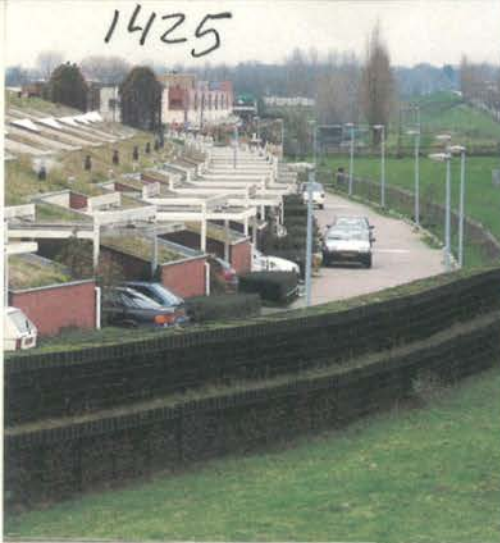


1425



SPIRIT

Rapportage van de ontwikkeling van een voorspellend instrument voor classificatie van toestandsaspecten in riolen op basis van expertmeningen, inspectiegegevens en geo-informatie.



Auteurs: A. Rabenort (Covalent ITS) en A.S. Beenen (Stichting RIONED)
Tekstadviezen: Lijntekst, Utrecht
Vormgeving: Grafisch Atelier Wageningen

Inhoud

Voorwoord	5
Samenvatting	6
1 Inleiding	11
1.1 Algemeen	11
1.2 Achtergrond	11
1.3 Projectdoelen	12
1.4 Uitgangspunten	12
1.5 Onderzoeksvragen	13
1.6 Leeswijzer	13
2 Onderzoekskader	14
2.1 Functioneren en toestandsaspecten	14
2.2 Inspectie en beoordeling	14
3 Toestandsvoorspelling	16
3.1 Algemeen	16
3.2 Basis van verwachting	16
3.3 Vergelijkbare omstandigheden	16
3.4 Voorspellingstermijn	17
3.5 Verschillende typen toestandsaspecten	17
3.6 Omvang toestandsaspect in rioolstreng	18
3.7 Combinatie voorspellingen tot totaalbeeld rioolstreng	18
3.8 Betrouwbaarheid van voorspelling	19
3.9 Gebruik SPIRIT voor rioleringsbeheer	19
3.9.1 Invoer	21
3.9.2 Berekening	21
3.9.3 Uitvoer	21
4 Werkwijze	22
4.1 Verkenningen	22
4.2 Modelontwikkeling	23
4.3 Voorbereiding SPIRIT	24
5 Expertmeningen als invoer voor SPIRIT	28
5.1 Algemeen	28
5.2 Expertmeningen	29
5.2.1 Eerste reductie expertmeningen 2004	29
5.3 Uitbreiding SPIRIT-database	30
5.4 Tweede reductie expertmeningen 2006	30
5.4.1 Bepaling relevante toestandsaspecten	31
5.5 Webinterface expertmeningen	32
5.6 Expertmeningenanalyse	32
5.6.1 Te analyseren groep-2-data	32
5.6.2 Vragen statistische analyse	33
5.6.3 Resultaten statistische analyse	34

6 Inspectiedata om SPIRIT uit te breiden	36
6.1 Verschillen in dataopslag	36
6.2 Verwerking inspectiedata	36
6.3 Data-analyse	39
6.3.1 Trendanalyse (1960)	41
7 Resultaten	42
7.1 Datamodel overeenstemmend met informatiemodel kabels en leidingen cf. NEN3610	42
7.2 Database met expertmeningen en website om database uit te breiden	44
7.3 Database met inspectieresultaten en kritische factoren	44
7.4 Werkend model voor toestandsvoorspelling	46
7.5 Opzet voor geoloket binnen SPIRIT-concept	47
8 Conclusies	47
9 Aanbevelingen	50
10 Literatuur	52
Bijlage 1 Berekening aantal combinaties	53
Bijlage 2 Omzetting toestandsaspecten conform NEN3399:2004	55
Bijlage 3 Statistisch onderzoek expertmeningen	58
Bijlage 4 Betrouwbaarheidsintervallen SPIRIT resultaten	61
Bijlage 5 Risicoanalyse haalbaarheid SPIRIT	65
Bijlage 6 Uitvoering en begeleiding	67
Summary	69

Voorwoord

De vervanging van riolering vraagt het grootste deel van het rioleringsbudget. Door riolering niet te vroeg en niet te laat te vervangen bespaart de beheerder geld en blijven de prestaties op peil. Stichting RIONED heeft met dat doel geprobeerd een internetapplicatie - genaamd SPIRIT - te ontwikkelen die de kwaliteit van rioolstrengen voorspelt. Het project heeft gebruik gemaakt van de kennis van ervaren rioleringsbeheerders en van gestandaardiseerde inspectiegegevens. Het voorliggende rapport geeft de verantwoording van de gemaakte keuzes in het project en de bereikte resultaten. Het project is voortijdig beëindigd omdat toepassing van het SPIRIT model niet haalbaar bleek. De kennis omtrent invloedsfactoren op veroudering van riolen is nog onvoldoende. Voorts bleek de datakwaliteit van de beschikbare gegevens onvoldoende voor verantwoorde toepassing van het model.

Uiteindelijk zijn er wel deelresultaten bereikt. Een softwareprogramma ter voorspelling van toestandaspecten is beschikbaar. Voorts heeft het project aanknopingspunten opgeleverd voor belangrijke verbeteringsmogelijkheden in het rioleringsbeheer. Te denken valt aan de wijze van conditiemeting van rioolstrengen en aan verbetering van de registratie van basisgegevens. Stichting RIONED zet de ambitie van dit project voort in de programmalijn 'Doelmatig Beheer' van het onderzoekprogramma.

Het Fonds Collectief Onderzoek Grond-, Weg- en Waterbouw en het stimuleringsprogramma Ruimte voor Geo-Informatie hebben het project financieel ondersteund.

Dankzij de inzet van vele experts vanuit gemeenten, adviesbureaus en inspectiebedrijven heeft het project vorm en inhoud gekregen. Namens Stichting RIONED bedank ik alle betrokkenen zeer voor de geïnvesteerde tijd en geleverde kennis.

Ede, november 2008

Hugo Gastkemper
directeur

Samenvatting

Toestandsvoorspelling voor planning van maatregelen

Wanneer zijn welke maatregelen voor riolering noodzakelijk? Nu besluit de beheerder dit op basis van kengetallen en meningen, of om 'het zekere voor het onzekere te nemen'. Deze werkwijze kan leiden tot een onjuiste planning van maatregelen, waardoor de rioleringsbeheerder bijvoorbeeld een rioolstreng te vroeg of te laat vervangt. In beide gevallen leidt dit tot extra kosten, overlast en risico's voor het functioneren van het afvalwatersysteem.

Ter ondersteuning van de rioleringsbeheerder heeft Stichting RIONED (in samenwerking met vele ervaren rioleringsbeheerders, inspecteurs en adviseurs) een methodiek ontwikkeld voor het voorspellen van de toekomstige kwaliteit van rioolstrengen. Informatie over het verwachte kwaliteitsverlies levert een bijdrage aan de onderbouwing van aard, noodzaak en planning van maatregelen in het rioleringsbeheer. In deze publicatie vindt u de resultaten van de ontwikkeling en beproeving van die methodiek, die tijdens het project 'SPIRIT' is gedoopt. SPIRIT staat voor: Software Plug-in In Rioleringsbeheerpakketten voor Interactieve Toestandsvoorspelling. Deze plug-in zal echter niet op korte termijn worden gerealiseerd. Besloten is het project voortijdig te beëindigen omdat nu nog te weinig eenduidige gegevens beschikbaar zijn van de invloedsfactoren op veroudering van riolen.

Het oorspronkelijke streven

De meeste rioolstelsels hebben slechts enkele schades. Door de schades van in vergelijkbare omstandigheden verkerende rioolstrengen van veel gemeenten onderling te combineren, ontstaat een gedetailleerder beeld van de ontwikkeling van die schades in de tijd. Dankzij de invoering van standaarden voor het waarnemen, classificeren en registreren van schades in rioolstrengen, is het mogelijk de informatie over schades in riolen geautomatiseerd te combineren. Aangenomen dat riolen in vergelijkbare omstandigheden een vergelijkbaar verouderingsgedrag vertonen, is een statistische verwachting te bepalen van de ontwikkeling van schades in de tijd.

Borging van kennis

In het rioleringsbeheer is veel van de beschikbare kennis impliciet aanwezig bij een kleine groep experts. Zij hebben veel schadebeelden gezien en weten uit ervaring wanneer de situatie kritiek wordt en dus maatregelen noodzakelijk zijn. Deze kennis verdwijnt wanneer ervaren rioleringsbeheerders het vakgebied verlaten. In het SPIRIT-project is de kennis van een beperkt aantal experts zodanig vastgelegd, dat deze is te gebruiken als aanvulling op de inspectiegegevens. Tevens is een bruikbare methodiek beschikbaar voor het verder uitbouwen van de database met expertmeningen. Daarmee is een basis gelegd voor de borging van expertise in het rioleringsbeheer.

Internet voor een zelflerend model

Via internet zijn grote hoeveelheden data centraal in te zamelen en informatie met een redelijk hoge frequentie te actualiseren. De moderne informatietechnologie maakt een concept mogelijk, waarbij de gebruiker met minimale inspanning maximale ondersteuning krijgt. Het voorspellingsmodel SPIRIT is door de rioleringsbeheerder te benaderen door een 'plug-in' in te bouwen in de huidige softwarepakketten voor rioleringsbeheer. De plug-in regelt, controleert en corrigeert zonodig de datastromen tussen het centrale voorspellingsmodel, de lokale SUF-RIB-bestanden en relevante geo-informatie. Waar nodig voegt het model ontbrekende data toe vanuit landelijke bestanden (geo-portals). Het gebruik vergt dus geen uitgebreide invoerwerkzaamheden. De door gebruikers ingevoerde data kunnen na controle (o.a. plausibiliteitcheck) het centrale databestand verrijken. Dit maakt het model steeds nauwkeuriger.

Informatie via SPIRIT

De gebruiker hoeft geen uitgebreide gegevens in te voeren en kan de interface van het eigen beheerpakket blijven gebruiken. In het SPIRIT-concept regelt een plug-in in de rioleringsbeheerpakketten de benodigde datastromen. Uit de lokale database verzamelt de plug-in de kenmerken van een te beschouwen rioolstreng (in dit rapport betekent een rioolstreng een aantal riolen tussen twee putten. Een eventuele tussenput blijft buiten beschouwing). De centrale database genereert de statistische verwachting van de verouderingssnelheid van een rioolstreng, gegeven de specifieke omstandigheden. Dit gebeurt door de rioolstreng te vergelijken met in de database aanwezige vergelijkbare rioolstrengen. Via internet krijgt de beheerder het antwoord in zijn beheerpakket. Dit antwoord is geen voorspelling van de restlevensduur of een advies voor het treffen van maatregelen. Het is een statistische verwachting, oftewel de voorspelling van de classificatie van schadebeelden, zoals genormeerd in de NEN3399:2004 Buitenriolering - Classificatiesysteem bij visuele inspectie van objecten. De keuze en planning van maatregelen of een restlevensduur zijn immers van meer factoren afhankelijk dan de technische conditie van een rioolstreng. Wel levert SPIRIT een belangrijk deel van de informatie voor de strategische of operationele planning van maatregelen in het rioleringsbeheer. Ook ontvangt de beheerder een aanduiding van de betrouwbaarheid van de verwachting. Daarmee kan hij de resultaten op een juiste waarde schatten.

Doelen van SPIRIT

Samengevat heeft het SPIRIT-model de volgende doelen:

- Voorspellen van de ontwikkeling van de kwaliteit van riolen.
- Borgen van de kennis van ervaren rioleringsbeheerders.
- Aansluiten bij de huidige werkwijze van de rioleringsbeheerder.
- Gebruiken van de beschikbare geo-informatie ter aanvulling of correctie van de informatie in de beheerpakketten.
- Geen maatregelen adviseren of een restlevensduur vaststellen, maar de ontwikkeling van individuele schades in riolen voorspellen.
- Een indicatie geven van de betrouwbaarheid van de uitkomsten.

Voordelen van SPIRIT

- Voorkómen van onnodig vroegtijdig dan wel te laat vervangen of renoveren van riolen.
- Efficiëntere inzet van inspecties, door daar en dan te inspecteren waar de kwaliteit van de rioolstreng kritiek kan zijn.
- Betere afstemming van werken, doordat eerder bekend is welke werken er aankomen.
- Beter onderbouwde reservering van middelen.
- Groeiend inzicht in factoren die de kwaliteit van riolen beïnvloeden.
- Landelijk inzicht in de toestand van de riolen.

Werkwijze

Het SPIRIT project was gestructureerd in 5 fases:

- fase 1: verkenning van de mogelijkheden en wensen;
- fase 2: eerste aanzet tot een voorspellend model op basis van expertmeningen
- fase 3: bouw prototype

Voorafgaand aan fase 4 is de haalbaarheid van opschaling van het prototype naar een internet applicatie onderzocht.

- fase 4: data inzameling en bouw werkend software model
- fase 5: implementatie tot internet applicatie

De gewenste functionaliteit van SPIRIT kwam tot stand in de eerste drie fases van het project. Het toen beschikbare prototype van het model bleek binnen een zekere bandbreedte de toestand van een rioolstreng redelijk goed te kunnen voorspellen voor een periode van vijf en tien jaar. Om het model nauwkeuriger te maken, was het noodzakelijk geautomatiseerd grote hoeveelheden data

aan het model toe te voegen. Voorafgaand aan deze opschaling is een haalbaarheidsstudie uitgevoerd. Het resultaat bleek positief. Vervolgens is een database gebouwd voor inspectieresultaten en de bijbehorende omgevingsfactoren. Met internettechnologie zijn expertmeningen aan de database toegevoegd. Geïnspecteerde rioolstrengen zijn onderling en met expertmeningen vergeleken. De achteruitgang van de kwaliteit van een rioolstreng is statistisch geanalyseerd. Uiteindelijk is fase 4 afgesloten met een werkend software model ter voorspelling van toestandsaspecten op basis van expertmeningen. Fase 5 is niet gerealiseerd omdat het model een te beperkte toepassing heeft in verband met onvoldoende beschikbaarheid en kwaliteit van de voor SPIRIT benodigde data.

Bereikte resultaten

Naast deze eindrapportage heeft het SPIRIT-project de volgende concrete resultaten bereikt:

- een datamodel voor het ordenen van de benodigde invoergegevens;
- een structuur voor het opslaan van expertmeningen;
- een website voor het verzamelen van expertmeningen;
- een database met 1.114 expertmeningen;
- een structuur voor het opslaan van (verrijkte) inspectiegegevens;
- een database met inspectiegegevens van 96.592 rioolstrengen;
- een model met interface dat op basis van expertmeningen verwachtingen genereert voor classificaties van toestandsaspecten vijf en tien jaar na de uitgangssituatie;
- een aanzet voor de vormgeving van een geoloket;
- een beschrijving van een methodiek voor het berekenen en actualiseren van de statistische betrouwbaarheid van de voorspelling van het SPIRIT-model;
- een beschrijving van hoe het model door online toevoeging van inspectiegegevens zelflerend kan worden.

Tekortkomingen rioleringsbeheerbestanden

Uit de analyse van de data in de beheerpakketten in een steekproef onder vijf gemeenten bleek dat de kwaliteit van die data onvoldoende is om verantwoord in SPIRIT te kunnen gebruiken. De data zijn dusdanig onvolledig en inconsistent, dat vóór het gebruik in SPIRIT uitgebreide controle, correctie of aanvulling noodzakelijk is. Uit de rioleringsbeheerbestanden kwamen de volgende tekortkomingen in de gegevens naar voren:

- Diverse formaten zijn toegepast, waardoor altijd conversie nodig is.
- Onvolledige records, zoals ontbreken van aanlegjaar of materiaaltype.
- Inconsistente gegevens, zoals diverse aanduidingen voor een riooltype.
- Foutieve gegevens, zoals het inspectiejaar vóór het aanlegjaar.
- Ontbreken van inspectieresultaten met hogere classificatie, omdat de gegevens van vervangen rioolstrengen zijn verwijderd.

De vijf geselecteerde gemeenten hoeven niet representatief te zijn voor de situatie in heel Nederland, maar er zijn ook geen redenen om aan te nemen dat de datakwaliteit van de vijf gemeenten significant slechter zou zijn. Leeftijdsopbouw en diameterverdeling van de geïnspecteerde riolen komen overeen met die in de Rioleringsatlas (RIONEDreeks 8).

Uit de rioleringsbeheerbestanden zijn overigens wel bruikbare gegevens te krijgen. Maar hiervoor zijn te veel handmatige werkzaamheden nodig die een praktisch bruikbare methodiek in de weg staan. Daarom heeft het project geleid tot een uitsluitend op expertmeningen gebaseerd operationeel model. Dit model voorspelt de achteruitgang van de kwaliteit van een rioolstreng voor vijf en tien jaar na een inspectie conform NEN3399:2004. Het nu beschikbare model bevat relatief weinig expertmeningen. Daarom is de spreiding in de uitkomsten nog groot. Omdat de bruikbaarheid van het model te wensen overlaat, is de beoogde plug-in voor de rioleringsbeheerpakketten niet ontwikkeld.

Conclusies

Uit de meerdere workshops met de experts en de klankbordgroep kwamen de volgende gewenste functionaliteiten voor SPIRIT naar voren:

- Geen restlevensduurverwachting of adviezen over te nemen maatregelen, maar voorspelling van toestandsaspecten.
- Voorspellingstermijn van vijf en tien jaar na inspectie.
- Toestandsaspecten elk afzonderlijk beschouwen, onderlinge correlatie van toestandsaspecten is niet relevant.
- Presentatie van voorspelling op strengniveau, omdat beheerders maatregelen op dit niveau plannen.
- Aanduiding van het betrouwbaarheidsinterval van de modelresultaten.

De achteruitgang van de kwaliteit van een rioolstreng kan van vele invloedsfactoren afhankelijk zijn. Van slechts een beperkt aantal zijn gegevens voor handen. Daarom is in het project een keuze gemaakt welke invloedsfactoren met een haalbare inspanning zijn mee te nemen in het SPIRIT model. De volgende kenmerken zijn aangemerkt als bruikbare kritische factoren:

- Type riool (dwa, hwa of gemengd);
- Dekking van het riool (afstand maaiveld tot kruin riool groter of kleiner dan 3 meter);
- Wel of niet belast door zwaar verkeer;
- Betonkwaliteit van voor of na 1970;
- Grote of kleine kans op H₂S;
- Wel of niet zettingsgevoelige grond waarin het riool ligt.

De volgende toestandsaspecten zijn als doorslaggevend beschouwd voor het vervangen van een rioolstreng:

- In gebieden met een goede grondslag (niet zettingsgevoelig) zijn vooral de scheuren en/of aantasting maatgevend;
- In gebieden met een slechte grondslag (zettingsgevoelig) zijn vooral (ongelijke) zettingen (hoekverdraaiingen) maatgevend;

Andere toestandsaspecten kunnen hierop aanvullend de noodzaak tot maatregelen vergroten.

Gebleken is dat de huidige databestanden bij de in veel situaties als meest relevant geachte toestandsaspecten 'aantasting' en 'scheuren' relatief zeer weinig klassen 4 en 5 bevatten. (In de representatieve steekproef BAF < 10% respectievelijk BAB < 33%). Dit maakt het voorspellen van deze toestandsaspecten op basis van de beschikbare databestanden tot een hachelijke zaak.

Aanbevelingen

Voor een betere ondersteuning bij het opstellen van een maatregelenplanning gelden de volgende aanbevelingen:

- Belangrijk is dat beheerders vaste gegevens, inspectieresultaten en omgevingsfactoren van objecten eenduidig vastleggen. Een landelijk uniforme databasestructuur voor rioleringsbeheer maakt het mogelijk gegevens eenduidig en met een voldoende kwaliteitsniveau vast te leggen. Een gebruiksvriendelijke interface moet het daarnaast mogelijk maken de gegevens goed te beheren. Stichting RIONED zal in de onderzoeksprogrammalijn 'Doelmatig Beheer' een uniforme databasestructuur ontwikkelen.
- Beheerders moeten inspectieresultaten conform het actuele SUF-RIB registreren. Dit betekent volledige registratie van de kwantificeringen en karakterisering van alle waargenomen toestandsaspecten.
- Bij dubbele inspecties of vervanging moeten de oude inspectiegegevens met de op moment van inspectie geldende vaste gegevens bewaard blijven. Door de historische gegevens te bewaren, kunnen waardevolle inzichten ontstaan.

- Totdat de databestanden het geautomatiseerd zoeken naar statistische verbanden in verouderingsprocessen mogelijk maken, kan Stichting RIONED onderzoek doen naar de argumentatie bij rioolvervangingsprojecten. Projecten waarbij beheerders rioolstrengen vervangen op grond van hun slechte toestand, zijn te inventariseren en analyseren op de vervangingsredenen. Ook is vast te leggen welke levensduur onder welke omstandigheden is gerealiseerd. Hieruit kan een voorbeeldenboek ontstaan dat het inzicht in het herkennen van rioolstrengen in kritieke toestand kan vergroten.
- Het beheer van de individuele objecten moet samenhangen met het beheer van het functioneren van de riolering als systeem.
- Ten slotte is het goed als het SPIRIT-project een vervolg krijgt, waarin het afwegingsproces rondom maatregelenplanning in het rioleringsbeheer een beter fundament krijgt. Dit fundament moet bestaan uit betrouwbare gegevens en bruikbare criteria, waarmee informatie is af te leiden over het acceptabel zijn van verschillen tussen de gewenste en de huidige toestand van de objecten en het functioneren van het systeem.

1 Inleiding

1.1 Algemeen

Toestandsvoorspelling van rioolstrengen* is bedoeld om beslissingen over aard en noodzaak van maatregelen te ondersteunen. Met inzicht in de te verwachten toekomstige kwaliteit van rioolstrengen kan de beheerder de maatregelenplanning beter onderbouwen. Dit geldt zowel voor de strategische langetermijnplanning in het gemeentelijk rioleringsplan (GRP) als voor de operationele kortetermijnplanning van projecten. In het huidige rioleringsbeheer bestaat geen uniforme methodiek voor het voorspellen van de toekomstige kwaliteitsafname. Dit staat uitwisseling en borging van kennis over het degradatiegedrag van riolen in de weg. Daarbij heeft de maatregelenplanning grote invloed op de rioleringsbeheerkosten. Daarom is de verwachting dat beheerders met een praktisch bruikbare en uniforme methode om de maatregelenplanning te onderbouwen aanzienlijke kosten kunnen besparen.

Stichting RIONED heeft de mogelijkheden om de kwaliteit van rioolstrengen te voorspellen onderzocht. Deze publicatie geeft de resultaten van dit onderzoek, het SPIRIT-project.

Dit hoofdstuk beschrijft de achtergrond, doelen en uitgangspunten van het onderzoek. Aan het eind (in paragraaf 1.6) vindt u een leeswijzer voor de gehele publicatie.

1.2 Achtergrond

De Nederlandse Praktijkrichtlijn NPR3220 omschrijft rioleringsbeheer als: 'de zorg voor het functioneren van de buitenriolering, zijnde de verzameling van objecten bedoeld voor de inzameling en het transport van afvalwater die zich bevinden buiten gebouwen'. Het SPIRIT-project richtte zich op het beheer van de riolen als belangrijkste groep objecten in een rioolstelsel. Het riolenbeheer heeft als doel de riolen voldoende te laten bijdragen aan het gewenste functioneren van het afvalwatersysteem. Hiertoe wint de beheerder informatie in over de actuele toestand van de riolen en beoordeelt deze in het licht van de specifieke situatie. Zo bepaalt hij of, en zo ja wanneer, bepaalde maatregelen noodzakelijk zijn.

De beheerder krijgt vaak via visuele inspectie informatie over de huidige toestand van riolen (zie 8 en 9 in literatuurlijst). De waargenomen, gecodeerde en geclassificeerde toestandsaspecten voor afstroming, constructie en waterdichtheid beoordeelt hij vervolgens aan de hand van de gestelde maatstaven voor zowel de toestand van de riolen afzonderlijk als voor het functioneren van het totale stelsel. Deze beoordeling leidt tot het plannen van maatregelen.

Mogelijke kostenbesparingen

De maatregelenplanning is gebaat bij kennis over de te verwachten ontwikkeling van de conditie van riolen. Bij een betrouwbare voorspelling van de riolenkwaliteit kan de beheerder kosten besparen door:

- op het juiste moment de juiste maatregel voor de juiste rioolstreng te nemen;
- gericht inspecties te plannen voor de riolen waarvan te verwachten is dat de toestand binnenkort kritiek wordt;
- globale plannen voor maatregelen af te stemmen met andere werkzaamheden in de openbare ruimte;
- beter onderbouwd de benodigde financiële en personele middelen op de (middel)lange termijn te reserveren.

*) In dit rapport betekent 'rioolstreng' een aantal riolen tussen twee putten. Een eventuele tussenput blijft buiten beschouwing.

Combineren van gegevens

De aard en omvang van de waarnemingen bij visuele inspectie van riolen worden in Europa gecodeerd en geclassificeerd conform de EN13508-2 Conditions of drain and sewer systems outside buildings - Part 2: Visual inspection coding system. Voor de Nederlandse situatie is deze norm vertaald en uitgebracht als de NEN3399:2004 Buitenriolering - Classificatiesysteem bij visuele inspectie van objecten (literatuur 9). Daarnaast is een standaardformaat beschikbaar voor het opslaan en uitwisselen van de inspectiebestanden: SUF-RIB-2. Door deze standaardisatie van gegevens zijn de inspectieresultaten van verschillende beheerders van vergelijkbare riolen te combineren. Hierdoor ontstaat een beter beeld van de kwaliteitsontwikkeling van riolen in de tijd. Dit is de basisgedachte voor de ontwikkeling van een model dat de toestand van riolen voorspelt. Hierbij legt het model als het ware de puzzelstukjes van elke rioleringsbeheerder bij elkaar aan, totdat het eindplaatje duidelijk is.

Elk puzzelstukje bevat de informatie over:

- de leeftijd van het riool;
- de op die leeftijd waargenomen toestand van het riool;
- de op die toestand van invloed zijnde omstandigheden waarin dat riool zich bevindt.

De complete puzzel bevat dan de informatie voor de ontwikkeling van de toestandsaspecten in de tijd voor riolen in vergelijkbare omstandigheden.

Met de toenemende beschikbaarheid van internet zijn gemakkelijk grote hoeveelheden data in te zamelen en te combineren tot statistische verwachtingen voor veroudering van riolen. Om de betrouwbaarheid van het model te vergroten, zijn ook ervaren rioleringsbeheerders, inspecteurs en adviseurs gevraagd om voor kenmerkende situaties voorspellingen te geven over de toestandsontwikkeling.

In deze publicatie leest u over de gevolgde werkwijze en de behaalde resultaten in het SPIRIT-project.

1.3 Projectdoelen

Het hoofddoel van het SPIRIT-project is: het conceptueel ontwikkelen, bouwen, testen en implementeerbaar maken van een praktisch bruikbaar instrument voor het voorspellen van de relevante toestandsaspecten van riolen, inclusief een indicatie van de betrouwbaarheid van die voorspelling.

Overige doelen zijn:

- Kennis van ervaren deskundigen in het rioleringsbeheer borgen voor de toekomst door hun verwachtingen over de ontwikkeling van toestandsaspecten gestructureerd vast te leggen.
- Het opbouwen van een databestand over de staat van de rioolstelsels in Nederland.
- Bijdragen aan de ontwikkeling van de ontsluiting van geo-informatie over riolering via een geoloket.

1.4 Uitgangspunten

De uitgangspunten van het project waren:

- SPIRIT beoogt niet een restlevensduur of noodzaak van maatregelen te voorspellen, maar geeft een verwachting van de toename van individuele schadebeelden als extra informatie in de beoordeling.
- Voor het creëren van draagvlak en landelijke uniformiteit is gekozen voor samenwerking met vertegenwoordigers vanuit gemeenten, adviesbureaus en inspectiebedrijven.
- Bij de toepassing van toestandsvoorspelling in de praktijk is gekozen voor een implementatie die aansluit bij de huidige processen en werkwijzen.

- De inzet van het voorspellingsinstrument moet een groeipad kunnen doorlopen. Hierbij neemt de nauwkeurigheid van het instrument toe naarmate meer inspectiedata beschikbaar komen. Ook kan de voorspellingshorizon dan verschuiven naar langere periodes.

1.5 Onderzoeksvragen

In het project zijn uiteindelijk de volgende onderzoeksvragen beantwoord:

- Welke functionaliteit verwacht de rioleringsbeheerder van een model voor toestandsvoorspelling?
- Welke omstandigheden zijn van belang om riolen als vergelijkbaar aan te merken?
- Welke toestandsaspecten zijn het meest van belang voor het plannen van maatregelen?
- Welke omgevingsfactoren beïnvloeden de ontwikkeling van de belangrijkste toestandsaspecten?
- Welke invoergegevens voor het voorspellingsinstrument zijn met welke nauwkeurigheid en tegen welke inspanning beschikbaar te krijgen?
- Hoe kan het instrument leren van steeds meer beschikbaar komende gegevens?
- Hoe zijn gewenste gegevens – bijvoorbeeld via een geoloket – aan de basisgegevens vanuit het rioleringsbeheer toe te voegen om het voorspellende vermogen te verbeteren?
- Hoe kunnen verwachtingen en meningen van ervaren rioleringsbeheerders, adviseurs en inspecteurs de betrouwbaarheid van de voorspellingen helpen verbeteren?

1.6 Leeswijzer

- Hoofdstuk 2 beschrijft het kader van het onderzoek, met onder meer een toelichting op termen en principes van het rioleringsbeheer.
- Hoofdstuk 3 beschrijft het SPIRIT-concept van toestandsvoorspelling.
- Hoofdstuk 4 gaat over de gevolgde werkwijze en de bereikte resultaten.
- Hoofdstuk 5 gaat in op de expertmeningen als basis voor SPIRIT.
- Hoofdstuk 6 behandelt de inzameling en analyses van inspectiedata.
- Hoofdstuk 7 beschrijft de (eind)resultaten van het project.
- Hoofdstuk 8 geeft de conclusies van het onderzoek.
- Hoofdstuk 9 geeft de aanbevelingen van het onderzoek.
- Hoofdstuk 10 is de literatuurlijst, met onder meer eerder verschenen rapporten en overige publicaties in het kader van het SPIRIT-project.

2 Onderzoekskader

Dit hoofdstuk beschrijft het kader van het onderzoek. U vindt hier een toelichting op termen en principes van het rioleringsbeheer. Ook leest u over de rol en het nut van toestandsvoorspelling in het rioleringsbeheer.

2.1 Functioneren en toestandsaspecten

Het rioleringsbeheer kent meerdere dimensies. Voor een goed begrip is allereerst onderscheid gemaakt in het functioneren van de riolering als samenhangend systeem en de toestand van de afzonderlijke objecten die samen het systeem vormen.

Functioneren als systeem

Het functioneren als systeem beoordeelt de beheerder met name op de grootte van de water- en stofstromen die het afvalwaterstelsel in- en uitgaan. Het functioneren kan hij toetsen aan eisen voor de afvoercapaciteit en de vuiluitworp. Om te toetsen of het stelsel daadwerkelijk functioneert zoals de bedoeling is, maakt de beheerder vooral modelberekeningen. De laatste jaren vult hij die informatie steeds vaker aan met metingen in het stelsel.

Toestand van riolen

De toestand van de riolen beoordeelt de beheerder door de kwaliteit van de objecten in het stelsel te vergelijken met maatstaven. De ernst van de toestand bepaalt hij in het licht van de specifieke functie van elk object in het totale systeem. De toestand van riolen wordt voornamelijk gemeten met een visuele inspectie en geregistreerd in geclassificeerde toestandsaspecten.

Hoewel het functioneren van het systeem en de toestand van de objecten sterk met elkaar samenhangen, heeft het SPIRIT-project zich uitsluitend gericht op het voorspellen van de toestand van riolen. Dat betekent niet dat beheerders alleen met informatie over toestandsvoorspelling zinvol maatregelen kunnen plannen. Wél kan die informatie een belangrijke aanvulling geven op de onderbouwing van de maatregelenplanning. Overigens gaat het bij toestandsaspecten niet alleen om schades; ook de posities van inlaten worden bijvoorbeeld geregistreerd.

2.2 Inspectie en beoordeling

Voor een efficiënt riolenbeheer moet de beheerder informatie hebben over:

- de vereiste toestand van de riolen, zodat ze voldoende bijdragen aan de doelen van het rioolstelsel;
- de actuele en te verwachten toekomstige toestand van de riolen;
- de functie, locatie en geometrie van de riolen;
- de effecten en kosten van mogelijke maatregelen (onderhoud, reparatie, renovatie of vervanging) om bij onvoldoende conditie de riolen weer op een voldoende peil te brengen.

De toestand van riolen kan de beheerder (laten) vastleggen via een visuele inspectie:

- met een foto- of videocamera vanuit de put;
- met een videocamera vanuit het riool;
- door het riool te betreden en een maninspectie uit te voeren (als het riool groot genoeg is).

Waarnemingen conform EN13508-2-coderingen

De waarnemingen bij visuele inspectie legt de inspecteur vast conform de in de EN13508-2 vastgelegde coderingen voor de toestandsaspecten. Daarbij moet hij per toestandsaspect de relevante kwantificering en nadere kwalificering vastleggen. Eventueel vult de beheerder de informatie aan met nader onderzoek, zoals het testen van uitgeboorde delen van de rioolwand.

In principe legt de inspecteur alleen vast wat hij ziet met de coderingen in de EN13508-2. Het beoordelen van de inspectieresultaten om te bepalen of maatregelen nodig zijn, vergt tenslotte meer informatie dan alleen de toestandsaspecten.

GRP

De toestand van de objecten (zoals riolen, putten, gemalen of infiltratievoorzieningen) beoordeelt de beheerder aan de hand van de maatstaven voor waterdichtheid, afstroming en stabiliteit.

De getalswaarden van de maatstaven en de meetmethode legt hij vast in het gemeentelijk rioleringsplan (GRP).

Waarschuwings- en ingrijpmaatstaven

De NEN3398 geeft grenswaarden voor de meeste toestandsaspecten. Deze zijn aangeduid als waarschuwings- of ingrijpmaatstaven. Hoewel deze NEN-maatstaven als voorbeelden gelden, gebruiken beheerders deze waarden vaak ook in de praktijk, omdat zij geen argumenten hebben om daarvan af te wijken.

Redenen om maatregelen te treffen

Redenen voor het daadwerkelijk repareren, renoveren of vervangen van riolen kunnen divers zijn. Bijvoorbeeld toename van het afvoerende oppervlak, waardoor een nieuw riool met een grotere diameter de benodigde extra afvoercapaciteit realiseert. Maar ook de wens om werkzaamheden in de openbare ruimte te combineren, kan leiden tot een eerdere vervanging van een rioolstreng dan op basis van de te verwachten toestandsontwikkeling strikt noodzakelijk zou zijn.

3 Toestandsvoorspelling

3.1 Algemeen

Het SPIRIT-project verstaat onder toestandsvoorspelling:

'De verwachte ontwikkeling van de kwaliteit van rioolstrengen, uitgedrukt in een procentuele verdeling van geclassificeerde toestandsaspecten conform NEN3399:2004, onder de aanname dat rioolstrengen met een beperkt aantal gelijke, maatgevende kenmerken en omstandigheden een gelijke degradatie hebben.'

In de Verenigde Staten (zie 2, 3, 5 en 10 in literatuurlijst) en Duitsland (zie 6 in literatuurlijst) zijn vergelijkbare methodieken beschikbaar. Het SPIRIT-project heeft daar deels op voortgebouwd.

3.2 Basis van verwachting

De kern van toestandsvoorspelling in SPIRIT is statistiek: de wetten van de grote getallen. Het model vergelijkt in principe verschillende maar toch vergelijkbaar geachte rioolstrengen, omdat de meest kenmerkende eigenschappen en omstandigheden binnen een bepaalde bandbreedte overeenkomen. Om de statistische verouderingsverwachting af te leiden, zijn expertmeningen en inspectiedata gebruikt.

Expertmeningen

Allereerst is SPIRIT gebaseerd op de verwachting van ervaren rioleringsdeskundigen: expertmeningen. Een expertmening is: 'de verwachting van de toename van een classificatie van een toestandsaspect na vijf of na tien jaar, gegeven een set van kenmerkende eigenschappen van de betreffende rioolstreng'.

Inspectiedata

De tweede groep invoergegevens bestaat uit de inspectiegegevens van vergelijkbare rioolstrengen. SPIRIT bepaalt hieruit een statistische verwachting van de kwaliteitsontwikkeling van deze rioolstrengen, omdat deze zijn geïnspecteerd op verschillende leeftijden.

3.3 Vergelijkbare omstandigheden

Rioolstrengen zijn als vergelijkbaar aangemerkt als de maatgevende kenmerken en omstandigheden binnen een zekere bandbreedte als gelijk zijn te beschouwen. Deze maatgevende kenmerken en omstandigheden heten in SPIRIT kritische factoren. Veel kenmerken van een rioolstreng en de omstandigheden waarin deze rioolstreng functioneert, beïnvloeden de ontwikkeling van de kwaliteit. Maar het is noodzakelijk daarin een keuze te maken. Voor gebruik in SPIRIT moet de benodigde informatie op een acceptabele manier voorhanden zijn. Daarom zijn sommige kenmerken uiteindelijk niet gebruikt. Bijvoorbeeld informatie over bijzondere lozingen of over de aanwezigheid van boomwortels rondom een rioolstreng. Deze invloedsfactoren zijn immers lastig vast te stellen. Uiteindelijk zijn de kritische factoren in tabel 3.1 gebruikt.

Tabel 3.1 Kritische factoren gebruikt in SPIRIT

Kritische factor	Mogelijke waarde van kritische factor
Type riool	Gemengd, hwa of dwa
Dekking	< of > 3 m
Verkeersbelasting	Zwaar of niet zwaar verkeer
Betonkwaliteit	Voor of na 1970
Kans op H ₂ S	Groot of klein
Zettingsgevoelig	Wel of niet

3.4 Voorspellingstermijn

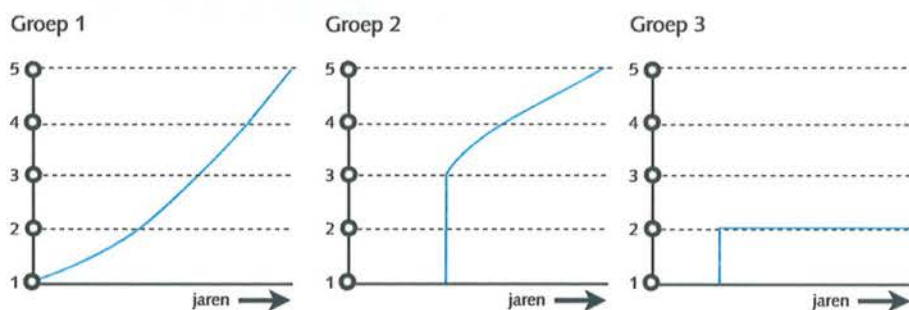
De begeleidingscommissie heeft besloten de voorspellingshorizon in eerste instantie te beperken tot tien jaar. SPIRIT geeft ook een voorspelling voor vijf jaar. Naarmate meer basisgegevens beschikbaar komen, is de voorspelling van SPIRIT op termijn uit te breiden naar een langere periode. De termijnen van vijf en tien jaar zijn ook gekozen, omdat beheerders de meeste projecten op een dergelijke termijn plannen. Een voorspelling van de kwaliteitsontwikkeling van de rioolstreng vijf en tien jaar na de inspectie kan de rioleringsbeheerder ondersteunen bij bijvoorbeeld de volgende beslissingen:

- Hoeveel middelen zijn de komende jaren nodig voor het voldoende laten functioneren van de riolering?
- Wanneer is een (vervolg)inspectie zinvol, zodat ik aan het begin van de periode waarin de kwaliteit kritiek wordt, de actuele restlevensduur kan bepalen?
- Zal ik wel of niet meeliften met een voorgenomen wegreconstructie?

3.5 Verschillende typen toestandsaspecten

De toestandsaspecten van de NEN3399:2004 zijn in het SPIRIT-project verdeeld in drie groepen. In figuur 3.1 ziet u het onderscheid tussen de drie typen toestandsaspecten. Elke groep heeft een andere manier van toestandsvoorspellen:

- Groep 1: verloop van de classificatie van deze toestandsaspecten is sterk afhankelijk van de leeftijd van de riolering. De verwachting is dat op basis van inspectiedata en indeling naar kritische factoren een beeld kan ontstaan van het verloop van deze toestandsaspecten als functie van de tijd.
- Groep 2: verloop van de classificatie van deze toestandsaspecten is niet zozeer afhankelijk van de leeftijd, maar van de geconstateerde toestand na inspectie. Op basis van kritische factoren kunnen experts uitspraken doen over de verwachte toestand na vijf of tien jaar.
- Groep 3: verloop van de classificatie van deze toestandsaspecten is in feite niet op basis van bijvoorbeeld verouderingsmodellen te voorspellen.



Figuur 3.1 De drie typen toestandsaspecten

Groep-3-toestandsaspecten zijn vaak waarnemingen van posities van inlaten in de rioolstreng. Omdat deze geen verandering in de tijd laten zien, zijn deze toestandsaspecten in SPIRIT verder buiten beschouwing gelaten. Zoals in het rechter plaatje van figuur 3.1 is aangegeven zijn er ook groep-3-toestandsaspecten die slechts tijdelijk optreden zoals wortelschermen, of aanwezigheid van rioolvreemde objecten zoals stenen. Ook deze toestandsaspecten zijn buiten beschouwing gelaten. Wel kunnen zij bij de uiteindelijke beoordeling van de rioolstreng een aanvullende rol spelen.

Afhankelijk van de omstandigheden kunnen groep-1-toestandsaspecten een voorspelbaar verloop in de tijd hebben. Zo zal een hoekverdraaiing of axiale verplaatsing van een riool in zettingsgevoelige bodem in de tijd toenemen. Door de klassen in riolen met oplopende leeftijd waargenomen toestandsaspecten van groep 1 te combineren, ontstaat een trend in de mate waarin deze toestandsaspecten in de tijd toenemen.

Bij toestandsaspecten van groep 2 is trendanalyse slechts mogelijk wanneer gegevens van meervoudig geïnspecteerde rioolstrengen beschikbaar zijn (waarin het toestandsaspect dus minimaal twee keer is waargenomen). Het SPIRIT project heeft de toestandsvoorspelling van deze groep aspecten voornamelijk gebaseerd op verwachtingen van experts.

3.6 Omvang toestandsaspect in rioolstreng

De beoordeling van toestandsaspecten vindt meestal plaats op het niveau van een rioolstreng: een aantal riolen tussen twee putten. Daarom berekent SPIRIT de voorspelling als een procentuele verdeling van de klassen per toestandsaspect over de betreffende rioolstreng. De omvang van een toestandsaspect is op meerdere manieren waar te nemen:

- in discrete aantallen (puntwaarnemingen);
- in lengtes (meelopende schades);
- in een deel van de buisomtrek of buisoppervlakte.

Zo zijn lekkende voegverbindingen aan te geven als een percentage van het totale aantal voegverbindingen in de streng. Scheuren in de lengte zijn aan te geven als een percentage van de totale strenglengte en aantasting als een percentage van de totale buisoppervlakte in de streng. Een ander onderscheid in toestandsaspecten betreft de omvang waarin dit aspect zich uitstrekt over de lengte van een rioolstreng.

3.7 Combinatie voorspellingen tot totaalbeeld rioolstreng

SPIRIT berekent de toestandsvoorspelling voor individuele toestandsaspecten. Per toestandsaspect geeft het model een voorspelling. Deze voorspelling bestaat uit de verwachte verdeling van dat toestandsaspect over de beschikbare klassen. Voor puntwaarnemingen bepaalt SPIRIT in percentages hoeveel waarnemingen naar verwachting in dezelfde klasse blijven en hoeveel na vijf en tien jaar een of meer klassen zullen toenemen. De uiteindelijke resultaten presenteert SPIRIT door de individuele aspecten weer samen te voegen tot een totaalbeeld van een rioolstreng (zie figuur 3.2).



Figuur 3.2 Totaalbeeld van een rioolstreng in SPIRIT

3.8 Betrouwbaarheid voorspelling

De betrouwbaarheid van de voorspelling geeft de bandbreedte aan waarbinnen de voorspelling met een bepaalde zekerheid zal liggen. De betrouwbaarheid van de SPIRIT-voorspelling is het resultaat van de hoeveelheid beschikbare basisgegevens (expertmeningen, inspectieresultaten en kritische factoren) voor een bepaalde situatie en de onzekerheid in die basisgegevens. Als voor een bepaalde situatie (geclassificeerd toestandsaspect in een rioolstreng met een bepaalde set van kritische factoren) weinig basisgegevens beschikbaar zijn omdat die situatie weinig voorkomt, zal de daarop gebaseerde voorspelling een relatief lage betrouwbaarheid hebben.

Ook de basisgegevens hebben een bepaalde bandbreedte. Expertmeningen voor eenzelfde situatie hebben een zekere spreiding in de verwachting. Aangenomen is dat inspectieresultaten een vergelijkbare spreiding hebben als bepaald op basis van de examenresultaten van rioolinspecteurs (zie 13 in literatuurlijst). De onzekerheid in het vaststellen van kritische factoren is nog niet onderzocht.

Uiteindelijk geeft SPIRIT de betrouwbaarheid van de voorspelling weer als de spreiding tussen een gemiddelde verwachting en twee redelijk uitersten: als het tegenvalt en als het meevalt. Door deze kwalitatieve aanduiding ziet de SPIRIT-gebruiker direct de bruikbaarheid van het resultaat.

3.9 Gebruik SPIRIT voor rioleringsbeheer

SPIRIT moet de rioleringsbeheerder zodanig ondersteunen, dat de beheerder het model makkelijk in zijn werkwijze kan inpassen. Dit betekent dat SPIRIT niet veel invoerwerk moet vergen en dat de presentatie van de resultaten moet passen in de huidige rioleringsbeheerssoftwarepakketten. Figuur 3 geeft het beoogde gebruik van SPIRIT weer.

Plug-in in beheerpakket

De implementatie van SPIRIT was voorzien als een plug-in in de huidige rioleringsbeheerssoftware. De plug-in verzorgt de datastromen tussen het lokaal aanwezige beheerpakket en via internet met de centrale database. In het lokale beheerpakket staan de inspectieresultaten en een deel van de kritische factoren. De kritische factoren voor verkeersbelasting zijn niet te bepalen op basis van data in het beheerpakket. Dit zou in een centrale database of via een geoloket beschikbaar kunnen komen (zie 1, 4, 7 en 11 in literatuurlijst).

In het SPIRIT-concept zijn de volgende actoren en taken te onderscheiden:

Inspectiebedrijf:

- Krijgt optioneel uit te voeren inspecties in SUF-RIB-formaat aangeleverd van beheerpakket.
- Voert inspectie uit en levert inspectiedata in SUF-RIB-formaat aan beheerpakket.

Beheerder:

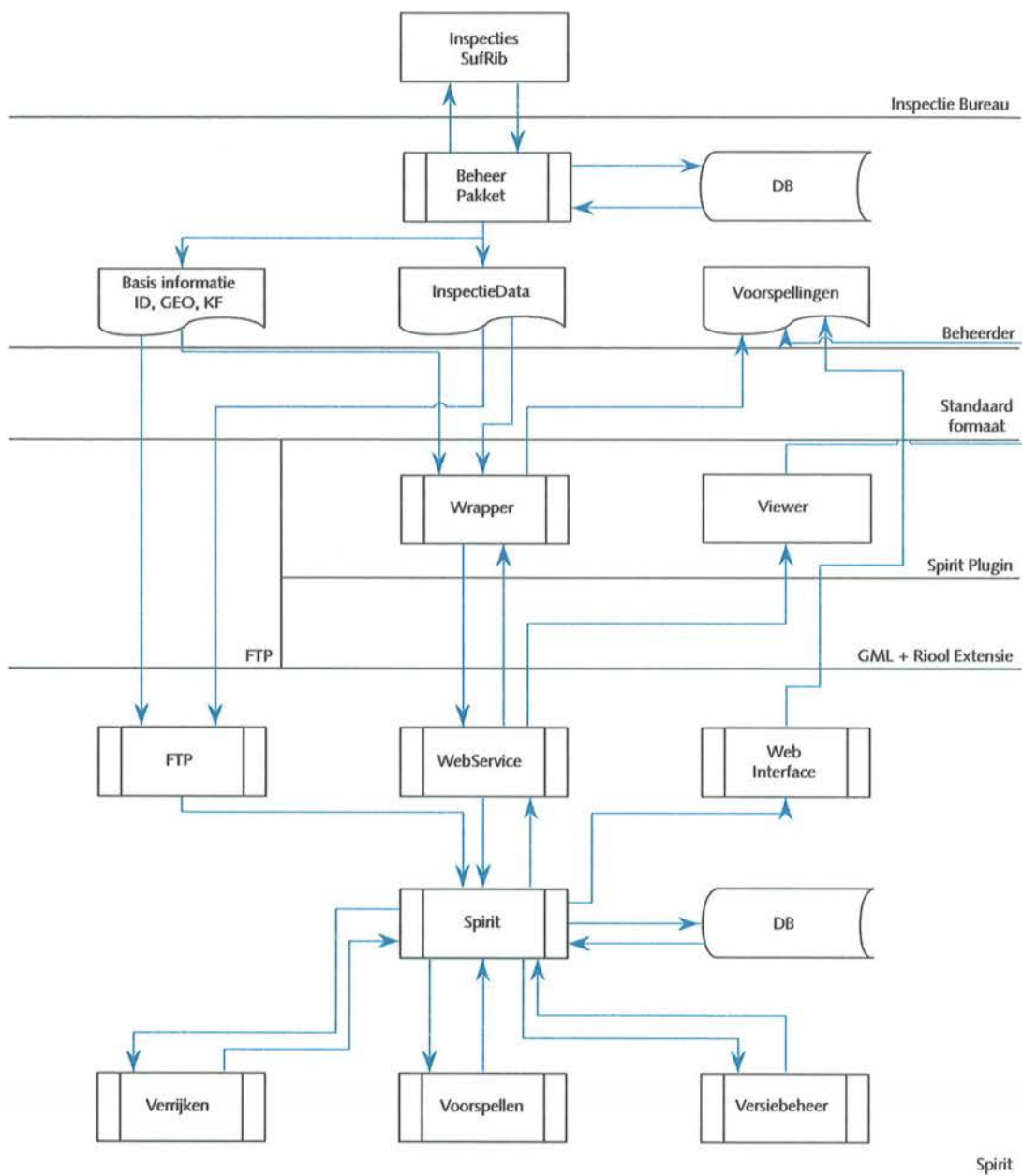
- Verwerkt inspectiebestanden.
- Controleert en valideert inspectiebestanden.
- Levert informatie aan SPIRIT via ftp (file transfer protocol) of plug-in.
- Vraagt voorspellingen op via webinterface of plug-in.

Plug-in:

- Zet aangeleverde data om naar GML-formaat (graphic make-up language).
- Levert voorspellingen aan beheerpakket in GML-formaat.

SPIRIT:

- Ontvangt informatie via ftp of webservice.
- Verwerkt aangeleverde informatie vanuit beheerpakket.
- Verrijkt informatie met aanvullende kritische factoren.



Figuur 3.3 Het beoogde gebruik van SPIRIT

- Maakt voorspellingen aan.
- Beheert de modelversie die de voorspellingen berekent.
- Gebruikt webinterface om informatie op te vragen.

3.9.1 Invoer

Om SPIRIT een voorspelling te laten genereren, moeten per rioolstreng de kritische factoren en geclassificeerde inspectieresultaten bekend zijn. Dit is in paragraaf 3.3 toegelicht. Vóór de eigenlijke berekening controleert SPIRIT de volledigheid van de invoer en probeert deze waar nodig aan te vullen.

3.9.2 Berekening

SPIRIT berekent de te verwachten classificaties van toestandsaspecten met een procentuele verdeling over de haalbare classificaties na vijf en tien jaar. Deze verdeling is het resultaat van een statistische bewerking op de voor de gegeven situatie beschikbare expertmeningen én de geconstateerde classificaties in vergelijkbare rioolstrengen met een tijdens de inspectie hogere leeftijd.

3.9.3 Uitvoer

SPIRIT presenteert de verwachte classificaties van de afzonderlijke toestandsaspecten gezamenlijk als een verdeling in de betreffende rioolstreng. Per rioolstreng presenteert het model drie varianten:

- een gemiddelde verwachting;
- een verwachting voor als het tegenzit;
- een verwachting voor als het meezit.

Het verschil tussen de uitersten is een maat voor de betrouwbaarheid van de voorspelling.

4 Werkwijze

Dit hoofdstuk geeft een kort overzicht van de gevolgde werkwijze in het SPIRIT-project. De nadruk ligt daarbij op de gemaakte keuzes. Verdere achtergronden vindt u in de bijlagen en de literatuurlijst.

Het SPIRIT project was gestructureerd in 5 fases:

- fase 1: verkenning van de mogelijkheden en wensen;
- fase 2: eerste aanzet tot een voorspellend model op basis van expertmeningen;
- fase 3: bouw prototype van SPIRIT;
- voorafgaand aan fase 4 is de haalbaarheid van opschaling van het prototype naar een internet applicatie onderzocht;
- fase 4: data inzameling en bouw werkend software model;
- fase 5: implementatie tot internet applicatie.

De gewenste functionaliteit van SPIRIT kwam tot stand in de eerste drie fases van het project. Het toen beschikbare prototype van het model bleek binnen een zekere bandbreedte de toestand van een rioolstreng redelijk goed te kunnen voorspellen voor een periode van vijf en tien jaar. Om het model nauwkeuriger te maken, was het noodzakelijk geautomatiseerd grote hoeveelheden data aan het model toe te voegen. Voorafgaand aan deze opschaling is een haalbaarheidsstudie uitgevoerd. Het resultaat bleek positief. Vervolgens is in fase 4 een database gebouwd voor inspectieresultaten en de bijbehorende omgevingsfactoren. Met internettechnologie zijn expertmeningen aan de database toegevoegd. Geïnspecteerde rioolstrengen zijn onderling en met expertmeningen vergeleken. De achteruitgang van de kwaliteit van een rioolstreng is statistisch geanalyseerd. Uiteindelijk is fase 4 afgesloten met een werkend software model ter voorspelling van toestandsaspecten op basis van expertmeningen. Fase 5 is niet gerealiseerd omdat het model een te beperkte toepassing heeft. In fase 4 van het project zijn twee oorzaken aan het licht gekomen waarom SPIRIT op dit moment niet toepasbaar is. Allereerst blijkt de ontwikkeling van relevante schades van meer factoren afhankelijk dan op dit moment worden geregistreerd. Daarnaast blijkt de kwaliteit van de wel beschikbare gegevens zodanig slecht dat gebruik daarvan in een model als SPIRIT onverantwoord zou zijn.

4.1 Verkenningen

Het SPIRIT-project is geboren vanuit de behoefte om beter te kunnen bepalen hoe lang een rioolstreng meegaat. Uit een verkenning van gebruikte methodieken voor restlevensduurbepaling in aanpalende vakgebieden is contact ontstaan met KEMA. Een van de activiteiten van KEMA is het inspecteren en beoordelen van installaties en gebouwen. KEMA heeft Stichting RIONED voorgesteld de daarbij opgebouwde expertise te gebruiken voor het rioleringsbeheer (zie 12 in literatuurlijst). In overleg met de begeleidingscommissie heeft het projectteam daarbij de volgende keuzes gemaakt:

Voorspelling loskoppelen van restlevensduurverwachting

Allereerst is besloten dat vooral behoefte is aan voorspelling van de toestandsaspecten. Deze voorspelling is expliciet losgekoppeld van restlevensduurverwachtingen. Zo wordt recht gedaan aan de beperkte informatie die visuele inspectie en classificatie bieden over de bruikbaarheid van de betreffende rioolstreng als onderdeel van het rioolstelsel. Voor beoordeling van de restlevensduur is aanvullende informatie benodigd over bijvoorbeeld de belasting van de rioolstreng.

Bepalen kritische factoren

De veranderingssnelheden van een classificatie zijn afhankelijk van enkele kritische factoren die van toepassing zijn op de specifieke locatie van een rioolstreng. In de opstartfase van het project

heeft de projectgroep tabellen gemaakt met vele kritische factoren. De begeleidingscommissie heeft deze factoren beoordeeld, met als criteria:
de mogelijkheid om de kritische factor te beoordelen;
de relevantie voor degradatieprocessen van riolen.

Doordat de begeleidingscommissie het aantal kritische factoren aanvankelijk te groot vond, is het aantal teruggebracht. In de eerste enquête onder zes experts zijn zeven kritische factoren opgenomen:

- aanlegjaar (<1960, 1960-1970, 1970-1980, 1980-1990, >1990);
- grondslag (klei, zand, veen);
- diepte (< 3 m, > 3 m);
- grondwaterstand (boven of onder riool);
- verkeersbelasting (normaal of zwaar);
- type riool (gescheiden of gemengd);
- opleverinspectie (ja, nee, niet van toepassing).

Na de enquête zijn toch nog twee factoren toegevoegd:

- type verbindingen tussen riolen (mof, spie);
- mogelijkheid tot anaerobe afvoer (ja, nee).

Na kritische beschouwing (zoals beschreven in Hoofdstuk 5) zijn uiteindelijk zes kritische factoren gebruikt bij het inwinnen van de overige expertmeningen. Dit zijn de volgende zes met tussen haakjes aangegeven de waardes die elke kritische factor kan aannemen:

- Type riool (gemengd, hwa of dwa)
- Dekking (< of > 3 m)
- Verkeersbelasting (zwaar of niet zwaar verkeer)
- Betonkwaliteit (voor of na 1970)
- Kans op H₂S (groot of klein)
- Zettingsgevoelig (wel of niet)

Prototype voorspellend model na eerste enquête

Op basis van de enquête onder zes rioleringsexperts kwam een eerste prototype van het voorspellende SPIRIT-model (destijds het 'RIONED-model') tot stand. Dit model heeft expertmeningen geconverteerd in ruim tweeduizend records, die elk een voorspelling geven van de classificatie van alle toestandsaspecten na vijf en tien jaar. Daarbij geeft SPIRIT de kwaliteit van een toestandsaspect weer als een klasse volgens NEN3399:1992, op een schaal van klasse 1 (geen defect geconstateerd) tot en met klasse 5 (ernstig defect geconstateerd). Het model geeft de achttien toestandsaspecten volgens deze norm aan met de volgende codes: A1 t/m A7, B1 t/m B4 en C1 t/m C7. Tevens is het prototype geschikt gemaakt voor gebruik op strengniveau en is een methodiek voor het bepalen van de betrouwbaarheid van de resultaten toegevoegd.

4.2 Modelontwikkeling

Op basis van tests met het prototype heeft de begeleidingscommissie vastgesteld dat het model praktisch inzetbaar is. Maar het prototype is als een individuele applicatie opgezet en vergt veel inspanning van de rioleringsbeheerders, ook wat betreft onderhoud. Het model zou moeten leren van de inspectiedata die de beheerders op basis van visuele inspecties verzamelen. Bovendien moet de waarneming voor het SPIRIT-model per streng worden gekoppeld aan de omstandigheden (kritische factoren) die invloed hebben op het schadebeeld van de rioolstreng. Deze gegevens zijn vaak niet in de inspectiedata aanwezig, dus moeten beheerders deze vanuit de beheerpakketten of op basis van hun kennis aanvullen.

Eisen voor doorontwikkeling prototype

Om het prototype door te ontwikkelen naar het huidige SPIRIT-model golden aanvullende eisen.

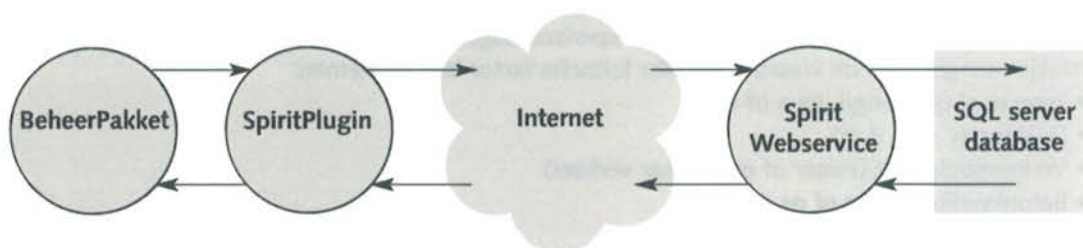
De uitgangspunten voor de praktische toepassing van het model waren:

- Minimale wijzigingen in de dagelijkse werkzaamheden van de rioleringsbeheerder.
- Het model komt beschikbaar voor alle rioleringsbeheerders in Nederland.
- Het model moet leren van de inspectiedata.
- Beschikbaarheid van een centrale inspectiedatabase voor onderzoek.
- Beschikbare geoloketten (zoals van TNO-NITG voor grondwaterstanden) vullen ontbrekende kritische factoren aan.
- Opgeslagen praktijkervaring vervangt op termijn expertmeningen.
- Centraal onderhoud van het model.

Hierbij komen drie belangrijke aspecten naar voren:

- Het centrale karakter van het SPIRIT-model.
- De transparante presentatie van het SPIRIT-model in de werkomgeving.
- Het gebruik van externe informatiebestanden via internet.

Deze aspecten zijn in het conceptmodel van SPIRIT verenigd door in elk rioleringsbeheerpakket software op te nemen ('plug-in') die via internet met het centrale SPIRIT-model communiceert. Via 'webservices' kan het SPIRIT-model geoloketten raadplegen waarmee het aanvullende gegevens kan ophalen, zoals grondwaterstanden, verkeersbelasting of grondsoort.



Figuur 4.1 Plug-in in rioleringsbeheerpakket regelt datastromen via internet

4.3 Voorbereiding SPIRIT

Nu het SPIRIT-model als concept technisch haalbaar bleek, heeft de projectgroep een haalbaarheidsonderzoek uitgevoerd, dat alle succesfactoren en risico's inzichtelijk heeft gemaakt. Op basis van dit haalbaarheidsonderzoek heeft de begeleidingscommissie een positief besluit genomen om de volgende fase van het project in gang te zetten.

Tijdens het haalbaarheidsonderzoek heeft een klankbordgroep het SPIRIT-concept getoetst. In deze klankbordgroep zaten afgevaardigden van negen gemeenten (rioleringsbeheer) en vijf ingenieursbureaus (leveranciers beheerpakketten). De klankbordgroep kwam gedurende het haalbaarheidsonderzoek enkele keren bijeen om de tussenresultaten van SPIRIT te evalueren en vragen te beantwoorden over de gebruiksmogelijkheden van het model.

In tabel 4.1 ziet u de antwoorden op de vraag: 'Wat is het nut van het SPIRIT-model?'.

Tabel 4.1 Wat is het nut van het SPIRIT-model?

Gemeenten	Ingenieursbureaus
Kennisopbouw	Model is vehikel om kennissysteem op te bouwen
Voorspellen over langere periode	Reproduceerbaarheid/standaardisering
Standaardisering	Uniformiteit
Uniformiteit	Impuls tot verbeteren/professionaliseren rioleringsbeheer
Betrouwbare input voor budgetten	Mogelijkheid tot toetsen eigen pakketten
Uit de reacties blijkt dat kennisborging en standaardisering belangrijk zijn. In het rioleringsbeheer	

zijn zeer ervaren beheerders die de pensioengerechtigde leeftijd bereiken. De jonge garde is over het algemeen goed opgeleid, maar heeft nog niet de gedetailleerde praktijkervaring om in elke situatie de ontwikkeling van schadebeelden te kunnen bepalen. Het SPIRIT-model kan hierbij ondersteunen, hoewel duidelijk moet zijn dat SPIRIT gebaseerd is op generiek gedrag en dus niet voor elke situatie op gaat. (De rioleringsbeheerder wordt dus niet overbodig.)

Om tot dekkende functionaliteit van het SPIRIT-model te komen, heeft de klankbordgroep aangegeven aan welke eisen SPIRIT moet voldoen (zie tabel 4.2).

Tabel 4.2 Wat zijn voor u belangrijke eisen waaraan SPIRIT moet voldoen?

Gemeenten	Ingenieursbureaus
Standaardisatie input: Locatienormering/ Koppelen geogegevens aan x-/y-coördinaten	Gegevens kunnen leveren over grote groepen riolen
In overeenstemming zijn met nieuwe norm	Kritische factoren verfijnen
Mogelijkheid om model te koppelen aan beheerpakket.	Specificatie gedrag naar type kritische factoren.
Model kunnen instellen op eigen situatie	Specifieke gegevens over gebruikte materialen, bijvoorbeeld levensduur type buis
Aan-/uitvinken toestandsaspecten	Mogelijkheid om flexibel met data om te gaan
Toestandsaspecten combineren	Goed kunnen bevragen database
Zetting meenemen bij toestandsaspecten	
Relatie kunnen leggen tussen toestandsaspecten	
Signaleren als inspectiedata anders aangeven dan voorspeld	
Invloed maatregelen op levensduur van rioolstreng.	

De wensen in tabel 4.2 zijn als discussiestuk meegenomen bij de bepaling van de basis-functionaliteit van het SPIRIT-model.

In de workshops heeft de klankbordgroep ook punten genoemd die niet direct invloed hebben op de functionaliteit van het model (zie tabel 4.3). Maar deze punten kunnen wel effect hebben op het succes van SPIRIT. Ook deze punten zijn als discussiestuk gebruikt om de haalbaarheid te bepalen.

Risicobepaling voor voortgang

Om te kunnen bepalen of fase 4 van het project kon starten, heeft de klankbordgroep de risico's van het SPIRIT-project in kaart gebracht. De risico's kregen een inschatting voor de impact (invloed op het project) en de kans dat het risico zou optreden. Voor beide indicatoren zijn de classificaties L (Laag), M (Midden) en H (Hoog) gebruikt. De combinaties HM of HH golden als risicovol, deze heeft de begeleidingscommissie specifiek beoordeeld. Voor alle risico's heeft het projectteam een ontsnappingsscenario opgezet, waarmee de risico's te ondervangen zijn.

Tabel 4.3 Overige genoemde punten door klankbordgroep

Gemeenten	Ingenieursbureaus
Politieke overwegingen bij vervanging (bijvoorbeeld straatreconstructie)	Ingenieursbureaus verwachten alleen de kosten te hoeven dragen van de aanpassing van de eigen beheerpakketten en van het testen van het prototype
Planningscoep: 0 -10 jaar te kort	Opletten dat mate waarin het model gedetailleerd wordt in evenwicht blijft ten opzichte van de kosten en de baten
Bij CROW-model (een onderhoudsmodel voor wegen) is de periode teruggebracht naar vijf jaar	Juridisch eigendom wordt als volgt gezien: gemeente eigenaar data, vruchtgebruik data Stichting RIONED, bevragsrecht ingenieursbureaus
De huidige praktijk van frequente inspecties (goedkoper geworden) maakt het model minder bruikbaar. Inspecties vinden gelijk met reiniging plaats	
Niet alle benodigde input voor het model is direct voorhanden. Deze gegevens zijn meestal wel vastgelegd in de diverse beheerpakketten	
Er waren geen vertegenwoordigers van kleinere gemeenten. Het is de vraag in welke mate zij beheerpakketten gebruiken	
De gemeenten hebben al oplossingen en 'work arounds' gevonden (doen om de vijf à tien jaar algehele inspecties)	

Tabel 4.4 geeft een overzicht van de dominante risico's uit de risicoanalyse. De volledige lijst vindt u in bijlage 5.

Tabel 4.4 Overzicht dominante risico's uit risicoanalyse (R = referentie, I = impact, K = kans)

R	Risico	Toelichting	I	K	Ontsnapping
2	Afwijzing van het model door de ingenieurs-bureaus	Moet nog blijken uit sessie 7-12-2004	H	M	Het model mag geen bedreiging zijn en moet als toevoeging in de applicatie van de ingenieursbureaus passen
9	Data-acquisitie	Inspectiedata moeten vanuit visuele waarnemingen worden omgezet in discrete data, die vervolgens in een database worden opgeslagen. De database vormt onderdeel van een beheerpakket, waar de inspectiedata moeten worden aangevuld met kritische factoren en locatie-informatie. De juistheid van de ingevoerde informatie heeft invloed op de mate waarin het model correcte voorspellingen doet	H	M	Maximale aandacht is nodig voor het intelligent controleren van ingevoerde informatie. Zo zijn alleen keuzes uit vooraf gedefinieerde lijsten mogelijk en moeten onlogische combinaties worden afgekeurd of tot een melding leiden. Voor het opzetten van intelligente filtering is expertkennis noodzakelijk
10	De beschikbaarheid van een goede locatieregistratie	Op diverse plaatsen in het proces moet worden geborgd dat een aangegeven locatie werkelijk dezelfde is als in de inspectiegegevens staat. Mogelijk kan een vergelijking op basis van kritische factoren het effect van fouten verminderen.	H	M	Het model is geschikt te maken voor fuzzy locatie-informatie. Ook vergelijking op basis van vergelijkbare kritische factoren moet worden onderzocht

Op basis van kansen en bedreigingen is besloten door te gaan. In fase 4 is de benodigde data verzameld om de haalbaarheid van het model definitief aan te kunnen tonen.

5 Expertmeningen als invoer voor SPIRIT

Dit hoofdstuk geeft aan hoe in fase 4 van het SPIRIT-project de expertmeningen zijn verzameld als belangrijk onderdeel van de database die SPIRIT gebruikt voor het voorspellen van toestandsaspecten.

Zoals in hoofdstuk 3 al staat, gebruikt SPIRIT expertmeningen en inspectiedata voor het voorspellen van het verouderingsgedrag van rioolstrengen. Als eerste is het model gevuld met expertmeningen. In het SPIRIT-project is een expertmening: 'de verwachting van een ervaren rioleringsbeheerder, adviseur of rioolinspecteur voor de klasse van een bepaald toestandsaspect in een bepaalde situatie, zoals bepaald door de kritische factoren'.

5.1 Algemeen

SPIRIT is bedoeld als ondersteunend instrument voor het rioleringsbeheer in Nederland. Daarom gebruikt SPIRIT de kennis van de rioolexperts samen met inspectiedata als basis voor het voorspellen van de ontwikkeling van bepaalde schadebeelden over een periode van vijf en tien jaar.

Kennis en gegevens

Initieel is SPIRIT dus gevuld met kennis van experts en leert het model van de aangeleverde inspectiedata. Naarmate de hoeveelheid inspecties toeneemt, is het de bedoeling dat de invloed van de expertmeningen afneemt en die van de inspectiedata toeneemt. De zwaarte van deze weegfactor moet statistisch worden bepaald om de naadloze overgang tussen de expertmeningen en inspectiedata mogelijk te maken. SPIRIT adapteert dus op basis van waargenomen gedrag, maar kan bij gebrek aan inspectiedata voorspellingen baseren op de beschikbare expertmeningen.

Intuïtie versus ratio

De kennis die de rioleringsbeheerders bij hun beheertaken gebruiken, bevat veel intuïtieve componenten. Deze intuïtieve kennis is vergelijkbaar met de kennis waarmee een tennisspeler een bal op de gewenste positie kan plaatsen, rekening houdend met onder meer effect, snelheid en wind. Hoewel topsporters kunnen voorspellen hoe ze een gewenst resultaat kunnen bereiken, is dit rekenkundig vrijwel onmogelijk te onderbouwen. De topsporter kan intuïtief blijkbaar veel complexere opgaven aan dan via gebruik van de ratio. In veel branches is een dergelijke scheiding zichtbaar. Daarbij is het onderbuikgevoel af te zetten tegen een rationele benadering, en de laatste delft vaak het onderspit.

Bij SPIRIT is een methode onderzocht om de expertkennis in een model vast te leggen. Hierbij is een expertmodel gebruikt dat een gereduceerde afbeelding van de werkelijkheid vormt. SPIRIT moet dit intuïtieve model omzetten naar een rekenkundig model, waarbij de kwantificering van de kennis een uitdaging vormt.

SPIRIT verzamelt de kennis van de experts per toestandsaspect (schadebeeld). Bij het betreffende schadebeeld zijn de omgevingsfactoren (kritische factoren) van belang, die de ontwikkeling van het schadebeeld op een specifieke manier beïnvloeden.

5.2 Expertmeningen

Bij de eerste fasen van het SPIRIT-project is gesteld dat 388.800 combinaties van alle benoemde toestandsaspecten, classificaties en verschillende kritische factoren mogelijk zijn.

In fase 2 van het SPIRIT-project zijn via een enquête de meningen van zes experts geïnventariseerd. Daarmee bevatte de eerste database 2.015 records. Daarom was bij het model de kans op een exacte match met de aanwezige records in de database waarschijnlijk erg klein.

Via een tabel met (default)weegfactoren neemt SPIRIT records die deels overeenkomen met de gewenste combinatie mee in de berekeningen van kanskrommen. Daardoor is de betrouwbaarheid van de voorspelling van het huidige model verbeterd. Maar ondanks deze verbetering acht de begeleidingscommissie zowel de betrouwbaarheid als de nauwkeurigheid van de voorspelling onvoldoende.

Minder combinaties en meer verbetermogelijkheden

Voor een dekkende set expertmeningen zouden dan per expert dus 388.800 expertmeningen nodig zijn. Ervan uitgaand dat twee expertmeningen per minuut zijn in te voeren, acht uur per dag, dan zijn ruim 400 dagen per expert nodig. Bovendien valt te betwijfelen of de experts de minieme verschillen tussen alle combinaties van kritische factoren en toestandsaspecten kunnen vertalen naar verschillende gedragingen.

Omdat meerdere dekkende sets expertmeningen wenselijk zijn, zouden enkele experts hun meningen moeten invoeren. Dit is zowel inhoudelijk als financieel een onhaalbare zaak. Daarom is gezocht naar een manier om het aantal combinaties te reduceren en naar mogelijkheden om de nauwkeurigheid van het model te verbeteren. De onderzochte manieren zijn:

- samenvoeging van toestandsaspecten;
- verwijdering van de irrelevante classificaties.

5.2.1 Eerste reductie expertmeningen 2004

Nadere analyse wees uit dat het aantal combinaties van toestandsaspecten, classificaties en kritische factoren veel minder is dan 388.800. Uitgaande van de achttien toestandsaspecten in de oude norm NEN3399:1992, heeft SPIRIT slechts 10.200 relevante combinaties (zie bijlage 1). Op basis van de nieuwe norm NEN3399: 2004 kent SPIRIT uiteindelijk 11.820 relevante combinaties (zie bijlage 2).

De nieuwe Europese norm NEN3399:2004, toegepast op de Nederlandse situatie, voegt bepaalde toestandsaspecten samen. Sommige hoofdtoestandsaspecten zijn onder te verdelen in subaspecten. Verder voorziet de nieuwe norm in een uitbreiding van toestandsaspecten die met name relevant zijn voor rioolstrengen waarin reparaties of renovaties zijn uitgevoerd. Bij veel van deze nieuwe toestandsaspecten is geen sprake van een verouderingsproces. Er zijn slechts twee toestandsclassificaties toe te kennen: klasse 1 (niet geconstateerd) en klasse 5 (ernstig defect geconstateerd). Hierdoor is het verloop van de kwaliteit van deze toestandsaspecten niet te bepalen, dus zijn voorspellingen op basis van expertmeningen niet mogelijk.

Maar uit praktijkgegevens is wel een kans te bepalen of zo'n toestandsaspect met een klasse 1 een klasse 5 wordt. Vooralsnog wordt deze mogelijkheid niet in SPIRIT verwerkt. Op basis van de NEN3399:2004 is dus in principe te volstaan met 1 of 2 extra toestandsaspecten. Dit houdt in dat door het aannemen van de nieuwe norm het aantal relevante toestandsaspecten is gereduceerd van achttien tot veertien. Het aantal mogelijke combinaties van toestandsaspecten, classificaties en kritische factoren komt daarmee op maximaal 11.820. De berekening hiervan en hoe toestandsaspecten conform de nieuwe norm zijn om te zetten, vindt u in bijlage 2.

5.3 Uitbreiding SPIRIT-database

Met slechts één enquête onder zes experts is de database dus gevuld met een aantal records dat bijna gelijk is aan 20% van het aantal mogelijke combinaties, gegeven de nieuwe norm (11.820). Door dit nieuwe inzicht blijven de nauwkeurigheid en de betrouwbaarheid van SPIRIT natuurlijk onveranderd. Maar hierdoor neemt de haalbaarheid van een goed gevulde database wel toe. Die eerste enquête ging uit van zeven kritische factoren. Daaraan zijn later nog twee kritische factoren toegevoegd, waarvoor echter nog geen records beschikbaar zijn.

Voor het uitbreiden van de database is daarom een nieuwe enquête onder verschillende riolexperts nodig. Anders dan vooraf duidelijk was, zal gegevensuitbreiding door herhaling van nieuwe enquêtes onder riolexperts een significante bijdrage leveren aan de verbetering van zowel de nauwkeurigheid als de betrouwbaarheid van de toestandsvoorspelling van rollen met SPIRIT.

Om de kans op een goede match met records in de database verder te verhogen, is uitbreiding van de database met alleen expertmeningen niet voldoende. Daarvoor is een substantiële uitbreiding van het aantal records nodig door automatische verwerking van grote hoeveelheden inspectiedata. In het vervolg van het project is als eerste gekeken hoe uitbreiding van de expertmeningen mogelijk was.

5.4 Tweede reductie expertmeningen 2006

Hoewel het aantal benodigde expertmeningen al was gereduceerd tot 11.820, leveren het verzamelen en borgen van de kwaliteit nog een enorme inspanning op. Uitgaande van de rekensom voor de doorlooptijd in paragraaf 5.2, geldt voor de meest optimale doorloop voor het verzamelen van 11.820 expertmeningen (twee meningen per minuut, acht uur per dag) ongeveer dertien dagen. In de praktijk kan de doorlooptijd snel uitlopen, waarbij de betrouwbaarheid van de invoer door de minieme verschillen in de gevraagde combinaties en concentratieverlies niet is te borgen. Bovendien moeten de experts over hoge kwalificaties beschikken om ervaring en visie te kunnen omzetten in alle gewenste meningen. En ook nu is per expert een volledige set gegevens wenselijk, zodat op basis van de spreiding de betrouwbaarheid van de informatie is vast te stellen.

Bij de zoektocht naar een methode om deze situatie te verbeteren, golden de volgende uitgangspunten:

- De toestandsaspecten worden verdeeld in drie groepen, zoals besproken in paragraaf 3.5. Hierbij geldt dat de toestandsaspecten van groep 3 geen enkele verandering in de tijd vertonen, waardoor deze buiten de scope van SPIRIT vallen.
- Het aantal kritische factoren in de voorgaande onderzoeken is uitgebreid. In theorie neemt hierdoor de nauwkeurigheid van SPIRIT toe. Maar in de praktijk leveren de grote aantallen combinaties en kleine verschillen juist een onhaalbare opgave op bij het verzamelen van expertmeningen.
- De toestandsaspecten in groep 1 verlopen als functie van de tijd en zijn dus ook direct vanuit de inspectiedata af te leiden. Hierdoor worden de toestandsaspecten van groep 1 niet meegenomen bij het verzamelen van expertmeningen.

Om inzicht te krijgen in de verbetermogelijkheden, is in juni 2006 in Utrecht een workshop gehouden met de klankbordgroep (voor de samenstelling zie bijlage 6). De leden van de klankbordgroep hebben de toestandsaspecten naar groep 1, 2 en 3 ingedeeld (zie paragraaf 3.5) en uitspraken gedaan over de dominantie van de verschillende kritische factoren. Uiteindelijk zijn 7 toestandsaspecten van het type 2 het meest relevant geacht.

5.4.1 Bepaling relevante toestandsaspecten

Het aantal benodigde expertmeningen wordt bepaald uit de combinatie van toestandsaspecten, classificaties en kritische factoren. In de workshop met de klankbordgroep was de aandacht gericht op het bepalen van de dominante toestandsaspecten, om zo de niet-relevante aspecten te verwijderen. Met het programma 'MoonEdit' hebben de klankbordgroepleden de verwachte relevantie van de 25 toestandsaspecten voor de SPIRIT-voorspelling aangegeven. De resultaten waren direct voor verdere bespreking beschikbaar. Op basis van deze sessie is het aantal toestandsaspecten gereduceerd van 25 naar zeven.

De uitkomsten van de workshop zijn verwerkt in twee matrices (zie tabellen 5.1 en 5.2). De niet-relevante combinaties zijn violet gekleurd en worden niet meegerekend in het aantal benodigde combinaties. Als de grond waarin het riool ligt niet-zettingsgevoelig is, resulteert dit in totaal 162 vragen per expert (zie tabel 5.1). Is de ondergrond wel zettingsgevoelig, dan resulteert dit in 190 vragen (zie tabel 5.2).

Tabel 5.1 Combinatietabel op basis van workshop met klankbordgroep, zonder zettingsgevoeligheid

klassen 1 en 5 worden niet bevroegd		te bevroegen aantal klassen	materiaal kwaliteit goed of slecht	zettings-gevoelig wel of niet	grond-dekking <3m of >3m	verkeers-belasting licht of zwaar	type riool dwa, rwa of gemengd	kans op H ₂ S klein of groot	aantal uit te vragen combinaties
Enumeraties			2	2	2	2	3	2	
Deformatie vertikaal	BAA-A	3	2	2	2	2	1	1	48
Scheur	BAB	2	2	2	2	2	1	1	32
Biochemische aantasting	BAF-C	3	2	1	1	1	3	2	36
Chemische aantasting - onder waterpeil	BAF-D	3	2	1	1	1	3	1	18
Instekende inlaat	BAG	1	1	1	2	2	1	1	4
Verplaatste verbinding axiaal	BAJ-A	3	1	1	2	2	1	1	12
Verplaatste verbinding radiaal	BAJ-C	3	1	1	2	2	1	1	12
									162

Niet relevant
 Alleen zettingsgevoelig
 Wel relevant

Tabel 5.2 Combinatietabel op basis van workshop met klankbordgroep, met zettingsgevoeligheid

klassen 1 en 5 worden niet bevroegd		te bevroegen aantal klassen	materiaal kwaliteit goed of slecht	zettings-gevoelig wel of niet	grond-dekking <3m of >3m	verkeers-belasting licht of zwaar	type riool dwa, rwa of gemengd	kans op H ₂ S klein of groot	aantal uit te vragen combinaties
Enumeraties			2	2	2	2	3	2	
Deformatie vertikaal	BAA-A	3	2	2	2	2	1	1	48
Scheur	BAB	2	2	2	2	2	1	1	32
Biochemische aantasting	BAF-C	3	2	1	1	1	3	2	36
Chemische aantasting - onder waterpeil	BAF-D	3	2	1	1	1	3	1	18
Instekende inlaat	BAG	1	1	2	2	2	1	1	8
Verplaatste verbinding axiaal	BAJ-A	3	1	2	2	2	1	1	24
Verplaatste verbinding radiaal	BAJ-C	3	1	2	2	2	1	1	24
									190

Niet relevant
 Alleen zettingsgevoelig
 Wel relevant

Uitgaande van tabel 5.2 gaat het om maximaal zes kritische factoren en zeven toestandsaspecten. Op basis van de resultaten is bepaald welke combinaties van toestandsaspecten en kritische factoren aan experts worden voorgelegd om tot een dekkende set expertmeningen te komen. Doel hiervan is het aantal benodigde expertmeningen te verminderen. De reductie heeft een werkbare situatie opgeleverd, waarmee de belangrijkste expertmeningen zijn voor te leggen.

5.5 Webinterface expertmeningen

Nu het aantal benodigde expertmeningen tot behapbare proporties was gereduceerd, konden meerdere experts voor alle combinaties de kans op een bepaalde klasse voor vijf en tien jaar aangeven. Dit gebeurde via een speciale website, zodat de experts de gegevens op een zelf te bepalen tijdstip en plaats konden invoeren. De eerste opzet van de expertmeningsite is tijdens de workshop aan de klankbordgroep voorgelegd. De commentaren van de klankbordgroep zijn verwerkt in de gebruikte versie.

Maximaal faciliteren

Geprobeerd is de experts maximaal te faciliteren bij de invoer van hun meningen. De expert kon bijvoorbeeld zelf kiezen in welke volgorde hij de combinaties van toestandsaspecten en kritische factoren wilde doorlopen. Zo kon hij zelf bepalen of de volgende vraag totaal anders was of doorborduurde op de vorige situatie. De sortering kwam boven aan het scherm in beeld. Het aantal nog in te voeren meningen was continu rechts in het midden van het scherm zichtbaar. Zo kon de expert zien hoe ver hij was.

Bij de voorspelling gaven de experts aan:

- wat de klasse van een bepaald toestandsaspect (bijvoorbeeld BAA_A) met de genoemde kritische factoren, gemiddeld over vijf en tien jaar zal zijn;
- wat de klasse van het toestandsaspect in het slechtste geval over vijf en tien jaar zou kunnen zijn;
- wat de klasse van het toestandsaspect in het beste geval over vijf en tien jaar zou kunnen zijn.

Omdat de mate van expertise van de deelnemers vooraf niet was vastgesteld, konden de experts zelf aangeven hoe zeker ze van hun mening zijn (zeker, onzeker of geen mening). Ook kon de expert een vraag overslaan als hij totaal geen ervaring met het genoemde onderwerp had.

De experts werden automatisch naar nog niet beantwoorde vragen geleid. Zo voerden zij altijd alle expertmeningen in, ook na het veranderen van de sortering.

Ondanks de beschikbare middelen viel het de deelnemers niet mee om hun meningen in te voeren. Hierbij speelde het algemene probleem van de te drukke agenda een grote rol. Gemiddeld hadden de experts tussen de twee en vier uur nodig om de informatie in te voeren.

5.6 Expertmeningenanalyse

Naar aanleiding van de eerste resultaten met expertmeningen over groep-2-toestandsaspecten zijn op basis van statistisch onderzoek de volgende bevindingen vastgesteld (zie 14 in literatuurlijst).

5.6.1 Te analyseren groep-2-data

Als basis voor de statistische analyse geldt de database van 1.114 records met expertmeningen. In deze database zijn de meningen van zeven experts verwerkt. Elk record bevat de volgende relevante velden:

- ExpertID: de zeven experts hebben de volgende ExpertID's: 4, 5, 10, 12, 13, 17 en 20.
- Toestandsaspect: de zeven toestandsaspecten zijn: BAA-A, BAB, BAG, BAJ-A, BAJ-B, BAF-C en BAF-D.
- Meningtype: drie meningtypen geven de eigen inschatting van de mate van zekerheid van de expert aan voor het record. Meningtype 0 = zeker, meningtype 1 = onzeker, meningtype 2 = weet niet/geen mening. Records met meningtype 2 zijn niet geanalyseerd.
- Waarnemingsclassificatie: van alle klassen 1 t/m 5 komen alleen de klassen 2, 3 en 4 in aanmerking voor een inspectiewaarneming.
- Kritische factoren: één veld geeft de specifieke code voor de relevante combinatie van kritische factoren weer. Er zijn 37 relevante combinaties aangetroffen.



Jansen, Rool bedrijf



Kritische factoren gesorteerd op Toestandsaspecten

MateriaalKwaliteit van de buis 	Zettings Gevoeligheid Niet	GrondDekking boven de buis < 3m
Verkeers Belasting Normaal	Type Afvalwater 	Kans Op H2S

ToestandsAspect: BAA-A, Deformatie flexibele buizen

Waarneming: 2

Deformatie <= 5% van de dwarsdoorsnede

ToestandsAspect	Gedaan	Te doen
BAA-A	1	23
BAB		32
BAF-C		36
BAF-D		18
BAG		8
BAJ-A		24
BAJ-C		24

Voorspelling 5 jaar

Classificatie	1	2	3	4	5
Beste		☐	☐	☐	☐
Gemiddeld		☐	☐	☐	☐
Slechtste		☐	☐	☐	☐

Voorspelling 10 jaar

Classificatie	1	2	3	4	5
Beste		☐	☐	☐	☐
Gemiddeld		☐	☐	☐	☐
Slechtste		☐	☐	☐	☐

☒ Zeker
 ☐ Niet geheel zeker
 ☐ Geen mening

Sortering: Toestandsaspecten

Zettingsgevoeligheid uitvragen voor: BAA-A, BAB, BAG, BAJ-A, BAJ-C

Status: Ingevoerd 1 van 166

Invoerdagen: 1 dagen

Figuur 5.1 Voorbeeld invoerscherm expertmeningen-website

- Beste (ondergrens), basis en slechtste (bovengrens) classificatie na vijf jaar.
- Beste (ondergrens), basis en slechtste (bovengrens) classificatie na tien jaar.

5.6.2 Vragen statistische analyse

In de statistische analyse van de expertmeningen zijn de volgende onderzoeksvragen onderzocht: Welke statistische verschillen zijn er tussen toestandsaspecten als geen onderscheid wordt gemaakt tussen de experts?

Welke statistische verschillen zijn er tussen de experts voor verschillende toestandsaspecten?

Bij deze onderzoeksvragen is onderscheid in:

- een voorspelling voor vijf of tien jaar;
- een voorspelling gegeven de classificatie 2, 3 of 4;

Welke statistische verschillen zijn er tussen toestandsaspecten?

Kenmerken:

- Een voorspelling zonder boven- en ondergrenzen.
- Experts zijn zeker van hun voorspelling.
- Een voorspelling gegeven classificatie 2.
- Een voorspelling zonder of met de verwachte boven- en ondergrenzen. In gevallen met boven- en ondergrenzen tellen deze waarden elk mee voor 25% en de basiswaarde voor 50%.

5.6.3 Resultaten statistische analyse

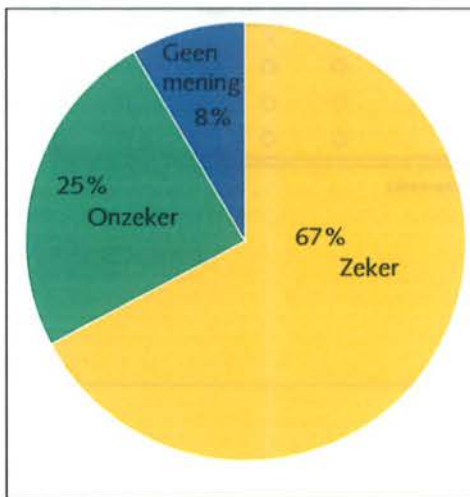
De vragen uit paragraaf 5.6.2 zijn op basis van de aangeleverde database onderzocht. Daarbij zijn de geconstateerde verschillen berekend aan de hand van gemiddelden en standaarddeviaties.

Van alle mogelijke combinaties van toestandsaspecten, waarnemingsclassificatie en kritische factoren (zie tabel 5.2) is bepaald dat slechts 190 combinaties relevant zijn voor het SPIRIT-model. Als zodanig komen per expert maximaal 190 records voor.

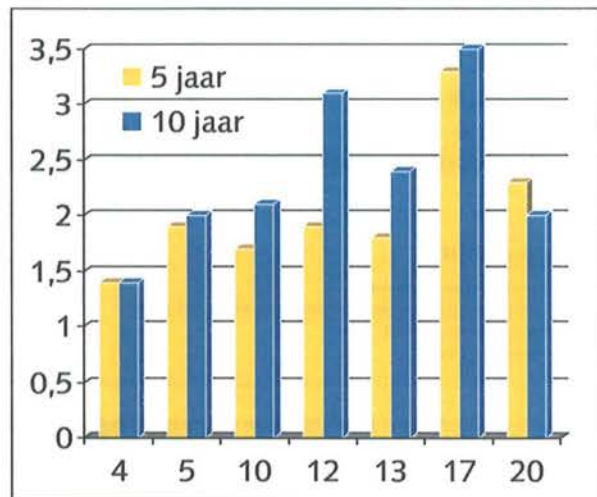
Zekerheid

De deelnemers van de klankbordgroep hebben zelf de expertmeningen ingevoerd of deze door een ervaren collega-rioleringsbeheerder laten invoeren.

Met een statistisch onderzoek zijn de verschillen tussen expertmeningen en verschillen tussen zeven groep-2-toestandsaspecten bepaald. In dit onderzoek zijn 1.114 datarecords geanalyseerd, die zeven experts hebben ingebracht. De experts hebben bij het invoeren van data aangegeven of zij zeker van hun voorspelling waren, onzeker, of geen mening hadden. In de data-analyse is hiermee rekening gehouden.



Figuur 5.2 Mate van zekerheid experts



Figuur 5.3 Spreiding voorspellingen

Spreiding op invoer

Het onderzoek naar de verschillen tussen de toestandsaspecten bevestigt dat voor alle toestandsaspecten de spreiding van voorspellingen voor tien jaar groter is dan de spreiding van voorspellingen voor vijf jaar.

De standaarddeviatie als maat voor de spreiding is voor alle toestandsaspecten relatief laag ten opzichte van de maximaal mogelijke waarde.

Conclusie is dat op grond van deze dataset geen significant verschil tussen de toestandsaspecten is vast te stellen.

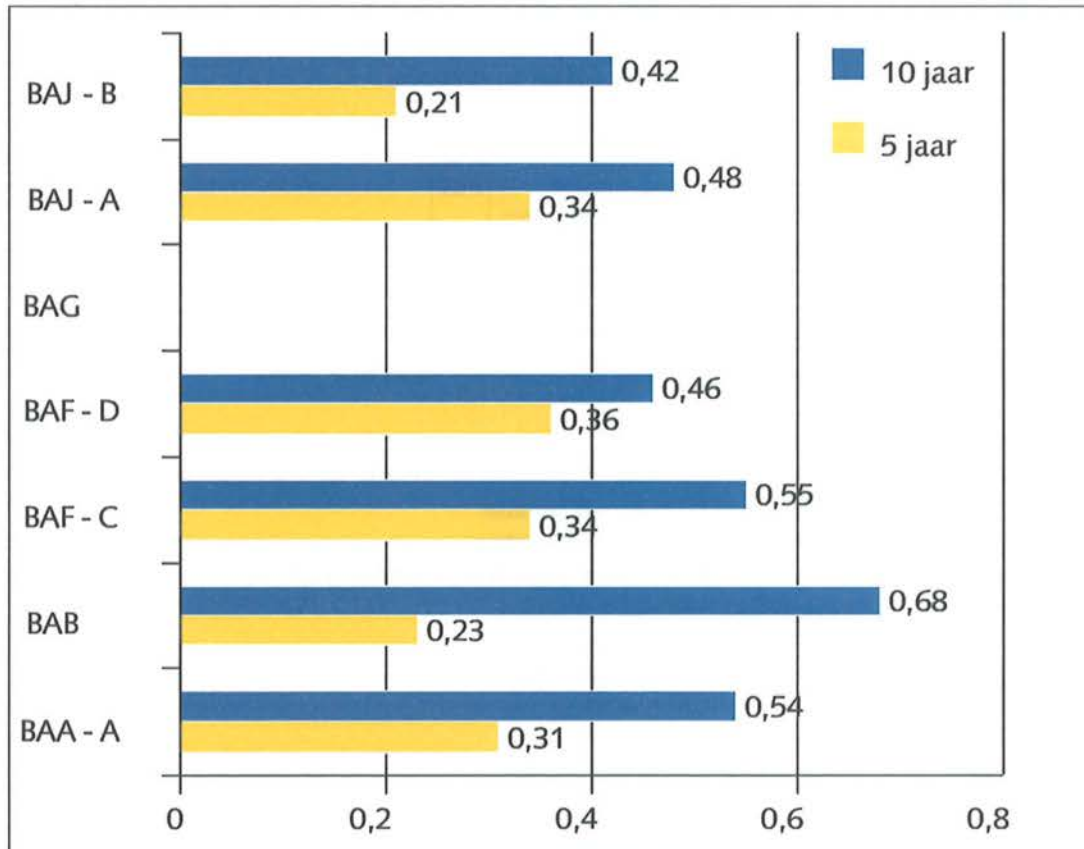
Optimisme/pessimisme

Het onderzoek naar de verschillen tussen de experts is gestart met:

- het vaststellen van het onderscheid tussen zekere en onzekere voorspellingen;
- het negeren van eventuele voorspellingen als de expert geen mening had aangegeven.

Op grond van deze dataset is vooralsnog niet vast te stellen dat het wel of niet meenemen van onzekere voorspellingen een significante verandering geeft van de voorspelling van de classificatie van toestandsaspecten.

Wel staat vast dat onderscheid mogelijk is tussen de experts die over het algemeen lage (expert met ID 4) dan wel hoge (expert met ID 17) classificaties voorspellen. Bij voldoende data zou het raadzaam kunnen zijn deze uiterste meningen in alle gevallen te negeren.



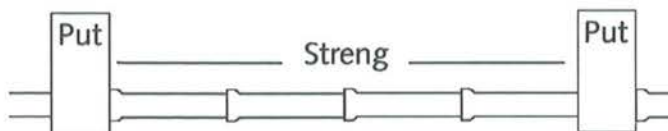
Figuur 5.4 Gemiddelde toename van de classificaties per expert

Ook lijkt het verstandig om bij voldoende expertdata de onzekere voorspellingen te negeren. Maar omdat de expert zelf de kwalificatie 'onzekeer' aangeeft en er geen onafhankelijke maatstaf is, staat niet vast dat een 'zekere' expert een betere voorspelling doet dan een 'onzekere'. Welk criterium voor het beoordelen van individuele expertmeningen praktisch gezien het best in het SPIRIT-model toepasbaar is, moet nog worden bepaald.

De gedetailleerde analyseresultaten vindt u in bijlage 3.

6 Inspectiedata om SPIRIT uit te breiden

Het SPIRIT-model is gevuld met de kennis van de rioleringsbeheerders, die in de vorm van expertmeningen in het model beschikbaar is. Maar het SPIRIT-model moet leren van de dagelijks ingezamelde inspectieresultaten. Om de mogelijkheden van inspectiedataverwerking te toetsen, hebben elf gemeenten toestemming gegeven de beschikbare inspectiedata uit hun beheerpakketten te exporteren. Aangezien nog niet exact bekend was welke data voorhanden waren, heeft elke gemeente een zo volledig mogelijke export gemaakt van stamdata, inspectiegegevens en kritische factoren van putten en strengen.



Figuur 6.1 Een rioolstreng als aaneenschakeling van rioolbuizen tussen twee putten

6.1 Verschillen in dataopslag

De aangeleverde data bleken per gemeente zodanig te verschillen, dat elk exportbestand individueel moest worden verwerkt. De export bevatte:

- de vaste gegevens: aanlegjaar, materiaal en diameter;
- informatie over het aangelegde riool: omstandigheden of kritische factoren;
- de inspectiedata: de geclassificeerde waarnemingen.

De gemeenten leverden de data in vijf formaten aan:

- vast formaat tekst
- Excel
- Excel csv
- MS Access
- SUF-RIB-1 of -2

Via speciaal per gemeente geschreven conversieroutines zijn de data naar een uniforme database geconverteerd. Deze routines moesten zeer specifiek op de verkregen data worden afgestemd om informatie met voldoende kwaliteit te kunnen krijgen. De opslag van de aangeleverde data vond plaats op een Microsoft SQL-server.

6.2 Verwerking inspectiedata

Door het arbeidsintensieve karakter van de individuele verwerking zijn maar vijf van de elf exportbestanden daadwerkelijk verwerkt. Van deze bestanden is de aangeleverde data per gemeente geanalyseerd op consistentie en compleetheid. Hierbij is belangrijk dat voor groep-2-toestandsaspecten behoefte is aan dubbele inspecties van strengen waarbij het betreffende aspect beide keren is waargenomen. Dit is van belang omdat deze groep van toestandsaspecten zich op een onbekend moment manifesteren en daarna een toename kunnen hebben. Om een dubbele inspectie te kunnen herkennen, is de putidentificatie essentieel. Daarom zijn de inspectiedata ook geanalyseerd op de kwaliteit van de putidentificatie en de beschikbaarheid van dubbele inspecties.

De bevindingen bij de geanalyseerde inspectiedata zijn:

- Verdeling van rioolleeftijden en diameters representatief voor Nederland. De verdelingen komen globaal overeen met die in de rioleringsatlas.
- Data incompleet. Gemeenten stellen zelf vast welke informatie voor het beheer van belang is.

Niet-relevante informatie slaan zij niet op, bijvoorbeeld het type verbinding van twee buizen.

- Identificatie van put en streng.
 - Put: een gemeente identificeert een put met een putnummer en zijn geografische coördinaten.
 - Streng: een gemeente identificeert een rioolstreng door de putten waartussen de streng ligt. Ze legt vast welke put de beginput is en welke put de eindput is.
 - Putnummering. Gemeenten geven putten een uniek nummer. In een landelijke database zijn deze putnummers niet uniek. Om alle putten uniek te maken, is het putnummer aangevuld met het karakter 'P' tot een lengte van tien posities en is vervolgens de postcode van de plaats vooraan toegevoegd.
- Geocoördinaten. Elke put heeft geocoördinaten. Geocoördinaten zijn deels nauwkeurig ingemeten en deels overgenomen van een tekening, dus minder nauwkeurig en ongecontroleerd.
- Strengen. Een gemeente identificeert een streng door zijn begin- en eindput. Daarom is als ID een samengesteld veld gemaakt met het begin- en eindputnummer. Deze putnummers zijn volgens de bij putnummering beschreven regel aangepast.
- Meerdere strengen. Tussen twee putten kunnen meerdere strengen gedefinieerd zijn. Deze hebben dus een gelijke begin- en eindput. De beheerpakketten gebruiken in deze situatie een volgnummer om de strengen te onderscheiden.
- Kritische factoren. Elke gemeente bepaalt zelf welke informatie relevant is. Daardoor verschilt de beschikbare informatie per gemeente en daarmee de beschikbare kritische factoren. Ook het vaststellen welke waarde de kritische factor moet aannemen verschilt per gemeente. Zo staan in de onderzochte databases voor type riool achttien verschillende benamingen.
 - Jaar van aanleg. Deze informatie is voor ongeveer 80% aanwezig.
 - Strengmateriaal. Voor het definiëren van het strengmateriaal wordt een vrij tekstveld of een codering gebruikt. Omdat de gemeente zowel codering als tekst zelf beheert en toekent, bestaan er landelijk vele omschrijvingen en coderingen voor gelijksoortige materialen.
 - Diepteligging. Informatie is bijna volledig aanwezig: > 85%. Bij de registratie van de diepteligging treden twee problemen op:
 - Ten opzichte van welk punt heeft de gemeente de diepteligging bepaald? NAP, maaiveld of putdeksel?
 - De betrouwbaarheid van de ingevoerde data. Soms blijkt bij narekening van de data dat een streng boven de grond ligt, zwevend.
 - Grondsoort, zettingsgevoeligheid. Deze informatie is niet of nauwelijks aanwezig. Soms kan een gemeente wel een grondsoort definiëren.
 - Persleiding, kans op H_2S . Is niet of nauwelijks bekend. Soms kan een gemeente voor een streng aangeven dat het een persleiding betreft. De strengen die dan de eindput van deze persleiding als beginput hebben, zouden dan grote kans op H_2S -vorming hebben.
 - Verkeersbelasting. Is niet bekend. Gemeenten gebruiken voor riool- en wegbeheer twee verschillende pakketten. Tussen deze pakketten is elektronische data-uitwisseling (nog) niet altijd mogelijk.
 - Type riool. Type riool is grotendeels bekend: > 90%. Ook hier komen door de vrije tekstvelden en coderingen veel verschillende coderingen voor gelijke typen voor.
- Inspecties.
 - Inspecties aangeleverd in SUF-RIB-1-formaat. SUF-RIB-1-inspecties en -waarnemingen zijn direct geconverteerd naar SUF-RIB-2-formaat. Hierbij zijn voor karakterisering en kwantificering de tabelwaarden gebruikt. In SUF-RIB-2 zijn gegevens te registreren die SUF-RIB-1 niet kent. Tijdens de conversie kan deze informatie niet gevuld worden, dus ontstaat een onvolledig SUF-RIB-2-bestand.
 - Inspecties aangeleverd in SUF-RIB-2-formaat. In plaats van een classificatie gebruikt SUF-RIB-2 karakterisering en kwantificering. Maar vaak levert een inspecteur een classificatie aan, waaruit de rioleringsbeheerder vervolgens een karakterisering en kwantificering bepaalt. De waarden hiervoor neemt hij over uit tabellen van de NEN3399 en dat zijn dan de grenswaarden van de kwantificering behorend bij de classificatie van dat toestandsaspect.

- Inspecties aangeleverd vanuit beheerpakket. Inspectie-informatie is vanuit SUF-RIB verwerkt in het beheerpakket. Data is hier al gefilterd op relevantie of vertaald naar aantallen per toestandsaspect per streng.
- Alleen van de laatste vijftien jaar zijn inspecties aanwezig.
- Inspecties van niet meer bestaande strengen of strenginformatie zijn niet aanwezig.
- De inspecteur heeft de streng van eind- naar beginput geïnspecteerd, dus omgekeerd zoals de streng in de database is gedefinieerd. Hiermee moet rekening gehouden worden bij het bepalen van de plaats in de buis van de waarneming.
- Bij ca. 60% van de inspecties is de lengte van het voorkomen van het toestandsaspect bekend.
- Inspectiedatum. Bij enkele strengen is de inspectiedatum ouder dan de aanlegdatum.
- Na vervanging van een streng verdwijnen de gegevens van de streng uit het beheerpakket. Daarmee verdwijnen ook de in het pakket aanwezige inspecties. Wanneer inspecties als extern SUF-RIB-bestand zijn opgeslagen, is de link met een streng verdwenen. Hierdoor zijn de inspectiedata niet meer bruikbaar.
- Waarnemingen.
 - Coderingen van toestandsaspecten niet volgens de NEN3399. Sommige inspectiebedrijven gebruiken naast de NEN3399-coderingen 'eigen' coderingen.
 - Doorlopende schade. De inspecteur moet doorlopende schades in de waarnemingen kenmerken met een begin- en een afsluitcode. De afsluitcode ontbreekt meestal, waardoor de lengte van de waarneming niet te bepalen is of standaard voor 1 m geldt. Vervolgens is dus niet te bepalen voor welk percentage van de streng de waarneming geldig is.

Tabel 6.1 Voorbeeld meelopende schade

Afstand	Toestandsaspect	Classificatie	ZZC	ZZD
1	BAF	5	A	0
5	BAF	4		0
12	BAF	2		0
17	BAF	3		0
25	BAF	3	B	0

BAF komt voor over een lengte van 42 m met een classificatie 3 en moet worden gezien als één toestandsaspect.

- Geen eenduidig gebruik van eenheden. Geconstateerd is dat bij waarnemingen op eenzelfde streng en toestandsaspect, de afstand bij de eerste inspectie in millimeters en bij de tweede inspectie in meters werd gegeven.
- Voor het bepalen van een dubbele waarneming (de streng is op verschillende tijdstippen geïnspecteerd) zijn de volgende criteria van toepassing:
 - Het moet dezelfde streng zijn, de begin- en eindput moeten gelijk zijn.
 - Het toestandsaspect moet gelijk zijn.
 - De inspecteur moet de waarneming op dezelfde plaats en over dezelfde lengte in de streng doen. Hier moet de inspecteur dus rekening houden met de inspectierichting.

Uit deze lijst met bevindingen is af te leiden dat gemeenten grote vrijheid nemen in de mate waarin zij informatie vastleggen en historisch vasthouden. Deze vrijheid veroorzaakt veel ruis en maakt geautomatiseerde verwerking uitermate lastig. Paragraaf 6.3 gaat in op de kwaliteit van de inspectiedata en wat uiteindelijk als bruikbare data resteert.

6.3 Data-analyse

In totaal bevatte de inspectiedata van de vijf gemeenten 472.681 waarnemingen. Een waarneming is in dit geval een classificatie per toestandsaspect. In dezelfde streng kunnen dus meerdere waarnemingen zijn.

De waarnemingen zijn ingedeeld in de vooraf gedefinieerde groepen 1, 2 en 3:

- Groep 1 bevat de waarnemingen die als functie van de tijd verlopen.
- Groep 2 bevat de waarnemingen van een klasse > 1 die door een gebeurtenis zijn ontstaan en vanaf dat moment als functie van de tijd verlopen.
- Groep 3 bevat de waarnemingen die ontstaan door een gebeurtenis, maar geen enkele relatie met de tijd hebben. De waarnemingen van groep 3 zijn onvoorspelbaar en dus voor het SPIRIT-model niet van belang. Deze waarnemingen (bijna 290.000 stuks) zijn in de verdere analyse niet meegenomen.

Tabel 6.2 Indeling waarnemingen in groepen en klassen

Type/Classificatie	1	2	3	4	5	totaal
Groep 1	22.567	63.298	16.096	3.624	1.854	107.439
Groep 2	57.455	3.667	2.703	5.934	4.020	73.779

De significante populaties bevinden zich in de lage klassen en voegen dus relatief weinig informatie toe over de ontwikkeling van een schadebeeld. Een van de oorzaken is verwijdering van strengeninformatie uit het beheerpakket als de streng is vervangen. Hiermee verdwijnt de mogelijkheid om de ontwikkeling van de hogere klassen in het SPIRIT-model te valideren tegen de expertmeningen.

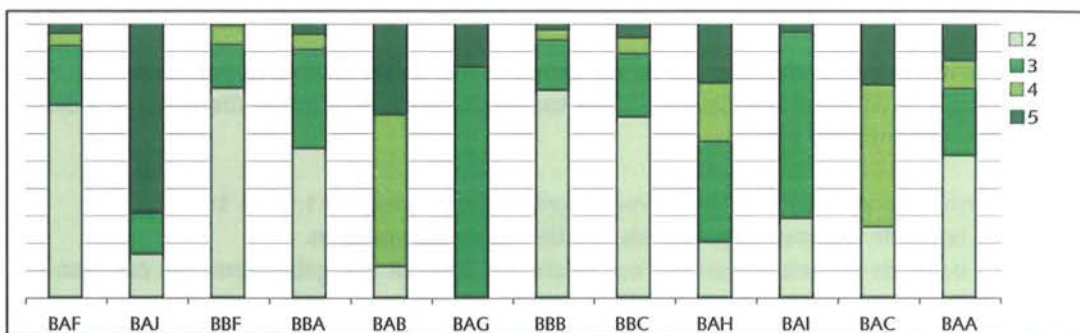
De inspectiedata zijn afkomstig van vijf gemeenten en bevatten de gegevens van zeventien woonplaatsen. In totaal zijn in de dataconversie de inspectiegegevens van 96.592 rioolstrengen verwerkt. Daarvan zijn 51.474 strengen van beton en 10.959 van pvc. De rest is van een ander materiaal of onbekend.

Weinig inspectiedata van dubbele strenginspectie

Voor de groep-2-toestandsaspecten is gekeken naar de ontwikkeling van schadebeelden die na een incident optreden en zich vervolgens als functie van de tijd ontwikkelen. Om het gedrag van deze schadebeelden te kunnen bepalen, zijn dubbelmetingen van een streng nodig. Het herkennen van dubbele strenginspecties is op basis van enkele criteria mogelijk. Hiervoor zijn putidentificaties of geocoördinaten gebruikt. In totaal bevatten de inspectiedata informatie over 89.918 putten. Het aantal dubbele inspecties dat op basis van de putidentificatie was vast te stellen, was circa 600 en dus uiterst klein. Deze dubbele inspecties zouden hun waarde moeten bewijzen voor toestandsaspecten uit groep 2, waarbij het SPIRIT-model zou moeten leren van het verloop direct enkele jaren na een incident. Om onbekende redenen blijken er dus weinig inspectiedata van dubbel geïnspecteerde strengen (aantoonbaar) te zijn.

Wel waren voldoende gegevens aanwezig met toestandsaspecten van groep 1. Volgens de definitie van groep-1-schadebeelden ontwikkelt het schadebeeld zich als functie van de tijd en kan worden gezocht binnen enkel voorkomende strengen.

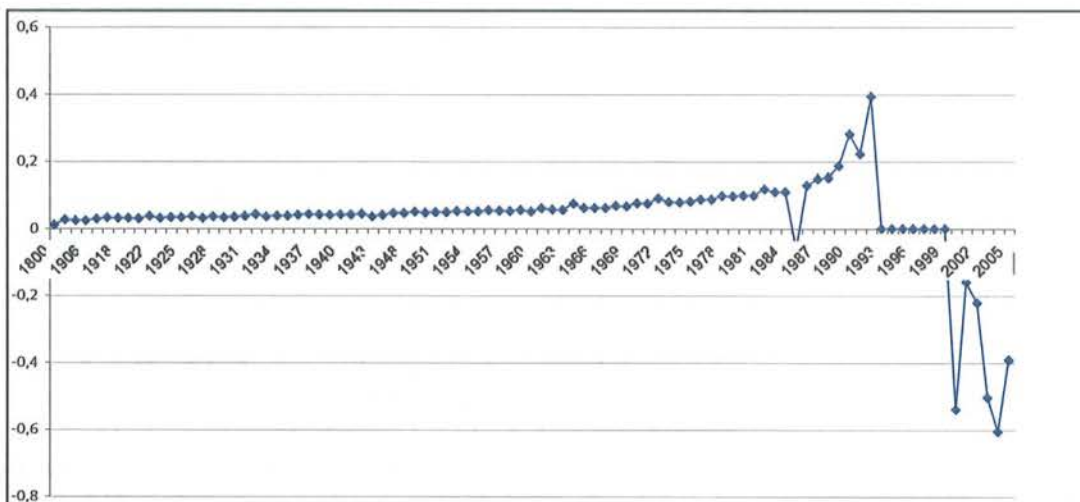
Om het gedrag van de schadebeelden goed te kunnen beoordelen, is per toestandsaspect een evenwichtige verdeling van de klassen nodig. Zoals uit figuur 6.2 blijkt, vormen klassen 2 en 3 de grootste populaties.



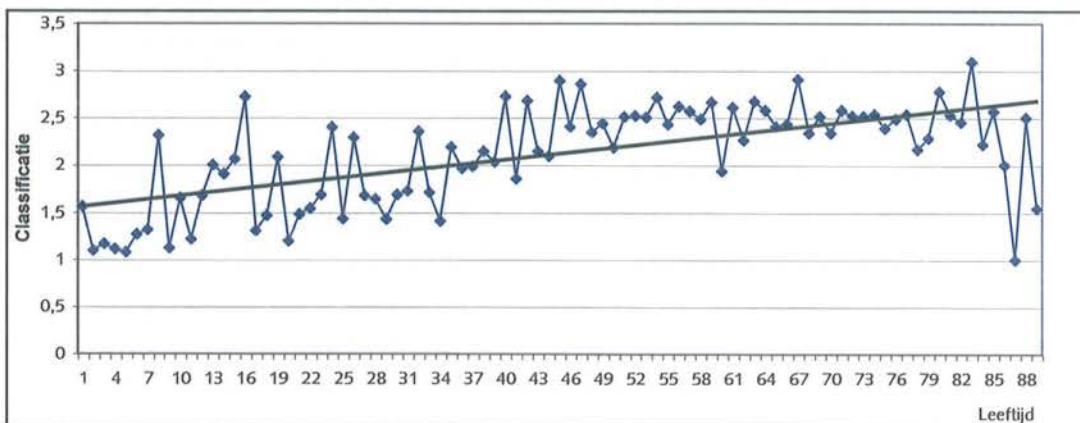
Figuur 6.2 Verdeling klassen per toestandsaspect



Figuur 6.3 Meest voorkomende schadebeelden



Figuur 6.4 Gemiddelde toename van de classificatie per jaar



Figuur 6.5 Gemiddelde classificatie voor toestandsaspect BAF per leeftijd in jaren

Het ontbreken van voldoende klassen 4 en 5 maakt het erg lastig de inspectiedata in het SPIRIT-model te gebruiken.

In figuur 6.3 ziet u de meest voorkomende schadebeelden (toestandsaspecten).

Het toestandsaspect dat zich het meest leent voor het verloop volgens groep 1 is 'aantasting'.

Ter validatie is onderzocht of de slechte betonkwaliteit in de jaren tussen circa 1950 en 1970 uit de beschikbare inspectiedata was af te leiden (zie paragraaf 6.3.1).

6.3.1 Trendanalyse (1960)

In de analyse van de inspecties is geprobeerd veroudering en verslechtering van het stelsel vast te stellen. Een van de trends waarnaar is gezocht, is de vermeende slechte betonkwaliteit in de eerste decennia na de Tweede Wereldoorlog.

Om de slechte betonkwaliteit in een periode te kunnen vaststellen, is een gecorreleerde waarneming nodig. Beschikbare waarnemingen voor het toestandsaspect BAF (chemische aantasting) zijn gebruikt om een versnelde degradatie bij een slechtere betonkwaliteit vast te stellen.

In figuur 6.4 ziet u de gemiddelde toename van de classificatie per jaar. De verwachting was dat de grafiek een sterkere veroudering in de jaren 60 zou aangeven. Maar dit is niet het geval.

Hiervoor zijn twee directe verklaringen:

- De inspecties die de gemeenten hebben aangeleverd, bestrijken slechts de periode van de afgelopen vijftien jaar, terwijl veel strengen veel ouder zijn. Dit veroorzaakt een grote demping bij het bepalen van de klasstoename per jaar.
- In de waarnemingen zitten geen of zeer weinig classificaties 4 en 5. De trendlijnen zijn dus gebaseerd op classificaties 2 en 3, wat leidt tot een kleine toename van de klassen.

Ook fouten in de inspectiedata zorgen voor vreemde verschijnselen, zoals de negatieve waarden aan het einde van de grafiek. Dit komt doordat in de inspectiedata strengen aanwezig waren met een aanlegjaar later dan die van de inspectie.

In figuur 6.5 ziet u de gemiddelde classificatie voor het toestandsaspect BAF per leeftijd in jaren. Te zien is dat de classificatie met één punt per ongeveer tachtig jaar toeneemt. Hierbij komen classificaties boven de 3 nagenoeg niet voor.

De rioolinspecties doorlopen enkele opeenvolgende waarnemingsprocessen die bij elke stap kwantificeringsruis introduceren. Zo worden camerabeelden omgezet in coderingen voor toestandsaspecten en moet per toestandsaspect de klasse worden bepaald. Met de keuze uit 1 tot 5 is de classificatie beperkt nauwkeurig.

In de praktijk lijken beheerders de hogere klassen niet te gebruiken. Het vermoeden bestaat dat hogere klassen leiden tot een ingreep en de inspectiedata niet meer worden opgeslagen. Juist bij ingreep bevatten de inspectiedata de meest interessante gegevens voor SPIRIT, omdat juist hier een verloop zichtbaar wordt naar een voor de rioleringsbeheerder belangrijk moment.

Als de ingreepmaatregel zou bestaan uit reparatie, zou het inspectiesysteem een terugval naar een betere conditie moeten vastleggen in combinatie met de handhaving van de streng. In de huidige inspectiedata is het niet duidelijk of strengen zijn gerepareerd of vervangen.

7 Resultaten

Naast deze eindrapportage heeft het SPIRIT-project de volgende concrete resultaten bereikt:

- een datamodel voor het ordenen van de benodigde invoergegevens;
- een structuur voor het opslaan van expertmeningen;
- een website voor het verzamelen van expertmeningen;
- een database met 1.114 expertmeningen;
- een structuur voor het opslaan van (verrijkte) inspectiegegevens;
- een database met inspectiegegevens van 96.592 rioolstrengen;
- een model met interface dat op basis van expertmeningen verwachtingen genereert voor classificaties van toestandaspecten vijf en tien jaar na de uitgangssituatie;
- een aanzet voor de vormgeving van een geoloket;
- een beschrijving van een methodiek voor het berekenen en actualiseren van de statistische betrouwbaarheid van de voorspelling van het SPIRIT-model;
- een beschrijving van hoe het model door online toevoeging van inspectiegegevens zelflerend kan worden.

Dit hoofdstuk beschrijft in het kort de belangrijkste resultaten.

7.1 Datamodel overeenstemmend met informatiemodel kabels en leidingen conform NEN3610

In NEN3610 zijn modellen voor de datastructuur vastgelegd voor de diverse domeinen (vakgebieden). Voor het domein kabels en leidingen kunnen op basis van de NEN3610 per type infrastructuur extensies worden gebouwd.

Op basis van het domeinmodel uit de NEN3610 is een eerste aanzet ontwikkeld van de rioleringsextensie op dat domeinmodel. Het datamodel beschrijft strengen, putten, inspecties en waarnemingen. Expertmeningen zitten hier nog niet in, maar zijn in een apart datamodel verwerkt.

Het domeinmodel geeft de modellering van de riolering weer, zoals deze werkelijk wordt waargenomen. Het domeinmodel is dus niet het model voor de opslag van gegevens.

Hoe de informatie wordt opgeslagen, is niet interessant voor de werking van het model. Dit is een technisch verhaal dat buiten de scope van de modellering valt. Het domeinmodel beschrijft de te ontwerpen concepten en hun onderlinge verbanden. Het is niet de bedoeling weer te geven hoe de implementatie eruit ziet.

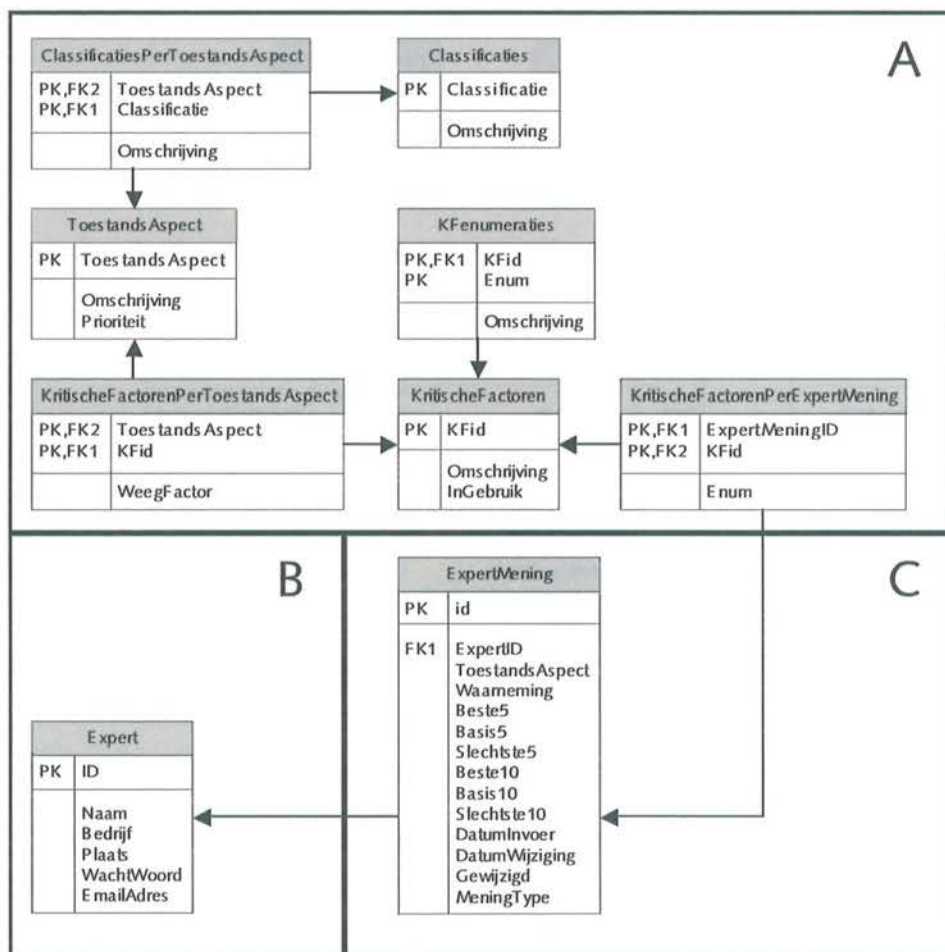
7.2 Database met expertmeningen en website om database uit te breiden

De expertmeningen zijn verzameld via een .NET-webinterface, waarmee de datastructuur uit figuur 7.1 is gevuld. Het datamodel onderscheidt drie functionele delen:

- A. bevat de resultaten van de reductie van combinaties die heeft geleid tot de matrix van overgebleven combinaties (zie paragraaf 5.4);
- B. de tabel Expert bevat de gegevens van de deelnemende experts;
- C. de kennis van de experts wordt in de tabel ExpertMening opgeslagen.

Omdat het systeem de experts bij de invoer met een vooraf gedefinieerde set vragen begeleidt, wordt deel A gebruikt om voor elke nieuwe expert een volledige set (lege) Expertmeningen te genereren.

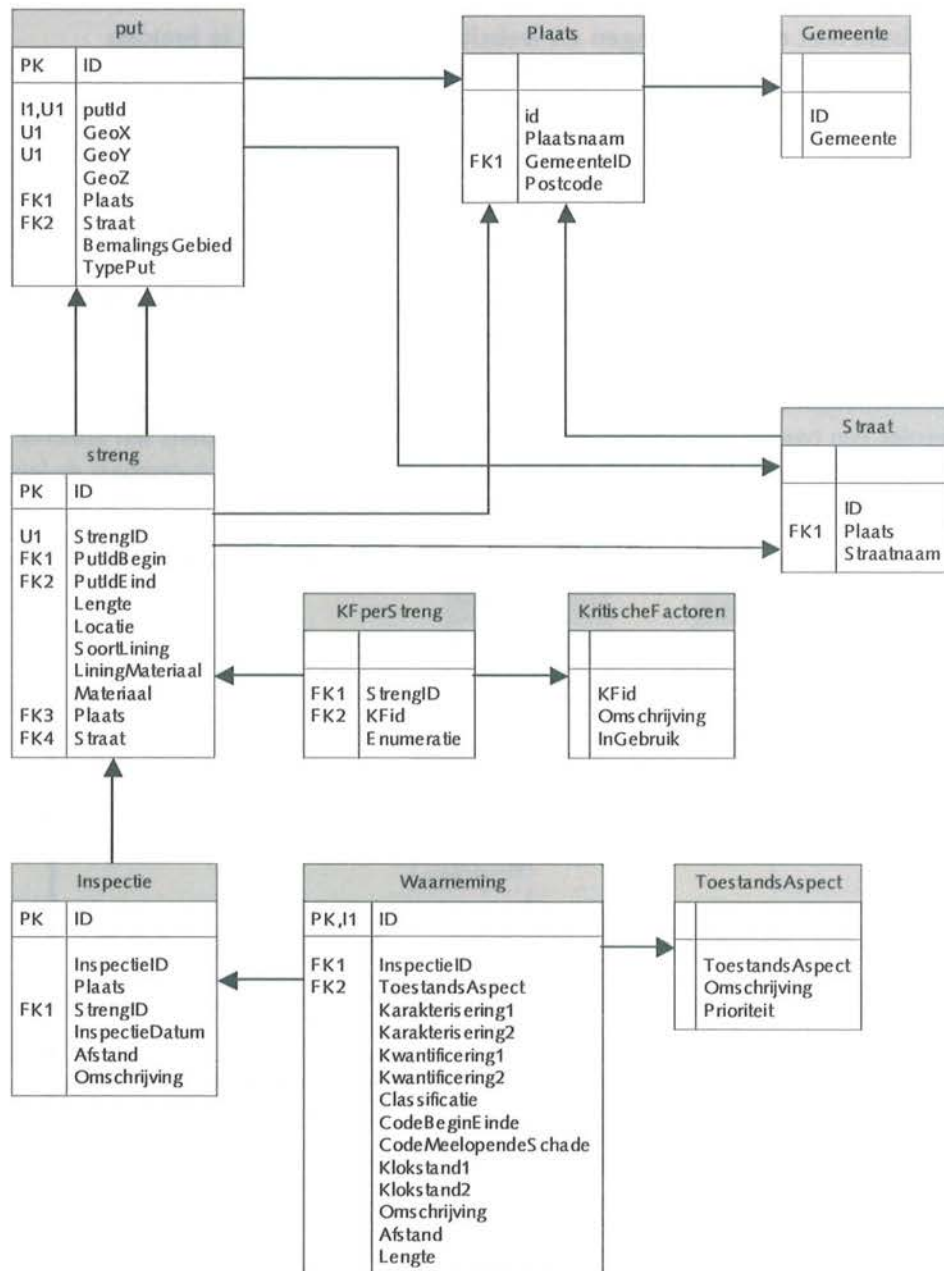
De expertmeningen zijn eenmalig verzameld. Om de betrouwbaarheid van de invoer te toetsen, zou eigenlijk een tweede sessie nodig zijn. Dan is de spreiding van de experts ten opzichte van een eerste invoer te bepalen. Uit deze informatie is te bepalen hoe reproduceerbaar de kennis van de expert is.



Figuur 7.1 Datastructuur van de webinterface voor inzameling expertmeningen

7.3 Database met inspectieresultaten en kritische factoren

De geanalyseerde inspectiedata zijn in een genormaliseerde database opgeslagen, waarmee de data-integriteit werd bewaakt. Het model definieert een streng als 'een aantal segmenten tussen twee putten'. Het model legt niet het aantal segmenten van een streng vast, maar de lengte. Per put legt het model de straat, plaats en gemeente vast. Putten van een streng kunnen in twee



Figuur 7.2 Datastructuur database met inspectieresultaten en expertmeningen

plaatsen liggen en via de streng de plaatsen verbinden. De gemeente is als hogere aggregatie meegenomen.

Per streng zijn meerdere kritische factoren te koppelen die van belang zijn voor het verloop van de conditie. Ook zijn per streng meerdere inspecties (historie) vast te leggen, zodat het verloop van de condities in de tijd waarneembaar is. Er is overwogen om ook ingreepmaatregelen op te slaan, zodat verbeterde condities door een reparatie verklaarbaar zijn. Maar de inspectiesystemen leggen deze data niet vast, zodat deze correlaties niet te maken zijn. Per inspectie zijn meerdere waarnemingen van schadebeelden mogelijk. De waarnemingen worden afgeleid van de SUF-RIB-bestanden en zijn gebaseerd op de toestandsaspecten uit de definitietabel.

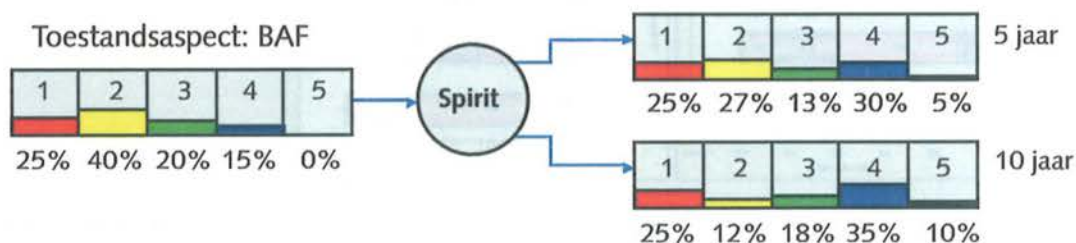
De overgang van het datamodel naar een domeinmodel is niet meer gemaakt, omdat de beschikbare datakwaliteit onvoldoende was.

7.4 Werkend model voor toestandsvoorspelling

Het SPIRIT-model gaat uit van percentages van een streng waar een bepaald toestandsaspect optreedt. Per streng en toestandsaspect bepaalt de beheerder via een inspectie welk percentage van de streng een classificatie heeft. Vervolgens doet het model voor de streng een voorspelling. Elk toestandsaspect krijgt een verwachting van percentage en classificaties voor over vijf jaar en tien jaar.

Het gerealiseerde model is geschikt voor voorspellingen op basis van de verzamelde expertmeningen.

Aan het model zijn inspectiegegevens toe te voegen, zodat het op basis van expertmeningen én inspectiegegevens kan voorspellen. Bij toename van beschikbare inspectiedata bepaalt een α -factor hoe het model het aandeel expertmeningen vermindert en het aandeel inspectiedata vergroot (zie ook paragraaf 5.1). Hoe deze waarde van α -factor is te bepalen, is wel voorgesteld, maar nog niet uitgevoerd.



Figuur 7.3 Schematische weergave van de voorspelling van een toestandsaspect

Input

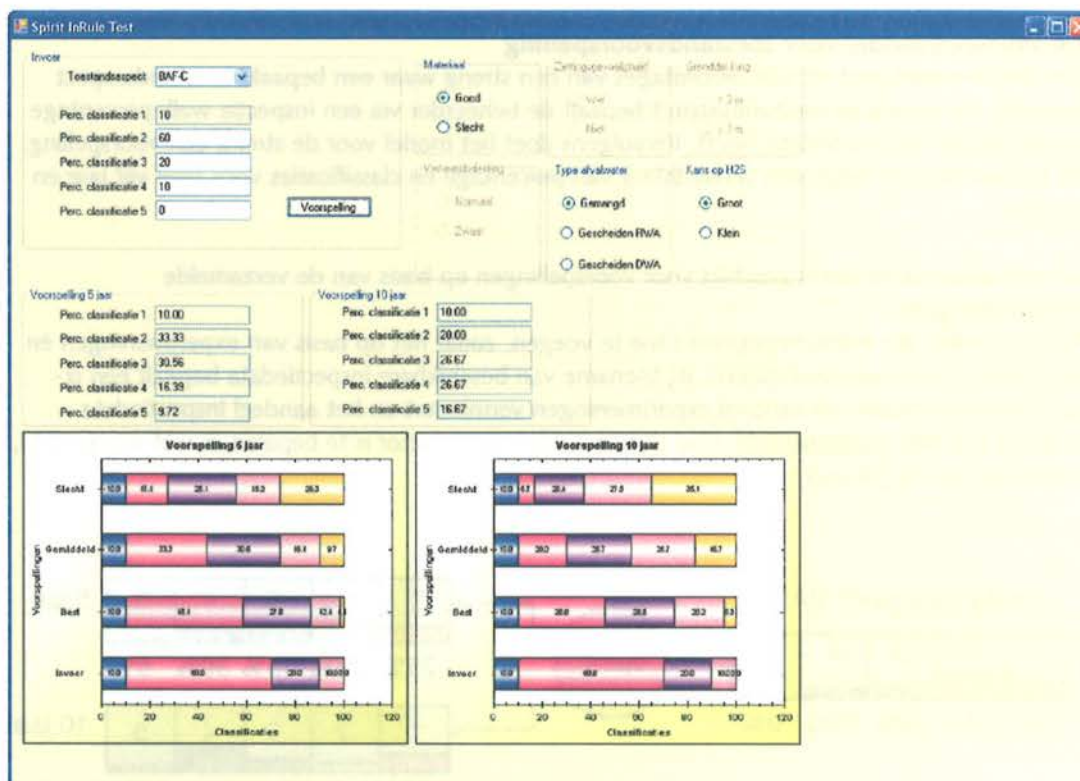
Als input voor de voorspelling gebruikt het werkende model een percentage van de streng met een bepaalde classificatie. Uitgangspunt van de invoer is dat classificatie 1 altijd het aanvullende deel tot 100% bevat. Als invoer zijn dus de percentages van de streng met klasse 2 t/m 5 nodig. Voor het betreffende toestandsaspect zijn de kritische factoren in te vullen. Op basis van de aangeleverde input bepaalt het model de percentages van de streng per classificatie na vijf en tien jaar (zie figuur 7.3).

De voorspelling

De gekleurde delen van de buisjes representeren de percentages van de invoer en geven een slechtste, gemiddelde en beste voorspelling voor zowel vijf als tien jaar. Gelet op het beperkte aantal beschikbare expertmeningen is de spreiding tussen de slechtste en beste verwachting nog erg groot. Als meerdere gegevens beschikbaar komen, zal de spreiding afnemen. De aangegeven spreiding is een duidelijke indicatie voor de nog beperkte betrouwbaarheid van de SPIRIT-verwachtingen.

Voorbeeld met BAF-C

In figuur 7.4 gaat het model bij BAF-C uit van een percentage van 60% klasse 2, 20% klasse 3 en 10% klasse 4. De voorspellingen zijn gebaseerd op de verzamelde expertmeningen en laten een verschuiving van de klassen zien. De 10% klasse 1 verandert niet, omdat bij het bepalen van de expertmeningen geen vragen zijn gesteld over de ontwikkeling van klasse 1.



Figuur 7.4 Screenshot toestandsaspect BAF-C

In deze voorspellingen is uitgegaan van verschillende waarnemingen. Het SPIRIT-model voorspelt altijd hoe de verwachte ontwikkeling van de ingevoerde condities zal zijn. Deze voorspellingen moeten rioleringsbeheerders natuurlijk niet letterlijk nemen. Zij moeten deze aanvullen met hun eigen kennis en ervaring om zo tot een gefundeerd oordeel over de te verwachten toestand van de betreffende rioolstreng te komen.

Het SPIRIT-model berekent de ontwikkeling van de klassen 2 t/m 4. Het restant tot 100% blijft dan over voor klasse 5.

7.5 Opzet voor geoloket binnen SPIRIT-concept

SPIRIT voorspelt op basis van een set basisgegevens de ontwikkeling van geconstateerde condities van een specifiek toestandsaspect. Het model legt van de putten ook de geocoördinaten vast. Gemeenten en inspectiebedrijven hebben de geolocaties deels vanaf tekening bepaald en soms ook op basis van GPS-metingen vastgelegd. De geolocaties op basis van de tekeningen kunnen naar verwachting afwijkingen vertonen.

Het SPIRIT-domeinmodel zou beschikbaar komen via het geoloket als een webservice, waarmee op basis van het uitwisselingsformaat NEN3610 gegevens over het rioolnet zijn op te vragen. Uitgaande van een inspectiecyclus van zes jaar voor alle rioolstrengen, zou het SPIRIT-model na zes jaar gevuld moeten zijn met de inspectie-informatie van een landelijk dekkend rioolnet.

Het domeinmodel zou worden uitgerust met businesslogica, die de privacy van de riooldata voor derden borgt. Zo hebben alleen de gemeenten toegang tot de eigen gegevens. Wel kan het SPIRIT-model van alle data leren en uitspraken doen over alle situaties die in het model beschikbaar zijn.

8 Conclusies

Dit hoofdstuk geeft de conclusies van het onderzoek, gegroepeerd in de volgorde van de onderzoeksvragen.

Welke functionaliteit verwacht de rioleringsbeheerder van een model voor toestandsvoorspelling?

Uit de meerdere workshops met de experts en de klankbordgroep kwamen de volgende gewenste functionaliteiten naar voren:

- Geen restlevensduurverwachting of adviezen over te nemen maatregelen, maar voorspelling van toestandsaspecten.
- Voorspellingstermijn van vijf en tien jaar na inspectie.
- Toestandsaspecten elk afzonderlijk beschouwen, onderlinge correlatie van toestandsaspecten is niet relevant.
- Presentatie van voorspelling op strengniveau, omdat beheerders maatregelen op dit niveau plannen.
- Aanduiding van het betrouwbaarheidsinterval van de modelresultaten.

Welke omstandigheden zijn van belang om riolen als vergelijkbaar aan te merken?

Als bruikbare kritische factoren zijn aangemerkt:

- Type riool (dwa, hwa of gemengd);
- Dekking van het riool (afstand maaiveld tot kruin riool groter of kleiner dan 3 meter);
- Wel of niet belast door zwaar verkeer;
- Betonkwaliteit van voor of na 1970;
- Grote of kleine kans op H_2S ;
- Wel of niet zettingsgevoelige grond waarin het riool ligt.

Uit het beheerpakket komen voorts de volgende kenmerken die van belang geacht worden om rioolstrengen als vergelijkbaar aan te merken:

- Materiaal;
- Leeftijd (alleen relevant voor type 1 toestandsaspecten);
- Diameter.

In hoeverre elke kritische factor het tempo beïnvloedt waarin een toestandsaspect naar een hogere classificatie gaat, was uit de beschikbare data niet af te leiden. In een steekproef onder vijf gemeenten is gekeken of een bepaalde periode van aanleg van betonnen rioolbuizen gevoeliger is voor het toestandsaspect 'aantasting' dan de buizen aangelegd in andere perioden. Uit de beschikbare data was dit niet af te leiden.

Welke toestandsaspecten zijn het meeste van belang voor het plannen van maatregelen?

Dit verschilt per regio:

- In gebieden met een goede grondslag (niet zettingsgevoelig) zijn vooral de scheuren en/of aantasting maatgevend.
- In gebieden met een slechte grondslag (zettingsgevoelig) zijn vooral (ongelijke) zettingen (hoekverdraaiingen) maatgevend.
- Andere toestandsaspecten kunnen hierop aanvullend de noodzaak tot maatregelen vergroten.
- Ook van belang is de omvang van de schade (lengte van de scheur of aantasting c.q. hoeveelheid verloren berging door ongelijkmatige zettingen).

Welke invoergegevens voor het voorspellingsinstrument zijn met welke nauwkeurigheid en tegen welke inspanning beschikbaar te krijgen?

- SPIRIT gebruikt als invoer expertmeningen en SUF-RIB-bestanden, aangevuld met informatie over de kritische factoren.

Expertmeningen

Experts blijken via de daartoe ontwikkelde website voor de tot 166 stuks beperkte situaties goed een verwachting te kunnen geven van de ontwikkeling van toestandsaspecten. Welke invloed de specifieke vraagstelling op de antwoorden had, is niet onderzocht. Nu is gevraagd naar een klasse na vijf en tien jaar. Daarbij kan de expert alleen kiezen uit wel of geen toename van een of meerdere klassen. Het was mogelijk om de vraagstelling aan te vullen met de vraag na hoeveel jaar de expert verwacht dat het toestandsaspect in de gegeven omstandigheden respectievelijk 2 of 3 klassen zal toenemen. Het antwoord hierop laat meer ruimte voor nuance en analyse op onderlinge consistentie van de experts. Maar die vraag is niet gesteld.

SUF-RIB-data

Uit de (representatief geachte) steekproef met de databestanden van vijf gemeenten bleek dat uitgebreide controle van de SUF-RIB-bestanden nodig is, vóórdat deze bestanden bruikbaar zijn in SPIRIT. Uit de analyse kwamen de volgende tekortkomingen naar voren:

- Incomplete vaste gegevens. Zo ontbrak onder meer in de vaste gegevens:
 - Unieke strengidentificatie.
 - Materiaal.
 - Jaar van aanleg en inspectie.
 - Type riool.
 - Diepteligging.
 - Grondsoort.
- Incomplete inspectiegegevens. Zo ontbrak onder meer:
 - SUF-RIB-1 en SUF-RIB-2.
 - Al bewerkte inspectieresultaten door beheerpakket.
 - Inspectiegegevens van niet meer bestaande strengen.
 - Na verwijderen streng zijn ook de inspectiegegevens weg.
 - Eigen coderingen van inspectiebedrijf buiten NEN3399.
 - Niet aangeven lengtes van meelopende schades.
 - Door elkaar gebruiken van mm en m.

Bruikbaarheid inspectiegegevens

Gebleken is dat de huidige databestanden bij de in veel situaties als meest relevant geachte toestandsaspecten 'aantasting' en 'scheuren' relatief zeer weinig klassen 4 en 5 bevatten. (In de representatieve steekproef BAF < 10% respectievelijk BAB < 33%). Dit maakt het voorspellen van deze toestandsaspecten op basis van de beschikbare databestanden tot een hachelijke zaak.

Beperkte nauwkeurigheid classificatie

Een ander probleem is de beperkte nauwkeurigheid waarmee bij een visuele inspectie een toestandsaspect is te classificeren. Zeker de waarnemingen uit de beginperiode van inspecties werden gehinderd door slechte belichting en beeldschermen met een lage resolutie. Uit analyse van de examens voor inspecteurs blijkt een grote spreiding in de classificatie van een waarneming.

Kritische factoren

De mogelijkheden voor het beschikbaar krijgen van de benodigde informatie over de kritische factoren 'verkeersbelasting' en 'kans op H₂S-vorming' is niet diepgaand onderzocht. De eerste lijkt goed haalbaar als van de betreffende rioolstreng de x- en y-coördinaten beschikbaar zijn. SUF-RIB-2 biedt hiervoor de mogelijkheid, maar de x- en y-coördinaten zijn lang niet altijd beschikbaar. 'Kans op H₂S-vorming' is niet in SUF-RIB opgenomen. Soms kan de beheerder dit zelf in het model aangeven. Met verdergaande inspanning zou een dwa-berekening met daarbij meegenomen lozingspunten van persleidingen potentieel H₂S-gevoelige riolen in beeld kunnen brengen. Overigens bepaalt niet alleen de aanwezigheid van H₂S het tempo van biochemische aantasting van betonnen riolen. Dit is van meer factoren afhankelijk, zoals de gebruikte type cement in het beton.

Hoe kan het instrument leren van steeds meer beschikbare gegevens?

Met uitbreiding van de centrale database door het gebruik van SPIRIT neemt de betrouwbaarheid van voorspellingen toe. Oftewel, de bandbreedte van de voorspellingen neemt af. [Noortwijk, 2005] beschrijft een methodiek voor het bepalen van de statistische betrouwbaarheid van de SPIRIT resultaten. Daarbij is rekening gehouden met de zich steeds wijzigende verhouding tussen het aantal expertmeningen voor een bepaalde situatie en het aantal ingevoerde inspectiegegevens van gebruikers.

Hoe zijn gewenste gegevens, bijvoorbeeld via een geoloket, aan de basisgegevens vanuit het rioleringsbeheer toe te voegen om het voorspellende vermogen te verbeteren?

In het functionele ontwerp van SPIRIT is afgestemd met projecten in het kader van het stimuleringsprogramma Ruimte voor Geo-Informatie (RGI). Daardoor is in de functionaliteit van SPIRIT rekening gehouden met uitgroei tot een zogeheten geoloket. Een geoloket biedt (al dan niet via een webservice) metagegevens van de beschikbare database, zodat de gebruiker op basis van 'service oriented architecture'-technieken diverse meerwaarden aan de data kan geven. De bronhouder van de data blijft verantwoordelijk voor de data van zijn domein, maar ontsluit deze via publicatie van de metagegevens. SPIRIT zou op termijn bijvoorbeeld data over wegbelastingen via een geoloket wegbeheer kunnen importeren en gebruiken bij de toestandsvoorspelling van rioolstrengen.

9 Aanbevelingen

In dit hoofdstuk staan de aanbevelingen vanuit het SPIRIT-project.

Gegevensbeheer als basis

Goed digitaal gegevensbeheer is cruciaal voor een optimale invulling van de zorgplichten voor grond-, regen- en afvalwater. Een adequaat inzicht in de actuele en historische situatie is noodzakelijk voor efficiënt beheer van de infrastructuur. Gegevens over de geometrie, de toestand en het functioneren vormen gezamenlijk een belangrijke basis voor beslissingen over investeringen en beheerspanningen. Het gegevensbeheer in de rioleringszorg kan op een aantal punten verbeterd worden.

Historische, actuele en toekomstige situaties

De inventarisatie van gegevens is nu specifiek gericht op de beschrijving van de actuele situatie. De ontwikkeling naar het monitoren van systemen vraagt daarnaast om het vastleggen van de historische situatie. Het digitaal plannen van ontwikkelingen en de aansluiting op systemen (zoals besteksvoorbereiding) stimuleren het vastleggen van toekomstige situaties.

In veel bestaande systemen ontbreekt de status van de vastgelegde gegevens. Vaak is bijvoorbeeld niet bekend hoe en wanneer gegevens zijn vastgelegd. De actualiteit en de kwaliteit van basisgegevens zijn vaak onbekend. Dit is een belangrijke beperkende factor voor het gebruik van de gegevens.

Informatie-uitwisseling

De koppeling van rioleringsgegevens aan gegevens vanuit verwante disciplines wordt functioneel en operationeel steeds belangrijker. Voorbeelden hiervan zijn de riolering als onderdeel van de afvalwaterketen en de wisselwerking tussen het functioneren van de riolering en tijdelijke berging van extreme hoeveelheden regenwater op straat (gegevens wegbeheer).

Informatie-uitwisseling levert in de praktijk veel problemen op. Als gegevensdefinities niet eenduidig op elkaar aansluiten, gaat bij conversies tussen de verschillende beheersystemen informatie verloren.

Uniforme en praktische structuur

Mede door de onzekerheden rond het gegevensbeheer spannen rioleringsbeheerders zich niet volledig in om de basisgegevens op orde te houden. De gebruikersinterface van de beheersoftware is vaak minimaal ontwikkeld, waardoor beheerders weinig controle hebben op het op orde houden van de kwaliteit van de basisgegevens.

Een uniforme en praktische basis voor het gegevensbeheer kan tot meer efficiency leiden. Dan is (centraal) sneller en op een kwalitatief hoger niveau op ontwikkelingen in het gegevensbeheer in te spelen. Als beheersystemen rechtstreeks op de centrale database worden aangesloten, kan conversie van gegevens binnen het rioleringsdomein op zijn minst zeer eenduidig of zelfs vrijwel overbodig worden. Deze gegevensbestandstructuur moet worden opgebouwd conform het nieuw ontwikkelde gegevenswoordenboek Riolering (GFO). Ook moet worden aangesloten op standaarden als de Nationale Geo-Informatie Infrastructuur (NGII) en het Informatiemodel Kabels en Leidingen (IMKL).

Vergroten kennis over noodzaak van maatregelen

Totdat de databestanden het mogelijk maken geautomatiseerd naar statistische verbanden in verouderingsprocessen te zoeken, kan onderzoek plaatsvinden op basis van concrete rioolvervangingsprojecten. Projecten waarbij gemeenten rioolstrengen vervangen op grond van hun slechte toestand zijn te inventariseren en analyseren op de redenen voor vervanging. De gebruikte argumenten om in de praktijk tot maatregelen te besluiten, zijn ook te analyseren. Daarnaast is vast te leggen welke levensduur onder welke omstandigheden is gerealiseerd. Op termijn kan dit

leiden tot een beter inzicht in de levensduur bepalende factoren. Aanbevolen wordt bij gemeenten met een hoog vervangingstempo de genoemde argumenten te inventariseren en analyseren.

Vervolg SPIRIT-project

Ten slotte wordt aanbevolen het SPIRIT-project een vervolg te geven, waarin het afwegingsproces rondom maatregelenplanning in het rioleringsbeheer een beter fundament krijgt. Dit fundament moet bestaan uit betrouwbare gegevens en bruikbare criteria, waarmee informatie is af te leiden over de ernst van verschillen tussen de huidige en gewenste toestand van de objecten en tussen het huidige en gewenste functioneren van het systeem.

10 Literatuur

1. Bregt A., et al. (2006). Raamwerk van standaarden voor de Nederlandse GII. Ravi, Amersfoort.
2. Brown and Caldwell (2005). SCRAPs, a predictive tool for measuring sewer degradation. Werf, Washington USA.
3. Hahn M.A., et al. (2002). Expert system for prioritizing the inspection of sewers: knowledge base formulation and evaluation.
4. Huisman A. (2006). Geoloketten – Webservices. RGI Amersfoort.
5. Mehle J.J., O'Keefe S.M. and Wrase P.E. (2001). An examination of methods for condition rating of sewer Pipelines. University of Minnesota, USA.
6. Müller, K.P. (2006). Strategien zur zustandserfassung von kanalisationen. Aachener Schriften zur Stadtentwässerung, no 7.
7. Normcommissie 351 240 (2005). NEN3610 Basismodel Geo-informatie. NEN, Delft
8. Normsubcommissie 351 615 22 "Stuurgroep buitenriolering" (2004). NEN3398 Buitenriolering – Onderzoek en toestandsbeoordeling van objecten. NEN, Delft
9. Normsubcommissie 351 615 22 "Stuurgroep buitenriolering" (2004). NEN3399 Buitenriolering – Classificatiesysteem bij visuele inspectie van objecten. NEN, Delft
10. Sinha S.K. and Knight M.A. (2004). Intelligent system for condition monitoring of Underground Pipelines. Pennsylvania State University, USA.
11. Van den Hoven V., Hoogerwerf M. (2006). Geoloketten – Vrijheid in verbondenheid; Geoloketten Woordenboek Versie 1. RGI, Amersfoort.
12. Van Gestel P., Van den Ende K. en Ross R. (2004). Rapportage van het project "technische levensduur model rioleringen" Fase 3. KEMA, Arnhem.
13. Van Noortwijk J.M. en Korving J.L. (2005). Bayesiaanse statistiek voor veroudering van riolering. HKV lijn in water en Witteveen+Bos.
14. Vis H. (2006). SPIRIT, analyse expertmeningen type-II-toestandsaspecten. Werkrapport.

Bijlage 1 Berekening aantal combinaties

Tot fase 3 werd voor het huidige model het aantal verschillende combinaties van toestandsaspecten, classificaties en kritische factoren uitgerekend als het product van alle bestaande parameters. In tabel B1.1 staan alle parameters voor de benoemde kritische factoren.

Tabel B1.1 Parameters voor de benoemde kritische factoren

ID	Kritische factor	Parameters					Aantal
1	Jaar van aanleg	<1960	1960-1970	1970-1980	1980-1990	>1990	5
2	Grondslag	klei	zand	veen			3
3	Diepte	>3m	<3m				2
4	Grondwaters land	boven riool	onder riool				2
5	Verkeers belasting	normaal	zwaar				2
6	R type riool	gemengd	droogweer afvoer	hemelwater afvoer			3
7	Opleverings inspectie	ja	nee	nvt			3
8	Voegverbinding	Vaaren moer	Mofen spie				2
9	Persleiding aansluiting	ja	nee				2
Aantal combinaties							4320

Met deze negen kritische factoren zijn in totaal 4.320 verschillende combinaties mogelijk. Met vijf toestandsclassificaties en achttien toestandsaspecten komt het aantal mogelijke combinaties op 388.800. Deze berekening moet op drie aspecten worden bijgesteld:

Aspect 1

In fase 2 is al gesteld dat sommige kritische factoren voor bepaalde toestandsaspecten helemaal niet relevant zijn. Het model ondervangt dit al door aan elke kritische factor een weegfactor toe te kennen. In tabel B1.2 ziet u de huidige defaultweegfactoren, inclusief de weegfactoren voor het type voegverbinding en persleidingaansluiting, die pas in fase 3 aan het model zijn toegevoegd. Implementatie daarvan moet nog plaatsvinden. Combinaties van toestandsaspecten en kritische factoren die een waarde 0 hebben, hoeven in de telling niet te worden meegenomen.

Tabel B1.2 Huidige defaultweegfactoren in SPIRIT

Default weeg factoren van Kritische factoren per Toestandsaspect									
Toestandsaspect	5	3	2	2	2	3	3	2	2
	Jaar	Grond	Diepte	Water	Verkeer	Type	Inspect	Verbind	Pers
A1	2	1	0	1	1	0	1	1	0
A2	2	1	0	1	1	0	1	1	0
A3	2	1	1	0	1	0	1	0	0
A4	2	1	1	0	1	0	1	0	0
A5	2	1	1	0	1	0	1	0	0
A6	2	0	0	0	1	0	0	1	0
A7	2	0	0	0	1	0	0	1	0
B1	2	0	1	0	1	0	1	1	1
B2	2	0	0	0	0	1	0	0	1
B3	2	1	1	0	1	0	1	0	1
B4	2	1	1	0	1	0	1	1	1
C1	2	0	1	0	1	0	1	0	0
C2	2	1	1	1	0	0	0	0	0
C3	2	0	0	0	0	1	0	1	0
C4	2	1	0	0	0	1	0	1	0
C5	2	0	0	0	0	1	0	1	0
C6	2	0	0	0	0	0	1	0	0
C7	2	0	1	1	0	0	1	0	0

Aspect 2

De database kent geen records met inputclassificatie 5. Dat is namelijk de laatste classificatie van een toestandsaspect die aangeeft dat maatregelen direct noodzakelijk zijn. Het aantal inputclassificaties is dus maximaal vier in plaats van vijf.

Aspect 3

De norm NEN3399:1992 geeft per toestandsaspect aan welke classificaties relevant zijn. Niet aan elk toestandsaspect zijn alle vijf de classificaties toe te kennen. In tabel B1.3 ziet u welke classificaties voor welk toestandsaspect relevant zijn.

Tabel B1.3 Kwaliteitsklassen per toestandsaspect in NEN3399:1992

Toestandsaspect	Kwaliteitsklassen NEN3399-1992				
	1	2	3	4	5
A1	1	1	1	1	1
A2	1	1	1	1	1
A3	1	1	1	1	1
A4	1	1			1
A5	1				1
A6	1		1		1
A7	1	1	1	1	1
B1	1				1
B2	1	1	1	1	1
B3	1	1	1	1	1
B4	1	1	1	1	1
C1	1		1		1
C2	1	1	1	1	1
C3	1	1	1	1	1
C4	1	1	1	1	1
C5	1	1	1	1	1
C6	1	1	1	1	1
C7	1	1	1	1	1

Na herberekening blijkt dat er 10.200 mogelijke relevante combinaties van toestandsaspecten, classificaties en kritische factoren zijn in plaats van ruim 300.000.

Bijlage 2 Omzetting toestandsaspecten conform NEN3399:2004

In tabel B2.1 ziet u hoe de codes van toestandsaspecten van de oude norm NEN3399:1992 zijn om te zetten naar de codes in de nieuwe Europese NEN-EN13508-2, ofwel NEN3399:2004 (zie 9 in literatuurlijst).

Tabel B2.1 Omzetting codes toestandsaspecten conform NEN3399:2004

Toestandsaspecten NEN 3399:1992		Toestandsaspecten NEN 3399:2004	
Categorie	Code		Code
Waterdichtheid	Lekkage	A1	Infiltratie
	Zandinloop	A2	Binnendringen grond
	Axiale verplaatsing	A3	Verplaatsing verbinding
	Radiale verplaatsing	A4	
	Hoekverdraaiing	A5	
	Inhangende rubbering	A6	Inhangend afdichtingsmateriaal
	Inhangend voegmateriaal	A7	
Stabiliteit	Beschadiging	B1	Oppervlakteschade
	Aantasting	B2	
	Scheuren	B3	Scheuren
	Deformatie PVC	B4	Deformatie flexibele buizen
Stroming	Inslekende inlaat	C1	Inslekende inlaat
	Wortelingroei	C2	Wortelingroei
	Aangroei	C3	Aangehechte afzettingen
	Afzetting	C4	
	Zand- en vuilophoping	C5	Bezonken afzettingen
	Obstatels	C6	Andere obstakels
	Waterdiepte	C7	Waterpeil
Reparatie/ renovatie		-	Defectieve lining
		-	Defectieve reparaties

Op basis van deze conversie blijven door samenvoeging nog maar dertien van de achttien toestandsaspecten over die van toepassing zijn op de situatie in Nederland. Voor C6 is de nieuwe code BBE. Deze komt zo veel overeen met BBC of C5, dat hier is voorgesteld zowel C5 als C6 om te zetten in code BBC. Daarmee komt het aantal relevante toestandsaspecten in het model op twaalf. De kans op een goede match met een combinatie die in de database voorkomt, neemt daarmee toe. Hierdoor verbetert de nauwkeurigheid van de voorspelling.

Verder is de categorie Reparatie/renovatie toegevoegd. Het SPIRIT-model zal deze onderverdelen in twee extra toestandsaspecten. Daarbij is het toestandsaspect 'Defectieve reparaties' (in het model aan te duiden met BAL) een combinatie van de aangegeven toestandsaspecten in de NEN3399:2004. Uiteraard bevat de huidige database nog geen records van de twee nieuwe toestandsaspecten.

Samenvoegen weegfactoren

Door het samenvoegen van toestandsaspecten moeten ook de defaultweegfactoren van sommige toestandsaspecten worden samengevoegd (zie tabel B2.2). Als bij het samenvoegen de weegfactoren verschillend zijn (0 of 1), wordt de nieuwe weegfactor 1 gekozen (in tabel B2.2 vetgedrukt in blauw).

Tabel B2.2 Samenvoeging defaultweegfactoren

Nr	Code	Kritische factoren								
		Jaar	Grond	Diepte	Water	Verkeer	Type	Inspect	Verbind	Pers
1	BBF	2	1	0	1	1	0	1	1	0
2	BBD	2	1	0	1	1	0	1	1	0
3	BAJ	2	1	1	0	1	0	1	0	0
4	BAI	2	0	0	0	1	0	0	1	0
5	BAF	2	0	1	0	1	1	1	1	1
6	BAB	2	1	1	0	1	0	1	0	1
7	BAA	2	1	1	0	1	0	1	1	1
8	BAG	2	0	1	0	1	0	1	0	0
9	BBA	2	1	1	1	0	0	0	0	0
10	BBB	2	1	0	0	0	1	0	1	0
11	BBC	2	0	0	0	0	1	1	1	0
12	BDD	2	0	1	1	0	0	1	0	0
13	BAK	2	1	0	0	1	1	1	0	0
14	BAL	2	0	0	0	1	1	1	0	0

Classificaties

De nieuwe norm geeft per toestandsaspect aan welke classificaties van belang zijn (zie tabel B2.3).
(Veranderde waarden zijn vetgedrukt en blauw.)

Tabel B2.3 Classificaties in NEN3399:2004

Nr	Code	Kwaliteitsklassen NEN3399-2004				
		1	2	3	4	5
1	BBF	1	1	1	1	1
2	BBD	1	1	1	1	1
3	BAJ	1	1	1	1	1
4	BAI	1	1	1		
5	BAF	1	1	1	1	1
6	BAB	1	1		1	1
7	BAA	1	1	1	1	1
8	BAG	1		1		1
9	BBA	1	1	1	1	1
10	BBB	1	1	1	1	1
11	BBC	1	1	1	1	1
12	BDD	1	1	1	1	1
13	BAK	1	1	1	1	1
14	BAL	1				1

De norm kent aan toestandsaspect 14 – BAL (BAE/BAL/BAM) – slechts de classificaties 1 en 5 toe. Dit komt neer op het wel of niet constateren van het toestandsaspect. Bij dit toestandsaspect is geen sprake van een verouderingsproces. Het verloop van de kwaliteit van zo'n toestandsaspect (wel of niet geconstateerd) is moeilijk te voorspellen. Op basis van de leeftijd van de rioolbuis is wel een kans te berekenen dat zo'n toestandsaspect een klasse 1 blijft of een klasse 5 wordt. Maar daarvoor zijn andere methodieken nodig dan die het huidige SPIRIT-model toepast.

Het aantal mogelijke relevante combinaties van toestandsaspecten, classificaties en kritische factoren is nu opnieuw te bepalen. Met het nieuwe toestandsaspect BAL zou het aantal 12.180 zijn, zonder dit toestandsaspect 11.820.

Ondanks vermindering van het aantal toestandsaspecten is het aantal mogelijke combinaties na omzetting naar de NEN3399:2004 licht toegenomen. Dit komt door de samenvoeging van zowel defaultweegfactoren als classificaties per toestandsaspect.

Relining

Reliningsmethoden zijn ook toepasbaar in gebogen rioolstrengen of bij simpele deelrenovaties van een gedeelte van een streng. Door de relining van een hele rioolstreng zijn vele toestandsaspecten voor betonnen buizen ineens niet meer relevant. Hiervoor komt een nieuw toestandsaspect in de plaats: defectieve lining. Volgens NEN3399:1992 zijn de mogelijk relevante toestandsaspecten bij een gerenoveerde rioolstreng: A1, A2, B1, B3, C1, C3, C4, C5, C6 en C7. Meestal neemt reiniging vóór de inspectie de C-toestandsaspecten (doorstroming) al weg.

Bijlage 3 Statistisch onderzoek expertmeningen

Toestandsaspecten per expert

In tabel B3.1 ziet u per expert een analyse per toestandsaspect. Hierbij zijn de gemiddelden voor vijf en tien jaar en de spreiding van vijf en tien jaar bepaald.

Tabel B3.1 Expertanalyses per toestandsaspect

Expert	Aantal	T-Aspect	Gem 5j	Gem 10j	Spr 5j	Spr 10j
4	0	BAA-A	0,00	0,00	0,00	0,00
5	8	BAA-A	2,00	2,00	0,00	0,00
10	6	BAA-A	2,17	2,50	0,41	0,55
12	7	BAA-A	2,71	3,14	0,49	0,38
13	8	BAA-A	2,75	3,50	0,71	0,93
17	7	BAA-A	2,57	3,14	0,79	0,69
20	3	BAA-A	2,33	2,67	0,58	0,58

Expert	Aantal	T-Aspect	Gem 5j	Gem 10j	Spr 5j	Spr 10j
4	8	BAB	2,00	2,00	0,00	0,00
5	8	BAB	2,00	2,00	0,00	0,00
10	12	BAB	2,33	2,67	0,78	0,98
12	16	BAB	2,25	3,25	0,68	1,00
13	16	BAB	2,50	3,50	0,89	1,10
17	8	BAB	2,50	3,38	0,93	1,51
20	0	BAB	0,00	0,00	0,00	0,00

Expert	Aantal	T-Aspect	Gem 5j	Gem 10j	Spr 5j	Spr 10j
4	12	BAF-C	2,25	2,50	0,45	0,90
5	11	BAF-C	2,27	2,64	0,47	0,81
10	0	BAF-C	0,00	0,00	0,00	0,00
12	10	BAF-C	2,00	2,50	0,00	0,53
13	12	BAF-C	2,00	2,25	0,00	0,45
17	6	BAF-C	2,83	3,67	1,17	0,82
20	0	BAF-C	0,00	0,00	0,00	0,00

Expert	Aantal	T-Aspect	Gem 5j	Gem 10j	Spr 5j	Spr 10j
4	5	BAF-D	2,00	2,00	0,00	0,00
5	0	BAF-D	0,00	0,00	0,00	0,00
10	6	BAF-D	2,00	2,67	0,00	0,52
12	6	BAF-D	2,00	2,83	0,00	0,41
13	6	BAF-D	2,00	2,33	0,00	0,52
17	5	BAF-D	2,80	3,20	0,84	1,30
20	0	BAF-D	0,00	0,00	0,00	0,00

Expert	Aantal	T-Aspect	Gem 5j	Gem 10j	Spr 5j	Spr 10j
4	0	BAG	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0	BAG	0,00	0,00	0,00	0,00
10	0	BAG	0,00	0,00	0,00	0,00
12	0	BAG	0,00	0,00	0,00	0,00
13	0	BAG	0,00	0,00	0,00	0,00
17	0	BAG	0,00	0,00	0,00	0,00
20	0	BAG	0,00	0,00	0,00	0,00

Expert	Aantal	T-Aspect	Gem 5j	Gem 10j	Spr 5j	Spr 10j
4	8	BAJ-A	2,00	2,00	0,00	0,00
5	4	BAJ-A	2,00	2,00	0,00	0,00
10	0	BAJ-A	0,00	0,00	0,00	0,00
12	8	BAJ-A	2,00	2,88	0,00	0,35
13	4	BAJ-A	2,00	2,25	0,00	0,50
17	8	BAJ-A	2,75	3,00	0,71	0,53
20	0	BAJ-A	0,00	0,00	0,00	0,00

Expert	Aantal	T-Aspect	Gem 5j	Gem 10j	Spr 5j	Spr 10j
4	8	BAJ-B	2,00	2,00	0,00	0,00
5	1	BAJ-B	2,00	2,00	0,00	0,00
10	8	BAJ-B	2,13	2,50	0,35	0,53
12	8	BAJ-B	2,50	3,13	0,53	0,35
13	8	BAJ-B	2,13	2,50	0,35	0,53
17	8	BAJ-B	2,38	2,50	0,52	0,53
20	0	BAJ-B	0,00	0,00	0,00	0,00

Spreiding per toestandsaspect

Op basis van de waarnemingen in tabel B3.1 zijn de standaarddeviaties van de expertmeningen per toestandsaspect bepaald (zie tabel B3.2).

Tabel B3.2 Standaarddeviaties expertmeningen per toestandsaspect

alleen zekere voorspellingen zonder boven- en ondergrenzen classificatiewaarde = 2		
Toestandsaspect	Stdev van Gem 5j	Stdev van Gem 10j
BAA-A	0,31	0,54
BAB	0,23	0,68
BAF-C	0,34	0,55
BAF-D	0,36	0,46
BAG	0,00	0,00
BAJ-A	0,34	0,48
BAJ-B	0,21	0,42

Constateringen

Voor toestandsaspect BAG zijn geen waarnemingen gevonden.

Voor alle toestandsaspecten is de spreiding rondom de gemiddelde waarde van een voorspelling voor vijf jaar kleiner dan voor tien jaar.

De standaarddeviatie voor de gemiddelde waarde kan met zeven experts en de waarden voor de toestandsaspecten lopend van 2 t/m 5 maximaal 1,6 zijn.

Toestandsaspect BAB heeft relatief een kleine spreiding rondom de gemiddelde waarde van een voorspelling voor vijf jaar en een grote spreiding rondom de waarde voor tien jaar.

Ook voor de verschillende kritische factoren zijn de standaarddeviaties van de expertmeningen per toestandsaspect bepaald. Op basis hiervan is de constatering:

Ook bij variatie van de kritische factoren vertonen de spreidingen rondom de gemiddelde waarden geen uitschieters. De spreiding wordt eerder kleiner doordat bij hogere classificaties de keuzemogelijkheden kleiner worden. Wanneer behalve de zekere ook de onzekere voorspellingen worden meegenomen, neemt de spreiding ook af. Dit komt omdat de onzekere voorspellingen niet tot extremen leiden en binnen de bandbreedte blijven.

Tussen de toestandsaspecten is geen significant verschil vast te stellen.

Statistische verschillen tussen de experts?

Uit de opgave van de experts bleek dat sommige experts zekerder zijn van hun voorspellingen dan anderen. In tabel B3.3 ziet u de resultaten van de vergelijking voor de meningtypen 0, 1 en 2.

Tabel B3.3 Vergelijking meningtypen 0, 1 en 2

ExpertID	Aantal 0	Aantal 1	Aantal 2	Totaal
4	125	41	0	166
5	76	47	27	150
10	104	46	0	150
12	160	6	0	166
13	150	0	0	150
17	130	22	14	166
20	3	111	52	166
Totaal	748	273	93	1114

ExpertID: identificatie van een expert door een numerieke code.

Aantal 0: aantal voorspellingen waarbij de expert heeft aangegeven zeker te zijn.

Aantal 1: aantal voorspellingen waarbij de expert heeft aangegeven onzeker te zijn.

Aantal 2: aantal voorspellingen waarbij de expert heeft aangegeven geen mening te hebben.

Expert met code 20 is slechts in drie gevallen zeker van zichzelf en heeft over 52 mogelijke voorspellingen geen mening.

Om statistische verschillen tussen experts vast te stellen, zijn de voorspellingen gerangschikt van klein naar groot (zie tabel B3.4). Hierdoor is na te gaan of een bepaalde expert relatief vaak lage dan wel hoge voorspellingen doet. Dit is in onderstaande tabel weergegeven.

Tabel B3.4 Toename in de voorspelde classificaties

ExpertID	rank 5j	rank 10j
4	1,4	1,4
5	1,9	2,0
10	1,7	2,1
12	1,9	3,1
13	1,8	2,4
17	3,3	3,5
20	2,3	2,0

Hieruit blijkt dat expert 17 vaak hoge classificaties voorspelt en expert 4 relatief lage. Experts 5, 10, 12 en 13 zitten gemiddeld dicht bij elkaar voor de voorspelling voor vijf jaar, voor de voorspelling voor tien jaar zijn dat experts 5, 10 en 20.

Conclusies en aanbevelingen

Conclusies:

- Tussen de zeven toestandsaspecten is geen significant verschil vast te stellen.
- De grootste spreiding in onderlinge waarden is zichtbaar bij berekeningen met de voorspelde basiswaarden na vijf en tien jaar, zónder bijdrage van de boven- en ondergrenswaarden.
- Een door een expert aangegeven onzekerheid in groep-2-voorspellingen resulteert niet per definitie in de grootste spreiding.
- Expert met code 20 is in 111 van de 166 mogelijke voorspellingen onzeker over zijn eigen inschatting en heeft in 52 van de 166 mogelijke voorspellingen geen mening.

Aanbevelingen:

- Vastgesteld moet worden welk criterium in het SPIRIT-model praktisch het best toepasbaar is om individuele expertmeningen te beoordelen.

Bijlage 4 Betrouwbaarheidsintervallen SPRIT resultaten

Aan de hand van een voorbeeld beschrijft deze bijlage hoe de betrouwbaarheid van een kansromme in het SPIRIT-model kwantitatief is uit te drukken. Met een dimensieloze parameter, de zogenaamde RMSD, is een criterium vast te stellen in relatie tot het aantal datarecords dat nodig is voor een gewenste minimale betrouwbaarheid van de voorspelling.

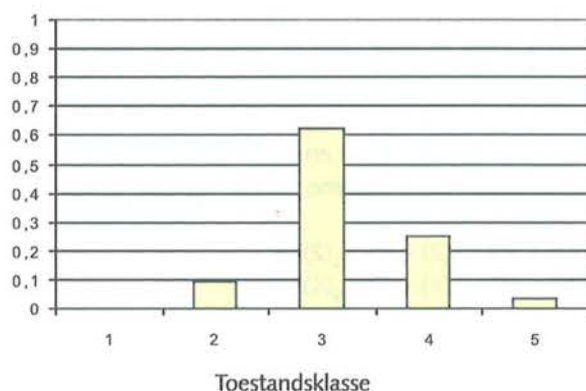
Stel dat na een inspectie voor een bepaald toestandsaspect classificatie 2 is vastgesteld. Voor de locatie is een set van kritische parameters vastgesteld. Met het SPIRIT-model is de bijbehorende kansromme te bepalen voor de toestand na vijf jaar, op basis van de records die overeenkomen met de combinatie van toestandsaspect, classificatie en set van kritische factoren.

In dit voorbeeld zijn in de database voor de voorspelling van de toestand over vijf jaar acht expertmeningen gevonden (zie tabel B4.1). Experts konden hun verwachting van de toestandsclassificatie opgeven. Als de classificatie onzeker was, kon de expert de range opgeven met een minimale en maximale classificatiewaarde.

Tabel B4.1 Voorbeeldvoorspelling van acht experts voor vijf jaar

Nummer	Klasse nu	Klasse over 5 jaar:		
		Minimum	Verwachting	Maximum
1	2	3	3	4
2	2	3	3	3
3	2	2	3	4
4	2	2	4	4
5	2	3	4	5
6	2	3	3	3
7	2	3	3	4
8	2	2	3	3

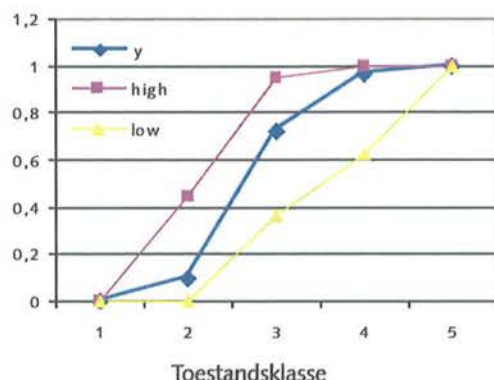
Voor het berekenen van de kansverdeling van deze voorspelling (zie figuur B4.1), telt de waarde in de kolom 'Verwachting' mee voor 50% en de waarden in de kolommen 'Minimum' en 'Maximum' voor 25%.



Figuur B4.1 Kansverdeling voorspelling toestand over vijf jaar

In figuur B4.1 is direct te zien hoe groot de kans is dat het toestandsaspect na vijf jaar een bepaalde classificatie heeft. Zo zijn de kansen op klassen 1 tot en met 5 respectievelijk 0%, 9%, 63%, 25% en 3%.

In het SPIRIT-model neemt de kanskromme van een toestandsaspect een centrale plaats in. Een kanskromme is gelijk aan een cumulatieve kansverdeling. In figuur B4.2 is de blauwe lijn (y) de kanskromme in het voorbeeld. De paarse (high) en gele (low) curven geven de betrouwbaarheid van de kanskromme weer.



Figuur B4.2 Kanskromme toestandsklasse

Uit de kanskromme is direct af te lezen met welke kans een toestandsklasse gelijk of lager is dan een bepaalde klasse. Zo is na vijf jaar de kans op ten hoogste klasse 3 gelijk aan 72%.

Een boven- en ondergrenswaarde geven de betrouwbaarheid per toestandsklasse aan. Deze waarden zijn af te lezen op de verticale as. De waarden worden berekend met de statistische F-verdeling. Met een kans van 95% is de voorspelling lager dan de bovengrenswaarde: $Q_{0.95}$. Met een kans van 95% is de voorspelling hoger dan de ondergrenswaarde: $Q_{0.05}$. Daarmee is de kans 90% dat de voorspelling ligt tussen de boven- en ondergrens, waarvan beide waarden tussen 0 en 1 liggen.

Betrouwbaarheid van een kanskromme

Voor de discussie over de gewenste betrouwbaarheid van de SPIRIT-voorspelling is het wenselijk een getalswaarde toe te kennen aan de betrouwbaarheid van een kanskromme. Dat kan met een Root Mean Square Deviation, ofwel een RMSD-waarde. De Engelse benaming is afgeleid van een algemeen toepasbare berekeningswijze van de betrouwbaarheid van grafieken: de wortel uit de gemiddelde kwadratische som van alle afwijkingen ten opzichte van de gemiddelde waarde.

In het SPIRIT-model is de RMSD-waarde eenvoudig te berekenen door alle betrouwbaarheidsintervallen per toestandsklasse – $Q_{0.95}(i) - Q_{0.05}(i)$ – te sommeren en te delen door het aantal relevante toestandsklassen – N_{rel} – voor de betreffende kanskromme. In een formule geldt:

$$RMSD = 1/N_{rel} \times [Q_{0.95}(1) - Q_{0.05}(1)] + [Q_{0.95}(2) - Q_{0.05}(2)] + [Q_{0.95}(3) - Q_{0.05}(3)] + [Q_{0.95}(4) - Q_{0.05}(4)]$$

of

$$RMSD = 1/N_{rel} \times (\sum Q_{0.95}(i) - \sum Q_{0.05}(i))$$

N.B. De kans dat de voorspelde toestandsklasse kleiner of gelijk is aan 5, is natuurlijk 1. Daarom hebben ook de boven- en ondergrenzen bij toestandsklasse 5 – $Q_{0.95}(5)$ en $Q_{0.05}(5)$ – beide waarde 1.

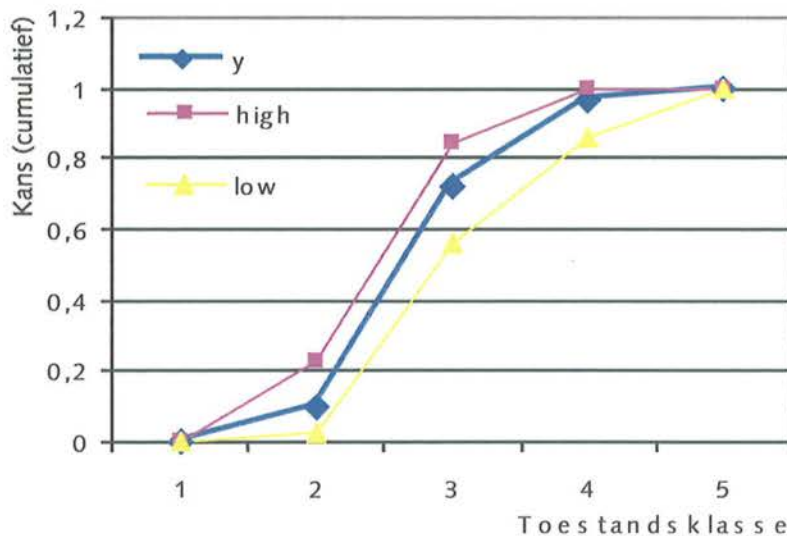
De waarde Nrel hangt af van de classificatie van een toestandsaspect tijdens de eerste inspectie, omdat de classificatie na vijf of tien jaar niet beter zal zijn dan de laatste inspectie. Voor de toestandsklassen 1, 2, 3 en 4 bij de eerste inspectie zijn de waarde Nrel in de RMSD-berekening van de voorspelde kanskromme respectievelijk 4, 3, 2 en 1. Volgens deze berekening geldt dan dat de RMSD voor elke kanskromme correspondeert met de gemiddelde waarde van het betrouwbaarheidsinterval. Zo zijn RMSD-waarden van alle kanskrommen direct met elkaar te vergelijken.

Voor de goede orde: de spreiding in de voorspellingswaarden van expertmeningen in de database bepaalt dus niet de betrouwbaarheid van de kanskromme. De betrouwbaarheid van een kanskromme heeft een puur statistische grondslag en wordt geheel bepaald door het aantal gevonden records in de database. In het voorbeeld waren dat er acht. De RMSD-waarde – de gemiddelde betrouwbaarheid per toestandsklasse – in dit voorbeeld (beginklasse = 2, Nrel = 3) is 0,47. Dit is dus een eenduidige betrouwbaarheidsmaat voor de voorspelling van het corresponderende toestandsaspect over vijf jaar, uitgaande van een classificatie 2 bij de eerste inspectie.

Het vaststellen van een absoluut betrouwbaarheids criterium

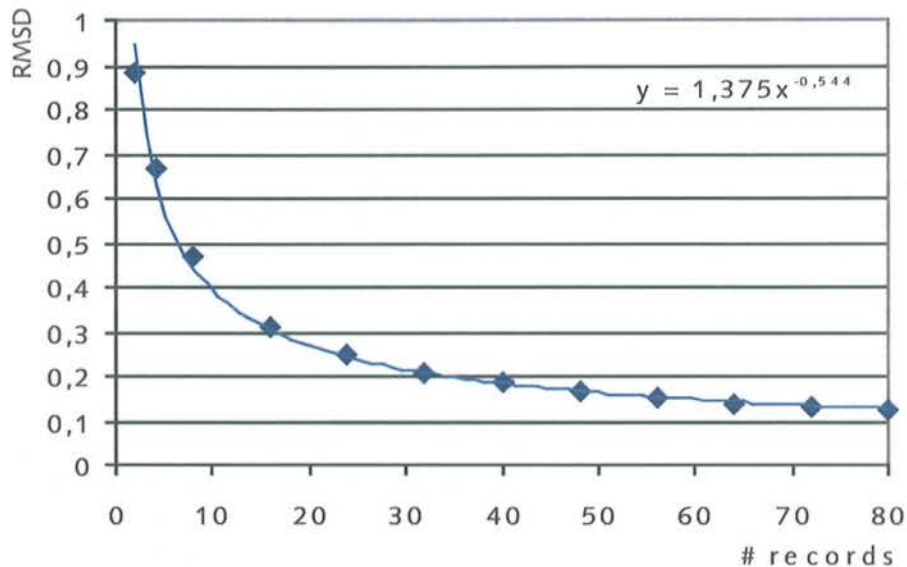
De RMSD is een dimensieloze waarde waarmee de betrouwbaarheid van een kansverdeling is uit te drukken. Zoals gezegd bepaalt het aantal records in de database dat overeenkomt met de inputcombinatie van toestandsaspecten, classificaties en kritische factoren in zijn geheel de betrouwbaarheid van de voorspelling van het SPIRIT-model. Uitgaande van het genoemde voorbeeld is eenvoudig het verband te bepalen tussen de RMSD en het aantal records. Door een veelvoud te nemen van de acht records verandert de kanskromme zelf niet, terwijl de betrouwbaarheid ervan toeneemt.

Ter illustratie levert een vermenigvuldiging met vier in totaal 32 records op en de kanskromme in figuur B4.3.



Figuur B4.3 Vaststellen van een absoluut betrouwbaarheids criterium

De RMSD voor 32 records is in dit voorbeeld gereduceerd tot 0,21 ten opzichte van de RMSD met waarde 0,47 voor acht records. Zelfs is het mogelijk om een interpolatie te maken naar vier en twee records, door de acht records voor respectievelijk de helft of eenvierde mee te wegen. Voor dit voorbeeld ziet u in figuur B4.4 het verband tussen de RMSD (de gemiddelde waarde per toestandsklasse van het betrouwbaarheidsinterval) en het aantal records.



Figuur B4.4 Verband tussen RMSD en het aantal records

(Volgens de formule van de trendlijn in deze figuur geldt voor één record een RMSD van 1,38.)

Een eis voor een betrouwbare voorspelling van een kanskromme is vast te stellen als een minimale RMSD-waarde. Uit de grafiek of gebruikmakend van de formule tussen RMSD (y) en het aantal records (x), is een schatting te maken van het aantal datarecords dat nodig is om aan de betrouwbaarheidseis te voldoen.

Bijlage 5 Risicoanalyse haalbaarheid SPIRIT

Onderstaande tabel geeft een samenvatting van de eind 2005 ingeschatte risico's en aanbevolen ontsnappingsroutes ter beheersing van de genoemde risico's. De ernst van de risico's is gekwantificeerd (H=hoog, M=middel, L=laag) door combinatie van de I (impact) en de K (kans). De meest ernstige risico's zijn met oranje achtergrond aangeduid.

	Risico	Toelichting	I	K	Ontsnapping
1	Afwijzing van het model door de rioolbeheerders	Toetsing tegen de klankbordgroep heeft uitgewezen dat de beheerders het voornemen hebben het model te gaan gebruiken.	H	L	Het model moet het werk van de beheerder vereenvoudigen en verbeteren. Een beheerder moet zich ondersteund voelen.
2	Afwijzing van het model door de ingenieursbureaus	Moet nog blijken uit sessie 7-12-2004.	H	M	Het model mag geen bedreiging zijn en moet als toevoeging in de applicatie van de ingenieursbureaus passen.
3	De projectkosten per fase	Nu zijn er alleen nog schattingen van de projectkosten. Budgettering heeft nog niet plaatsgevonden.	H	L	In de geschatte projectkosten moeten reserves zijn ingebouwd. Een gefaseerde benadering moet er voor zorgen dat het project eventueel na de eerste fases kan worden gestopt met minimaal financieel effect.
4	Subsidies niet beschikbaar	Mogelijkheid van subsidies wordt onderzocht. Het project mag niet afhankelijk zijn van het al dan niet verkrijgen van de subsidie	L	M	De subsidies dienen meestal lang tevoren te zijn aangevraagd. Subsidies mogen ook geen rem op het project zijn. Eventueel de budgettering zonder subsidies opzetten
5	Technisch niet haalbaar	Er wordt gebruik gemaakt van technologie die geruime tijd beschikbaar is en zich heeft bewezen.	H	L	Gezien de huidige technische mogelijkheden zijn er geen beperkingen die het project in de weg staan. Dit betreft zowel hardware, internetdatabase en ontwikkeltalen.
6	Dekkingsgraad van het model	Omdat nu slechts 4% van de data van de oorspronkelijk berekende 300.000 records benodigd is, bereikt het model veel eerder volledige dekking. De informatie die moet worden toegevoegd bestaat uit expertmeningen.	M	L	Dekkingsgraad lijkt geen probleem.
7	Modelverbetering niet realiseerbaar	Er zijn mechanismen realiseerbaar waarmee de prestatie van het model kan worden geëvalueerd en worden vergeleken met een gemeten toestand van een streng.	H	L	De prestatie van het model kan aan de praktijk worden aangepast. Indien het model onvoldoende presteert is dit op termijn een groot risico. Gebruikers haken dan af.
8	Veranderende werkwijze van gebruikers, waardoor voorspellen minder nut heeft	Tijdens overleg met beheerders bleek dat door verlaging van inspectiekosten soms al op voorhand inspecties worden opgedragen. Dit soort veranderingen kunnen een groot effect hebben op het gebruik van het model.	H	L	Indien het model goed presteert kunnen de inspectiekosten nog beter worden gestuurd.
9	Data acquisitie	Inspectiedata moeten vanuit visuele data worden omgezet in discrete data, die vervolgens in een database wordt opgeslagen. De database is onderdeel van een beheerpakket waar de inspectiedata moet worden aangevuld met kritische factoren en locatie-informatie. De juistheid van de ingevoerde informatie heeft invloed op de mate waarin het model correcte voorspellingen zal doen.	H	M	Er moet maximaal aandacht worden besteed aan het intelligent controleren van ingevoerde informatie. Zo zijn alleen keuzes uit vooraf gedefinieerde lijsten mogelijk en moeten onlogische combinaties worden afgekeurd of tot een melding leiden. Voor het opzetten van intelligente filtering is expertkennis noodzakelijk.
10	De beschikbaarheid van een goede locatie registratie	Op diverse plaatsen in het proces moet worden geborgd dat een aangegeven locatie dezelfde is als reeds in de inspectiegegevens geregistreerd. Vergelijk op basis van kritische factoren het effect van fouten kan verminderen	H	M	Het model zou geschikt kunnen worden gemaakt voor fuzzy locatie-informatie. Ook vergelijk op basis van vergelijkbare kritische factoren moet worden onderzocht.

	Risico	Toelichting	I	K	Ontsnapping
11	Te hoge operationele kosten	Deze kosten bestaan uit onderhoud op de infrastructuur en het model, het oplossen van problemen. Bij de gekozen technische oplossing lijkt het hebben van een helpdesk niet noodzakelijk.	M	M	Goede technische infrastructuur en het aanbieden van toestandvoorspelling via een standaard Web interface of embedded software in een beheerpakket. De eerstelijns support voor de webinterface valt nauwelijks te verwachten en bij de beheer pakketten komt deze bij de ingenieursbureaus te liggen. Grote groep gebruikers die de kosten delen.
12	Het aantal gebruikers is te laag	Indien de tevredenheid van de gebruikers afneemt of door een andere oorzaak het gebruik van het model daalt	M	L	Vanuit Rioned moet het model gepromote worden en gebruikers op basis van het model nieuwe middelen bieden de taken beter te kunnen uitvoeren.
13	Regelmatig uitvallen van het systeem	Indien de stabiliteit van het centrale systeem te wensen overlaat en regelmatig niet beschikbaar is kan dat voor gebruikers reden zijn het systeem niet meer te gebruiken.	H	L	Door gebruik te maken van een client die ook autonoom kan functioneren is de afhankelijkheid van de beschikbaarheid van het centrale systeem ontkoppeld.
14	Dataverlies door crashes	Dataverlies waarvan sprake is heeft vooral betrekking op Sufrib bestanden en kritische factoren.	M	L	De Sufrib bestanden en kritische factoren zijn ook bij de gebruiker aanwezig en kunnen opnieuw worden verstuurd. De modelgegevens zijn dubbel beschikbaar (Life en Staging) en er zijn back-ups.
15	Dataverlies door hacking	Hackers kunnen veel schade aanrichten en beveiliging is noodzakelijk	L	L	De aantrekkingskracht van de branche voor hackers kan als laag worden geschat. Bovendien is het soort schade wat kan worden aangericht beperkt tot de data die na de laatste back-up is toegevoegd. Het publiceren van inspectiegegevens van een bepaalde gemeente kan een probleem zijn waartegen nauwelijks bewapening mogelijk is. De provider moet zorgen voor adequate beveiliging.
16	Niet beschikbaar hebben van een internetverbinding	Het Internet is niet altijd beschikbaar, evenals lokale netwerken in een bedrijf.	L	L	Door toepassing van een FAT client kan toch lokaal worden gewerkt.

Bijlage 6 Uitvoering en begeleiding

De eerste drie fasen van het project zijn uitgevoerd Kema. Het haalbaarheidsonderzoek en fase 4 zijn uitgevoerd door Covalent ITS. Op onderdelen is ondersteuning geleverd door (op alfabetische volgorde) Delta Pi, HKV-lijn in water, Leitec Infrascan en Witteveen+Bos.

In het project is veel ervaringskennis en praktisch inzicht ingebracht door een groot aantal deskundigen werkzaam bij gemeenten, adviesbureaus en inspectiebedrijven.

Stichting RIONED is erkentelijk voor de inbreng van de volgende personen:

Aad Oomens	Grontmij
Arend Boogert	Arcadis
Bauke Stienstra	Utrechtse Heuvelrug
Dick van Woerden	Rotterdam
Dick Vat / Eugene Heeremans	Oranjewoud
Eduard Schilling	DHV / Nijmegen
Francois Clemens	TU-Delft
Frank Gijssels	Tilburg
Gilbert de Joncheere	Wallingford
Hans Korving	Witteveen+Bos
Hans van den Akker	Van den Akker
Hans van Keeken	Kragten
Henk Borgmeier	Zwolle
Jacques Nas	Venlo
Jelle Merkus	Leeuwarden
Jeroen Heijnen	Roosendaal
Jeroen Hulzebos	Nijmegen
John Arts	Boxmeer
Joop Goedbloed	Venlo
Judith Sloot	Utrecht
Kees Bos	Rotterdam
Marcel Wijsman	Haskoning
Marinus Vonhof	Grontmij
Martien van der Valk	Van der Valk en de Groot
Patrick de Bourgraaf	Oranjewoud
Paul Daudeij	Sittard/Geleen
Rob van der Velde	Regge en Dinkel
Sjaak Verkerk	Oranjewoud
Tim Hendriks	DHV
Wim van Luyk	Hoorn

Summary

SPIRIT: Interactive Prediction of Sewer Conditions Based on Expert-opinions, Classifications conform EN13508-2 and Geo-information

Management of operation and maintenance (O&M) includes planning of inspections, (long term) planning of rehabilitation and (short term) decisions on combining the replacement of sewers with other works on the infrastructure. These planning schemes are often based on a poor insight in the urgency of the specific actions needed. Even if the actual state of the sewers has been assessed with visual inspections, the future development of the conditional aspects can hardly be taken into account for an accurate planning of O&M activities. A reliable prediction, with an indication of the accuracy, supports a better planning of O&M as well as a more sound argumentation for financial reservations and depreciation of assets. With a model called SPIRIT the Dutch RIONED Foundation has filled this information gap. SPIRIT is a prediction tool that combines the expertise of senior sewer experts with inspection results and geo-information.

SPIRIT is a Dutch acronym for software plug-in in sewer management software packages for interactive prediction of sewer conditions. SPIRIT is an interactive model to assist the sewer system managers in planning operation and maintenance.

SPIRIT could be implemented in existing sewer management software packages. In this manner the needed data is at hand and the users don't need to get acquainted with a new interface. Once SPIRIT is implemented the users won't notice any difference in their day to day working routine but a better prediction of sewer conditions.

SPIRIT predicts the degradation of sewers with the statistical relations based on a large database containing condition assessments of sewers combined with relevant geo-information. Internet technology provides the data communication between the central model and the local users. The sewer system managers can upload the characteristics of a sewer section to SPIRIT. Geo-information will be added from existing geo-information gateways. SPIRIT calculates a prediction of the quality of that sewer section and downloads this prediction towards the locally used sewer system management software.

Every time SPIRIT is used the uploaded data is captured to extend the underlying database. An adaptation routine based on Bayesian statistics improves the accuracy of the calculated predictions. This interactivity makes the model self learning and completes the puzzle of sewer degradation processes by combining the scattered pieces of information.

SPIRIT could be implemented as an internet application with an intelligent software plug-in for sewer system management software packages currently used by the municipalities. The plug-in organizes the data communication between the local databases with the inspection results, the central database of SPIRIT and the distributed databases with geo-information. Implementing SPIRIT in the existing software packages the sewer system manager can use a familiar interface. In this manner the manager doesn't have to learn how to use SPIRIT. Behind the screens SPIRIT will just combine the needed data and downloads the calculated predictions to the locally used sewer system management software package. At the same time the uploaded data will be captured into the central database. This new data will adapt the model and in the long term a national database on sewer quality in The Netherlands will be developed.

SPIRIT takes several circumstances of the sewer in account such as type of sewer, depth of sewer, year of construction, material, diameter, type of sub-soil, groundwater tables and traffic load. Some of these critical factors are not recorded in the sewer system management software and thus can be hard to provide. SPIRIT will fill eventual information gaps using data from existing geo-information gateways to supply the model with the needed data. On the other hand it is possible that a local sewer system manager has better, more detailed geo-information than yet available in the national databases. In this case it should be possible to extend and/or update these national databases in return for using them.

One of the goals of the SPIRIT project was to combine local information on the quality of sewers with geo-information available from existing gateways. A win-win situation can be created. Sewer system managers can improve their asset management and with the same effort improve the databases on geo-information. Another goal of the SPIRIT project in the long term is a national database on the quality of sewer systems in The Netherlands. This database can offer great opportunities for research, for instance on the topic of which influence is most critical for sewer degradation.

Inconsistencies could arise between central stored global geo-information and local available detailed data. The question is how to decide what data-source is most reliable and how this influences the updating process. A decision strategy has to be made on how to deal with possible contradictions. SPIRIT uses Bayesian statistics as well for defining the relations between historical field data and expert expectations of degradation as well for updating the self learning algorithm.

The statistical relations used in SPIRIT are based on three types of information:

- Expert opinions.
- Single records of a sewer condition, a certain classification and a set of critical factors.
- Double records of sewer sections that have been inspected twice with a specified number of years between those two inspections.

Each group of information is used for a special group of conditional aspects from EN13508-2. Type '1' aspects show a gradual degradation through the years passing by (e.g. corrosion of concrete pipes (code BAF)). Type '2' aspects appear suddenly and from that moment show a gradual degradation (e.g. cracks (code BAB)). Type '3' aspects don't have a development in the classification with increasing time (e.g. objects (code BBE)). The type '3' aspects are not useful to predict as they don't have any development at all. The type '2' aspects can be predicted with statistical relations based on historical data as formed by double records. These aspects can also be predicted with expert judgment. Type '1' aspects can be predicted with statistical relations based on all three kinds of information.

Information types 1 and 3 are the most difficult to obtain. For that reason some efforts have been made to make an efficient combination of information sources and types of aspects. Furthermore it is obvious that not all possible combinations of condition aspects and critical factors are relevant. Expert consultation resulted in a reduction from 306.720 combinations to 162 combinations that have been presented to a group of 16 experts who gave their opinion on the probability of increase of the classification respectively 5 or 10 years after the date of inspection.

Results

An operational model to predict the quality of sewers as classified in the European coding system is available. However the current model is only based on expert opinions. The available data from inspections and circumstantial influencing factors appeared not usable for SPIRIT. The databases contain too many inconsistencies, errors and missing data to be useful for automatic processing as well as for analysis on aging trends.

Because of the low quality of the sewer management databases the plug-in for implementing SPIRIT has not been developed. Instead an internet application for collection of expert opinions is available.

Outlook

For further research recommendations have been formulated. Planning of operation and management of sewer systems needs the support of a sound basement. This basement should consist of an uniformed database structure to assure adequate data on the condition of the assets and functioning of the sewer system as a whole. Further a comprehensive framework of criteria is needed to decide which information is needed for sound decision making on which measurements when are necessary. To investigate the requirements for the decision framework and database structure an analysis of realized sewer replacement projects should be conducted.