.07	15.8	16.7	17.5	18.5	20.5
gras	leem	0.32	756353	0.07	15.8	16.7	17.5	18.5	20.5
verhard	matig fijn za	0.14	595964	0.05	18.7	20.2	21.4	22.8	25.6
beplant	matig fijn za	0.14	452710	0.04	16.6	17.7	18.6	19.7	21.8
verhard	kleiig zand	0.29	293149	0.03	18.7	20.2	21.4	22.8	25.6
beplant	venige klei	0.60	193898	0.02	15.8	16.4	16.9	17.5	19.1
verhard	leem	0.32	15234.2	0.00	17.2	18.4	19.4	20.7	23.2
beplant	kleiig zand	0.29	6536.85	0.00	16.6	17.7	18.6	19.7	21.8

