



Diepteligging van leidingen

KWR 2011.022
Februari 2011



Watercycle Research Institute

Diepteligging van leidingen

KWR 2011.022
Februari 2011

© 2010 KWR

Alle rechten voorbehouden.

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

Colofon

Titel

Diepteligging van leidingen

Projectnummer

A308483

Projectmanager

Nellie Slaats

Opdrachtgever

DPW bedrijven: Dunea, PWN, Waternet

Kwaliteitsborger(s)

Mirjam Blokker

Auteur(s)

Ilse Pieterse-Quirijns, Ralf de Groot (Waternet), Yvonne de Rijck (PWN), Kees Ruijg (Dunea)

Verzonden aan

Dit rapport is niet openbaar en slechts verstrekt aan de opdrachtgevers van het Contractonderzoekproject/adviesproject. Eventuele verspreiding daarbuiten vindt alleen plaats door de opdrachtgever zelf.

Samenvatting

Bij veel waterbedrijven is de exacte diepteligging van leidingen in het distributienet onbekend. Transportleidingen liggen globaal 1,20 m, distributieleidingen 1,00 m en aansluitleidingen 0,80 m beneden maaiveld. Bij de DPW-bedrijven speelt de vraag wat een optimale diepteligging van de distributieleidingen is gezien de verwachte opwarming in de toekomst en wat de maximaal toelaatbare diepteligging is.

Dit project heeft twee doelen:

1. het inventariseren van de factoren die van invloed zijn op de keuze voor de diepteligging van leidingen in het drinkwaterdistributienet en onderzoeken of een optimale diepteligging voorgesteld kan worden.
2. het opstellen van een aanbeveling voor het vastleggen en de registratie van de derde dimensie van een leiding in GIS, omdat bij veel waterbedrijven de diepteligging, oftewel de z-coördinaat van de leidingen, niet geregistreerd is in hun GIS-systeem. Deze diepteligging moet zowel t.o.v. maaiveld als t.o.v. NAP bekend zijn.

1. Inventarisatie van invloedsfactoren en optimale diepteligging

Voor dit doeleinde is in dit project een matrix ontwikkeld, waarmee vijf factoren die van invloed zijn op de keuze van de diepteligging met elkaar vergeleken en tegen elkaar afgewogen kunnen worden. Elke invloedsfactor is door middel van scenariostudies beschreven als functie van de diepte. Hiertoe is voor elke invloedsfactor een criterium gedefinieerd waarmee de factor kwantitatief uitgedrukt kan worden. De invloedsfactoren, de bijbehorende criteria en de invloed van de diepteligging daarop, zijn:

- vorstindringing:
Criterium is het aantal keer dat vorst de betreffende diepte bereikt in 100 jaar.
Uit de scenario's blijkt dat hoe dieper een leiding ligt des te kleiner de kans op vorstindringing. Bij een diepteligging groter dan 1 meter bereikt vorst de leidingen niet.
- opwarming:
Criterium is het aantal dagen dat de temperatuur van de bodem op de betreffende diepte boven de 25°C komt. Omdat het drinkwater in het leidingnet de bodemtemperatuur aanneemt, is dit criterium een goede indicatie voor de opwarming van het drinkwater.
Scenario's zijn uitgevoerd naar de overschrijding van de 25°C-norm in 2006 op verschillende dieptes bij drie grondsoorten, bij verharding of aanwezigheid van vegetatie en in plattelands- of stedelijke omgeving. Tevens zijn overschrijdingen van de 25°C-norm berekend met behulp van klimaatscenario's in 2050 en 2100.
De scenario's laten zien dat leidingen in zandgrond en onder een verharde afdekking de grootste kans op opwarming hebben. In 2006 is op 16 dagen de 25°C-norm overschreden bij een diepteligging van 1 meter. Een ondiepere ligging leidt tot een toename van het aantal overschrijdingen, een diepere ligging, het aanbrengen van vegetatie of een andere bodemsoort leiden tot een afname van het aantal overschrijdingen. Bij een diepteligging van 1,5 meter is er onder verharding geen overschrijding van de 25°C-norm meer. In stedelijk gebied is door het zogenaamde "urban heat island effect" (UHI) de gemiddelde luchttemperatuur hoger dan daarbuiten, waardoor het aantal overschrijdingen in de stad zullen toenemen. De toekomstscenario's tonen aan dat de verwachte klimaatsveranderingen zullen leiden tot een aanzienlijke toename van het aantal overschrijdingen van de 25°C-norm bij een diepteligging van 1 meter. Bij het extreemste klimaatscenario W+ zal op 1 meter diepte de 25°C-norm op 109 dagen overschreden worden bij ligging van de leiding in zandbodem en onder verharding. Het aantal overschrijdingen kan gereduceerd worden door een diepere ligging en het aanbrengen van vegetatie langs het tracé. Een andere bodemsoort leidt ook tot een afname van het aantal overschrijdingen.
- externe belasting:
Criterium is de spanning in de omtrekriching op de betreffende diepte.
Scenario's zijn uitgevoerd voor drie grondsoorten, voor aan- en afwezigheid van verkeer en twee type leidingmaterialen.

De omtrekspanning neemt toe bij een diepere ligging, de invloed van verkeer neemt geleidelijk af. De door de leiding ondervonden omtrekspanning is nauwelijks afhankelijk van de grondsoort. De optredende omtrekspanning in een leiding verschilt per leidingmateriaal: de omtrekspanning als gevolg van grondbelasting en verkeer is groter voor PVC dan voor nodulair gietijzer (NG). Voor NG komt de omtrekspanning nooit boven de maximaal toelaatbare spanning. Voor PVC blijkt echter dat verkeersbelasting voor elke willekeurige diepte (tot 2 meter) en grondsoort leidt tot een overschrijding van de toelaatbare spanning. Op plaatsen waar veel verkeer verwacht wordt is PVC dus geen geschikt leidingmateriaal.

- beschadiging door graafwerkzaamheden

Criterium is het percentage van geregistreerde storingen veroorzaakt door derden op de betreffende diepte.

Met behulp van de raakfrequentie van gasleidingen als functie van de diepteligging, is afgeleid dat de kans op schade door graafwerkzaamheden afneemt bij diepere ligging van de leidingen.

- aanleg- en beheerskosten

Criterium zijn de graafkosten op de betreffende diepte.

Scenario's zijn uitgevoerd voor ligging in platteland of stedelijke omgeving en de aan- en afwezigheid van grondwater.

De graafkosten nemen exponentieel toe met de diepteligging. Daarnaast zijn de graafkosten in stedelijk gebied ongeveer twee keer zo hoog als in landelijk gebied. De invloed van grondwater op de graafkosten is het grootst als door een wijziging van de diepteligging de leidingen in grondwater komen te liggen. De kosten kunnen dan met een factor 4 toenemen.

In de matrix is de relatieve verandering van ieder criterium opgenomen ten opzichte van de normdiepteligging van 1 meter. Nu kan de consequentie van de verandering van de diepteligging voor elke invloedsfactor in de matrix afgelezen worden en een afweging worden gemaakt.

De matrix laat zien dat een kleinere diepteligging niet waarschijnlijk is, omdat dit leidt tot een toename van vorstindringing, opwarming, belasting door verkeer en graafschade. Alleen de aanleg- en beheerskosten zijn lager. In stedelijk gebied zullen deze effecten nog groter zijn.

De matrix laat tevens zien dat een diepteligging groter dan 1 meter vooral een gunstige invloed heeft op ongewenste opwarming van het drinkwater. De verwachting is dat ongewenste opwarming vooral groot is in stedelijk gebied, door het toenemend effect van UHI, en in de toekomst door de te verwachten klimaatsveranderingen. Met een diepere ligging van de leidingen kan ongewenste opwarming worden voorkomen, zeker als dit gecombineerd wordt met het aanbrengen van vegetatie langs het tracé. Dit gaat echter wel gepaard met een sterke toename van de aanleg- en beheerskosten. Een afname van de opwarming met een factor van 84-100% door een diepere ligging, leidt tot een toename van de aanleg- en beheerskosten van 180%, en als de leiding daarbij in grondwater komt te liggen zelfs tot een toename van 280%. Als extra maatregelen nodig zijn, zoals bijvoorbeeld het aanbrengen van bekisting, dan kunnen de aanleg- en beheerskosten nog extra toenemen. Het effect op de overige invloedsfactoren is gunstig: er vindt geen vorstindringing plaats en de graafschade neemt af met 70%. De externe belasting neemt ook toe. Deze komt echter niet boven de maximaal toelaatbare spanning en zal dus niet voor problemen zorgen.

De waarneming dat een diepere ligging van de leidingen gunstig kan zijn voor het terugdringen van de opwarming van het drinkwater, roept de vraag op wat de maximale diepteligging mag zijn. Met de informatie in de matrix kan hier per situatie een uitspraak over worden gedaan door een afweging te maken tussen de reparatiekosten (met behulp van de aanleg- en beheerskosten) en de kosten voor het ophogen van leidingen. Op dezelfde manier kan bepaald worden welke mate van verzakking toelaatbaar is.

De matrix is een zeer bruikbaar hulpmiddel voor de waterbedrijven om een afweging te maken voor een gewenste diepteligging. Tevens kan de vraag wat de maximaal toelaatbare diepte is met de matrix beantwoord worden. Uit de matrix blijkt dat bij de keuze van een optimale diepteligging vooral opwarming en aanleg- en beheerskosten een belangrijke rol spelen. De optimale diepteligging is een keuze die elk bedrijf uiteindelijk zelf met behulp van de matrix kan maken. Bij het opstellen van bedrijfsrichtlijnen wordt aanbevolen om rekening te houden met de matrix.

2. vastleggen en registratie derde dimensie in GIS

Ondanks het belang van de diepteligging is deze voor de meeste waterleidingbedrijven niet bekend en niet opgenomen in hun GIS-systeem. Voor de meting en registratie van de z-coördinaat, zowel incidenteel als structureel moeten veel keuzes gemaakt worden, zoals bijvoorbeeld voor de techniek voor dieptemeting, voor de frequentie van de meting, voor de manier van registreren in GIS (als punt/lijn, als gemiddelde, maximale/minimale waarde of begin- en eindwaarde van leiding). Een stapsgewijs overzicht van deze beslissingen is opgezet in dit rapport. Aanbevolen wordt om de te maken keuzes goed af te stemmen met andere waterleidingbedrijven en andere netbeheerders, om een goede uitwisseling van data mogelijk te maken.

Inhoud

Samenvatting	1
Inhoud	5
1 Inleiding	7
1.1 Aanleiding	7
1.2 Doel en aanpak	8
1.3 Leeswijzer	8
2 Huidige richtlijnen diepteligging	9
2.1 Nederlandse richtlijn	9
2.2 Normen bij de DPW bedrijven	10
2.3 Internationale normen	11
2.4 Normdiepteligging voor afwegingsmatrix	12
3 Invloedsfactoren op diepteligging	13
3.1 Inleiding	13
3.2 Inventarisatie van invloedsfactoren	13
3.3 Definitie van criteria bij invloedsfactor	14
4 Invloedsfactor 1: Vorstindringing	15
4.1 Inleiding	15
4.2 Achtergrond bij vorstindringing	15
4.3 Scenario's voor vorstindringing	18
4.4 Uitkomsten/Resultaten scenario's vorstindringing	18
5 Invloedsfactor 2: Opwarming	21
5.1 Inleiding	21
5.2 Achtergrond bij opwarming	21
5.2.1 Temperatuurmodel voor de voorspelling van drinkwatertemperatuur op verschillende dieptes	21
5.2.2 Urban Heat Island Effect (UHI)	23
5.2.3 Toekomstscenario's	26
5.3 Scenario's bij opwarming	27
5.4 Uitkomsten/Resultaten scenario's opwarming	30
5.4.1 Scenariostudies voor 2006	30
5.4.2 Scenariostudies voor de toekomst	31

6	Invloedsfactor 3: Externe belasting	35
6.1	Inleiding	35
6.2	Achtergrond bij externe belasting	35
6.3	Scenario's bij externe belasting	35
6.4	Uitkomsten/Resultaten scenario's externe belasting	36
7	Invloedsfactor 4: Beschadiging door graafwerkzaamheden	41
7.1	Inleiding	41
7.2	Achtergrond bij beschadiging door graafwerkzaamheden	41
7.3	Scenario's bij beschadiging door graafwerkzaamheden	44
7.4	Uitkomsten/Resultaten bij beschadiging door graafwerkzaamheden	44
7.4.1	Beschadiging door graafwerkzaamheden bij verschillende dieptes met UStore gegevens	44
7.4.2	Beschadiging door graafwerkzaamheden bij verschillende dieptes gebaseerd op het verband gevonden voor gasleidingen	45
8	Invloedsfactor 5: Aanleg- en beheerkosten	47
8.1	Inleiding	47
8.2	Achtergrond bij aanleg- en beheerkosten	47
8.3	Scenario's bij aanleg- en beheerkosten	48
8.4	Uitkomsten/Resultaten scenario's aanleg- en beheerkosten	48
9	Matrix voor vaststellen optimale diepteligging	51
9.1	Inleiding	51
9.2	Toepassing matrix bij keuze optimale diepteligging	53
9.3	Toepassing matrix bij keuze maximale diepteligging	54
10	Registratie van de derde dimensie	55
10.1	Inleiding	55
10.2	Registratie in GIS	55
10.3	Incidentele meting diepteligging en registratie	55
10.4	Structurele meting diepteligging en registratie	57
11	Conclusie	59
12	Referenties	61
I	Wintergetal voor de Bilt	63

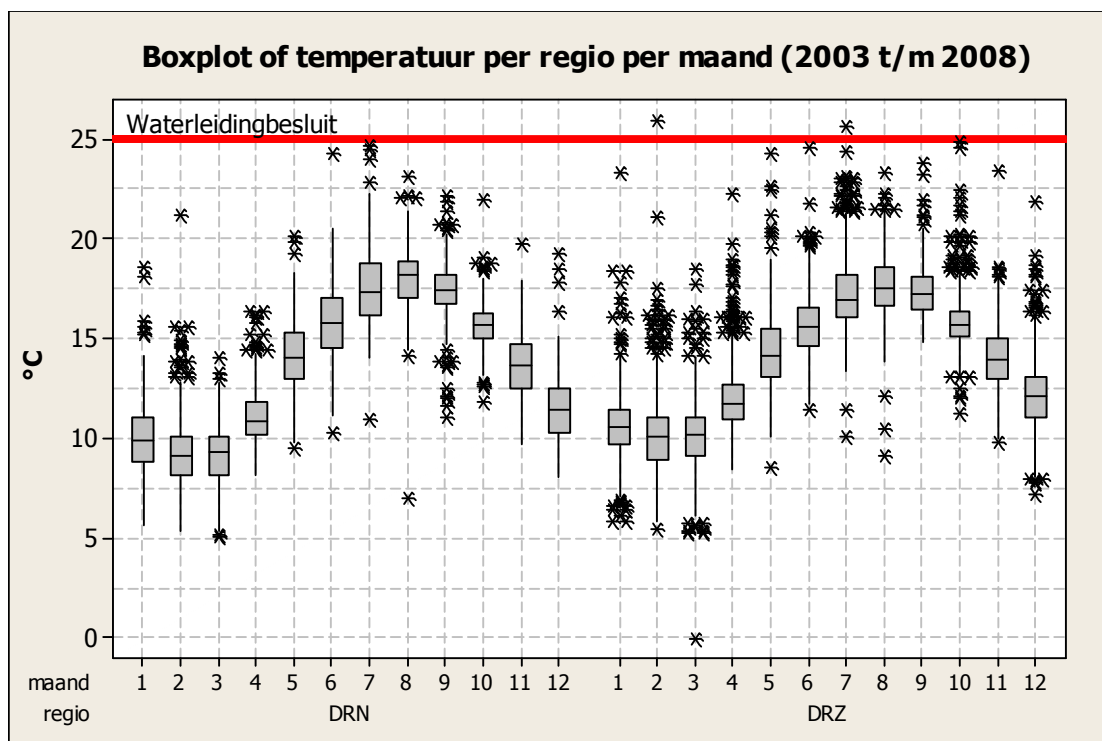
1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Bij veel waterbedrijven is de exacte diepteligging van leidingen in het distributienet onbekend. Over het algemeen wordt aangenomen dat distributieleidingen op een diepte van ongeveer 1 meter liggen. De belangrijkste reden dat leidingen op een diepte van ongeveer 1 meter liggen is om te voorkomen dat leidingwater bevriest. Door leidingen op diepte te leggen wordt tevens bescherming geboden tegen belastingen en graafincidenten. Nu de discussie over opwarming ten gevolge van klimaatveranderingen steeds meer concrete vormen aanneemt, komt de vraag naar boven of de huidige diepteligging voldoende is om overmatige opwarming van leidingwater te voorkomen.

In het distributienet worden sporadisch temperaturen gemeten boven de toegestane 25°C van het Waterleidingbesluit. In Figuur 1-1 is een voorbeeld hiervan te zien in het voorzieningsgebied van Dunea. Door verdere opwarming door klimaatsveranderingen zal dit vaker optreden. In dit licht is het zinvol om voor de komende 100 jaar opnieuw de vraag te stellen wat de optimale diepteligging is voor leidingen. Hierbij spelen een groot aantal factoren een rol, zoals koude en warmteindringing in de bodem, veiligheid, kosten, de ligging van andere kabels en leidingen en bestaande normeringen.

Voor de drie DPW-bedrijven is de te verwachten opwarming van het drinkwater de belangrijkste motivatie om de diepteligging van leidingen onder de loop te nemen. Voor PWN speelt tevens de vraag wat de maximaal toelaatbare diepteligging is een rol. In een aantal gebieden komen door zetting de leidingen steeds dieper te liggen. In het huidige interim beleid worden leidingen die dieper liggen dan 1,50 m gesaneerd. De wens bestaat om een gefundeerd antwoord te hebben op de vraag welke gronddekking nog acceptabel geacht wordt.



Figuur 1-1 Gemeten temperaturen in het distributienet van Dunea (DRN= Regio Noord; DRZ = Regio Zuid).

1.2 Doel en aanpak

Het doel van dit DPW project is om te inventariseren welke factoren van invloed zijn op de keuze voor de diepteligging van leidingen in het drinkwaterdistributienet en om te onderzoeken of een optimale diepteligging voorgesteld kan worden.

De aanpak om dit doel te bereiken bestaat uit de volgende stappen:

stap 1: inventarisatie van factoren die van invloed zijn op de gewenste diepteligging van leidingen in het distributienet. Van elke invloedsfactor wordt bekeken of deze afhankelijk is van de grondsoort, grondwaterstand, materiaalsoort van de leiding en de ligging in platteland of stedelijk gebied.

stap 2: ontwikkelen van scenariostudies om de invloedsfactoren op verschillende dieptes en situaties (grondsoort, grondwater, materiaal, platteland/stedelijk) te beschrijven.

stap 3: voor elke invloedsfactor wordt een criterium gedefinieerd om de factor kwantitatief te kunnen uitdrukken voor elke diepteligging en situatie. Op elke diepte kan dan aan de invloedsfactor een getalswaarde gekoppeld worden.

stap 4: om tot een optimale diepteligging te komen moeten de veranderingen in invloedsfactoren bij een verandering van de diepteligging met elkaar vergeleken kunnen worden en tegen elkaar afgewogen kunnen worden. De uiteindelijke afweging is moeilijk omdat de waarden van de criteria niet in dezelfde parameter kunnen worden uitgedrukt: graafwerkzaamheden zijn gekoppeld aan kosten, het optreden van een temperatuur van 25°C is gekoppeld aan wetgeving en imagoverlies. Echter door te kijken naar de procentuele verandering van de invloedsfactor ten opzichte van een normdiepteligging is een afweging tussen de verschillende factoren wel mogelijk. De uitkomst van het criterium wordt daarom op elke diepte en voor elke situatie uitgedrukt als procentuele toe- of afname ten opzichte van het criterium op de normdiepteligging.

stap 5: een matrix wordt opgesteld waarin voor elke diepte de procentuele verandering van elke invloedsfactor is opgenomen ten opzichte van de normdiepteligging. De consequentie van een wijziging in de diepteligging voor elke invloedsfactor kan daarin afgelezen worden en zo kan met deze matrix een afweging gemaakt worden. Onderzocht wordt of op basis van de matrix een optimale diepteligging voorgesteld kan worden.

Tevens is bij veel waterbedrijven de diepteligging, oftewel de z-coördinaat van de leidingen, niet geregistreerd in hun GIS-systeem. Er wordt een aanbeveling gedaan voor het vastleggen en de registratie van de derde dimensie van een leiding in GIS. Deze diepteligging moet zowel t.o.v. maaiveld als t.o.v. NAP bekend zijn.

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 worden eerst de huidige richtlijnen voor de diepteligging van leidingen binnen het drinkwaterdistributienet beschreven. Vervolgens worden de invloedsfactoren voor de diepteligging van distributieleidingen vastgesteld in hoofdstuk 3. In dit hoofdstuk wordt tevens beschreven of de invloedsfactoren afhankelijk zijn grondsoort, grondwaterstand, materiaalsoort van de leiding en de ligging in platteland of stedelijk gebied. Voor elke invloedsfactor wordt een criterium gedefinieerd, waardoor de invloedsfactor kwantitatief kan worden uitgedrukt op een bepaalde diepte. In de hoofdstukken 4 t/m 8 wordt iedere invloedsfactor uitgewerkt in scenariostudies, namelijk vorstindringing in hoofdstuk 4, opwarming in hoofdstuk 5, externe belasting in hoofdstuk 6, schade door graafwerkzaamheden in hoofdstuk 7 en aanleg- en beheerkosten in hoofdstuk 8. De totale matrix wordt gepresenteerd in hoofdstuk 9, met een uitwerkt voorbeeld tav. opwarming en maximale diepteligging. In hoofdstuk 10 wordt ingegaan op de registratie van de z-coördinaat in GIS. Afgesloten wordt met een conclusie in hoofdstuk 11. De lezer die niet geïnteresseerd is in alle details omtrent de scenariostudies kan hoofdstuk 4 t/m 8 overslaan.

2 Huidige richtlijnen diepteligging

2.1 Nederlandse richtlijn

De benodigde diepteligging of gronddekking heeft betrekking op de vorstvrije ligging van leidingen. Dit is mede afhankelijk van de grondsoort en de grondwaterstand ter plaatse. In de Vewin richtlijn drinkwaterleidingen buiten gebouwen (Tebodin, 2003) is dit als volgt verwoord:

“De sleuf moet zo diep worden uitgegraven dat de leiding vorstvrij ligt. Wanneer dit niet mogelijk is moeten beschermende maatregelen tegen vorst worden getroffen. Opmerking: in Nederland is een gronddekking van 0,7 m à 0,8 m in verband met vorstgevaar voldoende, tenzij de leiding in droge zandgrond ligt dan wordt een grotere diepte aanbevolen.”

In opdracht van het Platform Bedrijfsvoering (waarin met uitzondering van Oasen alle Nederlandse drinkwaterbedrijven zijn vertegenwoordigd) is het document in 2010 met toestemming van Vewin geactualiseerd en uitgegeven door KWR Watercycle Research Institute (Meerkerk en Mesman, 2010). De richtlijn geeft voor de Nederlandse omstandigheden nadere invulling aan de eisen van de Europese norm NEN-EN 805:2000 voor leidingnetten. Een willekeurige door het nationale (NEN), Europese (CEN) of mondiale (ISO) normalisatie-instituut uitgegeven norm is in Nederland vrijwillig en heeft niet de status van (wettelijk) bindend voorschrift.

In de geactualiseerde richtlijn is aangegeven dat de sleuf zo diep uitgegraven moet worden dat de leiding vorstvrij ligt en voldoende is beschermd tegen te grote opwarming. In de NEN 7171-1:2009 zijn de eisen voor dekking beschreven als: ‘Eisen voor de dekking worden gesteld in andere normen of voorschriften van individuele netbeheerders. De gewenste dekking kan mede afhankelijk zijn van de wanddikte en de ligging van het desbetreffende net. Een en ander kan tussen de netbeheerder en eigenaar of beheerder van de ondergrond worden afgestemd.’ Tevens is aangegeven dat waterleidingen vorstvrij moeten worden aangelegd en moeten liggen. Afhankelijk van de geografische omstandigheden is hiervoor een dekking noodzakelijk van ten minste 0,80 tot 1,0 m. In deze NEN-norm is een tabel opgenomen met de meest gangbare dekkingen. In Tabel 2-1 is de dekking weergegeven voor waterleidingen in enkele veel voorkomende situaties.

Tabel 2-1 Ingeschatte benodigde capaciteit en meest gangbare dekking van het thema water in enkele veelvoorkomende situaties (Meerkerk en Mesman, 2010).

Soort straat	Diameter* (in mm)	Dekking** (in m)
Woonstraat	110	1,00
Hoofdstraat	160	1,00
Weg in industriegebied	160	1,00
Weg in buitenstedelijk gebied	500	1,00
	63	1,00

*) Voor de situatie woonstraat en hoofdstraat is uitgegaan van een min of meer gemiddelde middellijn; in de praktijk varieert deze tussen de 63 mm en de 500 mm (water).
**) Drinkwaterleidingen die niet de bestaande infrastructuur volgen (meestal betreft het primaire leidingen en gaat het vooral om landelijk niet-openbaar gebied), liggen vaak met een grotere dekking (dat wil zeggen meer dan 1,5 m) ter voorkoming van schade als gevolg van grondwerkzaamheden.

2.2 Normen bij de DPW bedrijven

Dunea

In het Handboek Distributienetten van Dunea (Methoden & Materialen Distributieplatform) is onder het hoofdstuk "Tracékeuze en sleufdoorsnede" aangegeven hoe groot de voorgeschreven gronddekking is per gemeente. In de meeste gemeenten bedraagt de voorgeschreven gronddekking 0,90 m en in Den Haag 1,00 m. In het verleden werd in de kuststrook zelfs 1,10 m gehanteerd in verband met de ligging in droog duinzand waardoor de indringingsdiepte van de vorst groter is.

De veel toegepaste gronddekking van 0,90 m is enerzijds ingegeven door financiële overwegingen (graafkosten en evt. kosten bemaling) en anderzijds door de mogelijkheid van het zakken van de leiding in verband met de aanwezigheid van een slappe bodem. In Nieuwerkerk a/d IJssel bijvoorbeeld is in het handboek een gronddekking van 0,70 m opgenomen. In dit geval van zettingsgevoelige grond neemt de gronddekking in de tijd toe en wordt zo voorkomen dat al weer snel overgegaan moet worden tot het kostbare 'rijzen' van de leiding. Accepteren dat ophoging van de omgeving wordt uitgevoerd zonder zelf 'mee te gaan' betekent ook een toename van de gronddekking.

De aanwezigheid van andere leidingen, objecten en dergelijke kan het noodzakelijk maken om voor het kruisen hiervan plaatselijk af te wijken van de normale gronddekking.

PWN

Distributieleidingen worden bij PWN volgens het "Handboek Aanleg Leidingen" gelegd met een gronddekking van 1,00 m. Voor gronddekkingen groter of kleiner dan 1,00 meter zijn in het handboek maatregelen opgenomen. In Tabel 2-2 zijn de maatregelen beschreven in het geval de gronddekking door natuurlijke (zetting leiding) of kunstmatige (ophoging) oorzaken meer is geworden dan 1,00 meter, in Tabel 2-3 voor situaties waarbij de gronddekking minder is geworden dan 1,00 meter.

Tabel 2-2 Maatregelen bij gronddekkingen > 1,00 meter in het Handboek Aanleg Leidingen van PWN.

situatie	maatregel
1,00 meter < gronddekking ≤ 1,30 meter	<ul style="list-style-type: none">• leiding handhaven• brandkraan ophogen met maximaal 1 verlengset 80/100 of 80/150 of 80/200 of 80/300
1,30 meter < gronddekking ≤ 1,50 meter	<ul style="list-style-type: none">• leiding handhaven• brandkraan ophogen met 1 FF-stuk aan de onderzijde
gronddekking > 1,50 meter	<ul style="list-style-type: none">• leiding saneren

Tabel 2-3 Maatregelen bij gronddekkingen < 1,00 meter in het Handboek Aanleg Leidingen van PWN.

situatie	maatregel
0,75 meter ≤ gronddekking >1,00 meter	<ul style="list-style-type: none"> • leiding handhaven • nagaan of afsluiters en brandkranen geprojecteerd kunnen worden in verhogingen (trottoir / drempel) • FF-stukken / verlengsets van normale brandkraan verwijderen • korte brandkraan toepassen¹
gronddekking < 0,75 meter	<ul style="list-style-type: none"> • leiding saneren

Waternet

In Amsterdam geldt sinds 1 oktober 2009 de verordening Werken in de Openbare Ruimte (WIOR, 2009). Hierin staan algemene uitvoeringsvoorschriften, waaronder tracébeplanning, waar partijen die werkzaamheden uitvoeren zich aan moeten houden. Relevante NEN normen zijn hiervoor van toepassing. De minimale dekking voor waterleidingen is 1,00 m voor transportleidingen en 0,80 m voor distributieleidingen.

Waternet hanteert als richtlijn dat leidingen die ondieper liggen gesaneerd worden. Indien leidingen dieper liggen dan 1,00 m wordt niet overgegaan tot rijzen.

2.3 Internationale normen

De internationale normen voor de diepteligging van waterleidingen zijn ook gebaseerd op het voorkomen van vorstindringing. De Europese norm NEN-EN 805:2000 bevat dezelfde zinsnede als de Vewin richtlijn: “De sleuf moet zo diep worden uitgegraven dat de leiding vorstvrij ligt. Wanneer dit niet mogelijk is moeten beschermende maatregelen tegen vorst worden getroffen.”

Afhankelijk van de locatie van de leidingen zal de gewenste diepteligging vastgesteld worden. De maximale vorstindringdiepte op de betreffende locatie bepaalt de diepteligging van de leidingen. In de literatuur zijn dan ook verschillende diepteliggingen te vinden. In Duitsland (Hamburg) liggen de leidingen op 1,5 m. In Canada zijn plekken bekend waar de leidingen op 2,5 meter liggen. In Oslo lagen bij metingen van Breivoll de leidingen op 2,5 tot 3 m (Mesman, 2011).

In een Amerikaanse Standaard (NFPA 24, 2010) is de volgende richtlijn opgenomen: de gronddekking van waterleidingen wordt bepaald door de maximale indringdiepte van vorst op de plaats waar de leiding wordt gelegd. De top van de leiding moet meer dan 0,3 m onder de vorstgrens liggen. Op plaatsen waar vorst geen rol speelt, mag de gronddekking niet minder zijn dan 0,8 m, om mechanische schade te voorkomen. In het San Antonio District geldt een minimale gronddekking van 0,60 m voor een waterleiding (ftp.dot.state.tx.us). In Florida geldt een minimale dekking van 0,90 m voor buisdiameters tot 300 mm. Bij grotere buisdiameters wordt een dekking van 1,22 m aangehouden (www.hillsboroughcounty.org).

Een Canadese Standaard geeft voor Alberta als richtlijn om bevrozing of vorstschade te voorkomen, een minimale gronddekking van 2,5 m boven de bovenkant van de leiding of de vorstindringdiepte op de locatie gebaseerd op de koudste drie jaar in de afgelopen 30 jaar of als deze data niet beschikbaar zijn op

¹ De lengte van een normale AVK brandkraan = 715 mm terwijl de lengte van een korte brandkraan van AVK = 465 mm: er kan dus 715-465=250 mm overbrugd worden

het koudste jaar in de afgelopen 10 jaar met een passende veiligheidsfactor (Chinniah, 2006; Boras, 1994). In Toronto liggen de waterleidingen op ongeveer 1,5 m diepte in de straat, net onder de grens van vorstindringing (www.toronto.ca).

In sommige gebieden is de vorstindringdiepte heel diep. Leidingen dieper leggen dan 2,4 tot 2,6 m is economisch niet haalbaar en niet praktisch, als de volledig vorstvrije diepte 4 tot 5 meter kan bedragen. Een mogelijkheid is om kunstmatige verwarming van de leidingen aan te brengen (Janson, 1963). Dit gebeurt in Scandinavië (Janson, 1963; Hageskal et al., 2006).

2.4 Normdiepteligging voor afwegingsmatrix

Uit de beschrijving van de richtlijnen van de diepteligging per DPW-bedrijf, blijkt dat de richtlijnen verschillen per regio/grondsoort en type leiding. In de nieuwste versie van de Nederlandse richtlijnen voor drinkwaterleidingen buiten gebouwen is 1,00 m gronddekking als richtlijn opgenomen (Meerkerk en Mesman, 2010). 1,00 m wordt daarom als normdiepteligging gekozen.

normdiepteligging = 1,00 m

Bij de uitvoering van de scenariostudies zal deze normdiepteligging als referentie dienen.

Er bestaan geen grenzen voor de minimale en maximale diepteligging. Als richtlijn gebruikt PWN 0,75 m en 1,50 m. Een motivatie voor een minimale en maximale diepteligging is een opbrengst van dit project. De scenario's worden daarom bekeken binnen een gebied van 0,50 m en 2 meter.

3 Invloedsfactoren op diepteligging

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de factoren vastgesteld die een rol spelen bij de bepaling van de diepteligging van leidingen in het distributienet, invloedsfactoren genoemd. Van elke invloedsfactor wordt bekeken of deze generiek is of afhankelijk van de eigenschappen van de locatie waar de leiding ligt, zoals van de grondsoort, grondwaterstand, materiaalsoort van de leiding en de ligging in platteland of stedelijk gebied. Ten slotte wordt voor elke invloedsfactor een criterium gedefinieerd, waarmee de factor kwantitatief kan worden uitgedrukt voor elke diepteligging en situatie.

3.2 Inventarisatie van invloedsfactoren

Door de projectgroep zijn vijf invloedsfactoren vastgesteld (Tabel 3-1). Deze factoren komen voort uit ervaring en uit bestaande overwegingen voor het bepalen van de gewenste diepte van een te leggen leiding. Daarnaast is voor elke invloedsfactor bepaald of deze op elke locatie hetzelfde is of afhankelijk is van grondsoort, de grondwaterstand, de ligging in stedelijke omgeving of op het platteland en het leidingmateriaal. Deze afhankelijkheid is ook in Tabel 3-1 weergegeven. De indringing van vorst in de bodem is bijvoorbeeld afhankelijk van de grondsoort en de grondwaterstand. Daarnaast wordt het op het platteland kouder dan in de stad waardoor de vorst dieper kan indringen. Het leidingmateriaal speelt een rol in de snelheid waarmee vorst het water zal bereiken en hoe gevoelig de leiding is voor vorst. PVC geleidt warmte slechter, waardoor vorst minder gauw het water bereikt dan in gietijzer. Daarnaast breekt PVC eerder door vorst dan gietijzer. Op dezelfde wijze kan voor de andere invloedsfactoren beredeneerd worden waarom ze afhankelijk zijn van de in de tabel gekleurde onderdelen.

De genoemde afhankelijkheden in Tabel 3-1 komen terug bij de scenariostudies voor elke invloedsfactor. De scenariostudies zijn zodanig ontwikkeld dat, als dat mogelijk is, elke invloedsfactor bekeken wordt bij de verschillende onderdelen waarvan de invloedsfactor afhankelijk is.

Tabel 3-1 Invloedsfactoren voor de diepteligging van leidingen en de afhankelijkheid van iedere invloedsfactor voor grondsoort, grondwaterstand, stedelijke ligging of ligging in platteland en leidingtype.

invloedsfactor	afhankelijk van			
	grondsoort	grondwaterstand	stedelijk/platteland	leidingtype
1. vorstindringing	■	■	■	■
2. opwarmen	■	■	■	■
3. externe belasting	■	■	□	■
4. beschadiging door graafwerkzaamheden	□	□	■	□
5. aanleg- en beheerskosten	□	■	■	□

Zettingen spelen natuurlijk ook een rol bij de diepteligging of z-coördinaat van leidingen. Als een leiding ligt in zettingsgevoelige grond, heeft zetting namelijk tot gevolg dat de diepteligging van de leiding verandert. Het zakken van de leidingen kan ertoe leiden dat storingen kunnen optreden, veroorzaakt door voorkomende faalmechanismen als hoekverdraaiingen. Tevens kunnen uitwendige belastingen veranderen door grondzettingen. Daarnaast kunnen leidingen naar een diepte zakken die niet meer gewenst is. Echter, zetting is niet een expliciete/directe factor en is daarom niet opgenomen als invloedsfactor in Tabel 3-1. Door zetting kan de diepteligging veranderen, waardoor de andere invloedsfactoren op een andere diepte gaan gelden. De vraag wat de maximaal toelaatbare diepte is, kan met de matrix in hoofdstuk 9 beantwoord worden.

3.3 Definitie van criteria bij invloedsfactor

Voor elke invloedsfactor is een criterium gedefinieerd, waarmee een kwantitatieve waarde gegeven kan worden aan de invloedsfactor op elke diepte en voor elke situatie. In de situatie zijn de onderdelen waarvan de factor afhankelijk is, zoals grondsoort, grondwaterstand, stedelijk/platteland, leidingmateriaal, meegenomen. De criteria zijn gekozen op basis van het belang van de invloedsfactor of het effect van diepteligging op de invloedsfactor:

- Zo is bij de factor vorstindringing de diepteligging van belang, om te voorkomen dat de vorst de leiding bereikt. Omdat leidingen ongeveer 100 jaar blijven liggen is het criterium het aantal keer dat vorst een bepaalde diepte bereikt in 100 jaar.
- Opwarmen is een belangrijke invloedsfactor omdat de temperatuur van het drinkwater in het distributienet volgens het waterleidingbesluit niet boven de 25°C mag komen. Het criterium is daarom het aantal dagen dat de temperatuur van de bodem op die diepte boven de 25°C uitkomt. Omdat het drinkwater in het leidingnet de bodemtemperatuur aanneemt (Blokker en Pieterse, 2010), is dit criterium een goede indicatie voor de opwarming van het drinkwater.
- Diepteligging heeft invloed op de externe bovenbelasting die een leiding ondervindt van de bovengrond: verkeersbelasting en gronddruk. Deze belasting heeft invloed op de spanning in de leiding in de omtrekriching. Als deze spanning boven een grenswaarde komt, die afhankelijk is van het leidingmateriaal, kan een leiding beschadigen. Voor externe belasting is daarom het criterium de spanning in de omtrekriching voor een bepaalde diepte.
- De beschadiging door graafwerkzaamheden, oftewel de schade door derden, neemt af bij een diepere ligging. Het percentage van gemelde storingen dat veroorzaakt wordt door derden is daarom het criterium voor deze invloedsfactor.
- Voor de aanleg- en beheerkosten zijn de graafkosten op een bepaalde diepte als criterium gekozen.

Tabel 3-2 Criteria voor een kwantitatieve uitdrukking van de invloedsfactoren voor diepteligging.

invloedsfactor	criterium
1. vorstindringing	het aantal keer dat vorst de betreffende diepte bereikt in 100 jaar.
2. opwarmen	het aantal dagen dat de temperatuur van de bodem op de betreffende diepte boven de 25°C komt.
3. externe belasting	de spanning in de omtrekriching op de betreffende diepte
4. beschadiging door graafwerkzaamheden	het percentage van geregistreerde storingen veroorzaakt door derden op de betreffende diepte
5. aanleg- en beheerskosten	de graafkosten op de betreffende diepte

4 Invloedsfactor 1: Vorstindringing

4.1 Inleiding

Uit de (internationale) richtlijnen voor de diepteligging, die beschreven staan in hoofdstuk 2, blijkt dat het voorkomen van vorstindringing de belangrijkste drijfveer is voor de gekozen diepteligging: de diepte van de leidingen wordt zo gekozen dat de leidingen vorstvrij liggen. In dit hoofdstuk wordt gekeken hoe de diepteligging, vorstindringing en het klimaat/weer gerelateerd zijn. Na een beschrijving van de achtergrond van deze relatie, worden de scenario's van deze invloedsfactor beschreven en de uitkomsten hiervan, die opgenomen kunnen worden in de matrix.

4.2 Achtergrond bij vorstindringing

Vorstindringdiepte is niet alleen belangrijk voor de aanleg van drinkwaterleidingen, maar ook voor de aanleg van funderingen (Figley and Snodgrass, 1984; Farrington and Gildea, 2002). De ligging van funderingen van staalgefundeerde projecten (dus niet bij funderingen op palen) zijn gebaseerd op vorstindringing. Bij een wisselende vorstindringing zal de fundering omhoog geduwd worden. Funderingen worden daarom onder de vorstgrens aangelegd. Ook voor de aanleg van trottoir of bestrating bestaan ontwerpcriteria gebaseerd op de maximale vorstindringdiepte (Farrington and Gildea, 2002). In eerste instantie dacht men dat het rijzen van de bodem o.i.v. vorst het gevolg was van het uitzetten van water door bevriezing. De huidige theorie is dat de groei van ijskristallen zorgt voor een migratie van water uit de bodem, waardoor zogenaamde ijslenzen zich ontwikkelen. Als vorst de bodem indringt, bevriest het aanwezige water. Hierdoor beweegt water uit de onbevroren grond naar het vriesfront (vergelijkbaar met drogen). Deze watermoleculen, zorgen voor de aangroei van ijskristallen, als ze het vriesfront bereiken, waardoor een ijslens ontstaat en aangroeit. Het rijzen van de grond en de resulterende verplaatsing van grond kan leiden tot aanzienlijke schade. De werkelijke verticale verplaatsing is veel groter dan de uitzetting die plaatsvindt als water bevriest (Penner, 1962; Farrington and Gildea, 2002). Zeer fijne (klei, leem) en fijne gronden (fijne zanden) zijn zeer tot matig vorstgevoelig voor rijzen. Grovere gronden (middelmatig, grof zand) zijn over het algemeen niet gevoelig hiervoor (www.waterloketvlaanderen.be; Burn, 1976).

Bij de keuze voor de diepteligging van drinkwaterleidingen speelt vooral het indringen van vorst in de bodem een rol en niet zozeer de vorming van ijslenzen. De mate waarin vorst de bodem in kan dringen is van een groot aantal factoren afhankelijk. De factoren kunnen in drie algemene categorieën worden gegroepeerd:

1. *meteorologische factoren*

Meteorologische factoren zijn factoren als luchttemperatuur, straling, neerslag, wind snelheid. Hiervan is luchttemperatuur waarschijnlijk het belangrijkste. De vorstindringdiepte is niet alleen afhankelijk van de luchttemperatuur, maar ook van de lengte van de vorstperiode. Wanneer een periode van neerslag voorafgaat aan de vorst is er een snelle indringing van vorst in de bodem.

2. *factoren betreffende het terrein*

De bedekking van de bodem, zoals asfalt of vegetatie speelt een rol bij het indringen van vorst in de bodem. Een kale vlakte zonder bedekking heeft een diepe vorstindringing. Een hele belangrijke rol speelt de aanwezigheid van sneeuw. Sneeuw werkt als isolatielaag en voorkomt een snelle indringing.

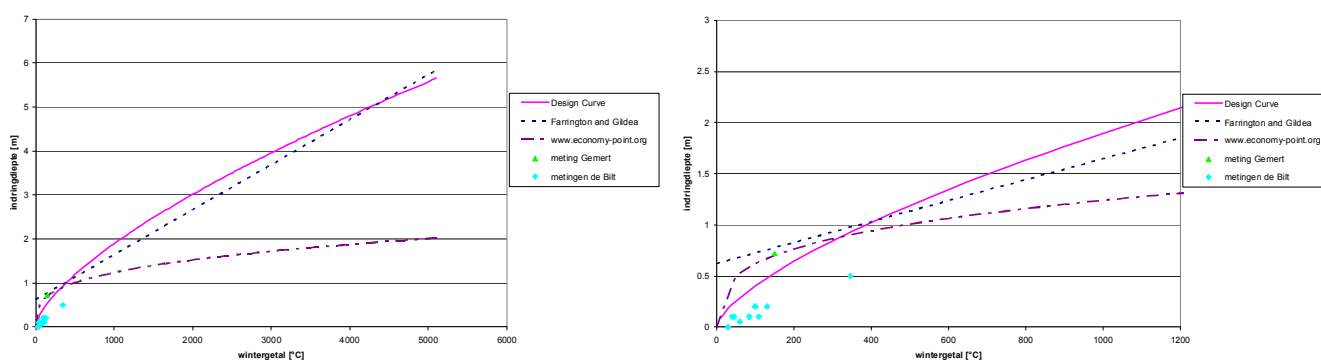
3. *bodem eigenschappen*

De snelheid van verdere indringing van vorst is afhankelijk van bodemeigenschappen zoals de warmtecapaciteit, de warmtegeleidbaarheid, de latente warmte en het vochtgehalte. In het algemeen ondervinden zand en 'gravel' een diepere vorstindringing dan fijn zand en klei. (Williams and Gold, 1976; Penner, 1962; van der Burgt, 2010; Figley and Snodgrass, 1984; Farrington and Gildea, 2002).

De voorspelling van temperaturen en indringdieptes is complex en veel factoren zijn erbij betrokken. Voorbeelden van gecompliceerde modellen, zoals de gemodificeerde Berggren vergelijking, zijn o.a. beschreven door Rajani and Zhan (1996) en Andersland and Ladanyi (1994).

Door de aanzienlijke schade die vorstindringing kan aanrichten aan funderingen is binnen dit onderzoeksgebied een aantal eenvoudige relaties opgesteld voor het voorspellen van de vorstindringdiepte als functie van het zogenaamde wintergetal. Het wintergetal is de som van het totaal aantal vorstdagen in een winter berekend door alle etmaalgemiddelden beneden het vriespunt op te tellen. Een fysische basis bestaat voor deze benaderingen. Immers, de luchttemperatuur beïnvloedt significant de grensconditie voor warmtetransport aan het oppervlak van de bodem. Echter, de luchttemperatuur is niet de enige factor. Door de complexe verschijnselen tijdens het vriezen is de voorspelling op basis van het wintergetal alleen zelden een voldoende en betrouwbare voorspelling. Een locatiespecifieke relatie met het wintergetal, gebaseerd op lokale weergegevens, bodemeigenschappen en vochtcondities is bruikbaar. De meest verfijnde modellen bevatten ook deze informatie. De geschikte mate van verfijning is afhankelijk van de gewenste toepassing en de beschikbaarheid en betrouwbaarheid van de relevante invoergegevens (Farrington and Gildea, 2002; Figley and Snodgrass, 1984). In gebieden waar deze gegevens voor vorstindringing niet beschikbaar zijn, zijn de relaties met het wintergetal een bruikbare richtlijn (Penner, 1962).

Voor de Nederlandse condities zijn invoergegevens voor de complexere modellen niet beschikbaar. De eenvoudige relaties worden daarom toegepast als richtlijn. In Tabel 4-1 zijn drie relaties weergegeven die in de literatuur aanwezig zijn voor het verband tussen de maximale vorstindringdiepte in cm en het wintergetal H . De condities waarbij de relaties zijn opgesteld zijn tevens in de tabel opgenomen. In Figuur 4-1 zijn de drie verschillende relaties weergegeven.



Figuur 4-1 De maximale vorstindringdiepte in [m] als functie van het wintergetal in [°C], voorspeld door de drie relaties weergegeven in Tabel 4-1 en gebaseerd op enkele beschikbare Nederlandse meetgegevens. De rechter figuur is een ingezoomde versie.

De vraag is nu welke relatie het meest geschikt is voor Nederland en dus voor toepassing in dit project. In bijlage I zijn de wintergetallen gegeven voor de Bilt in de afgelopen 100 jaar. De strengste winter had een wintergetal van 346 (1963). Volgens Figuur 4-1 hoort hierbij een maximale indringdiepte 0,90-0,98 m, dat overeenkomt met de huidige richtlijn van 1 meter. 1 meter indringdiepte wordt in Nederland tijdens de strengste winters niet gehaald. In een KNMI rapport zijn bodemtemperaturen opgenomen voor de periode 1962-1973 (van der Hoeven en Lablans, 1992). Deze data zijn gebruikt om de maximale indringdiepte als functie van het wintergetal te bepalen voor de Nederlandse situatie. De data zijn ook weergegeven in Figuur 4-1. Daarnaast is bij een grafdelver in Gemert bekend dat de maximale indringdiepte in de jaren '90 0,72 m bedroeg (van der Burgt, 2010). Dit punt is ook in de figuur te zien.

Tabel 4-1 Eenvoudige relaties die de maximale vorstindringdiepte (x in cm) relateren aan het wintergetal (H in °C) .

condities voor relatie	relatie $x = f(H)$	relatie $H = f(x)$	referentie
relatie 1: zogenaamde <i>Design Curve</i> ; 'under snow cleared airport runways in northern US and is based on a granular soil type and limited range of FI'	$x = 100 \cdot 10^{0.671 \cdot \log(H) - 1.7355}$	$H = 10^{\frac{\log(x/100) + 1.7355}{0.671}}$	afgeleid uit Figley and Snodgrass (1984) en Burn (1976) relatie geldig tot $H = 2500^\circ\text{C}$
relatie 2: De relatie is gebaseerd op data in een 40-jaar lange periode. De bodem bestaat uit zand, met een asfalt bedekking en een 'crushed stone' ondergrond. De relatie is gevalideerd met vooral data in de hogere regionen van het wintergetal (450 tot 1200 °C). Opgesteld voor Vermont.	$x = 62.2 + 0.1024 \cdot H$	$H = \frac{x - 62.2}{0.1024}$	Farrington and Gildea (2002)
relatie 3: 'centralstrict cooling periods'	$x = 15.6 \cdot (H)^{0.3}$	$H = 10^{\frac{\log(x/15.6)}{0.3}}$	www.economy-point.org

Uit de meetgegevens in Figuur 4-1 blijkt dat de relaties een diepere indringdiepte voorspellen dan de metingen. De relaties zijn dus toereikend voor dit project, immers de diepteligging van leidingen moet zodanig zijn dat geen vorstindringing plaatsvindt. Alleen op mindere diepteligging zoals 0,50-0,75 m zijn de relaties relevant. Uit de figuur blijkt dat de Design Curve het dichtst ligt bij de Nederlandse gegevens. Deze zal gebruikt worden voor de matrix, waarin de diepteligging van de leidingen wordt gerelateerd aan het aantal keer dat de vorst tot die diepte indringt in 100 jaar. Tevens zal de derde relatie hierin meegenomen worden, omdat deze de indringdiepte waargenomen door de grafdelver goed voorspelt.

Eventueel zijn meer data van bodemtemperaturen bij het KNMI aanwezig. Aan deze data wordt tegen kosten toegang verleend. Gezien het feit dat vorstindringing bij een grotere diepteligging minder relevant is, is ervoor gekozen om deze data niet aan te schaffen.

4.3 Scenario's voor vorstindringing

Uit de beschrijving van de achtergrond rond vorstindringing blijkt dat de vorstindringing afhankelijk is van de grondsoort, de aanwezigheid van grondwater en de ligging in stad of platteland (Tabel 3-1). Tevens is het materiaal van de leiding van belang. Het is namelijk bekend dat PVC leidingmateriaal gevoeliger is voor vorst dan gietijzer. Bij temperaturen beneden het vriespunt is er grotere kans op breuk bij PVC leidingen (Vewin WB 3.5).

Om de invloedsfactor vorstindringing te beschrijven op verschillende dieptes moet voor elke afhankelijkheid een scenariostudie worden uitgevoerd. Echter uit de vorige paragraaf blijkt dat er te weinig gegevens bekend zijn over de relaties tussen diepteligging en wintergetal voor de Nederlandse situatie om deze scenario's te kunnen doorrekenen. Deze invloedsfactor wordt alleen in algemene zin bestudeerd met de relaties uit Tabel 4-1 als richtlijnen.

4.4 Uitkomsten/Resultaten scenario's vorstindringing

In de matrix wordt voor de invloedsfactor vorstindringing de diepteligging gerelateerd aan het criterium: het aantal keer dat vorst de betreffende diepte bereikt in 100 jaar. Bij elke diepteligging wordt met de Design Curve en met relatie 3 berekend welk wintergetal hoort bij deze vorstindringdiepte. Hiertoe wordt in de vergelijkingen in de derde kolom van Tabel 4-1 steeds de indringdiepte (=diepteligging) ingevuld, waardoor het wintergetal berekend wordt. Vervolgens wordt gekeken hoe vaak dit wintergetal in 100 jaar voorkomt. De classificatie van winters van het KNMI kan hiervoor gebruikt worden (Tabel 4-2).

Tabel 4-2 Classificatie van winters in Nederland gerelateerd aan het wintergetal (H) en de frequentie van het wintergetal (www.knmi.nl(1)).

Wintergetal (H)	Classificatie	Frequentie	Matrix gegeven: aantal keer in 100 jaar
$H > 300$	streng	eens per 50 jaar	2
$160 < H < 300$	zeer koud	eens per 10 jaar	10
$100 < H < 160$	koud	eens per 3 jaar	33
$40 < H < 100$	normaal		100
$20 < H < 40$	zacht	eens per 3 jaar	33
$10 < H < 20$	zeer zacht	eens per 10 jaar	10
$H < 10$	buitengewoon zacht	eens per 50 jaar	2

In de classificatie is naast de strengheid van de winter tevens de frequentie daarvan opgenomen. De tabel is uitgebreid met een kolom, die de frequentie van het wintergetal uitdrukt in het gewenste criterium voor de matrix, namelijk het aantal keer dat dit wintergetal in 100 jaar wordt bereikt. Omdat de toegepaste klassen van wintergetallen in deze classificatie behoorlijk grof is, is voor de matrix gebruik gemaakt van de gegevens in bijlage I, waar de wintergetallen van de afgelopen 100 jaar zijn opgenomen. Per wintergetal kan dan geturfd worden hoe vaak in 100 jaar dit wintergetal bereikt wordt.

Voor de gewenste diepten van 0,50 tot 2 meter is in Tabel 4-3, de uitkomst van de invloedsfactor vorstindringing weergegeven voor de Design Curve en voor relatie 3. Uit de tabel blijkt dat voor de invloedsfactor vorstindringing het geen optie is om de leidingen minder diep te leggen dan de huidige normdiepteligging. Een kleinere diepteligging zorgt voor een enorme toename van de kans dat de leidingen niet meer vorstvrij liggen. Een diepteligging van bijvoorbeeld 0,50 m leidt tot een toename van vorstindringing met een factor 14 tot 55.

Een ligging dieper dan de normdiepteligging van 1 meter is voor deze invloedsfactor geen probleem. Een diepteligging groter of gelijk aan 1 meter voorkomt vorstindringing. De vorstindringing komt onder Nederlandse klimaatomstandigheden blijkbaar niet dieper dan 1 meter.

In de uiteindelijke matrix, waarin alle invloedsfactoren aanwezig zijn (hoofdstuk 9, pag. 51), worden de resultaten van de Design Curve opgenomen, omdat deze dichterbij de meetgegevens ligt (Figuur 4-1).

Tabel 4-3 De diepteligging van leidingen gerelateerd aan het aantal keer dat de vorst die diepte bereikt in 100 jaar, berekend met de Design Curve en relatie 3 (Tabel 4-1).

diepte- ligging	Design Curve				Relatie 3			
	wintergetal	aantal keer bereikt in 100 jaar	toename tov norm (max indringdiepte 0.93 m)		wintergetal	aantal keer bereikt in 100 jaar	toename tov norm (max indringdiepte 0.90 m)	
			[%]	factor			[%]	factor
[m]								
0,5	137	14	1300%	14	49	55	5400%	55
0,6	180	8	700%	8	89	31	3000%	31
0,7	227	5	400%	5	149	13	1200%	13
0,8	277	4	300%	4	233	4	300%	4
0,9	330	3	200%	3	344	1	0%	1
1	386	0	0%	1	489	0	-100%	0
1,1	445	0	-100%	0	672	0	-100%	0
1,2	506	0	-100%	0	899	0	-100%	0
1,3	570	0	-100%	0	1173	0	-100%	0
1,4	637	0	-100%	0	1502	0	-100%	0
1,5	706	0	-100%	0	1890	0	-100%	0
1,6	777	0	-100%	0	2344	0	-100%	0
1,7	851	0	-100%	0	2869	0	-100%	0
1,8	927	0	-100%	0	3471	0	-100%	0
1,9	1004	0	-100%	0	4157	0	-100%	0
2	1084	0	-100%	0	4932	0	-100%	0

De aansluitleidingen liggen minder diep dan de distributieleidingen. Een dienstleiding gaat van 1 meter diepte naar de woning en dichterbij de meteropstelling wordt de diepteligging kleiner. Een minder strenge winter kan dan toch een vorstprobleem opleveren. Afgelopen jaar was het wintergetal ongeveer 100. Leidingen die hoger liggen dan 0,40 m kunnen dan bevriezen. De waterleidingbedrijven moeten dan klachten hebben ontvangen van vorstschade aan leidingen dan wel watermeters.

De invloedsfactor vorstindringing heeft betrekking op de mogelijkheid dat een leiding bevroest omdat deze niet meer in een vorstvrije grond ligt. Door vorst treedt ook werking van de bodem op. Door het optreden van vorst en dooi vinden er bewegingen in de grond plaats die kunnen leiden tot een verhoogde storingskans. In UStore van 2009 zijn 3 gevallen van uitwendige aantasting/belasting door temperatuurverschillen gemeld. In 2010 meldt UStore voor het eerste kwartaal voor Dunea 2 schades door vorst of temperatuur. Als oorzaak wordt uitwendige belasting door zetting als gevolg van vorst en temperatuur opgegeven. PWN meldt voor dit kwartaal 2 schades door uitwendige belasting met oorzaak temperatuur. De gevolgen door temperatuurverschillen lijken groter dan in voorgaande jaren, maar de registratie is ook verbeterd.

Kortom, vorstschade aan leidingen vindt niet alleen plaats als de vorst echt tot de diepte waarin de leidingen zich bevinden doordringt, maar ook door werking van de bodem bij vorst en dooi boven de leiding.

In het volgende hoofdstuk wordt de opwarming van de bodem berekend met het bodemtemperatuurmodel. De verwachting is dat het bodemtemperatuurmodel ook toepasbaar is voor de berekening van vorstindringing, zolang er niet teveel vocht in de bodem zit. In zandgronden vormt dit geen probleem, in klei en veengronden is meer vocht aanwezig. De thermofysische eigenschappen (geleidingscoëfficiënt en warmtecapaciteit) moeten aangepast worden, door ze afhankelijk te maken van het vocht/ijs gehalte. Ijs geleidt warmte immers anders dan water. Tevens treden bij faseovergangen (bevrozen en dooien) energiestromen op, die niet in het model zijn verwerkt. Het model zal hierdoor bij de aanwezigheid van veel water afwijken van de werkelijkheid. Het bodemtemperatuurmodel kan dus gebruikt worden als indicatie van vorstindringing. Bij het gebruik van het bodemtemperatuurmodel moet een ander criterium gedefinieerd worden, bijvoorbeeld of de temperatuur op een bepaalde diepte onder de nul graden komt.

5 Invloedsfactor 2: Opwarming

5.1 Inleiding

Opwarming is een belangrijke invloedsfactor, omdat in het waterleidingbesluit is opgenomen dat de temperatuur van het drinkwater niet boven 25°C mag komen. Bij hogere temperaturen worden biologische processen die kunnen leiden tot ongewenste omstandigheden bevorderd. Tevens kunnen verschillende typen micro-organismen (algen, bacteriën, protozoa, schimmels) tot groei komen in het drinkwater of in de biofilm aan de binnenkant van de leiding (bacteriën, protozoa, schimmels). *Legionella* is hiervan het bekendste voorbeeld.

De mate waarin het water in het distributienet opwarmt is onder meer afhankelijk van de diepteligging: hoe dieper een leiding ligt, hoe kleiner de kans dat het drinkwater in de leiding opwarmt onder invloed van de buitentemperatuur en zonnestraling. In dit hoofdstuk wordt gekeken hoe de diepteligging en opwarming gerelateerd zijn afhankelijk van een aantal factoren, zoals grondsoort, ligging in stad/platteland en leidingmateriaal. Na een beschrijving van de achtergrond van deze invloedsfactor, worden de scenario's van deze invloedsfactor beschreven en de uitkomsten hiervan. Deze zijn opgenomen in de matrix.

5.2 Achtergrond bij opwarming

5.2.1 Temperatuurmodel voor de voorspelling van drinkwatertemperatuur op verschillende dieptes

Het drinkwater dat door een leiding in de grond stroomt wordt opgewarmd doordat de omringende bodem door hoge temperaturen en zonnestraling in de atmosfeer warmer is geworden. Hoge temperaturen en zonnestraling in de atmosfeer zorgen voor opwarming van het asfalt/grondbedekking, de bodem en de waterleiding op een bepaalde diepte in de grond. Een groot aantal factoren spelen bij deze opwarming een rol, zoals in Figuur 5-1 te zien is. De processen die bij de opwarming een rol spelen zijn grofweg onder te verdelen in drie fasen:

1. warmteoverdracht tussen atmosfeer en bodemoppervlak

Door weersinvloeden, zoals temperatuur, straling en windsnelheid warmt de grondbedekking op. De warmteoverdrachtsprocessen die hierbij een rol spelen zijn straling en convectie door temperatuurverschillen.

Een deel van de straling van de zon, die het grondoppervlak bereikt, wordt gereflecteerd, afhankelijk van het albedo van de grondbedekking. Het albedo van het oppervlak is de reflectiecoëfficiënt van het oppervlak voor zonlicht. Als het albedo laag is absorbeert het oppervlak meer zonlicht en wordt het warmer. Het albedo van bestrating varieert tussen 0,10 voor asfalt en 0,16 voor rode straatstenen. Het albedo voor begroeiing is gemiddeld 0,19. Dit houdt in dat een bestraat oppervlak tot 10 procent meer zonlicht (en dus warmte) absorbeert dan begroeid oppervlak.

Begroeiing van het oppervlak zorgt voor een minder snelle opwarming van de bodem. Naast een kleinere absorptie van de warmte door begroeiing door een lagere albedo, wordt een deel van de hoeveelheid beschikbare energie besteed aan de verdamping van water door de planten. De energie die voor verdamping nodig is heet latente warmte (Figuur 5-1). De bodem onder begroeiing zal als gevolg van deze beide factoren dus minder snel opwarmen dan de bodem onder bestrating.

Bij de snelheid waarmee het grondoppervlak opwarmt speelt de zogenaamde omgevingsruwheid (z_0) een grote rol. Bij een hoge windsnelheid warmt het grondoppervlak sneller op. z_0 bepaalt de gemiddelde horizontale windsnelheid dichtbij de grond. Wanneer er meer mogelijkheid is tot invloed van wind aan de bodem (z_0 is klein), dan is de opwarming effectiever. Wanneer veel gebouwen en hoge bomen aanwezig zijn, die de invloed van de wind verlagen, is de opwarming minder snel. Tevens zullen de hoge gebouwen een effect hebben op de windpatronen. Verschillende waarden voor z_0 zijn gegeven in Tabel 5-1, waarbij een hoge z_0 dus een grotere hindering van de warmteoverdracht betekent. Bij benadering is de omgevingsruwheid ongeveer een tiende van de hoogte van het oppervlak dat wordt

bekeken. Bijvoorbeeld kort gras met een hoogte van 0,01 m heeft een omgevingsruwheid van ongeveer 0,001 m.

Tabel 5-1 Waarden voor de omgevingsruwheid en een beschrijving de eigenschappen van het bijbehorende landschap (terrein classificatie van Davenport) (Davenport et al., 2000).

klasse omgevingsruwheid		omgevingsruwheid (z_0) [m]	eigenschappen landschap
nummer	naam		
1	zee	0,0002	open water, wadplaten, sneeuw
2	smooth/glad, effen,vlak	0,005	karakterloos land, ijs
3	open	0,03	vlak terrein met gras of lage begroeiing
4	ruw/ruig/grof-open	0,10	bewerkt/bebouwd gebied, lage begroeiing, obstakels met hoogte H , van elkaar gescheiden met minstens $20H$
5	ruw/ruig/grof	0,25	open landschap, verspreide windsingels(?), obstakels met hoogte H , van elkaar gescheiden met minstens $15H$
6	zeer ruw/ruig/grof	0,5	landschap met struiken, jong dicht bos, obstakels met hoogte H , van elkaar gescheiden met minstens $10H$
7	dicht	1,0	open ruimtes met afmeting van H , volwassen bos, gebied met veel laagbouw
8	chaotisch	>2,0	onregelmatige verdeling van grote elementen, zoals stadscentrum, grote bossen met ruimtes

2. warmteoverdracht in de bodem: van bodemoppervlak naar waterleiding

Een gedeelte van de warmte die in atmosfeer aanwezig is bereikt het bodemoppervlak en wordt door geleiding naar diepere delen in de bodem getransporteerd. Bij de opwarming van de diepere bodem spelen de thermische eigenschappen van de bodemsoort een belangrijke rol. De combinatie van de warmtegeleidingscoëfficiënt en de warmtecapaciteit van de bodem bepaalt hoe snel de bodem opwarmt. Een zandbodem warmt sneller op dan een kleibodem. Het vochtgehalte van de bodem speelt ook een rol. Een zandbodem met hoger vochtgehalte warmt minder snel op dan een drogere zandbodem.

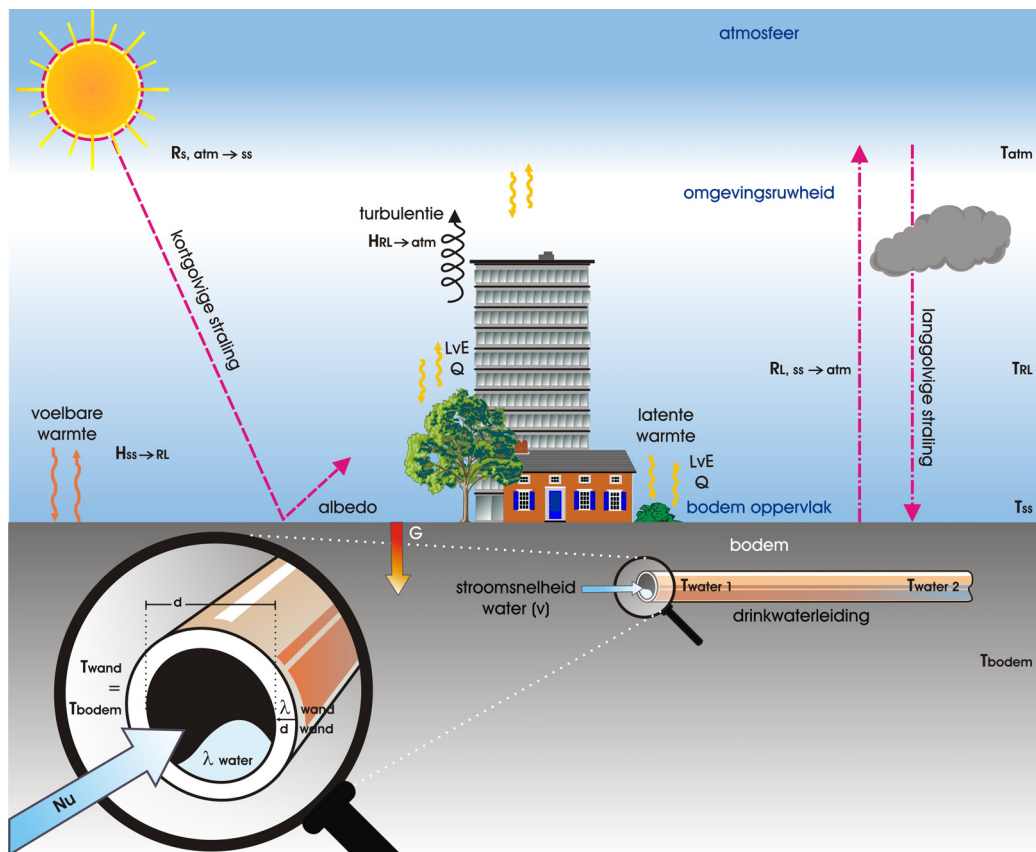
3. warmteoverdracht van bodem naar water in de leiding

Als de warmte door de bodem is doorgedrongen tot aan de buitenwand van de waterleiding, wordt eerst de warmte via geleiding door de buiswand getransporteerd. Het materiaal van de leiding speelt een rol bij de snelheid van opwarming. Gietijzer geleidt warmte beter dan PVC. Hierdoor zal het leidingwater in een gietijzeren leiding sneller opwarmen dan in PVC. Vervolgens komt de warmte in het leidingwater. Door convectie wordt de warmte in het leidingwater getransporteerd en stijgt de temperatuur. Bij de opwarming van het leidingwater speelt de stroomsnelheid een rol. Afhankelijk van de tijd dat het drinkwater in de leiding aanwezig is, zal de temperatuur van het water opwarmen tot de temperatuur van de omringende grond. In recent onderzoek is aangetoond dat de verblijftijd van het water in het Nederlandse leidingnet over het algemeen voldoende is en dat het leidingwater dus de bodemtemperatuur op die diepte bereikt (Blokker en Pieterse-Quirijns, 2010). Dit artikel beschrijft uitgebreid de invloed van leidingmateriaal, leidingdiameter en stroomsnelheid op de watertemperatuur.

Van de opwarming van de bodem op verschillende dieptes is op basis van bovenstaande verschijnselen een model ontwikkeld. Deze is uitvoerig beschreven door Blokker and Pieterse-Quirijns (2011). Met het model kan op elke locatie de bodemtemperatuur op elke willekeurige diepte berekend worden. Omdat is gebleken dat het drinkwater in het leidingnet de bodemtemperatuur aanneemt, is dit model voldoende om de temperatuur van het drinkwater te voorspellen. Het model beschrijft de

evenwichtsprocessen betrokken bij warmtetransport. Als de bodem warmer is zal het drinkwater opgewarmd worden. Als het echter in de omgeving kouder is, zal er energie van het drinkwater naar de omgeving getransporteerd worden en zal het drinkwater afkoelen. Dit betekent ook dat als het water uit het pompstation een hogere temperatuur heeft dan de omringende bodem, dat het water tijdens het transport zal afkoelen en uiteindelijk de bodemtemperatuur zal krijgen.

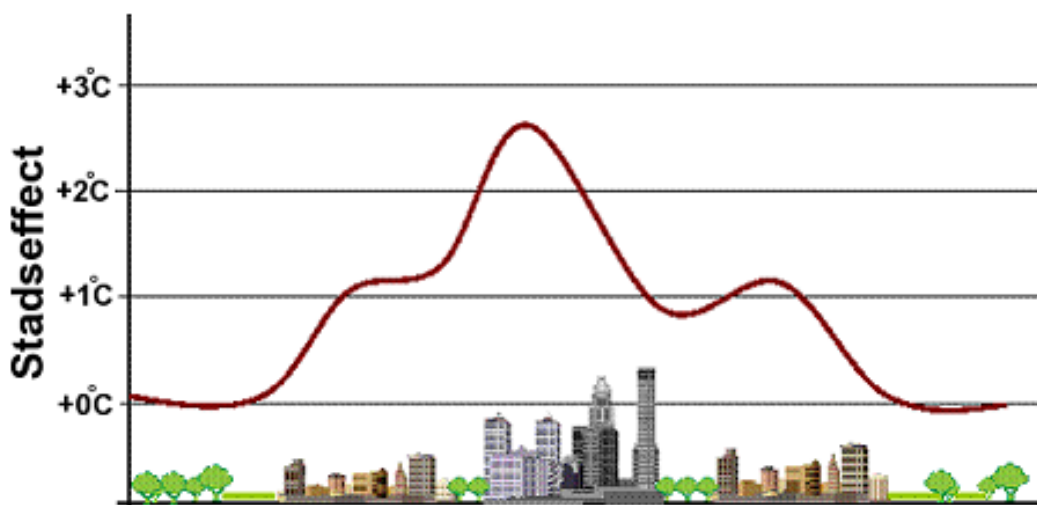
Het bodemtemperatuurmodel heeft als invoer de meteorologische gegevens, zoals luchttemperatuur, straling en windsnelheid. Hiervoor kunnen historische gegevens van het KNMI gebruikt worden of weersvoorspellingen. Daarnaast kunnen albedo, vegetatie, de aanwezigheid van gebouwen en de grondsoort aangepast worden aan de gewenste situatie.



Figuur 5-1 Schematische weergave van de opwarming van het water in een leiding onder invloed van weersomstandigheden en bodemeigenschappen.

5.2.2 Urban Heat Island Effect (UHI)

Uit verschillende onderzoeken is gebleken dat de gemiddelde luchttemperatuur in stedelijk gebied hoger is dan daarbuiten (Buik et al., 2004; Heusinkveld et al., 2010). Het verschijnsel dat het in steden een stuk warmer is dan in het omliggende landelijke gebied wordt Urban Heat Island Effect (UHI) genoemd. Het is schematisch weergegeven in Figuur 5-2. De grootte van dit effect is afhankelijk van de hoeveelheid zon, de windsnelheid en van de bebouwing (Buik et al., 2004). Er is nog maar weinig bekend over de sterkte van UHI in Nederlandse steden. Omdat Nederland een mild zee klimaat heeft en dichtbij zee ligt, werd in eerste instantie namelijk gedacht dat er geen rekening meegehouden hoefde te worden (Heusinkveld et al., 2010). In Nederland blijkt er weldegelijk sprake te zijn van UHI. Er worden verschillende temperaturen voor het UHI gerapporteerd. Gemiddeld kan de luchttemperatuur in een stad in Nederland 2,5°C hoger zijn dan die op het omringende niet-stedelijke gebied (Buik et al., 2004). Heusinkveld et al. (2010) heeft UHI gemeten van 7-8°C (Rotterdam). Aries en Bluysen (2009) rapporteren een UHI van 5-6°C.



Figuur 5-2 Schematische weergave van het Urban Heat Island Effect (UHI: boven een stad is de temperatuur hoger dan in de omringende niet-stedelijke gebieden) (www.knmi.nl (2)).

In het buitenland is meer onderzoek gedaan naar stadsklimaat dan in Nederland. Het is niet duidelijk in hoeverre de resultaten hiervan toepasbaar zijn op Nederlandse steden. Het Nederlandse klimaat verschilt immers van andere landen, daarnaast verschilt de structuur van steden tussen landen ook sterk (www.knmi.nl (2)).

Het UHI is geen klimatologisch verschijnsel. Het is het gevolg van slechte uitwisseling of afvoer van warmte uit de stad. De oorzaken en veroorzakers kunnen worden opgesplitst in statische en dynamische veroorzakers.

- *Statische veroorzakers* zijn hittede factoren die inspelen op landgebruik en landbedekking, zoals begroeiing, water, wegen, gebouwen en stedelijke materialen. Factoren, die een rol spelen bij extra opwarming in steden zijn:
 - in steden wordt meer zonlicht geabsorbeerd dan in omliggende gebieden door de daar aanwezige donkere materialen, zoals asfalt. Doordat het oppervlak in steden vaak relatief donker is wordt weinig zonlicht teruggekaatst en veel zonnepwarmte wordt opgenomen.
 - in steden wordt het zonlicht dat weerkaatst wordt, vaak weer richting een ander oppervlak gekeatst, in plaats van terug naar de hemel. Zo heeft de zonnestraling meerdere kansen om te worden geabsorbeerd. Grote gebouwen beschikken over meerdere oppervlakken voor reflectie en absorptie van zonlicht, waardoor de efficiëntie van opwarming wordt vergroot.
 - in steden bereikt meer straling de bodem door de reflectie op de loodrechte wanden van gebouwen. Dit effect is het sterkst bij bebouwing met platte daken van 2 à 3 verdiepingen.
 - door de lagere windsnelheden in steden treedt er minder warmteverlies op van gebouwen. Gebouwen zorgen namelijk voor het blokkeren van de wind. Uit metingen van Van der Molen (2008) blijkt dat de temperatuur dicht bij de gevel van huizen sterk kan oplopen, tot een temperatuurverschil van ca. 7°C op 1 meter van de gevel.
 - in bebouwd gebied vindt minder verdamping plaats dan in gebieden met veel vegetatie. In stedelijk gebied vindt er 10-20% minder verdamping plaats, door dat de grotendeels uit verhard oppervlak bestaan. Overdag wordt daardoor in steden minder zonnepwarmte gebruikt voor het verdampen van water. Er blijft dan relatief veel energie over voor het opwarmen van de lucht.

Factoren, die een rol spelen bij vertraagde afkoeling in steden zijn:

- nachtelijke afkoeling komt voor het grootste deel door de uitstraling van infraroodstraling door het aardoppervlak, waardoor warmte wordt verloren richting de hemel. In steden wordt een deel van het zicht op de hemel 'afgedekt' door gebouwen, waardoor een deel van deze stralingsenergie niet de lucht in verdwijnt, maar weer door gebouwen wordt geabsorbeerd. Deze warmte blijft hierdoor in de stad hangen. Dat effect is het sterkst in gebieden met veel hoge gebouwen, en wordt sterk bepaald door de fractie zicht vanaf de grond op de open hemel (de zgn. 'sky view factor').
- het stedelijke oppervlak bestaat voor een groot deel uit asfalt, beton, bakstenen en andere materialen die traag afkoelen. De warmtecapaciteit van stedelijk bouw materiaal is groter dan die van vegetatie. Warmte wordt hierdoor langer vastgehouden.
- *Dynamische veroorzakers* zijn de antropogene warmtebronnen. Dit is de warmteproductie die vrijkomt bij energieconversie door menselijke activiteiten, zoals industrie, huishoudens, verkeer, ruimteverwarming/air conditioning.

(Klok et al., 2010; www.knmi.nl (2); Buik et al., 2004).

De sterkte en verdeling van het UHI over de stad is afhankelijk van een aantal verschillende factoren. De belangrijkste factoren zijn:

- de oppervlakte of het inwoneraantal van de stad. Voor Europese steden bestaat een relatie, die de grootte van het UHI uitdrukt voor een bepaald inwoners aantal (P):

$$\Delta T_{UHI} = 2.01 \cdot \log P - 4.06 \text{ (Hughes, 2006).}$$

Een stad als Rotterdam met 584000 inwoners heeft volgens deze relatie een UHI van 7,5°C. In de stad is de temperatuur dus 7,5°C hoger dan in het omliggende platteland.

- de mate van verharding (van parkachtig tot geheel betegeld/geasfalteerd).
- het type bebouwing en de 'geometrie' van de stad (hoog- of laagbouw, breedte van de straten en dergelijke).
- materiaalgebruik (lichte of donkere materialen, gebruik van vegetatiedaken, enzovoort).

(www.knmi.nl (2); Klok et al., 2010; Hughes, 2006).

De UHI in een stad varieert. Uit Hughes (2006), Hinkel et al. (2003) en Brandsma et al. (2003) blijkt namelijk dat:

- a) UHI afhankelijk is van het seizoen.
In de winter worden andere waarden voor UHI gemeten dan in de zomer. Deze kunnen verschillen door het verschil in windsnelheid: windstille condities verhogen het UHI. Tevens kan in de winter bij afnemende temperaturen, de UHI toenemen, door de toename van energieverbruik voor het verwarmen van ruimtes in woningen en gebouwen.
- b) UHI een dagelijks patroon heeft.
Meestal is de UHI in de nacht het sterkst door het vasthouden van de warmte of de trage afkoeling door de stedelijke omgeving.

Het Urban Heat Island Effect zorgt er dus voor dat er in de stad hogere lucht- en oppervlaktetemperaturen zijn dan in landelijker gelegen gebieden. Onderzoek laat zien, dat hierdoor in stedelijk gebied hogere bodemtemperaturen voorkomen. Dit is bevestigd met metingen (Buik et al., 2004).

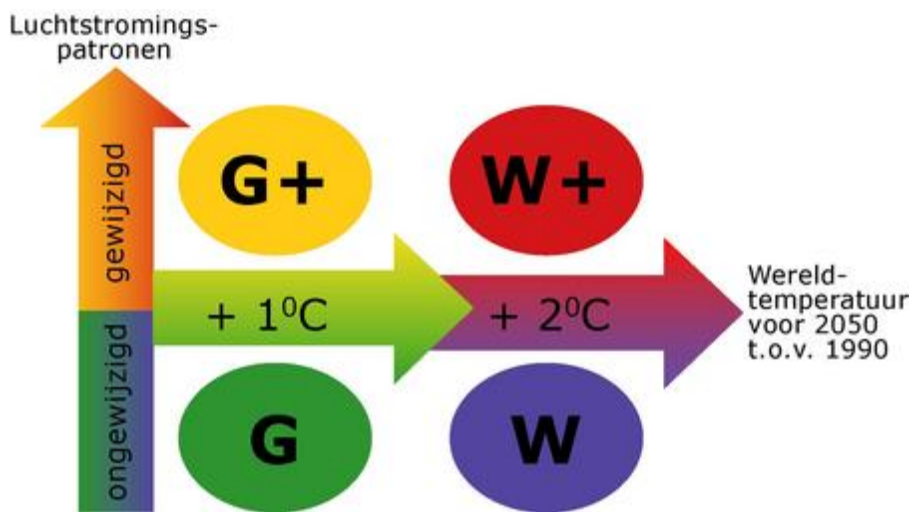
Naast temperatureffecten heeft UHI secundaire effecten op de lokale meteorologie, zoals veranderen van lokale wind patronen, ontwikkeling van wolken en mist, de luchtvochtigheid en de neerslagsnelheid en ook op bijvoorbeeld gezondheidsproblemen, zoals sterfte van oudere mensen, concentratieproblemen en agressie.

5.2.3 Toekomstscenario's

Het klimaat in Nederland verandert. Hoe het verandert is o.a. afhankelijk van de wereldwijde temperatuurstijging. Door de verwachte temperatuurstijging in de toekomst, rijst de vraag of de bodemtemperatuur zo sterk kan stijgen dat de temperatuur van het drinkwater vaker boven de 25°C van het waterleidingbesluit komt. Toekomstscenario's kunnen onderzocht worden door modelberekeningen uit te voeren met bestaande klimaatscenario's.

KNMI heeft in 2006 vier verschillende klimaatscenario's ontwikkeld (KNMI, 2006). De klimaatscenario's zijn gebaseerd op de scenario's van het IPCC, die de mondiale klimaatscenario's voor de hele wereld produceren. De nieuwe KNMI-scenario's maken gebruik van de belangrijkste mondiale klimaatmodellen, een groot aantal regionale klimaatmodellen, historische meetreeksen en recente kennis over het klimaatsysteem en klimaatverandering. De vier klimaatscenario's opgesteld door het KNMI om de verschillende mogelijkheden van een veranderend klimaat te kunnen beschrijven zijn te zien in Figuur 5-3 en houden het volgende in:

G	gematigd	1°C temperatuurstijging op aarde in 2050 ten opzichte van 1990 geen verandering in luchtstromingspatronen in West Europa
G+	gematigd plus	1°C temperatuurstijging op aarde in 2050 ten opzichte van 1990 + winters zachter en natter door meer westenwind + zomers warmer en droger door meer oostenwind
W	warm	2°C temperatuurstijging op aarde in 2050 ten opzichte van 1990 geen verandering in luchtstromingspatronen in West Europa
W+	warm plus	2°C temperatuurstijging op aarde in 2050 ten opzichte van 1990 + winters zachter en natter door meer westenwind + zomers warmer en droger door meer oostenwind



Figuur 5-3 Weergave van de vier KNMI-klimaatscenario's (KNMI, 2006).

In elk scenario komen een aantal kenmerken van de klimaatverandering in Nederland en omgeving naar voren:

- de opwarming zet door; hierdoor komen zachte winters en warme zomers vaker voor.
- de winters worden gemiddeld natter en ook de extreme neerslaghoeveelheden nemen toe.
- de hevigheid van extreme regenbuien in de zomer neemt toe, maar het aantal zomerse regendagen wordt juist minder.
- de berekende veranderingen in het windklimaat zijn klein ten opzichte van de natuurlijke grilligheid.
- de zeespiegel blijft stijgen.

(KNMI, 2006).

In 2009 zijn de scenario's die het KNMI in 2006 voor het toekomstige klimaat in Nederland heeft uitgebracht, getoetst aan de nieuwste nationale en internationale inzichten. Uit deze evaluatie blijkt dat het klimaat in Nederland sterk verandert en dat die veranderingen vallen binnen de vier KNMI'06 scenario's. De onderzoeksresultaten brengen tevens meer tekening in welke scenario's meer waarschijnlijk zijn. Zo blijkt dat met de snelle opwarming in Nederland het meest rekening wordt gehouden in de W/W+ scenario's. Een nieuwe generatie van geactualiseerde klimaatscenario's zal beschikbaar komen in 2013. Met nieuwe nationale en internationale wetenschappelijke en technische inzichten zullen deze nieuwe klimaatscenario's de KNMI'06 scenario's opvolgen (KNMI, 2009; www.knmi.nl (3)).

5.3 Scenario's bij opwarming

Uit Tabel 3-1 blijkt dat deze invloedsfactor afhankelijk is van grondsoort, grondwaterstand, stedelijke of plattelandsligging en leidingmateriaal. Deze invloeden zijn meegenomen in de scenariostudies (Tabel 5-2). Het leidingmateriaal heeft invloed op de snelheid waarmee het water in de drinkwaterleiding opwarmt bij een bepaalde omringende bodemtemperatuur. Water in gietijzeren leiding zal sneller opwarmen dan in PVC leidingen (Blokker en Pieterse-Quirijns, 2010). Uiteindelijk zal het water echter in beide leidingen de bodemtemperatuur bereiken. Om deze reden is het leidingmateriaal niet expliciet in de scenariostudies opgenomen. Het wordt namelijk niet beïnvloed door de diepteligging.

Zoals in de achtergrond bij deze invloedsfactor is beschreven (paragraaf 5.2) zal in de toekomst de opwarming sneller gaan door het veranderende klimaat. Daarom zijn scenario's ontwikkeld die de invloed van de toekomstige klimaatveranderingen op de opwarming van het drinkwater in de leidingen bepalen.

Voor elk scenario wordt op elke gewenste diepte (0,50-2,00 m) de temperatuur van de bodem berekend, met de wetenschap dat het water in de leidingen op die diepte de bodemtemperatuur zal bereiken (Blokker en Pieterse-Quirijns, 2010). Vervolgens wordt het criterium voor elke diepte berekend, door te kijken hoeveel dagen de temperatuur boven de 25°C komt op die diepte.

Tabel 5-2 Scenario's voor de invloedsfactor opwarming.

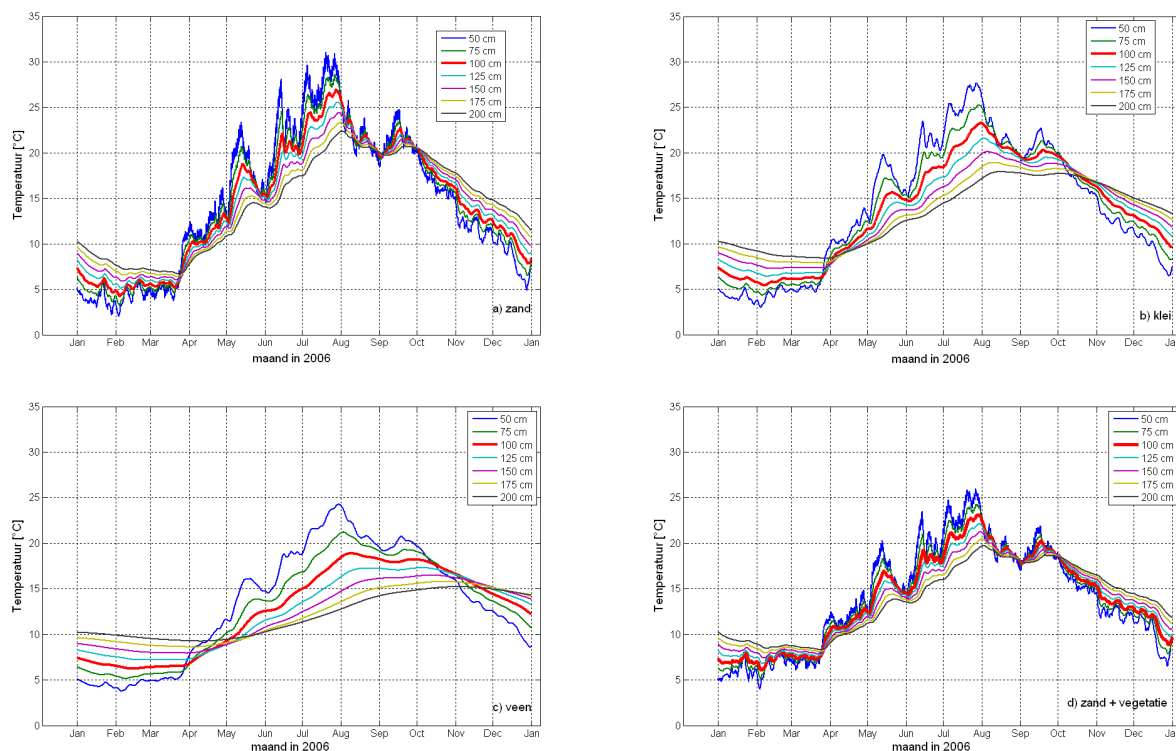
bodentype	afdekking	locatie leiding	weer/klimaat
zand	bestraat	platteland	2006
klei	vegetatie	stad	2050 G scenario
veen			2050 W+ scenario
			2100 G scenario
			2100 W+ scenario

bodentype

De thermische eigenschappen van de grondsoort bepalen hoe snel de bodem opwarmt. Zand warmt het snelst op, gevolgd door klei en tenslotte veen. Het vocht in de bodem zorgt voor een minder snelle opwarming. De temperatuur van een vochtige zandbodem zal dus liggen tussen de temperatuur van een zandbodem en een kleibodem in. Het vochtgehalte van de bodem is daarom niet expliciet in de berekeningen meegenomen. De thermische eigenschappen zijn vaak ook niet bekend bij verschillend vochtgehalte. Wanneer de thermische eigenschappen bekend zijn als functie van het vochtgehalte kan de temperatuur in de bodem gemakkelijk uitgerekend worden.

Voor de thermische eigenschappen zijn literatuurwaarden gebruikt (Blokker en Pieterse-Quirijns, 2011). Voor de scenario's zijn weergegevens gebruikt van een warme zomer: het jaar 2006. Ter illustratie is in Figuur 5-4 de voorspelde bodemtemperatuur te zien in 2006, in verschillende bodemsoorten (zand, klei en veen) en op verschillende dieptes (0,50; 0,75; 1,00; 1,25; 1,50; 1,75 en 2,00 m). Uit de figuur blijkt dat in een zandbodem de energie het makkelijkst wordt doorgegeven. Dit blijkt uit een snellere opwarming in

de zomer maanden en een sterkere afkoeling in de wintermaanden vergeleken met klei en veen. Een andere grondsoort kan leiden tot een temperatuurverschil van 4-8°C ten opzichte van de temperatuur in een zandbodem. In de zomer van 2006 wordt op 1 meter diepte de 25°C 14 dagen overschreden in de periode van eind juli tot begin augustus. Tevens blijkt dat de temperatuur in de bodem steeds minder fluctueert als dieper in de bodem wordt gekeken. De golfbeweging neemt af en de dagelijkse variatie die aanwezig is in de luchttemperatuur is niet meer te zien in de bodem. Hoe dieper de leidingen liggen in de bodem hoe minder sterk de opwarming is in de zomer, maar ook hoe minder sterk de afkoeling is in de winter.



Figuur 5-4 De voorspelde bodemtemperatuur op verschillende dieptes in 2006 in a) zandbodem; b) kleibodem; c) veenbodem; d) zandbodem met vegetatie ($z_0 = 0,01$ m).

Uit Figuur 5-4 blijkt tevens dat de bodemtemperatuur in 2006 op geen enkele diepte ($> 0,50$ m) en bij geen enkel bodemtype beneden 0°C komt. Er vindt dus volgens het bodemtemperatuurmodel geen vorstindringing plaats in 2006. Dit wordt ondersteund door de methode die in het vorige hoofdstuk gebruikt is voor de vorstindringdiepte. Het wintergetal van 2006 bedraagt 20,1. Dit komt overeen met een zachte winter (Tabel 4-2). Bij dit wintergetal bedraagt de indringdiepte volgens de relaties in Tabel 4-3 minder dan 0,50 m (namelijk 0,13 m voor de Design Curve).

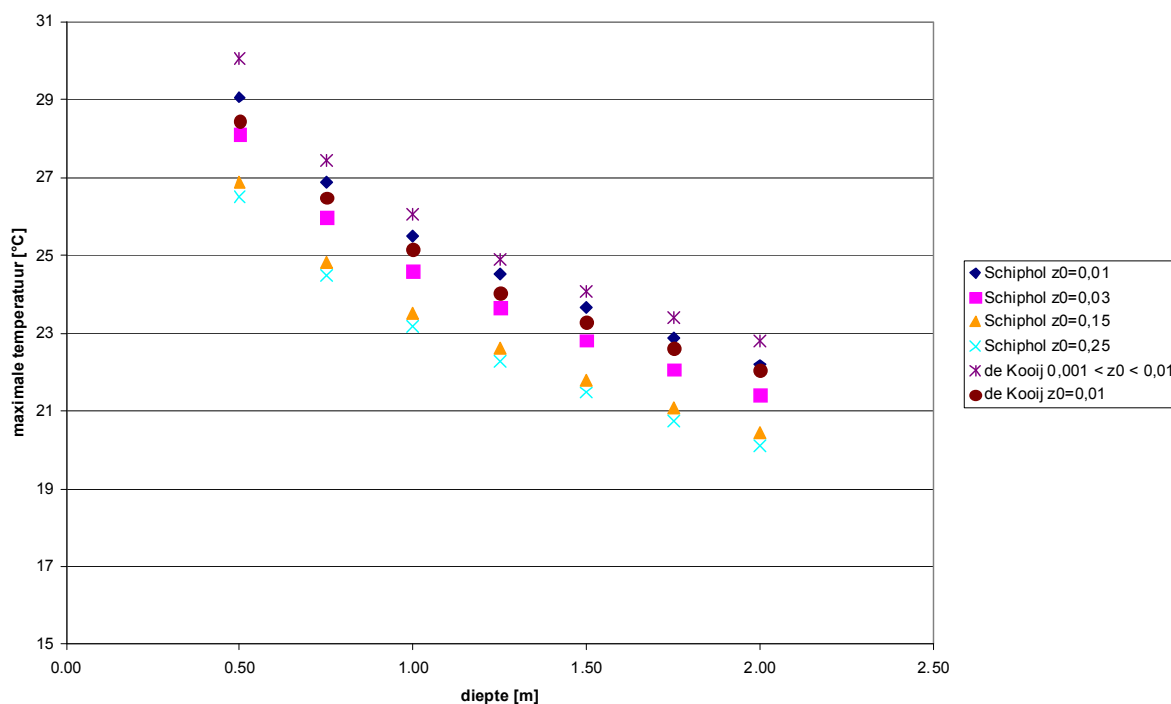
afdekking

De grondbedekking bepaalt de mate waarin de zonnestraling wordt gereflecteerd en geabsorbeerd. Zwart asfalt wordt warmer dan rode stenen en deze worden weer warmer dan vegetatie. Dit wordt weergegeven door het albedo. In de scenariostudies wordt gekeken naar de uitersten: verhard oppervlak met een albedo van 0,10, dat hoort bij asfalt en een begroeid oppervlak met een albedo van gemiddeld 0,19. Tevens is in het model dat de scenario's doorrekent met vegetatie de verdamping door de begroeiing opgenomen (van der Molen, 2008). Door de verdamping is er minder energie over om de bodem op te warmen. De bodem zal daardoor minder hoge temperaturen bereiken. Echter de opwarming van de bodem gaat wel even snel. Dit blijkt uit Figuur 5-4d, waarin de opwarming van een

zandbodem met begroeiing is weergegeven. Afhankelijk van de grondsoort en de diepte kan vegetatie leiden tot een verlaging van de bodemtemperatuur met 1-5°C.

locatie leiding: stad/platteland

In eerste instantie is het verschil in opwarming tussen stedelijk gebied en plattelandsgebied onderzocht door weergegevens te gebruiken van Schiphol, representatief voor binnenlands gebied, en De Kooij, representatief voor kustgebied. Door de lagere temperaturen aan de kust wordt er minder opwarming van de bodem verwacht. Met de weergegevens van Schiphol en De Kooij zijn voor verschillende waarden van z_0 (Tabel 5-1) de bodemtemperaturen op verschillende dieptes berekend. In Figuur 5-5 is de maximale bodemtemperatuur te zien op een bepaalde diepte.



Figuur 5-5 De maximale bodemtemperatuur [°C] op verschillende dieptes onder verharde afdekking in zandbodem, voor Schiphol en De Kooij bij verschillende waarden voor de omgevingsruwheid z_0 .

In de figuur is de invloed van z_0 bij de opwarming duidelijk zichtbaar. De opwarming in Schiphol (binnenland met hogere temperaturen en meer bebouwing (hogere z_0)) is hier vergeleken met de opwarming in De Kooij (kust met lagere temperaturen, geen bebouwing (lage z_0) en veel wind (nog lagere z_0)). De figuur laat duidelijk zien dat z_0 een grotere invloed heeft op de opwarming van de bodem, dan de hogere luchttemperaturen gemeten bij Schiphol. Alleen bij eenzelfde waarde van z_0 is de opwarming in de bodem van Schiphol hoger dan bij De Kooij. Wanneer er meer mogelijkheid is tot invloed van wind aan de bodem (z_0 is klein), dan is de opwarming effectiever. Dit betekent dat aan de kust de opwarming veel sneller gaat. In de stad zijn gebouwen en hoge bomen aanwezig die de invloed van de wind verlagen waardoor de opwarming minder snel gaat.

Echter:

- de grondwaterstand in kustgebieden is over het algemeen hoger. Dat betekent dat de opwarming van zandgrond (met hoger vochtgehalte) langzamer gaat. In de berekeningen is de worst case meegenomen (nl zand met hoogste diffusiviteit) waardoor de berekende opwarming sneller is dan bij hoge grondwaterstand verwacht zal worden.
- in de stad is er meer effect van het vasthouden van warmte: UHI. Dit zorgt dan voor een grotere opwarming op sommige plaatsen.

Omdat z_0 een grotere invloed heeft op de uiteindelijke bodemtemperatuur dan de luchttemperatuur is ervoor gekozen om voor de scenariostudies het onderscheid in een locatie in landelijke of stedelijke omgeving vast te leggen in de keuze van z_0 en niet in verschillende weergegevens. Tevens is in stedelijke omgeving een verhoogde luchttemperatuur mogelijk door het optreden van UHI (paragraaf 5.2.2). De scenario's met betrekking tot de locatie in plattelands- of stedelijke omgeving worden daarom:

- a) landelijk gebied heeft een z_0 van 0,01 m.
- b) stedelijk gebied heeft een z_0 van 0,15 m.

De keuze van deze waarden voor z_0 zijn gebaseerd op de vergelijking van voorspellingen door het bodemtemperatuurmodel met metingen in Eindhoven ($z_0 = 0,15$ m) en Zandvoort ($z_0 = 0,01$ m) (Blokker en Pieterse-Quirijns, 2010).

Daarnaast wordt in het scenario voor stedelijk gebied het effect van UHI op de opwarming van de bodem meegenomen. Echter er is niet veel bekend over de temperatuurstijging in Nederland, over het dynamisch gedrag van UHI over de dag en per seizoen. Op basis van gepubliceerde data zou een gemiddelde UHI van 5°C kunnen worden genomen. Echter dit heeft een enorme sterke opwarming van de bodem tot gevolg, omdat de dynamiek over dagen en seizoenen niet is meegenomen. Daarom is besloten om het UHI te vertalen in een vaste temperatuurstijging van 1°C. In werkelijkheid kan dus een grotere invloed van UHI verwacht worden, dan meegenomen in de scenariostudies.

weer/klimaat: toekomstscenario's

Zoals al eerder beschreven zijn voor de scenario's weergegevens gebruikt van een warme zomer: het jaar 2006. In het Nederlandse leidingnet liggen de buizen/leidingen vaak voor 80-100 jaar in de grond. Daarom worden scenario's met verschillende horizons doorgerekend: 2050 (voor huidige) en 2100 (voor nieuwe leidingen). Twee uiterste scenario's zijn doorgerekend: G en W+.

KNMI heeft een 'data transformatietool': over een gewenste horizon, bijvoorbeeld van 50 of 100 jaar kan de invloed van de klimaatscenario op de temperatuur berekend worden. De weergegevens van een stad dienen hiervoor als invoer. De weergegevens van Schiphol in 2003 zijn hiervoor gebruikt, dat ook overeenkomt met een warm jaar. De transformatietool heeft de weergegevens behorende bij de gewenste horizon en gewenste scenario als uitvoer. De weergegevens van de toekomst worden dan gebruikt om het bodemtemperatuurmodel door te rekenen voor een zandbodem in landelijk en stedelijk gebied. Om mogelijke maatregelen te onderzoeken is het extreemste scenario (W+ in het jaar 2100) doorgerekend voor verschillende grondsoorten en type afdekking.

5.4 Uitkomsten/Resultaten scenario's opwarming

Voor elk scenario wordt op elke gewenste diepte (0,50-2,00 m) de temperatuur van de bodem berekend met het bodemtemperatuurmodel. Voor elk scenario worden dan figuren verkregen zoals weergegeven in Figuur 5-4. Vervolgens wordt het criterium voor elke diepte berekend, door te kijken hoeveel dagen de temperatuur boven de 25°C komt op die diepte. In deze paragraaf worden de resultaten van de scenariostudies beschreven, eerst met weergegevens van het jaar 2006 op het weerstation van Schiphol, vervolgens met de weergegevens in 2050 en 2100.

5.4.1 Scenariostudies voor 2006

Voor het jaar 2006, zijn in Tabel 5-3 de resultaten van de scenario's voor opwarming weergegeven voor landelijk gebied en in Tabel 5-4 voor stedelijk gebied. Uit de tabellen blijkt dat in 2006 een overschrijding van de wettelijke norm van 25 °C heeft plaatsgevonden van het drinkwater. Voor de landelijke omgeving heeft de bodemtemperatuur op 1 meter waar de leidingen liggen, de temperatuur van 25°C op 16 dagen overschreden. In stedelijk gebied met de minimale UHI is dit aantal 11 dagen. Een groter aantal overschrijdingen kan in werkelijkheid verwacht worden omdat de UHI hoger zal zijn dan 1°C. Dit komt overeen met gemeten resultaten. In Eindhoven kwam in 2006 de temperatuur in zandbodems 7 dagen boven 25°C uit. Tevens blijkt uit de tabel dat een kleinere diepteligging leidt tot een enorme toename van de overschrijding van de 25 °C norm. In Tabel 5-5 is deze toename als percentage

weergegeven: voor bijvoorbeeld landelijk gebied een toename van 75% voor 0,75 m en 150% voor 0,50 m. Een diepere ligging voorkomt overmatige opwarming van het drinkwater.

De tabellen laten zien dat de aanwezigheid van vegetatie leidt tot minder sterke opwarming, zoals is beschreven in de voorgaande paragrafen. Daarnaast heeft een andere grondsoort, zoals klei of veen, minder opwarming van de bodem tot gevolg.

Tabel 5-3 Het berekende aantal dagen dat de temperatuur **in 2006** boven 25 °C komt op verschillende dieptes, bij drie grondsoorten en twee type bedekking (verhard of vegetatie) in **LANDELIJKE omgeving**.

Diepteligging	aantal dagen dat de temperatuur boven 25°C komt					
	zand		klei		veen	
	verhard	vegetatie	verhard	vegetatie	verhard	vegetatie
[m]						
0,50	40	11	21	0	0	0
0,75	28	0	5	0	0	0
1,00	16	0	0	0	0	0
1,25	11	0	0	0	0	0
1,50	0	0	0	0	0	0
1,75	0	0	0	0	0	0
2,00	0	0	0	0	0	0

Tabel 5-4 Het berekende aantal dagen dat de temperatuur **in 2006** boven 25 °C komt op verschillende dieptes, bij drie grondsoorten, twee type bedekking (verhard of vegetatie) en met UHI in **STEDELIJKE omgeving**.

Diepteligging	aantal dagen dat de temperatuur boven 25°C komt								UHI (zand/ verhard)
	zand		klei		veen				
	verhard	vegetatie	verhard	vegetatie	verhard	vegetatie			
[m]									
0,50	24	0	9	0	0	0	0	35	
0,75	13	0	0	0	0	0	0	17	
1,00	1	0	0	0	0	0	0	11	
1,25	0	0	0	0	0	0	0	0	
1,50	0	0	0	0	0	0	0	0	
1,75	0	0	0	0	0	0	0	0	
2,00	0	0	0	0	0	0	0	0	

5.4.2 Scenariostudies voor de toekomst

De opwarming die in de toekomst verwacht kan worden van de bodem en daardoor van het drinkwater is voor landelijk gebied weergegeven in Tabel 5-6 en voor stedelijk gebied in Tabel 5-8. De relatieve veranderingen ten opzichte van de normdiepteligging zijn weergegeven in respectievelijk Tabel 5-7 en

Tabel 5-9. De klimaatscenario's zijn berekend met de weergegevens van 2003 als invoer. Dit kan leiden tot een ander aantal berekende overschrijdingen bij het eerste klimaatscenario in vergelijking tot 2006.

Tabel 5-5 Het berekende aantal dagen dat de temperatuur **in 2006** boven 25 °C komt op verschillende dieptes, in **landelijke en stedelijke omgeving**, uitgedrukt als procentuele verandering ten opzichte van de normdiepteligging van 1 meter.

Diepteligging	verandering van het aantal dagen dat de temperatuur boven 25°C komt ten opzichte van de normdiepteligging in [%]		
	landelijk	stedelijk	
[m]	zand / verhard	zand / verhard	UHI zand / verhard
0,50	150%	2300%	218%
0,75	75%	1200%	55%
1,00	0%	0%	0%
1,25	-31%	-100%	-100%
1,50	-100%	-100%	-100%
1,75	-100%	-100%	-100%
2,00	-100%	-100%	-100%

De uitkomsten van de toekomstscenario's laten zien dat er problemen met het drinkwater in de leidingen verwacht kunnen worden als deze op 1 meter liggen. Bij alle scenario's in zandbodem en onder verharding wordt de wettelijke norm temperatuur van 25°C voor een groot aantal dagen overschreden. Een diepere ligging van <1,50 m heeft zin voor de gematigde scenario's. Bij de W+ scenario's wordt zelfs bij 2 meter diepteligging de 25°C overschreden. In stedelijke gebieden lijkt de opwarming minder erg. Echter de invloed van UHI is niet meegenomen. Met een verwachte toename van de urban density in Nederland van 14% in 2000 tot 20% in 2040, is het aannemelijk om te verwachten dat de UHI impact steeds belangrijker wordt (Heusinkveld et al., 2010).

Uit de tabellen Tabel 5-6 en Tabel 5-8 blijkt tevens dat het aanbrengen van begroeiing bij leidingtracés een goede maatregel is om overmatige opwarming van het leidingwater te voorkomen. In zowel landelijk als stedelijk gebied is de overschrijding van 25°C voorkomen bij een diepteligging van 1,50 m. Ook een keuze voor klei of veen als grondsoort waar leidingen in liggen zal leiden tot verminderde opwarming. In veen is bij de extreemste scenario's nog geen 25°C bereikt op de huidige diepteligging van 1 meter. De toepasbaarheid van laatst genoemde maatregelen is naar verwachting nihil. Er is vaak geen keuzemogelijkheid in grondsoort. Daarnaast heeft veen eigenschappen, zoals zettinggevoeligheid, waardoor het veel minder aantrekkelijk is om in deze grondsoort leidingen te leggen.

Tabel 5-6 Het berekende aantal dagen dat de temperatuur **bij verschillende klimaatscenario's** boven 25 °C komt op verschillende dieptes, bij drie grondsoorten en twee type bedekking (verhard of vegetatie) in **LANDELIJKE omgeving**.

Diepteligging	aantal dagen dat de temperatuur boven 25°C komt								
	G 2050	W+ 2050	G 2100	W+ 2100					
[m]	zand/ verhard	zand/ verhard	zand/ verhard	zand/ verhard	zand/ vegetatie	klei/ verhard	klei/ vegetatie	veen/ verhard	veen/ vegetatie
0,50	59	88	77	119	60	105	23	48	0
0,75	33	57	43	115	37	62	4	4	0
1,00	14	45	32	109	19	43	0	0	0
1,25	8	36	18	91	13	17	0	0	0
1,50	0	21	7	77	3	0	0	0	0
1,75	0	13	0	75	0	0	0	0	0
2,00	0	0	0	66	0	0	0	0	0

Tabel 5-7 Het berekende aantal dagen dat de temperatuur **bij verschillende klimaatscenario's** boven 25 °C komt op verschillende dieptes, bij drie grondsoorten en twee type bedekking (verhard of vegetatie) in **LANDELIJKE omgeving**, uitgedrukt als procentuele verandering ten opzichte van de normdiepteligging van 1 meter.

Diepteligging	verandering van het aantal dagen dat de temperatuur boven 25°C komt ten opzichte van de normdiepteligging in [%]								
	G 2050	W+ 2050	G 2100	W+ 2100					
[m]	zand/ verhard	zand/ verhard	zand/ verhard	zand/ verhard	zand/ vegetatie	klei/ verhard	klei/ vegetatie	veen/ verhard	veen/ vegetatie
0,50	321%	96%	141%	9%	216%	144%			
0,75	136%	27%	34%	6%	95%	44%			
1,00	0%	0%	0%	0%	0%	0%			
1,25	-43%	-20%	-44%	-17%	-32%	-60%			
1,50	-100%	-53%	-78%	-29%	-84%	-100%			
1,75	-100%	-71%	-100%	-31%	-100%	-100%			
2,00	-100%	-100%	-100%	-39%	-100%	-100%			

Tabel 5-8 Het berekende aantal dagen dat de temperatuur bij verschillende klimaatscenario's boven 25 °C komt op verschillende dieptes, bij drie grondsoorten en twee type bedekking (verhard of vegetatie) in **STEDELIJKE omgeving**.

Diepteligging	aantal dagen dat de temperatuur boven 25°C komt								
	G 2050	W+ 2050	G 2100	W+ 2100					
[m]	zand/ verhard	zand/ verhard	zand/ verhard	zand/ verhard	zand/ vegetatie	klei/ verhard	klei/ vegetatie	veen/ verhard	veen/ vegetatie
0,50	22	50	30	98	27	56	9	22	0
0,75	6	33	14	78	12	43	0	0	0
1,00	1	14	6	52	6	16	0	0	0
1,25	0	8	0	47	0	0	0	0	0
1,50	0	0	0	41	0	0	0	0	0
1,75	0	0	0	26	0	0	0	0	0
2,00	0	0	0	19	0	0	0	0	0

Tabel 5-9 Het berekende aantal dagen dat de temperatuur bij verschillende klimaatscenario's boven 25 °C komt op verschillende dieptes, bij drie grondsoorten en twee type bedekking (verhard of vegetatie) in **STEDELIJKE omgeving**, uitgedrukt als procentuele verandering ten opzichte van de normdiepteligging van 1 meter.

Diepteligging	aantal dagen dat de temperatuur boven 25°C komt								
	G 2050	W+ 2050	G 2100	W+ 2100					
[m]	zand/ verhard	zand/ verhard	zand/ verhard	zand/ verhard	zand/ vegetatie	klei/ verhard	klei/ vegetatie	veen/ verhard	veen/ vegetatie
0,50	2100%	257%	400%	88%	350%	250%			
0,75	500%	136%	133%	50%	100%	169%			
1,00	0%	0%	0%	0%	0%	0%			
1,25	-100%	-43%	-100%	-10%	-100%	-100%			
1,50	-100%	-100%	-100%	-21%	-100%	-100%			
1,75	-100%	-100%	-100%	-50%	-100%	-100%			
2,00	-100%	-100%	-100%	-63%	-100%	-100%			

6 Invloedsfactor 3: Externe belasting

6.1 Inleiding

Waterleidingen liggen op een bepaalde diepte om ze te beschermen tegen externe belastingen. In dit hoofdstuk wordt gekeken hoe de externe belasting gerelateerd is aan de diepteligging afhankelijk van een aantal factoren zoals grondsoort, aanwezigheid van verkeer en het leidingmateriaal. Na een beschrijving van de achtergrond van deze invloedsfactor, worden de scenario's van deze invloedsfactor beschreven en de uitkomsten hiervan, die opgenomen kunnen worden in de matrix.

6.2 Achtergrond bij externe belasting

In de "Richtlijn Drinkwaterleidingen buiten gebouwen" worden de volgende uitwendige belastingen genoemd:

- sleufaanvulling (verticale en horizontale krachten ten gevolge van grondbelasting)
- grondzettingen, leidingzakkingen en axiale buiging
- bovenbelasting, grond, verkeer
- grondwater, uitwendige overdruk
- variabele belastingen, incidentele belastingen
- eigen gewicht van de leiding en het gewicht van het in de leiding aanwezige water
- belastingen tijdens aanleg of ten gevolge daarvan
- leidingen op lokale ondersteuning

(Meerkerk en Mesman, 2010).

In het kader van de diepteligging van leidingen is het punt "bovenbelasting, grond en verkeer" relevant, omdat deze met de diepteligging varieert. Het punt "grondwater, uitwendige overdruk" heeft ook invloed op de ondervonden belasting door een leiding op verschillende dieptes. Echter omdat de dichtheid van water (998 kg/m³) kleiner is dan de dichtheid van zand (1600-1800 kg/m³) zal de ondervonden belasting lager zijn in de aanwezigheid van grondwater.

De invloed van de diepteligging op de belasting die door een leiding ondervonden wordt, wordt onderzocht met behulp van het rekenprogramma Sigma 2010 1.0 ©. Met Sigma kan de sterkte van een leiding berekend worden, ongeacht de aanlegtechniek. Op basis van NEN 3650 en NEN 3651 berekent Sigma de optredende spanningen in de lengte en omtrekriching van een leiding in het 1^e en 2^e jaar en na 2 jaar. Hierbij kan onderscheid gemaakt worden in leidingmateriaal, grondsoort en type verkeersbelasting. Tevens kunnen de berekeningen voor verschillende processen uitgevoerd worden, zoals voor vloeistof/gas of drukloos/ontwerpdruk.

6.3 Scenario's bij externe belasting

De externe belasting die een leiding op een bepaalde diepte ondervindt is afhankelijk van de grondsoort, grondwaterstand en van het leidingmateriaal (Tabel 3-1). Omdat grondwater minder belastend is dan zand, wordt deze niet meegenomen in de scenario's. De aanwezigheid van grondwater leidt immers tot een verlaging van de ondervonden belasting. Daarnaast speelt de aan- of afwezigheid van verkeer een rol bij de ondervonden belasting. De resulterende scenario's zijn weergegeven in Tabel 6-1.

Tabel 6-1 Scenario's voor de invloedsfactor externe belasting.

leidingmateriaal	bodemtype	verkeersbelasting
Nodulair Gietijzer (NG)	zand	geen verkeer
PVC	klei	verkeer
	veen	

6.4 Uitkomsten/Resultaten scenario's externe belasting

In de matrix wordt voor de invloedsfactor externe belasting de diepteligging gerelateerd aan het criterium: de spanning in de omtrekriching in de leiding op de betreffende diepte. Voor elk scenario wordt daarom op elke gewenste diepte (0,50 - 2,00 m) de spanning in de omtrekriching berekend. In Tabel 6-2 is de resulterende omtrekspanning voor elk scenario weergegeven voor een NG leiding, in Tabel 6-3 voor een PVC leiding. De omtrekspanning na 2 jaar is voor NG en PVC ter illustratie zichtbaar in Figuur 6-1.

Tabel 6-2 De spanning in omtrekriching veroorzaakt door belasting van de bovengrond van een NG leiding op verschillende dieptes bij verschillende grondsoorten en bij variërende verkeersbelasting. Toelaatbare spanning voor NG: 168,00 N/mm².

Diepteligging [m]	optredende spanning in de omtrekriching leidingen [N/mm ²]					
	zand		klei		veen	
	verkeer	geen verkeer	verkeer	geen verkeer	verkeer	geen verkeer
1 ^e en 2 ^e jaar						
0,50	20,89	5,39	20,83	5,34	19,18	3,88
0,75	17,14	7,39	17,17	7,41	13,96	4,40
1,00	16,46	9,47	16,84	9,85	11,97	4,98
1,25	16,81	11,31	17,82	12,33	11,11	5,61
1,50	17,36	12,78	19,17	14,59	10,87	6,29
1,75	17,84	13,88	20,47	16,51	10,96	7,00
2,00	18,19	14,69	21,56	18,06	11,22	7,72
na 2 jaar						
0,50	19,89	4,40	20,32	4,82	19,11	4,30
0,75	14,89	5,13	15,27	5,51	13,78	4,71
1,00	12,85	5,86	13,19	6,20	12,10	5,11
1,25	12,08	6,58	12,38	6,88	11,01	5,51
1,50	11,89	7,31	12,15	7,57	10,50	5,92
1,75	12,00	8,04	12,22	8,26	10,28	6,32
2,00	12,27	8,77	12,45	8,95	10,23	6,73

De resultaten laten het volgende zien:

a) invloed van grondsoort

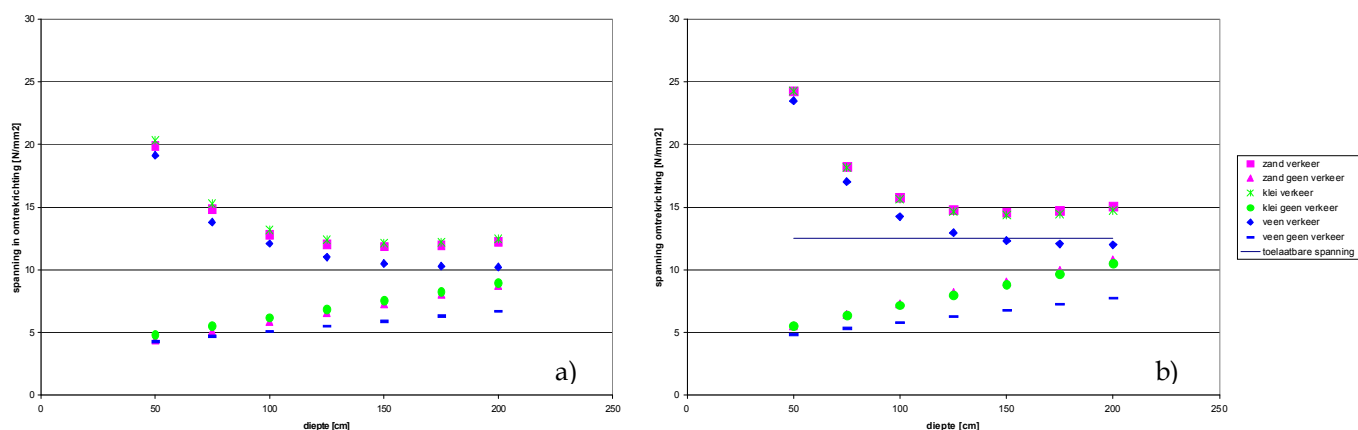
Een diepere ligging van de leidingen leidt tot een toename van de grondbelasting bij afwezigheid van verkeer. De spanning in de omtrekriching neemt immers toe met de diepteligging (Figuur 6-1). Echter de door de leiding ondervonden omtrekspanning wordt nauwelijks beïnvloed door de grondsoort: zand en klei leiden tot een vergelijkbare omtrekspanning, veen leidt tot een iets lagere omtrekspanning.

b) invloed van verkeer

Verkeersbelasting zorgt vooral bij ondiepe ligging voor grote belasting van de leidingen (Figuur 6-1). Bij een diepere ligging neemt de invloed van verkeer geleidelijk af. Omdat een diepere ligging tegelijkertijd leidt tot een toename van de belasting door de bovengrond, bereikt de totale spanning in de omtrekriching die ondervonden wordt door een leiding een nagenoeg constant niveau bij een diepere ligging.

Tabel 6-3 De spanning in omtrekricting veroorzaakt door belasting van de bovengrond van een PVC leiding op verschillende dieptes bij verschillende grondsoorten en bij variërende verkeersbelasting. Toelaatbare spanning voor PVC: 12,50 N/mm².

Diepteligging [m]	optredende spanning in de omtrekricting leidingen [N/mm ²]					
	zand		klei		veen	
	verkeer	geen verkeer	verkeer	geen verkeer	verkeer	geen verkeer
1^e en 2^e jaar						
0,50	25,57	6,85	25,45	6,73	23,56	4,87
0,75	21,09	9,31	21,12	9,34	17,27	5,51
1,00	20,22	11,78	20,77	12,33	14,67	6,23
1,25	20,49	13,86	21,89	15,26	13,65	7,01
1,50	20,98	15,45	23,36	17,83	13,38	7,85
1,75	21,38	16,60	24,72	19,94	13,49	8,71
2,00	21,65	17,42	25,82	21,59	13,81	9,58
na 2 jaar						
0,50	24,27	5,55	24,24	5,52	23,47	4,85
0,75	18,21	6,43	18,13	6,35	17,02	5,34
1,00	15,75	7,31	15,62	7,18	14,27	5,82
1,25	14,82	8,19	14,65	8,01	12,95	6,31
1,50	14,60	9,07	14,37	8,84	12,33	6,80
1,75	14,72	9,95	14,45	9,67	12,07	7,29
2,00	15,05	10,82	14,73	10,5	12,00	7,78

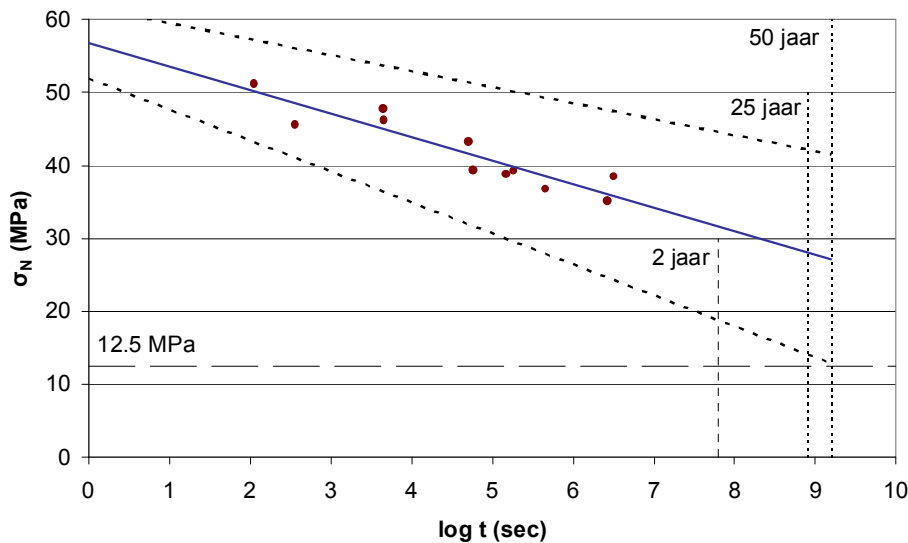


Figuur 6-1 De omtrekspanning in [N/mm²] na 2 jaar voor een NG leiding (a) en een PVC leiding (b), bij verschillende grondsoorten en verkeersbelasting. De doorgetrokken lijn in figuur b is de maximaal toelaatbare spanning voor PVC.

c) invloed van leidingmateriaal

De optredende omtrekspanning in een leiding verschilt per leidingmateriaal: de omtrekspanning als gevolg van grondbelasting en verkeer is groter voor PVC dan voor NG. Daarnaast blijkt dat de toelaatbare spanning voor NG op de verschillende dieptes nooit wordt bereikt. Voor PVC blijkt echter dat verkeersbelasting voor elke willekeurige diepte en grondsoort leidt tot een overschrijding van de toelaatbare spanning. Op plaatsen waar veel verkeer verwacht wordt is PVC dus geen geschikt leidingmateriaal. Dit komt overeen met de gang van zaken in de praktijk: op plaatsen met grote verkeersbelasting, zoals kruisingen wordt preventief gietijzer toegepast als leidingmateriaal. Een andere mogelijkheid is PVC buizen met dikkere wand of met extra mantel te gebruiken.

Tevens blijkt uit Tabel 6-3 dat gedurende de eerste twee jaar de omtrekspanning zonder verkeersbelasting ook groter kan zijn dan de toelaatbare spanning voor PVC. Bij liggingen dieper dan 1 meter is de berekende omtrekspanning groter dan 12,5 N/mm². Uit Figuur 6-2 blijkt dat dit in het algemeen geen probleem voor een PVC buis geeft. De figuur geeft de tijd aan dat een bepaalde spanning kan worden weerstaan voordat het materiaal bezwijkt ten gevolge van langzame scheurgroei. Het geeft de tijdsduur waarbij een specifieke PVC leiding bezwijkt ten gevolge van een bepaalde spanning. De onderste stippellijn geeft het 5% en de bovenste het 95% betrouwbaarheidsgrens. Een spanning van 50 MPa (=50 N/mm²) bijvoorbeeld zorgt er na 100 seconden (log t =2) voor dat het materiaal bezwijkt ten gevolge van langzame scheurgroei. Een spanning van 12,5 MPa leidt in 5% van de gevallen na 50 jaar voor het bezwijken van het materiaal. Het dient opgemerkt te worden dat deze figuur geldt voor één specifieke PVC leiding. Een andere PVC leiding kan leiden tot een ander figuur.



Figuur 6-2 De weerstand tegen langzame scheurgroei van een specifieke PVC buis als functie van de tijd.

De relatieve verandering van de ondervonden belasting na 2 jaar ten opzichte van de normdiepteligging, is onafhankelijk van de grondsoort en het leidingmateriaal en is weergegeven in Tabel 6-4 onder variërende verkeersbelasting. Uit de tabel blijkt dat een minder diepe ligging van bijvoorbeeld 0,50 m leidt tot 50% toename van de belasting wanneer verkeer aanwezig is en tot een afname van 24% in de afwezigheid van verkeer. Een diepere ligging leidt tot minder invloed van het verkeer. Een ligging van 1,50 m leidt tot een afname van de belasting van grond en verkeer van 7%. Wanneer geen verkeer aanwezig is neemt de belasting door de bovengrond toe met 24%.

Tabel 6-4 De omtrekspanning in een NG en PVC leiding na 2 jaar, uitgedrukt als procentuele verandering ten opzichte van de normdiepteligging van 1 meter.

Diepteligging [m]	verandering van optredende spanning in de omtrekriching ten opzichte van de normdiepteligging [%]	
	verkeer	geen verkeer
0,50	54%	-24%
0,75	16%	-12%
1,00	0%	0%
1,25	-6%	12%
1,50	-7%	24%
1,75	-7%	36%
2,00	-4%	48%

7 Invloedsfactor 4: Beschadiging door graafwerkzaamheden

7.1 Inleiding

Uit de internationale statistiek blijkt dat 50% van alle ongevallen en incidenten met buisleidingen wordt veroorzaakt door (graaf)werkzaamheden door derden (Raad voor de transportveiligheid, 2005). Door de diepteligging van leidingen hoeven oppervlakkige (graaf)werkzaamheden niet direct tot beschadigingen te leiden. De verwachting is dat hoe dieper een leiding ligt hoe kleiner de kans is dat er schade optreedt als gevolg van activiteiten door derden. In dit hoofdstuk wordt de diepteligging gerelateerd aan de kans op beschadiging door graafwerkzaamheden. Na een beschrijving van de achtergrond van deze invloedsfactor, worden de scenario's van deze invloedsfactor beschreven en de uitkomsten hiervan, die opgenomen kunnen worden in de matrix.

7.2 Achtergrond bij beschadiging door graafwerkzaamheden

Een belangrijke veiligheidsmaatregel voor het voorkomen van buisleidingongevallen en -incidenten door (graaf)werkzaamheden is het beschikbaar hebben van betrouwbare informatie over de ligging van leidingen ter plaatse van de (graaf)werkzaamheden. Sinds 1 juli 2008 geldt in Nederland de Wet Informatie-uitwisseling ondergrondse netten (WION; ook wel grondroerdersregeling genoemd), die hierbij een belangrijke functie vervult. De WION is een wettelijke regeling die informatie-uitwisseling tussen netbeheerders en gravers (grondroerders) verplicht stelt. De WION heeft twee doelen, namelijk:

- 1) het voorkomen van leveringsonderbrekingen van nutsvoorzieningen (gas, elektra, water en telecommunicatie)
- 2) het tegengaan van gevaarlijke situaties als gevolg van graafschade (explosiegevaar, enz.).

Het terugbrengen van het aantal schades bij graafwerkzaamheden wordt bereikt door een betere informatie-uitwisseling, betere tekeningen en zorgvuldiger graven en opdrachtgeverschap. De WION is de opvolger van het voormalige KLIC-systeem (Kabel en Leidingen Informatie Centrum) (www.gpkl.nl; www.rijksoverheid.nl; Raad voor de transportveiligheid, 2005). Door de verplichting van bedrijven om deel te nemen aan de WION en zo gegevens uit te wisselen in de WION, wordt verwacht dat in de toekomst minder schade door graafwerkzaamheden zal optreden. Het RIVM heeft geschat dat een wettelijke grondroerdersregeling het aantal leidingbreuken met een factor 2,5 kan reduceren (Laheij et al., 2008). Op dit moment verlangt het WION in het kader van de informatie-uitwisseling geen z-coördinaten van de nutsbedrijven.

In de ondergrond liggen een groot aantal verschillende type netwerken. Een overzicht van de netwerken en hun omvang in Nederland is gegeven in Penninga en van Oosterom (2006). De diepteligging voor elk type netwerk is verschillend, zoals weergegeven in Tabel 7-1 (naar de regels werken in openbare ruimte (WIOR) van de gemeente Amsterdam). Met de schade veroorzaakt door graafwerkzaamheden voor elk type netwerk kan de schade door graafwerkzaamheden gerelateerd worden aan de diepteligging. In Tabel 7-1 is het percentage van de storingsen veroorzaakt door graafwerkzaamheden opgenomen en de bijbehorende bron. Uit de resulterende percentages blijkt dat er geen verband afgeleid kan worden tussen diepteligging en schade door graafwerkzaamheden op basis van storingsregistratie van verschillende type netwerken. De reden hiervoor kan zijn dat bij schade door graafwerkzaamheden zo grof te werk is gegaan dat alle leidingen graafschade vertonen. Ook in Rosenberg et al. (2007) worden voor de verschillende netwerken vergelijkbare storingskansen gegeven. Alleen rioolleidingen hebben in dat rapport een kleinere kans op schade.

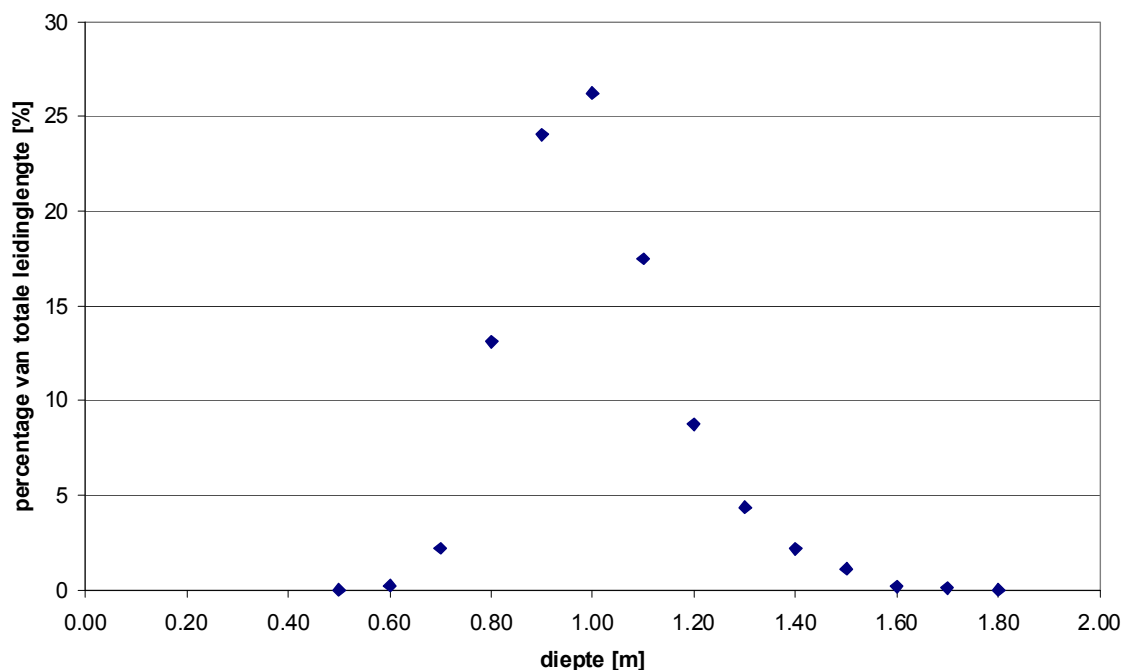
Tabel 7-1 Diepteligging van type netwerken (WIOR, 2009) en het percentage van storingen veroorzaakt door derden (graafwerkzaamheden).

type kabel/leiding	diepteligging [m]			percentage storingen veroorzaakt door derden	bron
	transport	distributie	huisaansluiting		
telecommunicatie	0,60	0,50-0,60	0,50	30%	*
electra	1,0-1,2	0,60-0,70	0,50	30%	15 jaar registratie*
gas	0,80	0,65	0,50	30%	7-8 jaar registratie*
riool/afvoer afvalwater	0,80	0,80	0,34	?	Waternet heeft geen informatie, omdat storingsregistratie geen uitsluitel hierover geeft
water	1,0	0,8		25-30%	UStore DPW bedrijven

* persoonlijke communicatie Ton van Wingerden (2011).

beschadiging door graafwerkzaamheden bij waterbedrijven: UStore

In de storingsregistratie van de waterbedrijven UStore kunnen storingen geselecteerd worden naar oorzaak en diepteligging. Zo kan voor elke dieptecategorie in kaart gebracht worden hoeveel van de geregistreerde storingen veroorzaakt worden door graafwerkzaamheden door derden. In elke dieptecategorie ligt echter niet evenveel km leiding. In Figuur 7-1 is een inschatting van de verdeling van de leidingen over de diepteligging in een voorzieningsgebied gegeven. De meeste schades door derden zullen bij een diepteligging van 1 meter plaatsvinden, omdat de meeste leidingen op deze diepte liggen. Om een idee te krijgen van de schade door derden als functie van de diepteligging, moet rekening gehouden worden met het aandeel van de diepteligging in het totaal voorzieningsgebied. De resultaten hiervan staan beschreven in paragraaf 7.4.



Figuur 7-1 Geschatte verdeling van leidinglengte als functie van de diepteligging voor Dunea in percentage van de totale leidinglengte.

beschadiging door graafwerkzaamheden bij aardgastransportleidingen

Voor gasleidingen is door Gasunie Research een verband afgeleid tussen de schade door graafwerkzaamheden uitgedrukt als raakfrequentie per km leiding per jaar en de diepteligging (Jager et al., 2002; Laheij et al., 2008). Op basis van storingsdata in de periode 1975 tot 2001 is er een duidelijk verband gevonden tussen de diepteligging van een leiding en de kans op schade door graafwerkzaamheden. In Figuur 7-2 is dit verband weergegeven. Uit de figuur blijkt dat een grotere diepteligging een kleinere kans geeft op het raken van een leiding bij graafwerkzaamheden. De kans op raken is ongeveer een factor 10 lager per meter extra dekking.

Door incidentrapportages te evalueren en de diepteligging van het leidingnet te categoriseren heeft de Gasunie de kans op raken van een leiding als functie van de diepteligging afgeleid:

$$f(d) = e^{-2,4 \cdot d - 3,5}$$

waarin:

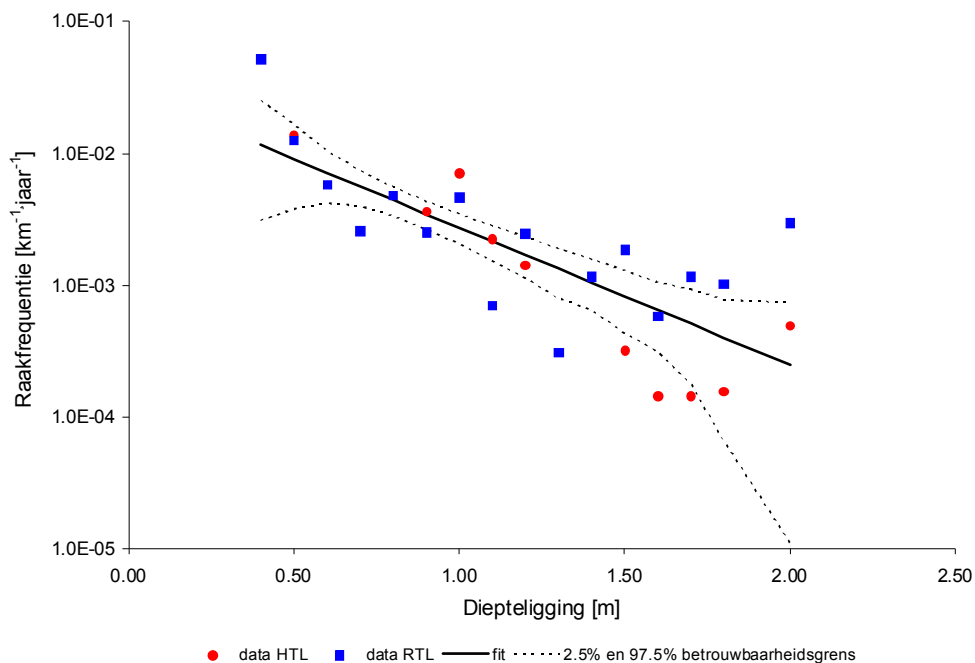
$f(d)$ = raakfrequentie [$\text{km}^{-1} \cdot \text{jaar}^{-1}$]

d = diepteligging of dekking in [m]

Deze relatie is geldig voor leidingen met een diepteligging tussen 0,4 en 2 meter.

De vraag is of deze relatie 1 op 1 mag worden overgenomen voor waterleidingen. Door het risico dat gepaard gaat met aardgasleidingen is de registratie van gasleidingen veel beter. Ze zijn beter opgenomen in bestemmingsplannen en systemen van gemeentes. Daarnaast heeft de Gasunie bewaking, helikopterbewaking, tracébeheerders, paaltjes etc.

De waarneming dat de kans op graafschade kleiner is bij een diepere ligging zal onafhankelijk zijn van het type leiding. De relatieve verandering ten opzichte van de normdiepteligging wordt daarom gebaseerd op de raakfrequentie per diepte voor een aardgasleiding en is een indicatie voor de kans op graafschade in waterleidingen op een bepaalde diepte ten opzichte van een ligging op 1 meter.



Figuur 7-2 De storingsfrequentie door derden ($[\text{km}^{-1} \cdot \text{jaar}^{-1}]$) als functie van de diepteligging voor gasleidingen, (HTL = Hoofd Transport Leiding (ontwerpdruk groter dan 4 MPa); RTL = Regionale Transport Leiding (ontwerpdruk kleiner dan 4 MPa)) (Jager et al., 2002; Laheij et al., 2008).

7.3 Scenario's bij beschadiging door graafwerkzaamheden

De verwachting is dat de frequentie van beschadiging door graafwerkzaamheden groter is in stedelijk gebied dan in landelijk gebied, omdat de drukte in de ondergrond groter is. Dit is ook weergegeven in Tabel 3-1. In UStore wordt echter geen onderscheid gemaakt in stedelijk/landelijk gebied bij de registratie van storingen. Daarom wordt bij de scenario's voor de invloedsfactor beschadiging door graafwerkzaamheden als functie van de diepteligging geen onderscheid gemaakt in landelijk en stedelijk gebied.

7.4 Uitkomsten/Resultaten bij beschadiging door graafwerkzaamheden

De invloedsfactor beschadiging door graafwerkzaamheden bij verschillende diepteligging van de leidingen wordt op twee manieren onderzocht: met gegevens uit UStore en met de relatie gevonden voor gasunieleidingen.

7.4.1 Beschadiging door graafwerkzaamheden bij verschillende dieptes met UStore gegevens

Van 2009 en drie kwartalen in 2010 zijn storingsgegevens beschikbaar in UStore voor 5 waterbedrijven, namelijk PWN, Dunea, WBG, WMD en WML. Gemiddeld bedraagt de schade door graafwerkzaamheden 17%. Wanneer gekeken wordt naar de schade door graafwerkzaamheden van de afzonderlijke bedrijven blijkt dat schade door derden 25-30% bedraagt, met uitzondering van WML (9%) en WMD (6%). Een mogelijke verklaring hiervoor is dat er bij de DPW-bedrijven een groter aantal VINEX locaties en meer stedelijk gebied aanwezig is. Waternet leidt vanuit de schadecijfers van 2010 een schade door derden af van ongeveer 35%.

Voor de analyse van de storingsgegevens met betrekking tot de beschadiging door graafwerkzaamheden bij verschillende dieptes worden alleen de gegevens van PWN en Dunea gebruikt, omdat zij deel uit maken van dit project. In UStore zijn vier diepteligging categorieën aanwezig: kleiner dan 1 meter, tussen 1 en 1,25 meter, tussen 1,25 en 1,5 meter en dieper dan 1,5 meter. De invulling van de diepteligging van een beschadigde leiding in UStore wordt door de monteur uitgevoerd en is een schatting van de diepteligging. De exacte diepteligging wordt namelijk niet gemeten. In Tabel 7-2 zijn de geregistreerde storingen voor PWN en Dunea samen weergegeven voor de periode 2009 en drie kwartalen in 2010. In deze tabel is tevens de verdeling van de leidinglengte per dieptecategorie weergegeven. Uit de tabel blijkt dat de meeste storingen, namelijk 61,4% plaatsvinden bij 1,0-1,25 meter. In deze categorie liggen ook de meeste leidingen (ongeveer 68%). Van de geregistreerde storingen door derden (333) vinden 205 schades door derden plaats bij 1,0-1,25 meter. Dit is 61,6% van de schades door derden. In deze dieptecategorie vinden 516 spontane storingen plaats, dat overeenkomt met 61,4% van de spontane storingen. Wanneer gekeken wordt naar de percentages van de schade door derden en de spontane storingen, kan afgeleid worden dat bij ondiepere ligging (< 1,00 m) de kans op schade door derden groter is (20,4% ten opzichte van 9,9%). Dit blijkt ook uit het hogere percentage van storingen door derden ten opzichte van het totaal aantal storingen, namelijk 45%, in deze dieptecategorie. Binnen de nauwkeurigheid van de invulling van de diepte in UStore kan geconcludeerd worden dat bij ondiepere ligging van leidingen de kans op schade door derden aanzienlijk hoger is. Of de kans op schade door graafwerkzaamheden afneemt bij een diepere ligging kan binnen de nauwkeurigheid van de UStore gegevens niet afgeleid worden.

Tabel 7-2 Aantal storingen door graafwerkzaamheden bij verschillende dieptecategorieën geregistreerd in UStore voor PWN en Dunea (2009 en drie kwartalen in 2010), vergeleken met de leidinglengte, het totaal aantal storingen en het aantal spontane storingen per dieptecategorie.

Diepteligging: categorie in UStore	verdeling leiding- lengte per diepte	totaal aantal storingen		aantal storingen door derden		aantal spontane storingen		storingen door derden / totaal aantal storingen
		[m]	[%]	[m]	[%]	[m]	[%]	
< 1,00	15,54%	151	12,9%	68	20,4%	83	9,9%	45%
1,00-1,25	67,76%	721	61,4%	205	61,6%	516	61,4%	28%
1,25-1,50	15,30%	215	18,3%	37	11,1%	178	21,2%	17%
> 1,50	1,40%	87	7,4%	23	6,9%	64	7,6%	26%
totaal	100%	1174	100%	333	100%	841	100%	

7.4.2 Beschadiging door graafwerkzaamheden bij verschillende dieptes gebaseerd op het verband gevonden voor gasleidingen

De resultaten verkregen voor gasleidingen zijn als indicatie gebruikt voor de schade door graafwerkzaamheden aan waterleidingen bij verschillende diepteliggingen. De gevonden relatie tussen raakfrequentie en diepteligging is gebruikt om op de gewenste diepten de raakfrequentie te berekenen, zoals weergegeven in Tabel 7-3. De tabel laat zien dat de kans op schade door graafwerkzaamheden afneemt bij diepere ligging van de leidingen. Een toename van de diepteligging naar 1,50 m bijvoorbeeld leidt tot een reductie van 70% van de kans op schade door derden in vergelijking tot de normdiepteligging van 1 meter. Een ondiepere ligging leidt tot een enorme toename van de kans op schade door graafwerkzaamheden, zoals verwacht. Een ligging van 0,75 m leidt al tot een toename van de kans met 82%.

Tabel 7-3 Schade door graafwerkzaamheden als functie van de diepteligging met data afkomstig van gasunieleidingen.

Diepteligging [m]	schade door graafwerkzaamheden	
	[km ⁻¹ .jaar ⁻¹]	ten opzichte van normdiepteligging [%]
0,50	9,10E-03	232%
0,75	4,99E-03	82%
1,00	2,74E-03	0%
1,25	1,50E-03	-45%
1,50	8,25E-04	-70%
1,75	4,53E-04	-83%
2,00	2,49E-04	-91%

8 Invloedsfactor 5: Aanleg- en beheerkosten

8.1 Inleiding

De kosten die gemaakt worden voor het aanleggen en beheren van leidingen is afhankelijk van de diepteligging. In dit hoofdstuk worden de kosten voor de aanleg en beheer van leidingen gerelateerd aan de diepteligging. Na een beschrijving van de achtergrond van deze invloedsfactor, worden de scenario's van deze invloedsfactor beschreven en de uitkomsten hiervan, die opgenomen kunnen worden in de matrix.

8.2 Achtergrond bij aanleg- en beheerkosten

Bij de aanleg en het beheren van leidingen spelen een aantal aspecten een rol:

- graafkosten, die toenemen bij grotere diepte.
- de stand van grondwater: de aanwezigheid van grondwater leidt tot extra kosten, omdat bronbemaling en pompen voor de afvoer van water nodig kunnen zijn.
- ligging van andere kabels en leidingen. Door de aanwezigheid van andere kabels en leidingen is er minder plaats beschikbaar voor de aanleg van waterleidingen. De ondergrondse infrastructuur zorgt er tevens voor dat de waterleidingen moeilijker bereikt kunnen worden. De slechte bereikbaarheid zal met name beheerkosten, zoals kosten voor een reparatie, bijzonder hoog maken. Bij aanleg speelt deze factor een kleinere rol, omdat een nieuwe leiding zal worden gelegd waar de toegankelijkheid niet belemmerd wordt door aanwezige kabels. In stedelijke omgeving wordt echter ook de aanleg steeds moeilijker. Vaak moet worden ingegrepen in zeer onoverzichtelijke en moeilijk bereikbare situaties met kabels en leidingen. Nieuwe aftakkingen zitten immers vaak in een al bestaande structuur.
- veiligheid/ ARBO: hoe dieper een leiding ligt, hoe meer veiligheidsaspecten een rol gaan spelen, zoals het aanbrengen van bekisting. Bij een diepteligging van 2 meter of dieper moet sleufbekisting aangebracht worden. In veel bestekken zijn de extra kosten voor bekisting opgenomen.

Het is moeilijk om kosten te achterhalen die gemaakt worden door een waterleidingbedrijf bij het aanleggen, repareren en saneren en verwijderen van een oude leiding als functie van de diepteligging en de aanwezigheid van grondwater. PWN heeft standaardkosten, waar een extra k-factor wordt berekend wanneer afgeweken wordt van de standaard. Dunea heeft een bestek met graafprijzen per meter, waar onderscheid gemaakt wordt in verschillende factoren, oa breedte van de sleuf en diepte.

Op basis van de beschikbare gegevens is besloten om bij de invloedsfactor aanleg- en beheerkosten te kijken naar de relatieve verandering van de graafkosten als functie van de diepte. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat de graafprijs slechts een gedeelte van de totale kosten bedraagt. De relatieve verandering in de graafkosten wil dus niet zeggen dat de totale kosten een even grote relatieve verandering hebben.

Voor het verband tussen graafkosten (graven en aanvullen sleuf) is gebruik gemaakt van de tarieven zoals deze in de RAW-systematiek bij Dunea worden toegepast. RAW staat voor Rationalisatie en Automatisering grond-, water- en wegenbouw. De systematiek wordt toegepast voor het samenstellen van bouwcontracten in de grond-, water- en wegenbouw (www.crow.nl). In deze systematiek worden vier verschillende zones onderscheiden, waarbij zone 1 staat voor een puur landelijke omgeving en zone 4 voor een puur stedelijk gebied. De andere zones zitten tussen puur landelijk en puur stedelijk in. De RAW-systematiek geeft de graafkosten per meter sleuflengte voor verschillende dieptes in elke zone. In dit zoneringsstelsel zitten geen bijzondere kosten, zoals kosten voor situaties met veel grondwater, die extra werkzaamheden noodzakelijk maken, bijvoorbeeld drainage en bronbemaling van de sleuf. In de RAW-systematiek zijn hiervoor aparte tarieven opgenomen, die bestaan uit kosten voor het aanbrengen, toepassen, instandhouden en verwijderen, deels per meter sleuflengte en deels per

tijdseenheid. Voor deze tarieven bestaat er geen differentiatie naar diepteligging. Met andere woorden, bij de toepassing van speciale maatregelen tegen toestromend grondwater in de sleuf maakt het niet uit om welke diepteligging het gaat. Voor een sleufdiepte van 0,60 m zijn de kosten evenveel als voor een diepte van 1,20 m. Natuurlijk is de kans op grondwater bij een grotere sleufdiepte wel groter. Omdat de tarieven voor bijzondere kosten bij grondwater kunnen verschillen per situatie en bovendien afhankelijk zijn van de tijdsduur van toepassing van maatregelen is het moeilijk om deze goed te verwerken in een scenario. Als vuistregel wordt €20,- per meter aangehouden voor het aanbrengen van bronbemaling (Ruijg, 2010).

8.3 Scenario's bij aanleg- en beheerkosten

Als indicatie van de aanleg- en beheerkosten worden, zoals in de vorige paragraaf beschreven, de graafkosten genomen op verschillende dieptes. De graafkosten zijn afhankelijk van de ligging in stedelijk of landelijk gebied en de aanwezigheid van grondwater, zoals ook weergegeven in Tabel 3-1. De bijbehorende scenariostudies zijn weergegeven in Tabel 8-1.

Tabel 8-1 Scenario's voor de invloedsfactor aanleg- en beheerkosten.

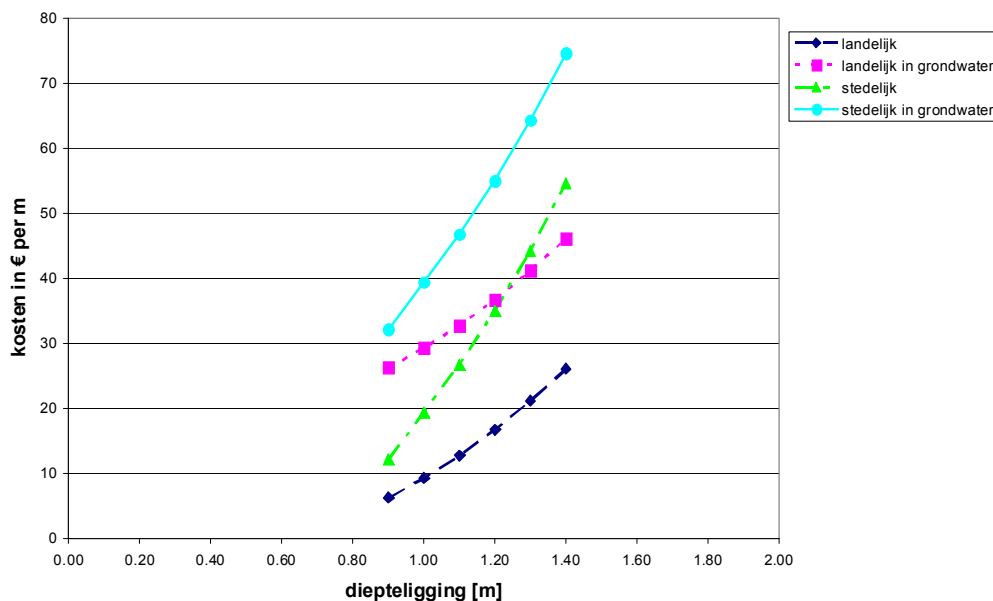
kosten	stad/platteland	grondwater
graafkosten	dorp: geen drukke ondergrond	leiding niet in grondwater
	stad: drukke ondergrondse infrastructuur	leiding in grondwater

8.4 Uitkomsten/Resultaten scenario's aanleg- en beheerkosten

Voor elke situatie beschreven in de scenario's worden de graafkosten berekend op elke gewenste diepte (0,50-2,00 m), dat het criterium is voor de invloedfactor aanleg- en beheerkosten. In Tabel 8-2 zijn de graafkosten weergegeven in landelijk en stedelijk gebied. Voor de aanwezigheid van grondwater wordt €20,- per meter aangehouden voor extra kosten, zoals bronbemaling. Er zijn alleen gegevens beschikbaar bij een diepteligging van 0,90 tot 1,40 m. In Figuur 8-1 zijn de kosten ter illustratie weergegeven. De figuur laat zien dat de kosten exponentieel toenemen met de diepte.

Tabel 8-2 De graafkosten als indicatie voor de aanleg- en beheerkosten in € per meter sleuflengte op verschillende dieptes in landelijk en stedelijk gebied in aan- en afwezigheid van grondwater.

Diepteligging	graafkosten in € per m sleuf			
	landelijk gebied		stedelijk gebied	
	geen grondwater	grondwater	geen grondwater	grondwater
[m]				
0,60	geen tarief beschikbaar		geen tarief beschikbaar	
0,70	geen tarief beschikbaar		geen tarief beschikbaar	
0,80	geen tarief beschikbaar		geen tarief beschikbaar	
0,90	6,32	26,32	12,17	32,17
1,00	9,35	29,35	19,50	39,50
1,10	12,83	32,83	26,83	46,83
1,20	16,81	36,81	35,12	55,12
1,30	21,26	41,26	44,40	64,40
1,40	26,15	46,15	54,65	74,65
1,50	geen tarief beschikbaar		geen tarief beschikbaar	
1,60	geen tarief beschikbaar		geen tarief beschikbaar	
1,70	geen tarief beschikbaar		geen tarief beschikbaar	



Figuur 8-1 Grafische weergave van de graafkosten als indicatie voor de aanleg- en beheerkosten in € per meter sleuflengte op verschillende dieptes in landelijk en stedelijk gebied in aan- en afwezigheid van grondwater.

Uit Tabel 8-2 blijkt dat de kosten in stedelijk gebied ongeveer twee keer zo hoog liggen als in landelijk gebied. Bovendien blijkt dat het effect van grondwater op de graafkosten relatief het grootst is bij kleinere diepten. Het grootste effect in de graafkosten wordt verkregen als bijvoorbeeld ter voorkoming van opwarming een grotere diepteligging wordt gekozen dan de huidige, waarbij de leidingen in het grondwater komen te liggen. In landelijk gebied kunnen de graafkosten dan toenemen van €9,35 op 1 meter naar €41,26 op 1,30 meter, als daarbij de leiding in grondwater terecht komt. Dit is een toename van de kosten met een factor 4.

Hierbij moet opgemerkt worden dat de kosten voor bronbemaling per diepte misschien wel gelijk is, maar dat bij grotere diepten extra kosten verwacht kunnen worden, bijvoorbeeld voor de afvoer van het water. Bij kleinere diepten is het wellicht mogelijk om het grondwater met een kleiner pompje weg te pompen en is bronbemaling niet nodig.

De relatieve toename van de graafkosten op elke gewenste diepteligging ten opzichte van de normdiepteligging is weergegeven in Tabel 8-3 voor landelijk en stedelijk, in aan- en afwezigheid van grondwater. Uit de tabel blijkt dat ondanks de dubbele kosten in stedelijk gebied, dat de relatieve verandering voor landelijk en stedelijk gebied hetzelfde is: een diepere ligging van 1,50 m leidt tot een toename van de graafkosten van 180% ten opzichte van 1 meter. Wanneer de leidingen in grondwater liggen is de relatieve verandering in stedelijk gebied het grootst.

In de tabel is tevens weergegeven wat de toename van de graafkosten is wanneer de leiding bij een wijziging van de diepte in grondwater komt te liggen. Als een leiding bij de normdiepteligging van 1 meter niet in grondwater ligt en bij wijziging van de diepteligging naar 1,50 m wel in grondwater terecht komt, dan leidt dit in plattelandsomgeving tot een toename van de kosten met 394% en in stedelijke omgeving tot een toename van 283%. Als door de diepere ligging nog extra maatregelen nodig zijn, zoals bijvoorbeeld het aanbrengen van bekisting, dan zal de toename van de kosten nog groter zijn.

Tabel 8-3 De graafkosten als indicatie voor de aanleg- en beheerkosten op verschillende dieptes in landelijk en stedelijk gebied in aan- en afwezigheid van grondwater, uitgedrukt als procentuele verandering ten opzichte van de normdiepteligging van 1 meter.

Diepte- ligging [m]	graafkosten ten opzichte van de normdiepteligging in [%]					
	landelijk gebied			stedelijk gebied		
	geen grondwater	grondwater	bij wijziging diepte komt de leiding in grondwater	geen grondwater	grondwater	bij wijziging diepte komt de leiding in grondwater
0,50	< -32%	< -10%		< -38%	< -19%	
0,75	-32%	-10%		-38%	-19%	
1,00	0%	0%		0%	0%	
1,25	104%	33%	317%	104%	51%	206%
1,50	180%	57%	394%	180%	89%	283%
1,75	>180%	> 57%	>394%	>180%	> 89%	>283%
2,00	>180%	> 57%	>394%	>180%	> 89%	>283%

9 Matrix voor vaststellen optimale diepteligging

9.1 Inleiding

In de voorgaande hoofdstukken zijn vijf invloedsfactoren geanalyseerd als functie van de diepteligging. Met behulp van verschillende scenario's zijn de invloedsfactoren vorstindringing, opwarming, externe belasting, schade door graafwerkzaamheden en aanleg- en beheerkosten voor verschillende dieptes in kaart gebracht. In dit hoofdstuk worden de invloedsfactoren gebundeld in één matrix, zodat een afweging kan plaatsvinden van de factoren bij een wijziging van de diepteligging. Om de afweging mogelijk te maken worden de bijbehorende criteria bij elke diepte als procentuele verandering ten opzichte van de normdiepteligging in de matrix weergegeven. De procentuele verandering ten opzichte van de normdiepteligging van 1 meter wordt berekend met de volgende vergelijking:

$$f = \frac{\text{criterium}_{\text{diepte } x} - \text{criterium}_{\text{norm}}}{\text{criterium}_{\text{norm}}} \cdot 100\%$$

Omdat elke invloedsfactor nu op eenzelfde wijze wordt uitgedrukt, kunnen ze met elkaar vergeleken worden. In de matrix zijn niet alle resultaten van de scenariostudies opgenomen, maar een selectie van de meest voorkomende of de meest interessante uitkomsten. Wanneer informatie over een specifieke situatie gewenst is of over de absolute waarde van het criterium wordt verwezen naar de hoofdstukken behorend bij de betreffende invloedsfactor.

In Tabel 9-1 is de matrix weergegeven. Met behulp van deze matrix kunnen de veranderingen in invloedsfactoren bij een wijziging van de diepteligging met elkaar vergeleken worden. Bij de invloedsfactor opwarming is in de toekomstscenario's de landelijke resultaten gegeven, omdat voor de stedelijke gebieden de invloed van UHI niet is meegenomen. De bijdrage van UHI in de toekomst is namelijk niet duidelijk. Verwacht wordt dat deze veel sterker is dan nu. Het zal dus een grote invloed hebben op de opwarming van het water.

De matrix kan alleen in verticale richting gelezen worden. Zo kan voor de invloedsfactor opwarming voor een landelijk gebied met de leiding in zandgrond en een harde bedekking afgelezen worden dat het aantal dagen dat de drinkwater temperatuur de 25°C norm overschrijdt met 31% afneemt als de leidingen op 1,25 meter worden gelegd onder dezelfde omstandigheden: namelijk 11 dagen tegenover 16 dagen op 1 meter (Tabel 5-3). Bij het toekomstscenario van W+2100, neemt het aantal dagen dat de norm wordt overschreden met 17% af als de leidingen op 1,25 meter gelegd worden ten opzichte van de norm diepteligging van 1 meter: namelijk 91 dagen tegenover 109 dagen op 1 meter (Tabel 5-6). Het betekent dus **niet** dat er bij het toekomstscenario van W+2100 een kleinere overschrijding is van de norm vergeleken met 2006 (horizontale vergelijking). De invloed van het aanbrengen van vegetatie kan niet uit de matrix gehaald worden. De matrix geeft alleen aan dat bij een leiding in zandgrond en met vegetatie als bedekking het aantal overschrijdingen afneemt met 32% als de leidingen op 1,25 meter worden gelegd in plaats van op 1 meter. Als een horizontale vergelijking gemaakt moet worden: "wat is de invloed als een leiding op 1,25 meter in zandgrond onder verharding ligt en in plaats van verharding vegetatie wordt aangebracht?" dan is deze informatie aanwezig in het hoofdstuk over opwarming. Tabel 5-6 laat dan zien dat het aantal overschrijdingen afneemt van 91 dagen onder verharding naar 13 dagen onder vegetatie. Dit is een reductie van ongeveer 85%.

Tabel 9-1 Matrix met de procentuele verandering van de invloedsfactoren vorstindringing, opwarming, externe belasting, schade door graafwerkzaamheden en aanleg- en beheerkosten op een diepte van 0,50 – 2,00 m ten opzichte van de normdiepteligging.

Invloedsfactor →	vorst- indringing	opwarming					externe belasting		schade door graafwerkzaamheden	aanleg en beheerkosten stedelijk gebied	
		landelijk	stedelijk	G 2050 land.	W+ 2100 landelijk		verkeer	geen verkeer		geen grondwater	grondwater
Diepteligging ↓		zand / verhard	UHI zand/ verhard	zand / verhard	zand / verhard	zand / vegetatie					
[m]											
0,50	1300%	150%	218%	321%	9%	216%	54%	-24%	232%	< -38%	< -19%
0,75	300%	75%	55%	136%	6%	95%	16%	-12%	82%	-38%	-19%
1,00	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
1,25	-100%	-31%	-100%	-43%	-17%	-32%	-6%	12%	-45%	104%	51%
1,50	-100%	-100%	-100%	-100%	-29%	-84%	-7%	24%	-70%	180%	89%
1,75	-100%	-100%	-100%	-100%	-31%	-100%	-7%	36%	-83%	>180%	> 89%
2,00	-100%	-100%	-100%	-100%	-39%	-100%	-4%	48%	-91%	>180%	> 89%

9.2 Toepassing matrix bij keuze optimale diepteligging

Uit de matrix blijkt dat het niet waarschijnlijk is dat leidingen minder diep worden aangelegd. Een diepte kleiner dan 1 meter leidt tot een aanzienlijke toename van de vorstindringing, van de opwarming van het leidingwater boven 25°C, van de belasting door het verkeer, en van de schade door graafwerkzaamheden. Alleen de aanleg- en beheerkosten en de belasting zonder verkeer zijn gunstiger bij een minder diepe ligging van de leidingen. In stedelijk gebied zijn de genoemde effecten nog groter, door de invloed van UHI, door de aanwezigheid van verkeer. In stedelijk gebied leidt een ligging van 0,75 m tot een toename van 300% van de kans op vorstindringing, een toename van het aantal dagen dat de drinkwatertemperatuur boven de norm van 25°C komt met 55%, een toename van de belasting in de omtrekriching van 16% in aanwezigheid van verkeer en een toename van 82% op de kans van schade door graafwerkzaamheden in vergelijking tot een diepteligging van 1 meter. In afwezigheid van grondwater leidt de ligging van 0,75 m daarentegen tot een afname van de graafkosten met 38%.

Een diepteligging groter dan 1 meter heeft voornamelijk invloed op de effecten van opwarming. Om ongewenste of overmatige opwarming van het drinkwater in het leidingnet te voorkomen kan gekozen worden voor een diepere ligging van de leidingen. Uit de matrix in Tabel 9-1 en ook uit de absolute getallen in Tabel 5-6 blijkt dat de invloed van opwarming kan worden teruggedrongen door een diepteligging van 1,50 m en het aanbrengen van vegetatie langs het tracé. Wanneer de leiding al onder vegetatie ligt neemt het aantal dagen dat de norm wordt overschreden met 84% af ten opzichte van een diepteligging van 1 meter. Dit gaat echter wel gepaard met een toename van de graafkosten met 180%. Daarnaast zal ook de belasting door de bovengrond toenemen met 24%. Dit is echter geen probleem omdat de maximaal toelaatbare spanning niet wordt overschreden. De diepere ligging leidt verder tot positieve effecten, namelijk een afname van de kans op vorstindringing, een afname van verkeersinvloeden en een afname van de schade door graafwerkzaamheden. De vraag is dan natuurlijk of een toename van de graafkosten met 180% opweegt tegen de afname van de gevolgen van opwarming?

Voor specifieke gevallen of een horizontale vergelijking kan gebruik gemaakt worden van de informatie in de afzonderlijke hoofdstukken. Stel de vraag is: "welk effect heeft het om een leiding op een diepteligging van 1 meter onder verharding en in zandgrond in de toekomst (volgens W+2100 scenario) op een diepte van 1,50 m te leggen in stedelijk gebied? Hierbij wordt vegetatie langs het tracé aangebracht en komt de leiding in grondwater te liggen."

Voor de invloedsfactoren opwarming en aanleg- en beheerkosten kan de matrix in Tabel 9-1 nu niet toegepast worden, omdat er ook sprake is van een horizontale vergelijking/verschuiving. De bijbehorende gegevens zijn aanwezig in de bijbehorende hoofdstukken: in Tabel 5-8 voor de opwarming bij klimaatscenario's in stedelijk gebied en in Tabel 8-2 voor de aanleg- en beheerkosten in stedelijk gebied. In Tabel 9-2 is aangegeven hoe de opwarming en de aanleg- en beheerkosten voor deze specifieke situatie veranderen. De diepere ligging van de leiding naar 1,50 meter met vegetatie en in grondwater leidt tot een volledige voorkoming van de overschrijding van de temperatuurnorm. Dit gaat echter gepaard met een enorme toename van de aanleg- en beheerkosten, namelijk een toename van 283%. De invloed op de overige invloedsfactoren kan wel uit de matrix afgelezen worden: er vindt geen vorstindringing plaats, de belasting van de bovengrond neemt toe met 24%, wanneer verkeer aanwezig is neemt die af met 7%, de kans op schade door graafwerkzaamheden neemt af met 70%. Uit deze uiteenzetting blijkt dat de te verwachten opwarming in de toekomst dus voorkomen of gereduceerd kan worden door leidingen dieper te leggen en vegetatie aan te brengen. Dit gaat echter wel ten koste van extra graafkosten. De toename in graafkosten is 180% wanneer geen grondwater aanwezig is en 283% als de leiding in grondwater komt te liggen. Als extra maatregelen nodig zijn, zoals bijvoorbeeld het aanbrengen van bekisting, dan kunnen de aanleg- en beheerkosten nog extra toenemen.

Tabel 9-2 De procentuele verandering voor de invloedsfactor opwarming en aanleg- en beheerkosten, wanneer een leiding van de normdiepteligging in zandgrond onder een verhard oppervlak, wordt gelegd op een diepte van 1,50 meter waarbij de leiding in grondwater komt te liggen en vegetatie langs het tracé wordt aangebracht.

Diepteligging [m]	opwarming aantal dagen dat de temperatuur boven 25°C komt		aanleg- en beheerkosten graafkosten in € per m sleuf	
	huidige situatie: zand/verhard	toekomstige situatie: zand/vegetatie	huidige situatie: geen grondwater	toekomstige situatie: grondwater
1,00	52		19,50	
1,50		0		74,65
relatieve verandering		-100%		283%

9.3 Toepassing matrix bij keuze maximale diepteligging

Diepteligging kan een saneringscriterium zijn voor leidingen. Met de matrix en de gegevens die daaraan ten grondslag liggen kan afgeleid worden of een uitspraak mogelijk is ten aanzien van een maximale diepteligging. Deze maximale diepteligging is belangrijk om een kader te maken voor de maximaal toelaatbare diepteligging ter voorkoming van opwarming, maar tevens om aan te geven welke mate van verzakking toelaatbaar is.

Bij het bepalen van de maximale diepteligging gelden andere criteria dan bij de optimale diepteligging voor de aanleg van leidingen. Bij maximale diepteligging spelen vooral de kosten bij reparatie van leidingen, zoals graafkosten en ARBO, een rol en niet criteria als opwarming, belasting of schade door graafwerkzaamheden. Een maximaal toelaatbare diepte kan worden berekend door een afweging te maken tussen reparatiekosten (met behulp van de aanleg- en beheerkosten) uit de matrix aan de ene kant en de kosten voor het ophogen van leidingen aan de andere kant. De kosten voor aanleg- en beheer zullen op deze diepten niet alleen afhankelijk zijn van de graafkosten, maar ook van ARBO-zaken, die extra kosten met zich meebrengen. Extra kosten voor bijvoorbeeld het aanbrengen van bekisting zijn in bestekken aanwezig. De aanleg- en beheerkosten zullen hierdoor sterk afhankelijk zijn van de lokale situatie. Een algemeen geldende uitspraak over een maximaal toelaatbare diepte is hierdoor niet mogelijk. Per situatie kan die afweging met kosten voor aanleg- en beheer en de kosten voor ophoging wel gemaakt worden.

Zetting speelt een rol in de diepteligging, doordat de diepte verandert en een leiding op ongewenste diepte komt te liggen. De leiding mag niet verder zakken dan de maximaal toelaatbare diepte. Een voorspelling van het moment dat een leiding die diepte bereikt kan gedaan worden als een verandering van zetting in de tijd bekend is.

10 Registratie van de derde dimensie

10.1 Inleiding

Voor veel waterbedrijven is de diepteligging of de z-coördinaat van de leidingen globaal bekend en niet geregistreerd in hun GIS systeem. Transportleidingen liggen globaal 1,20 m, distributieleidingen 1,00 m en aansluitleidingen 0,80 m beneden maaiveld. Uit de voorgaande hoofdstukken is gebleken dat het zinvol is om de diepteligging te weten: de invloed van opwarming kan beoordeeld worden, de kans op schade door graafwerkzaamheden kan verminderd worden, ongewenste verzakking kan vastgesteld worden. Tevens is voor de uitwisseling van informatie binnen de WION kennis van de diepteligging gewenst. Zoals in hoofdstuk 7 (pag. 41) is opgemerkt is de registratie van diepteligging door de WION op dit moment nog niet verplicht, maar op termijn is het mogelijk dat aanscherping zal plaatsvinden.

Het probleem voor waterbedrijven bij de registratie van de derde dimensie is voornamelijk dat het een tijdrovende klus is. Naast het meten van de diepte in het veld, moet deze ook geregistreerd worden in het GIS systeem. Dit maakt het registreren van de diepteligging een grote kostenpost. Daarnaast moeten de data goed bijgehouden en onderhouden worden.

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de registratie van de diepteligging in software pakketten en vervolgens een aanbeveling gedaan betreffende incidentele meting en registratie van de diepteligging en structurele meting en registratie. Bij keuzes en beslissingen van een waterbedrijf is het belangrijk om deze af te stemmen met de sector en mogelijk met andere netbeheerders, om uitwisseling van gegevens/data mogelijk te maken. Hierbij kan VEWIN een rol spelen.

10.2 Registratie in GIS

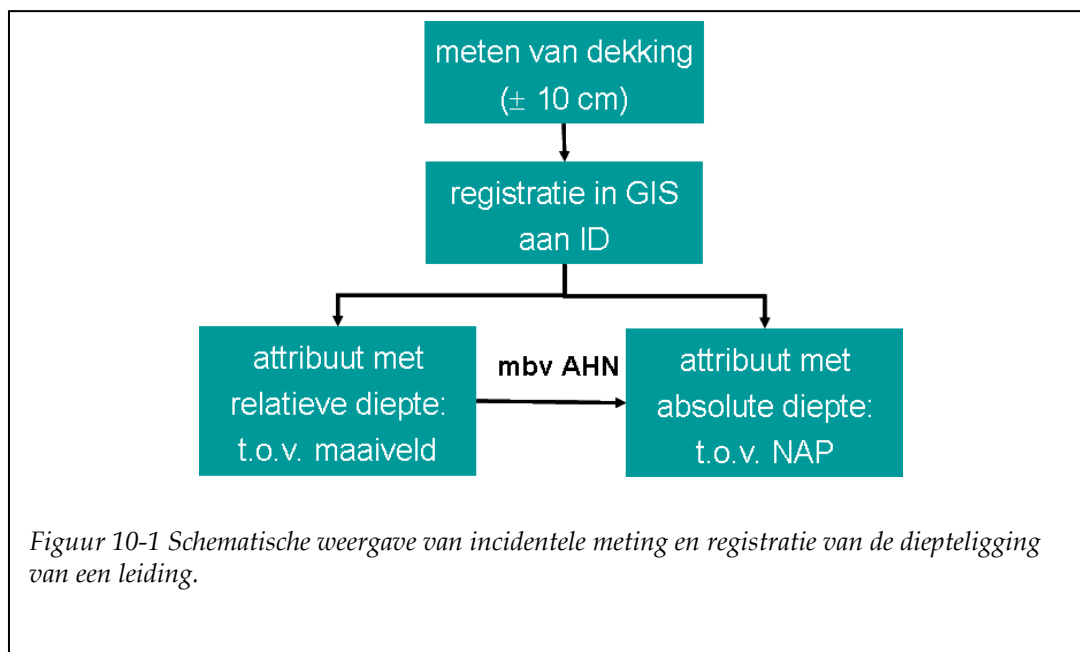
De uiteindelijke registratie van de diepteligging is afhankelijk van het software pakket. In de meeste software pakketten is het nog niet mogelijk om de derde dimensie in het coördinaat, als (x,y,z)-coördinaat, op te nemen. De diepteligging kan in softwarepakketten en databases vaak wel als attribuut worden geregistreerd. Door de diepteligging als attribuut te registreren, is de diepte wel in het systeem aanwezig, maar kan het niet als 3D getoond worden. De 3D mogelijkheden zijn in ArcGIS 10 wel enorm uitgebreid. Zo zijn er 3D analyses etc. mogelijk (resources.arcgis.nl). 3D registratie is bijvoorbeeld ook mogelijk in database Oracle Spatial (www.oracle.com).

Hoewel er veel onderzoek is gedaan naar 3D modellen is er nog maar weinig geïmplementeerd (Stoter, 2004).

10.3 Incidentele meting diepteligging en registratie

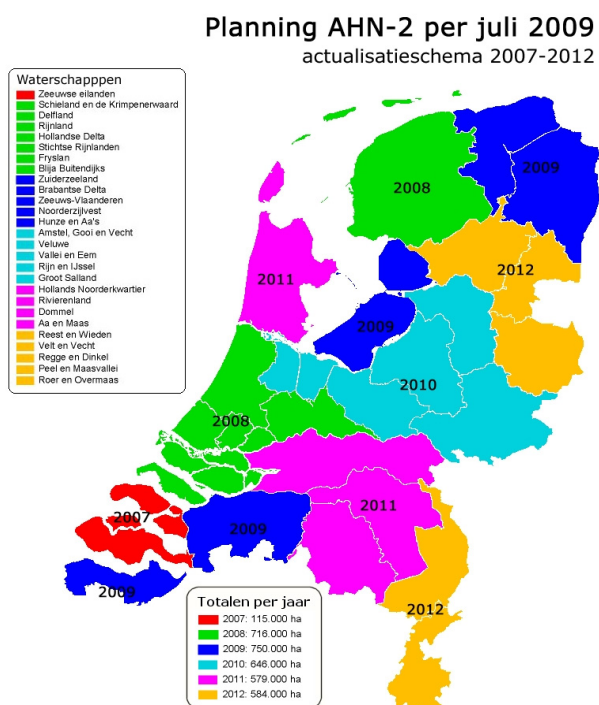
Juiste gegevens omtrent de diepteligging zijn belangrijk bij het beoordelen van werkzaamheden door derden in de nabijheid van leidingen, zoals het aanbrengen van infrastructuur waarbij leidingen gekruist worden. Tevens kan diepteligging een saneringscriterium zijn voor leidingen. Incidentele registratie van de diepteligging is daarom gewenst als een normaal onderdeel van de bedrijfsvoering van een waterbedrijf (Figuur 10-1). Bij elke sanering, reparatie, etc. wordt de diepte gemeten met een nauwkeurigheid van ± 10 cm en geregistreerd in GIS, door deze diepte aan het bijbehorende ID te linken.

Het is alleen mogelijk om de dekking van een leiding te meten. Dit is een relatieve weergave van de diepteligging, namelijk ten opzichte van maaiveld. Het is echter noodzakelijk om ook de diepte ten opzichte van NAP te registreren, omdat het NAP onveranderlijk is. Dit is mogelijk met behulp van het actuele hoogtebestand van Nederland (AHN). Dit betekent dat er binnen GIS ruimte moet zijn voor zowel de absolute weergave van de diepteligging (z in het NAP) als voor de relatieve weergave (diepte onder maaiveld).



AHN is een benaming voor het Actueel Hoogtebestand Nederland. Dit is een bestand met voor heel Nederland gedetailleerde en precieze hoogtegegevens. Er bestaan twee type AHN bestanden (www.ahn.nl):

AHN-1: Dit is het bestand uit 2003 waarbij voor heel Nederland de hoogte van het maaiveld gemeten is met een precisie van ongeveer 15 centimeter, met een dichtheid van één punt per vierkante meter of voor de oudere delen zelfs één punt per zestien vierkante meter.



Figuur 10-2 Planning voor AHN-2

AHN-2: In 2006 is begonnen met AHN-2. Doelstelling van AHN-2 is om een hoogtebestand op te stellen met een precisie van 5 centimeter standaardafwijking en 5 centimeter systematisch, waarvoor naar schatting ongeveer tien laserpunten (metingen) per vierkante meter nodig zijn. Het inmeten van AHN-2 gebeurt de komende jaren (t/m 2012) en gaat per beheergebied van een waterschap (Figuur 10-2). Het is de bedoeling dat de ingemeten delen eens in de 5 jaar geactualiseerd worden.

Tevens dient het waterbedrijf alert te zijn op informatie van bijvoorbeeld de gemeente. De gemeente als grondbeheerder geeft informatie over ophogen. Deze informatie kan opgenomen in het GIS.

10.4 Structurele meting diepteligging en registratie

Voor de structurele meting van de diepteligging en de registratie daarvan is het noodzakelijk om na te denken over een aantal zaken en deze af te stemmen met andere sectoren. In Figuur 10-3 zijn deze keuzes schematisch weergegeven.

Keuze techniek dieptemeting

Voor het vaststellen van de diepteligging van een leiding bestaan een aantal technieken. In het rapport "Innovatieve opsporingstechnieken ondergrondse Infrastructuur" is een inventarisatie gegeven van de technieken die toegepast kunnen worden:

- gebruik maken van historische informatie (van oude werknemers bijvoorbeeld)
- raadplegen van kaarten
- gebruikmaken van omgevingsparameters
- detecteren door middel van proefsleuven
- detecteren door middel van aanprikken
- detecteren door middel van radiodetectie
- detecteren door middel van grondradar

In dit rapport is een matrix opgenomen, waarin voor de diverse technieken de mogelijkheden zijn samengevat, zoals indringdiepte, onderscheidend vermogen, gebruiksgemak, detecteerbaarheid en nauwkeurigheid. Deze matrix geeft in één oogopslag de mogelijkheden en beperkingen van de technieken en is een zeer geschikt keuze-hulpmiddel. In het rapport is tevens een lijst met uitvoerders van de technieken aanwezig (COB, 2008).

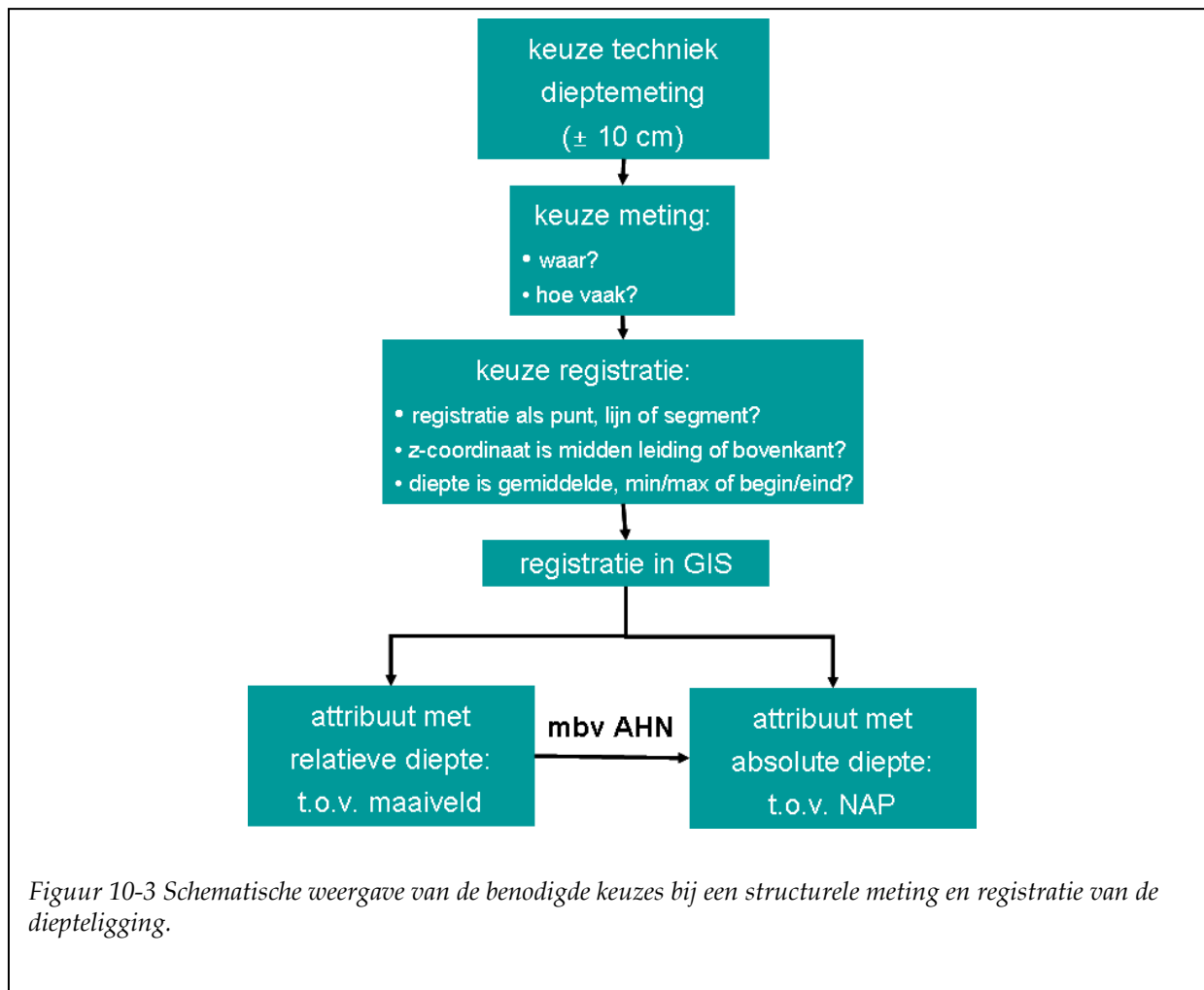
Keuze meting

Voordat de metingen uitgevoerd kunnen worden moet een keuze gemaakt worden over de locatie, maar ook over de frequentie. Wordt er alleen gemeten aan het begin- en eind van een leiding of wordt er gemeten om x aantal meter? De vraag hierbij is wat wordt gezien als een leiding? Het begin en einde van een leiding kan niet makkelijk uit GIS afgeleid worden. De segmenten zoals ze in GIS staan kunnen namelijk nogal variëren in lengte. Ander materiaal, diameter of jaar van aanleg betekent een nieuw segment. Maar soms is een stuk met hetzelfde materiaal/diameter/jaar van aanleg toch verdeeld in meerdere segmenten. Aanbevolen wordt om per strekkende meter of om een x aantal meter te registreren.

Keuze registratie

Wanneer de diepteligging bekend is in een gebied moet deze geregistreerd worden in GIS. Voor deze registratie moeten ook een aantal keuzes gemaakt worden, die tevens afhankelijk zijn van de specifieke toepassing van de kennis door het waterbedrijf:

- In de eerste plaats moet gekozen worden of de diepteligging geregistreerd wordt als punt, als segment of als lijn.
- Daarnaast moet vastgesteld worden wat geregistreerd wordt als z-coördinaat: het midden van een leiding of de bovenkant?
- Tenslotte moet besloten worden welke diepte geregistreerd wordt:
 - de gemiddelde diepte over een aantal meter leidinglengte
 - de minimale en maximale waarde voor de diepte van het leidingdeel
 - diepte aan het begin en einde van een leiding.



Bij de keuze van de registratie moet ook nagedacht worden hoe omgegaan wordt met wijzigingen. Wordt in dat geval alleen de nieuwe waarde opgenomen of wordt de wijziging geregistreerd? Wil men de originele situatie nog terug kunnen halen zodat men inzicht krijgt in de veranderingen in de tijd, zoals bijvoorbeeld het optreden van verzakkingen of zettingen?

registratie in GIS

Op basis van de bovenstaande beslissingen wordt de diepteligging geregistreerd in GIS, als een attribuut bij het corresponderende ID. Bij de registratie in GIS moet goed nagedacht worden over hoe de data bijgehouden en onderhouden kunnen worden. Hiervoor moet een strategie ontwikkeld worden.

relatieve en absolute diepte

In het GIS dienen de relatieve en absolute diepte aanwezig te zijn. De meeste technieken meten de diepteligging op een relatieve wijze, namelijk ten opzichte van maaiveld. Met behulp van het actuele hoogtebestand van Nederland (AHN) kan aan de relatieve diepteligging de absolute gekoppeld worden. Dit betekent dat er binnen GIS ruimte moet zijn voor zowel de absolute weergave van de diepteligging (z in het NAP) als voor de relatieve weergave (diepte onder maaiveld).

11 Conclusie

Voor de DPW bedrijven is de diepteligging van de drinkwaterleidingen in het distributienet niet of slechts globaal bekend. Bij hen speelt de vraag wat een optimale diepteligging van de leidingen is gezien de verwachte opwarming in de toekomst en wat de maximaal toelaatbare diepteligging is. Voor dit doeleinde is in dit project een matrix ontwikkeld, waarmee vijf factoren die van invloed zijn op de keuze van de diepteligging met elkaar vergeleken en tegen elkaar afgewogen kunnen worden. Deze factoren zijn: vorstindringing, opwarming, externe belasting, schade door graafwerkzaamheden en aanleg- en beheerkosten.

Elke invloedsfactor is door middel van scenariostudies beschreven als functie van de diepte. Hiertoe is voor elke invloedsfactor een criterium gedefinieerd waarmee de factor kwantitatief uitgedrukt kan worden. In de matrix is de relatieve verandering van dit criterium opgenomen ten opzichte van de normdiepteligging van 1 meter. Nu kan de consequentie van de verandering van de diepteligging voor elke invloedsfactor in de matrix afgelezen worden en een afweging worden gemaakt.

De matrix laat zien dat een kleinere optimale diepteligging niet waarschijnlijk is, omdat dit leidt tot een toename van vorstindringing, opwarming, belasting door verkeer en graafschade. Alleen de aanleg- en beheerkosten zijn lager. In stedelijk gebied zullen deze effecten nog groter zijn. De matrix laat tevens zien dat met een diepteligging groter dan 1 meter ongewenste opwarming, die in stedelijk gebied door het toenemend effect van UHI groot zal zijn, kan worden voorkomen, zeker als dit gecombineerd wordt met het aanbrengen van vegetatie langs het tracé. Dit gaat echter wel gepaard met een sterke toename van de aanleg- en beheerkosten. Een afname van de opwarming met een factor van 84-100% door een diepere ligging, leidt tot een toename van de aanleg- en beheerkosten van 180%, en als de leiding daarbij in grondwater komt te liggen zelfs tot een toename van 280%. Het effect op de overige invloedsfactoren is gunstig: er vindt geen vorstindringing plaats en de graafschade neemt af met 70%. De externe belasting neemt ook toe, maar niet zo sterk als de aanleg- en beheerkosten, namelijk 24%. De omtrekspanning komt echter niet boven de maximaal toelaatbare spanning en zal dus niet voor problemen zorgen.

De waarneming dat een diepere ligging van de leidingen gunstig kan zijn voor het terugdringen van de opwarming van het drinkwater, roept de vraag op wat de maximale diepteligging mag zijn. Met de informatie in de matrix kan hier per situatie een uitspraak over worden gedaan door een afweging te maken tussen de reparatiekosten (met behulp van de aanleg- en beheerkosten) en de kosten voor het ophogen van leidingen. Op dezelfde manier kan bepaald worden welke mate van verzakking toelaatbaar is.

De matrix is dus een zeer bruikbaar hulpmiddel voor de waterbedrijven om een afweging te maken voor een gewenste diepteligging. Tevens kan de vraag wat de maximaal toelaatbare diepte is met de matrix beantwoord worden. Uit de matrix blijkt dat bij de keuze van een optimale diepteligging vooral opwarming en aanleg- en beheerkosten een belangrijke rol spelen. De optimale diepteligging is een keuze die elk bedrijf uiteindelijk zelf met behulp van de matrix kan maken. Bij het opstellen van bedrijfsrichtlijnen wordt aanbevolen om rekening te houden met de matrix.

Ondanks het belang van de diepteligging is deze voor de meeste waterleidingbedrijven niet bekend en niet opgenomen in hun GIS-systeem. Het is niet eenvoudig om de z-coördinaat in het GIS-systeem op te nemen. Daarnaast zijn er nog vele keuzes die gemaakt moeten worden voor een incidentele dan wel een structurele registratie van de z-coördinaat. Een stapsgewijs overzicht van deze beslissingen voor een registratie van de z-coördinaat is opgezet in dit rapport. Aanbevolen wordt om de te maken keuzes goed af te stemmen met andere waterleidingbedrijven en andere netbeheerders, om een goede uitwisseling van data mogelijk te maken.

12 Referenties

- Andersland, O.B. and B. Ladanyi (1994). *An introduction to frozen ground engineering*. New York, etc.: Chapman & Hall. 352 p.
- Aries, M.B.C. and P.M. Bluyssen (2009). Climate change consequences for the indoor environment. *HERON*, vol. 54, p. 49-69.
- Blokker, E.J.M. en E.J. Pieterse-Quirijns (2010). Model voor de berekening van de watertemperatuur in het leidingnet. *H2O*, vol. 23, p. 46-49.
- Blokker, E.J.M. en E.J. Pieterse-Quirijns (2011). Modelling temperature in the drinking water distribution system. *in preparation*.
- Brandsma, T. G.P. Können and H.R.A. Wessels (2003). Empirical estimation of the effect of urban heat advection on the temperature series of De Bilt (The Netherlands). *International Journal of Climatology*, vol. 23, p. 829-845.
- Buik, N., P. Stolk and G. Willemsen (2004). Analyse van temperatuurmetingen in de Nederlandse ondergrond. *Stromingen*, vol. 10, no. 4, p. 13-22.
- van der Burgt (2010). Persoonlijke communicatie met een grafdelver in Gemert.
- Burn, K.N. (1976). Frost action and foundations. *Canadian Building Digest*. CBD-182
- Chinniah, K. (2006). *Standards and guidelines for municipal waterworks, wastewater and storm drainage systems*. Alberta: Drinking Water Branch.
- COB (2008). *Innovatieve opsporingstechnieken ondergrondse infrastructuur COB O10. Fase 1: Inventariseren en analyseren van technieken en het opstellen van een programma van eisen*. Gouda: COB. Tussenrapport O10-08-01.
- Davenport, A.G., C.S.B. Grimmond, T.R. Oke and J. Wierenga (2000). Estimating the roughness of cities and sheltered country. *Prepr. 12th American Meteorological Society (AMS) Conference on Applied Climatology*, Asheville. p. 96-99.
- Farrington, S.P. and M.L. Gildea (2002). *Frost penetration prediction using simulation with GIS*. 22nd Annual Esri International User Conference, July 8-12, 2002. (<http://proceedings.esri.com/library/userconf/proc02/pap1048/p1048.htm>)
- Figley, D.A. and L.J. Snodgrass (1984). The effect of basement insulation on the depth of frost penetration adjacent to insulated buildings. *Journal of thermal insulation*, vol. 7, p. 266-294.
- Hageskal, G., A.K. Knutsen, P. Gaustad, G.S. de Hoog and I. Skaar (2006). Diversity and significance of mold species in Norwegian drinking water. *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 72, no. 12, p. 7586-7593.
- Heusinkveld, B.G., L.W.A. van Hove, C.M.J. Jacobs, G.J. Steeneveld, J.A. Elbers, E.J. Moors and A.A.M. Holtslag (2010). Use of a mobile platform for assessing urban heat stress in Rotterdam. www.wur.nl
- van der Hoeven, P.C.T. en W.N. Lablans (1992). *Grondtemperaturen*. De Bilt: KNMI. Wetenschappelijke rapporten WR 92-05.
- Hughes, K. (2006). The impact of urban areas on climate in the UK: a spatial and temporal analysis, with an emphasis on temperature and precipitation effects. *Earth & Environment*, vol. 2, p. 54-83.
- Jager, E., R. Kuik, G. Stallenberg and J. Zanting (2002). *A qualitative risk assessment of the gastransport services pipeline system network based on GIS data*. Prague: ICT.
- Janson, L.E. (1963). Water supply systems in frozen ground. p. 430- 433. In: Woods, B.K. and J.A. Alter (1963) *Proceedings of Permafrost International Conference*. Indiana: Purdue University.
- Klok, L., H. ten Broeke, T. van Harmelen, H. Verhagen, H. Kok en S. Zwart. (2010). *Ruimtelijke verdeling en mogelijke oorzaken van het hitte-eiland effect*. Utrecht: TNO Bouw en Ondergrond ism Waterwatch BV Wageningen. Concept rapport.
- KNMI (2006). *Klimaat in de 21^e eeuw. Vier scenario's voor Nederland*. De Bilt: KNMI.
- KNMI (2009). *Klimaatverandering in Nederland. Aanvullingen op de KNMI'06 scenario's*. De Bilt: KNMI.
- Laheij, G.M.H, A.A.C. van Vliet en E.S. Kooi (2008). *Achtergronden bij vervanging van de zoneringsafstanden hoge druk aardgastransportleidingen van de N.V. Nederlandse Gasunie*. Bilthoven: RIVM rapport 620121001.
- Meerkerk, M.A. en G.A.M. Mesman (2010). *Richtlijn drinkwaterleidingen buiten gebouwen*. Nieuwegein: KWR. KWR 10.094.

- Mesman, G.A.M. (2011). Persoonlijke communicatie.
- van der Molen, M., H. Kooij, E. Smulders en B. Heijmans (2008). *Warmte-indringing in de bodem*. Nieuwegein: KWR. BTO-rapport 2008.053.
- NFPA 24 (2010). *Standard for the installation of private fire service mains and their appurtenances*.
- Penner, E (1962). Ground freezing and frost heaving. *Canadian Building Digest*. CBD-26.
- Penninga, F. en P. van Oosterom (2006). *Kabel- en leidingnetwerken in de kadastrale registratie. Advies voor een toekomstige implementatie*. Delft: Onderzoeksinstituut OTB, TU Delft. GIST Rapport No. 42.
- Raad voor de transportveiligheid (2005). *Themaonderzoek. Buisleidingenongevallen en – incidenten als gevolg van (graaf)werkzaamheden door derden*. Den Haag: CB-02-04.015.
- Rajani, B. and C. Zhan (1996). On the estimation of frost loads. *Canadian Geotechnolgy Journal*, vol. 33, p. 629-641.
- Rosenberg, F., R. Lieshout, T. van Wingerden en W. Jonkoff (2007). *Evaluatie van ondergrondse infrastructuur. Maatschappelijke kosten-batenanalyse van het ondergronds bundelen van kabels en leidingen*. Amsterdam: SEO. COB publicatienummer O15-07-07.
- Ruijg, K. (2010). Persoonlijke communicatie.
- Stoter, J.E. (2004). *3D Cadastre*. Delft: NCG Nederlandse Commissie voor Geodesie. Proefschrift.
- Tebodin (2003). *Richtlijn drinkwaterleidingen buiten gebouwen. Ontwerp, aanleg en beheer (gebaseerd op NEN-EN 805:2000)*. Rijswijk: Vewin.
- Williams, G.P. and L.W. Gold (1976). Ground temperatures. *Canadian Building Digest*. CBD-180.
- van Wingerden, T. (2011). Persoonlijke communicatie.
- WIOR (2009). *Nadere regels werken in de openbare ruimte. WIOR. Behorend bij de verordening werken in de openbare ruimte*. Amsterdam: Gemeente Amsterdam.

Geraadpleegde websites

- ftp.dot.state.tx.us <ftp://ftp.dot.state.tx.us/pub/txdot-info/sat/permit/depthofcover.pdf> (07/12/2010)
- resources.arcgis.nl http://resources.arcgis.nl/content/t_arcgis10_nieuw.php (24/01/2011)
- www.crow.nl
http://www.crow.nl/nl/Meta_Navigaton/over/Organisatie/Aanbesteden_ampamp_Contracteren/Kennisprogramma_RAW-systematiek.html (24/01/2011)
- www.economy-point.org <http://www.economy-point.org/f/frost-penetration-depth.html> (01/03/2010)
- www.gpkl.nl <http://www.gpkl.nl/page/60/WION> (18/01/2011)
- www.hillsboroughcounty.org
<http://www.hillsboroughcounty.org/water/resources/publications/tm/tmsection3.pdf>
(01/03/2010)
- www.knmi.nl (1) <http://www.knmi.nl/klimatologie/achtergrondinformatie/hellmann.pdf>
(01/03/2010)
- www.knmi.nl (2) <http://www.knmi.nl/klimatologie/weeramateurs/UHI/index.html> (27/4/2010)
- www.knmi.nl (3) <http://www.knmi.nl/klimaatscenarios/toekomst/index.php> (24/02/2011)
- www.oracle.com <http://www.oracle.com/technetwork/database/options/spatial/index.html>
(24/01/2011)
- www.rijksoverheid.nl <http://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/ondergrondse-kabels-en-leidingen/voorkomen-van-graafschade> (18/01/2011)
- www.toronto.ca <http://www.toronto.ca/water/supply/system/watermains.htm> (01/03/2010)
- www.waterloketvlaanderen.be
http://www.waterloketvlaanderen.be/documenten/hemelwater_bufferen_en_infiltreren_toepassingsmogelijkheden.pdf (01/03/2010)

I Wintergetal voor de Bilt

Wintergetallen volgens HELLMANN voor DE BILT (nov t/m mrt).
winters 1900/01 t/m 2002/2003 (chronologisch)

jaar	Hellmann
1901	121.4
1902	51.8
1903	119.1
1904	65.6
1905	39.2
1906	33.6
1907	118.4
1908	105.5
1909	131.9
1910	12.8
1911	38.0
1912	56.9
1913	17.9
1914	53.3
1915	16.6
1916	26.0
1917	162.1
1918	66.7
1919	73.4
1920	32.3
1921	34.8
1922	145.7
1923	25.3
1924	125.1
1925	32.2
1926	99.4
1927	19.3
1928	93.5
1929	227.1
1930	18.4
1931	55.3
1932	44.8
1933	87.6
1934	97.0
1935	22.9

jaar	Hellmann
1936	26.7
1937	35.8
1938	29.5
1939	106.0
1940	294.6
1941	158.1
1942	331.8
1943	34.3
1944	35.9
1945	86.3
1946	77.4
1947	342.8
1948	35.2
1949	53.6
1950	53.0
1951	62.1
1952	20.1
1953	69.5
1954	112.8
1955	85.2
1956	210.7
1957	18.9
1958	49.7
1959	52.1
1960	42.4
1961	24.9
1962	83.2
1963	345.9
1964	108.9
1965	59.6
1966	99.3
1967	30.0
1968	45.3
1969	85.5
1970	130.9

jaar	Hellmann
1971	100.5
1972	39.7
1973	23.8
1974	24.3
1975	3.2
1976	72.6
1977	19.1
1978	44.4
1979	205.7
1980	46.7
1981	39.9
1982	127.1
1983	23.9
1984	36.4
1985	193.6
1986	149.3
1987	151.5
1988	13.0
1989	1.9
1990	8.4
1991	77.3
1992	33.6
1993	41.2
1994	62.8
1995	21.8
1996	150.5
1997	131.6
1998	19.3
1999	47.7
2000	3.6
2001	27.7
2002	21.6
2003	80.1

