

**BTO 2003.039**  
Oktober 2004

## **Conditiebepaling asbestcement waterleidingen**

**- wanddikte, belastingen -**



**BTO 2003.039**  
Oktober 2004

# Conditiebepaling asbestcement waterleidingen

- wanddikte, belastingen -

© 2004 Kiwa N.V.  
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.

**Opdrachtgever**  
BTO

**Projectnummer**  
11.1439.100

**Kiwa N.V.**  
Water Research  
Groningenhaven 7  
Postbus 1072  
3430 BB Nieuwegein

Telefoon 030 60 69 511  
Fax 030 60 61 165  
Internet [www.kiwa.nl](http://www.kiwa.nl)

# Colofon

**Titel**

Conditiebepaling asbestcement waterleidingen  
- wanddikte, belastingen -

**Projectnummer**

11.1439.100

**Projectmanager**

W.J.M.K. Senden

**Kwaliteitsborger**

J.H.G. Vreeburg

**Auteurs**

P.G.G. Slaats, G.A.M. Mesman

Dit rapport is verspreid onder BTO-participanten en is openbaar

# Inhoud

	<b>Inhoud</b>	<b>1</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Asbestcement leidingen</b>	<b>5</b>
2.1	Omvang AC-leidingbestand	5
2.2	Kwaliteiteisen	6
2.2.1	Buizen	6
2.2.2	Verbindingen	6
2.2.3	Coatings	6
<b>3</b>	<b>Uitloging van asbestcement leidingen</b>	<b>7</b>
3.1	Mechanisme	7
3.2	Factoren van invloed op uitloging	7
3.2.1	Drinkwatersamenstelling	7
3.2.2	Bodemeigenschappen	8
3.2.3	Toestand van de coating	8
3.3	Effecten van uitloging	9
3.3.1	Invloed op de conditie van de leiding	9
3.3.2	Invloed op watersamenstelling	9
3.4	Bepaling effecten op waterkwaliteit	9
3.4.1	Continue pH-metingen	9
3.4.2	Afgifte van asbestvezels	10
3.5	Maatregelen om uitloging te beperken	11
<b>4</b>	<b>Conditiebepalingsmethoden</b>	<b>13</b>
4.1	Kennissysteem Levensduurbepaling	13
4.2	Fenolftaleïne-test	13
4.2.1	Methode	13
4.2.2	Praktische uitvoerbaarheid	14
4.3	Georadartechniek	14
4.3.1	Methode	14
4.3.2	Vergelijking resultaten georadartechniek en fenolftaleïne-test	17
4.3.3	Praktische uitvoerbaarheid georadarmetingen	17
<b>5</b>	<b>Statistische betekenis uitkomsten fenolftaleïne-test</b>	<b>19</b>
<b>6</b>	<b>Invloedsfactoren bij uitloging</b>	<b>23</b>
<b>7</b>	<b>Beoordeling conditie AC-leidingen</b>	<b>25</b>
7.1	Mate van uitloging en resterende veiligheid van AC-leidingen	25
7.2	Benodigde sterkte en veiligheid	25

7.3	Vaststellen benodigde wanddikte	26
7.3.1	Belastingen op de leiding	26
7.3.2	Ligging leiding in de grond	28
7.3.3	Materiaaleigenschappen	28
7.3.4	Minimale veiligheid	28
7.4	Resultaten berekeningen minimaal benodigde wanddikte	28
7.5	Interpretatie grafieken wanddikten	30
7.6	Betekenis van de minimaal benodigde wanddikte	30
<b>8</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>33</b>
8.1	Mate van uitloging van AC	33
8.2	Conditie van AC-leidingen	33
	<b>Referenties</b>	<b>35</b>
<b>I</b>	<b>Grafieken benodigde wanddikten</b>	<b>37</b>

# 1 Inleiding

Goed onderhoud van het waterleidingnet is een voorwaarde om drinkwater van hoge kwaliteit te kunnen leveren. Beslissingen om leidingen te saneren moeten in het belang van de klant tijdig worden genomen. Te vroege sanering leidt echter tot aanzienlijk kapitaalverlies. Door de conditie van het leidingnet te meten is het mogelijk om vervangingsinvesteringen pas plaats te laten vinden op het moment dat die conditie niet meer aan de gestelde veiligheidseisen voldoet.

Het leidingnet in Nederland bestaat anno 2003 voor circa 35% uit asbestcement (AC) leidingen. In de afgelopen jaren is het aantal breuken in AC-leidingen toegenomen door aantasting van het asbestcement. Bij elk van deze breuken staat het waterleidingbedrijf voor de vraag of de leiding vervangen of gerepareerd dient te worden. Om een goede beslissing te kunnen nemen is het nodig om meer informatie over de conditie van de AC-leiding te hebben. In het Bedrijfstakonderzoek (BTO) zijn in de periode 1997 - 2003 methoden ontwikkeld om de conditie van AC-leidingen vast te kunnen stellen. In de praktijk worden deze conditiebepalingsmethoden al op grote schaal toegepast.

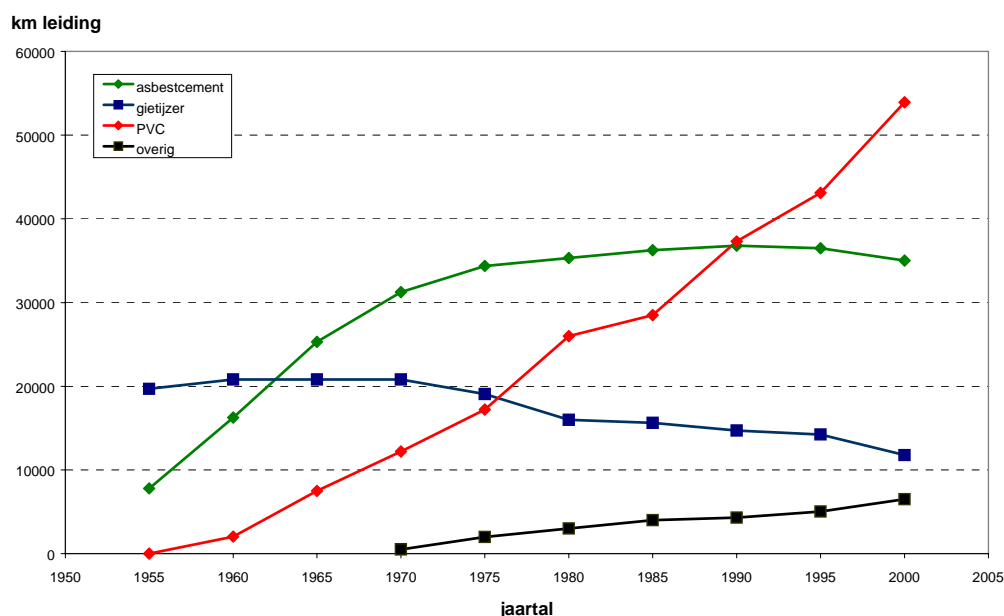
Dit rapport geeft een overzicht van de ervaringen in de afgelopen jaren met de conditiebepalingsmethoden voor AC. Hoofdstuk 2 geeft een overzicht van de omvang van het AC-leidingbestand en de kwaliteitseisen voor de toegepaste AC-leidingen, hoofdstuk 3 gaat in op de uitloging van AC-leidingen. Hoofdstuk 4 beschrijft de conditiebepalingsmethoden en hoofdstuk 5 geeft informatie over de representativiteit van de meetgegevens. Hoofdstuk 6 gaat in op de relaties tussen de mate van uitloging en omgevingsfactoren. Hoofdstuk 7 geeft een methode voor het vertalen van de uitkomsten van de conditiebepalingsmethoden naar de resterende veiligheid van AC-leidingen. Hoofdstuk 8 ten slotte geeft de conclusies en aanbevelingen.



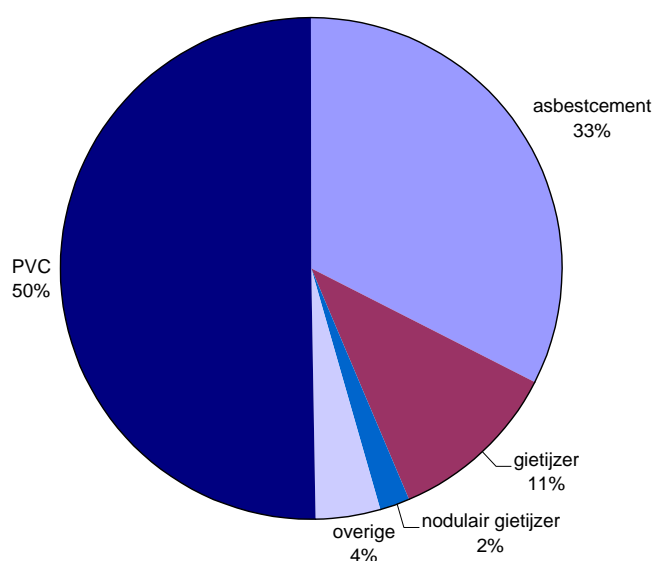
## 2 Asbestcement leidingen

### 2.1 Omvang AC-leidingbestand

Figuur 1 geeft de ontwikkeling van het aandeel AC in het Nederlandse waterleidingnet ten opzichte van andere leidingmaterialen sinds 1955. Anno 2000 bestond het leidingnet voor circa 35 % uit asbestcement leidingen (Figuur 2). De totale lengte van het Nederlandse drinkwaterleidingnet in 2000 bedroeg 107.500 km.



Figuur 1 Ontwikkeling leidingbestand in Nederland sinds 1955 (in km leiding)



Figuur 2 Percentuele aandelen van leidingmaterialen in het Nederlandse waterleidingnet in 2000 (VEWIN Statistiek, 2000)



## 2.2 Kwaliteitseisen

### 2.2.1 *Buizen*

In 1928 zijn voor het eerst AC-buizen in Nederland toegepast. Ze werden geïmporteerd vanuit Italië. Later werden AC-buizen uit België toegepast. Vanaf 1936 zijn buizen van Nederlands fabrikaat toegepast (Wagenmaker, 1970). In de beginperiode werden voornamelijk buizen met relatief kleine diameters toegepast (tot 300 mm). Na de oorlog groeide het aandeel AC-buizen met diameters groter dan 300 mm.

De kwaliteitseisen voor AC-buizen zijn vastgelegd in Kiwa Keuringseisen nr. 17 en normblad NEN 3262. Gedurende de toepassingsduur van AC-buizen zijn deze kwaliteitseisen meermalen gewijzigd, omdat de kwaliteit en de kwaliteitsbeheersing van het materiaal beter in de hand gehouden kon worden (Wagenmaker, 1970). Na 1970 is bijvoorbeeld de eis voor de barstdruksterkte verhoogd van 200 naar 225 kg/cm<sup>2</sup>. Deze veranderingen in eisen geven aan dat de uitgangskwaliteit voor AC-buizen over de jaren heeft gevarieerd.

### 2.2.2 *Verbindingen*

De verbindingen in een AC-leiding bestaan over het algemeen uit zogenaamde komeetmoffen. Bij dit systeem zijn beide buiseinden uitgevoerd als spie-einden. De moffen zijn ook gemaakt van AC en hierdoor eveneens gevoelig voor aantasting.

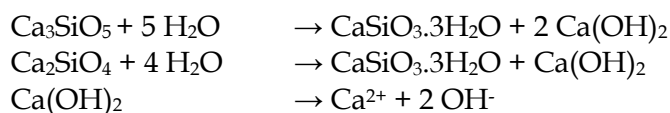
### 2.2.3 *Coatings*

AC-leidingen kunnen uitwendig voorzien zijn van een coating van asfaltbitumen of steenkoolteerpek. De coating is over het algemeen aangebracht als een spray. De coating heeft een beschermende functie tegen agressieve grond en tegen agressief grondwater. Buizen met een dergelijke coating zijn zwart gekleurd. Er zijn geen asbestcement buizen bekend met een inwendige coating.

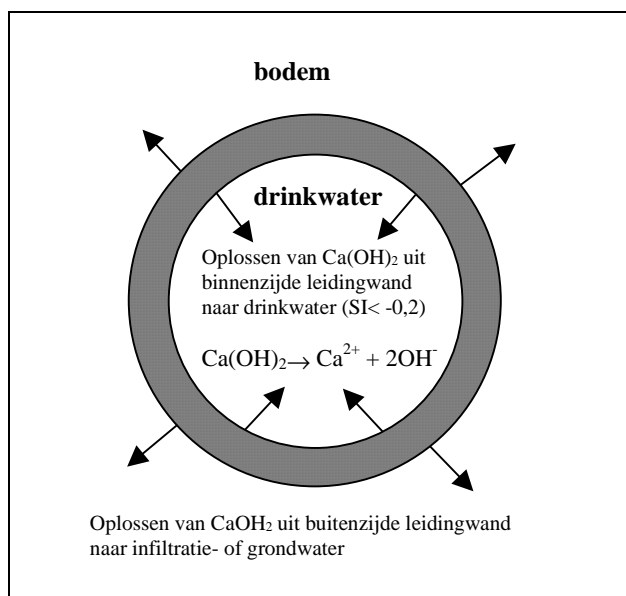
# 3 Uitloging van asbestcement leidingen

## 3.1 Mechanisme

Aantasting van AC-leidingen vindt plaats door oplossing van calciumhydroxide uit de leidingwand. Asbestcement bestaat voor een belangrijk deel uit cement, dat als bindmiddel fungeert voor asbestvezels. Cement bevat een zeer groot aantal verbindingen: de belangrijkste zijn tricalciumsilicaat ( $\text{Ca}_3\text{SiO}_5$ ), dicalciumsilicaat ( $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ ), tricalciumaluminaat ( $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$ ) en calciumhydroxide  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Deze cementzouten hydrateren in contact met water, waarbij ook  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  wordt gevormd. Bij contact met water lost het  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  op, waardoor  $\text{Ca}^{2+}$  en  $\text{OH}^-$  vrijkomt (Troxell e.a., 1968; Schock e.a., 1981).



Figuur 3 geeft het proces van uitloging van asbestcement schematisch weer. Uitloging van asbestcement treedt zowel aan de binnenwand als aan de buitenwand van een AC-leiding op.



Figuur 3 Schematische voorstelling uitloging asbestcement

## 3.2 Factoren van invloed op uitloging

### 3.2.1 Drinkwatersamenstelling

Bij de inwendige uitloging van asbestcement speelt de verzadigingsindex (SI) van het drinkwater een belangrijke rol.

De SI is een maat voor het oplossen en neerslaan van calciumcarbonaat. Vooral bij SI-waarden lager dan -0,2 kan uitloging van AC optreden (Van den Hoven en Van Eekeren, 1988). Een negatieve SI hoeft echter niet altijd tot aantasting te leiden. In de leiding kunnen zich op het inwendig oppervlak ijzer- en mangaanafzettingen vormen, welke de AC-leiding tegen aantasting beschermen.

Een positieve SI is ook geen garantie tegen corrosie, omdat vooral bij een lage buffercapaciteit van het water inhomogene lagen van calciumcarbonaat gevormd kunnen worden. Nader onderzoek naar het exacte mechanisme van uitloging en deklaagvorming in asbestcement leidingen vormt een onderwerp van onderzoek binnen het BTO in 2004 (BTO projectplan 'Conditiebescherming cementhoudende leidingmaterialen', 2003).

Door bepaling van de SI van het drinkwater kan binnen bepaalde grenzen een uitspraak gedaan worden over de kans dat uitloging vanaf de binnenkant van de leiding optreedt. Bij het bepalen van de kans op uitloging dient gerealiseerd te worden dat de actuele waterkwaliteit een momentopname is. Aantasting van het materiaal is echter een continu proces tijdens de gehele levensduur van de leiding. De historie van de waterkwaliteit speelt daarom ook een belangrijke rol.

### 3.2.2 *Bodemeigenschappen*

Uitwendige uitloging van AC-leidingen kan optreden in agressieve bodems. Voor asbestcement zijn dit bodems met een lage pH en/of met een laag kalkgehalte. De mate van agressiviteit van de bodem geeft een indicatie over de mate van uitwendige uitloging.

Risicogebieden voor uitwendige uitloging zijn aan te geven op basis van bodemkaarten. Bij een lage pH en/of in een kalkarme bodem (< 0,5% CaCO<sub>3</sub>) is uitwendige uitloging te verwachten. In een kalkrijke bodem (> 1% CaCO<sub>3</sub>) is geen uitwendige uitloging te verwachten. Bij onduidelijkheid over de bodemsamenstelling of als controle van de bodemsamenstelling kunnen rond de leiding de pH en het kalkgehalte van de bodem worden bepaald. Een eenvoudige wijze voor bepalen van het kalkgehalte van de bodem is beschreven in het Kiwa-rapport SWE 99.004 (Sterk et al., 1999). Van belang is dat het bodemonmonster op de buiswand genomen wordt; hiermee wordt voorkomen dat leidingen die in een grondverbetering liggen verkeerd worden beoordeeld.

Sommige AC-leidingdelen zijn aan de buitenkant gecoat, waardoor uitwendige uitloging beperkt zal zijn.

### 3.2.3 *Toestand van de coating*

Onder een goede uitwendige coating op een AC-leiding zal aantasting van de buitenzijde van het materiaal niet of nauwelijks voorkomen. De conditie van een dunne (spray) coating op AC-buizen is moeilijk te beoordelen.

Wanneer het AC onder de coating is aangetast betekent dit dat de coating hoogstwaarschijnlijk doorlatend is voor agressief vocht uit de bodem. De aantasting van het AC onder de coating kan dan gezien worden als een maat voor de conditie van de coating.

### 3.3 Effecten van uitloging

#### 3.3.1 *Invloed op de conditie van de leiding*

Door uitloging van asbestcement leidingen neemt de sterkte van de leiding af, waardoor de kans op breuk en lekkage toeneemt (Sterk et al., 1999).

Naast uitloging van een AC-leiding spelen de verschillende factoren een rol bij de storingsgevoeligheid van een AC-leiding. Deze factoren zijn onder meer:

- de werkdruk en drukklasse van de leiding;
- het optreden van plotselinge grote drukverschillen;
- externe drukverschillen door bijvoorbeeld zwaar verkeer; zettingsgevoeligheid voorzieningsgebied;
- de gevoeligheid voor vorst;
- de oorspronkelijke kwaliteit van de AC-buis.

#### 3.3.2 *Invloed op watersamenstelling*

Door het uitloggen van calciumhydroxide uit asbestcement kan de samenstelling van drinkwater worden beïnvloed: de pH stijgt en de  $\text{Ca}^{2+}$ -concentratie in water neemt toe. De pH van drinkwater kan daarom als parameter dienen voor het signaleren van uitloging van AC-leidingen. Het continu meten van de pH geeft inzicht in de mate van de pH-verandering. Bij een toename van de pH en het calciumgehalte neemt ook het kalkafzettend vermogen toe. Soms is de toename zodanig dat al tijdens distributie kalkafzetting gaat optreden. Calciumcarbonaat kan dan op de buiswand maar ook als kleine deeltjes in het water (microkristallen) voorkomen.

Wanneer geen pH-stijging wordt waargenomen, hoeft dit niet te betekenen dat geen uitloging plaatsvindt. De pH-stijging door uitloging kan gecompenseerd worden door een pH-daling als gevolg van kalkafzetting of microbiologische processen in het leidingnet. Problemen met kalkafzetting zullen vooral optreden bij verwarming van het drinkwater, bijvoorbeeld in warmwatertoestellen.

Invloed op de watersamenstelling door uitloging van asbestcement drinkwaterleidingen is vooral waar te nemen bij kleine leidingdiameters (100 tot 150 mm), lange verblijftijden, een lage verzadigingsindex (SI) en een lage buffercapaciteit van het drinkwater (Slaats et al., 1993).

### 3.4 Bepaling effecten op waterkwaliteit

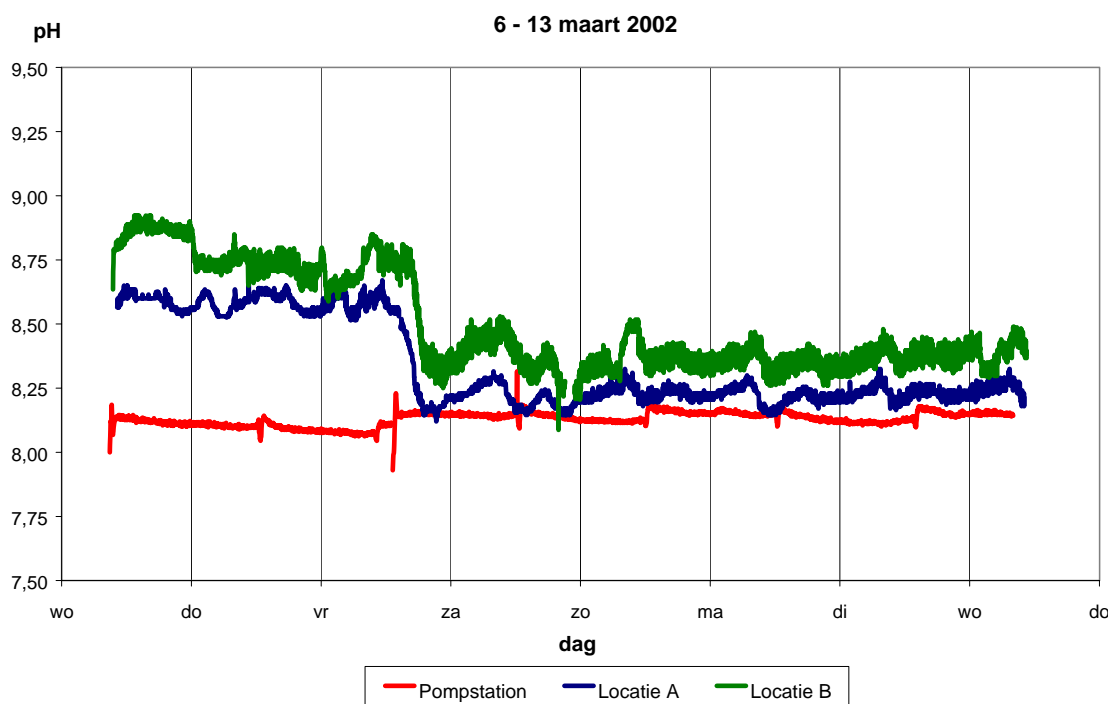
#### 3.4.1 *Continue pH-metingen*

Metingen van de waterkwaliteit met monitorsystemen blijkt een goede methode om vast te stellen of een AC-leiding inwendig uitlooft (Van den Hoven et al., 1992; Sterk et al., 1999). Deze monitorsystemen meten continu een aantal waterkwaliteitsparameters, zoals de pH. Vergelijking van pH-waarden op verschillende plaatsen in het voorzieningsgebied geeft inzicht in pH-veranderingen in de leiding.

Figuur 4 geeft de resultaten van continue pH-metingen op een pompstation en op een aantal plaatsen van een  $\varnothing 100$  mm AC-leiding in een

voorzieningsgebied met relatief zacht water. Zichtbaar is dat bij een bepaalde verblijftijd de pH toe kan nemen tot pH-waarden rond de 9 door uitloging van asbestcement.

Het effect van uitloging kan op relatief eenvoudige wijze worden verminderd. Gedurende de metingen in de periode 6 tot 13 maart 2002 is op vrijdag de verblijftijd verkort door een brandkraan te openen en continu te spuien. Het effect van de kortere verblijftijd op de pH is snel zichtbaar; de pH-stijging is geringer.



Figuur 4 Continue meting van de pH in een voorzieningsgebied met relatief zacht drinkwater. Op vrijdag is de verblijftijd van het water sterk verkort door een brandkraan open te draaien; de hoge pH door uitloging van de AC-leiding neemt in korte tijd af.

### 3.4.2 Afgifte van asbestvezels

Aantasting van AC-leidingen kan leiden tot afgifte van asbestvezels, waardoor de waterkwaliteit negatief wordt beïnvloed. In het kader van BTO-onderzoek zijn metingen uitgevoerd naar vezelafgifte door drinkwaterleidingen. Over het algemeen wordt vezelafgifte door AC-leidingen niet aangetoond (Mons, 2001).

Ook blijkt asbestvezeltelling geen goede maat voor de conditie van een leiding (Sterk et al., 1999). Vastgesteld is dat een bepaalde AC-leiding uitloogde, terwijl bij asbestvezeltellingen nauwelijks asbestvezels geconstateerd zijn. Daarnaast is asbestvezeltelling zeer arbeidsintensief en daardoor duur en daarom niet aan te bevelen.

### 3.5 Maatregelen om uitloging te beperken

Het blijkt dat de samenstelling van het drinkwater en vooral de verzadigingsindex (SI) van invloed is op de mate van inwendige uitloging. Verhoging van de SI vormt dus een mogelijke optie om de mate van uitloging te verminderen. In welke mate de uitloging kan worden verminderd door verhoging van de SI is onbekend. De beschikbare wetenschappelijke literatuur over uitloging van cementhoudende leidingmaterialen gaat uit van vorming van beschermende kalklagen op het inwendig oppervlak. Kennis over de mate en snelheid van de vorming van deklagen ontbreekt echter. Bovendien leren ervaringen uit de praktijk, in tegenspraak met de literatuur, dat in een aantal gevallen geen beschermende kalklagen zichtbaar zijn.

Momenteel zijn er binnen de bedrijfstak verschillende ontwikkelingen die het noodzakelijk maken om vast te stellen of deze beschermende kalklagen inderdaad worden gevormd en welke factoren de vorming beïnvloeden. Deze ontwikkelingen zijn:

- het ontharden van drinkwater in gebieden waar grote hoeveelheden AC-leidingen liggen. In sommige gebieden is geconstateerd dat bestaande kalklagen oplossen. Hierdoor kan AC mogelijk sneller uitloggen. Bovendien neemt het aantal klachten over kalkafzetting sterk toe;
- nieuwe behandelingstechnieken, zoals membraanfiltratie, verwijderen organische stof uit het drinkwater. Organische stof beïnvloedt kalkafzetting; effecten van uitloggen kunnen daardoor toenemen;
- langere verblijftijden door afnemend waterverbruik. Bij enkele waterbedrijven treedt verhoogde uitloging op door een combinatie van watersamenstelling en lange verblijftijden. Op basis van literatuur en ervaringen in het buitenland, wordt verondersteld dat dosering van waterstofcarbonaat in deze gevallen de problemen opgelost worden. Deze mogelijke maatregel dient echter nader onderbouwd te worden.

Deze onderzoeksvragen zullen aan de orde komen in het BTO-project 'Conditiebescherming cementhoudende leidingmaterialen', dat in 2004 uitgevoerd wordt.



# 4 Conditiebepalingsmethoden

## 4.1 Kennissysteem Levensduurbepaling

Het Kennissysteem Levensduurbepaling (KSLB) is een ondersteunend systeem voor de onderbouwing van de beslissing om leidingsegmenten te saneren (Rosenthal, 1997; Trietsch e.a., 2001). Het systeem bestaat uit een technisch verouderingsmodel (conditie), een economisch model (kosten) en een grof klantperceptiemodel (klant). Het prototype van het kennissysteem is ontwikkeld door Kiwa in samenwerking met de Tilburgsche WaterleidingMaatschappij (TWM) en Kensas BV.

Het klantperceptiemodel wordt gevoed met gegevens over de gevolgen van storingen. Het klantperceptiemodel genereert een aanvaardbaar conditiegetal (normconditie) voor een leidingsegment.

Gegevens over materiaalonderzoek van leidingnetsegmenten, storingsfrequenties en bodemfactoren vormen de belangrijkste inputparameters voor het technisch verouderingsmodel. Op grond van deze inputparameters genereert het model een verwachting voor het conditieverloop van een leidingsegment. Dit conditieverloop is uitgedrukt als een (voorsnog) lineaire afname van een technisch conditiegetal in de tijd. Op dit moment is een technisch verouderingsmodel beschikbaar voor grijs gietijzeren leidingen en AC-leidingen.

Actie moet worden ondernomen wanneer de technische conditie dusdanig is afgenomen, dat deze gelijk is aan de normconditie uit het klantperceptiemodel.

Voor het bepalen van de technische conditie zijn conditiebepalingsmethoden ontwikkeld. Momenteel zijn voor bepaling van de conditie van AC de fenolftaleïne-test en de georadartechniek beschikbaar.

## 4.2 Fenolftaleïne-test

### 4.2.1 Methode

De mate van uitloging van de AC-leidingwand is te bepalen met de fenolftaleïne-test (Leroy et al., 1996). Om de mate van uitloging te bepalen wordt een deel van de leiding uitgenomen, zodanig dat een vers breukvlak ontstaat. Proefstukken voor de fenolftaleïne-test kunnen zijn:

- AC-schulpen uit aanboringen;
- buisdelen uitgenomen tijdens regulier onderhoud;
- buisdelen afkomstig van schadegevallen;
- buisdelen afkomstig van gericht conditieonderzoek.

Op het breukvlak wordt met een druppelflesje, over de gehele doorsnede van de leidingwand, de fenolftaleïne-oplossing aangebracht (Foto 1). Op de plaatsen waar de pH hoger is dan 8,3 kleurt het asbestcement paars, waar de pH lager is dan 8,3 blijft het asbestcement kleurloos of grijs. Een pH lager dan 8,3 wijst op uitloging van asbestcement.



Op de plaats waar het uitgelopen gedeelte maximaal is, wordt met een schuifmaat de dikte van het uitgelopen deel en de totale dikte van de leidingwand gemeten. Vervolgens wordt het uitlogingspercentage van de wand berekend.

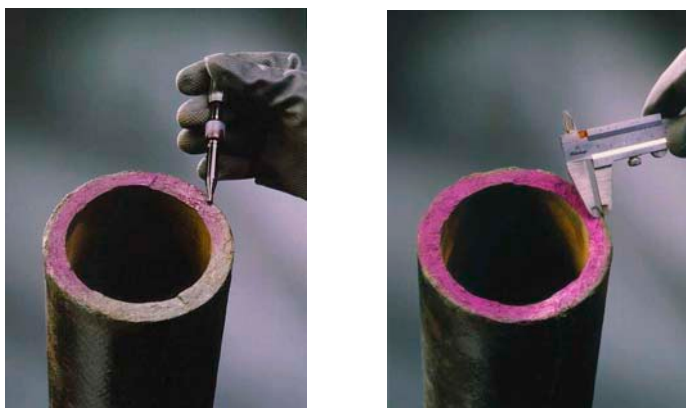


Foto 1 Bepaling van mate van uitloging van AC met de fenolftaleïne test

#### 4.2.2 Praktische uitvoerbaarheid

De fenolftaleïne test is eenvoudig in het veld uit te voeren. Medewerkers van waterbedrijven zijn bekend met het werken met asbestcement en de beperkingen die hiervoor gelden. De test is minder geschikt om in het laboratorium uit te voeren vanwege de regelgeving voor het werken met asbestcement.

Een nadeel van de fenolftaleïne test is dat een vers breukoppervlak nodig is, waardoor het nodig is om de waterlevering te onderbreken. In geval van buisbreuken vormt dit meestal geen probleem omdat dan een vers breukvlak beschikbaar is. Wanneer het ongewenst is dat de waterlevering onderbroken wordt, is de niet-destructieve georadartechniek beschikbaar.

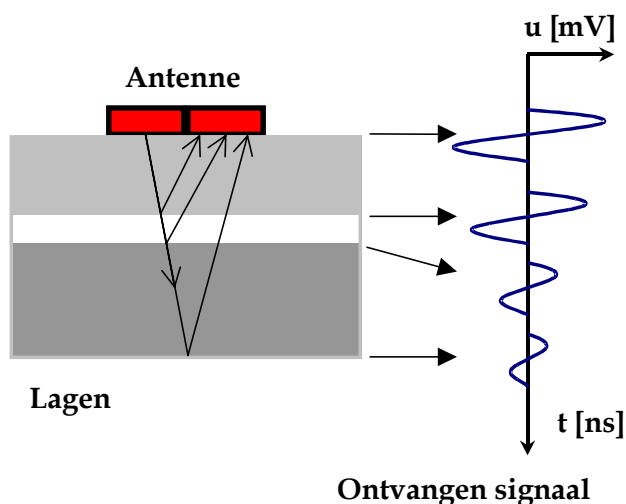
### 4.3 Georadartechniek

#### 4.3.1 Methode

De georadartechniek is ontwikkeld voor het bepalen van de gelaagdheid van de bodem bij bodemkartering. De techniek is later toegepast bij onderzoek van de conditie van AC rioleringen. In het kader van het BTO-onderzoek is onderzocht of deze techniek geschikt is voor het bepalen van de uitloging van AC-waterleidingen (Mesman, 2001). Het voordeel van deze techniek is dat het niet nodig is om de waterlevering te onderbreken. Het is wel nodig om de leiding bloot te leggen.

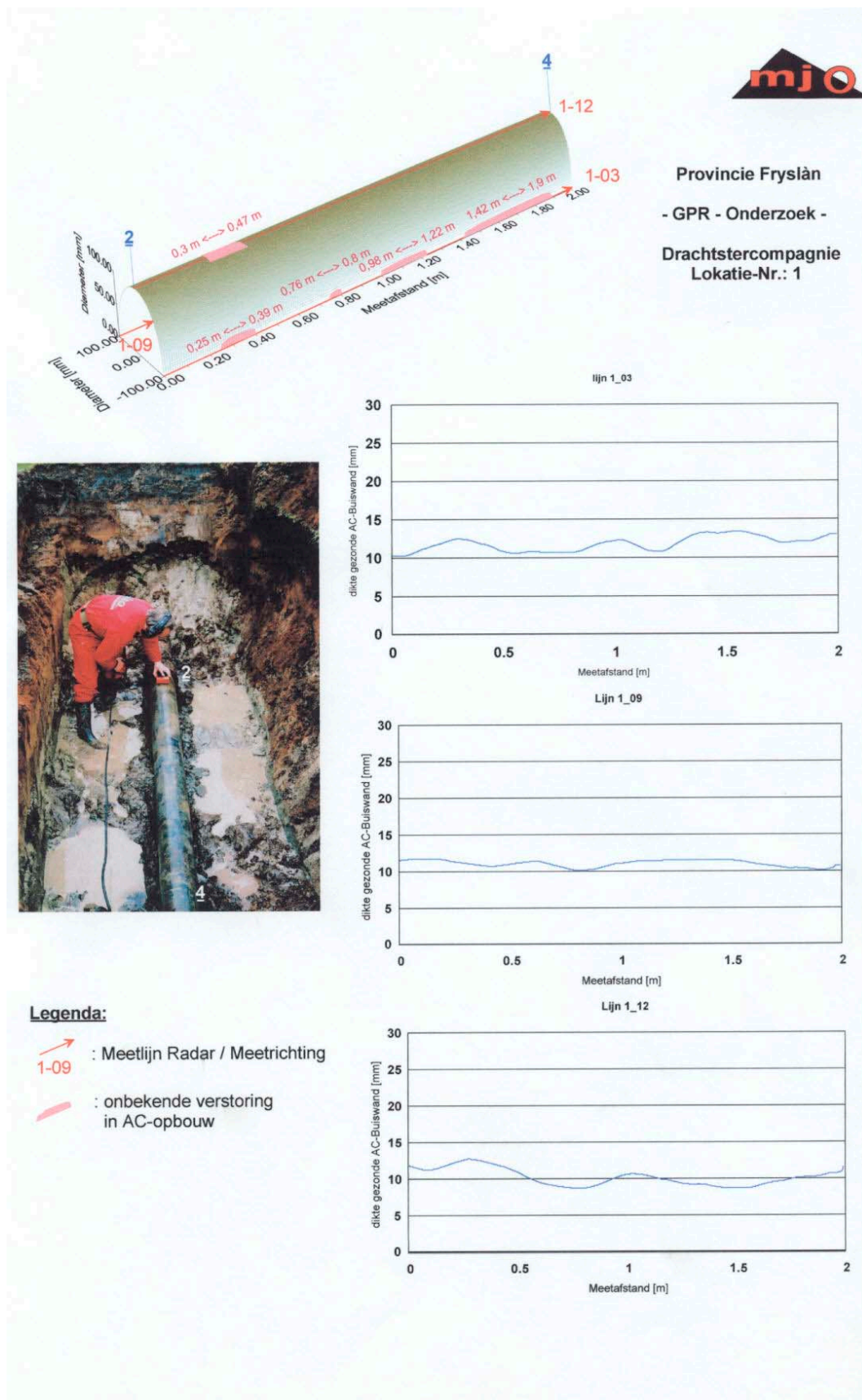
Het principe van materiaalonderzoek met georadar berust op vertraging en reflectie die een elektromagnetische golf in de wand van de asbestcement leiding ondervindt. Tijdens het georadaronderzoek worden de tijd- en signaalsterkteverschillen tussen een uitgezonden impuls en de reflectiesignalen gemeten (*Figuur 5*).

Deze verschillen in tijd en signaalsterkte worden bepaald door verschillen in laagdikte en karakteristieke elektrische eigenschappen van de diverse lagen waaruit de asbestcement leiding is opgebouwd. Uit de gemeten waarden kan de opbouw van de onderzochte leidingwand worden bepaald. Er wordt gebruik gemaakt van een hoogfrequente antenne met een middenfrequentie van 1 GHz. Die antenne wordt met de hand over de meetraaien voortbewogen.



*Figuur 5 Principeschets georadarmeting*

Bij de uitvoering van de georadarmeting wordt op een bepaald leidingsegment een grid gemaakt van dwars- en lengteprofielen met onderlinge afstanden van respectievelijk 20 en 25 cm. De uiteindelijke maten van het grid zijn 1,60 m breed bij 2,00 m lang. Op elke kruising van de lengte- en breedteprofielen vindt een meting plaats. Deze dichtheid levert voldoende informatie op. *Figuur 6* geeft een overzicht van de uitvoering en de output van de georadarmeting.



Figuur 6 Uitvoering en uitkomsten georadarmeting in de praktijk (onderzoek rioolwaterleiding voor Provincie Friesland, Copyright MJ Oomen 2003)

#### 4.3.2 *Vergelijking resultaten georadartechniek en fenolftaleïne-test*

Om de geschiktheid van de georadartechniek voor drinkwaterleidingen vast te stellen is de uitloging van enkele AC-leidingen bepaald met de fenolftaleïne-test en met de georadartechniek (Mesman, 2001).

Tabel 1 geeft de resultaten van metingen aan een 50 jaar oude AC-leiding afkomstig uit het voorzieningsgebied van waterbedrijf Brabant Water. Het blijkt dat de georadartechniek vergelijkbare resultaten geeft als de fenolftaleïne-test. De georadartechniek is daarom een geschikte non-destructieve methode om de mate van inwendige uitloging van AC-leidingen te bepalen.

Tabel 1 *Mate van uitloging van een 50 jaar oude AC-leiding gemeten met de fenolftaleïne-test en met de georadartechniek*

	Leidingsegment	uitwendige diameter	Wanddikte	Uitloging inwendig
Fenolftaleïne-test	Monster 1 uit 1,5 m	130,5 mm	15,2 -15,4 mm	Max. 1,5 mm
	Monster 2 uit 1,5 m	130,0 mm	14,5 - 14,8 mm	Max. 2,0 mm
Georadar-techniek	Lengte van 1,5 m	niet te bepalen	15,1 - 15,5 mm	2,0 mm

Er zijn aanvullende validatiemetingen nodig om te bepalen of de georadartechniek ook geschikt is om de mate van uitwendige aantasting te meten.

Verder is de verwachting dat het onderscheidend vermogen van de georadartechniek toeneemt met toenemende wanddikte van de leiding.

#### 4.3.3 *Praktische uitvoerbaarheid georadarmetingen*

De georadartechniek heeft als voordeel dat de AC-leiding niet open hoeft, waardoor de waterlevering niet wordt onderbroken. De leiding moet wel toegankelijk zijn, hetgeen betekent dat in ieder geval een sleuf gegraven dient te worden.

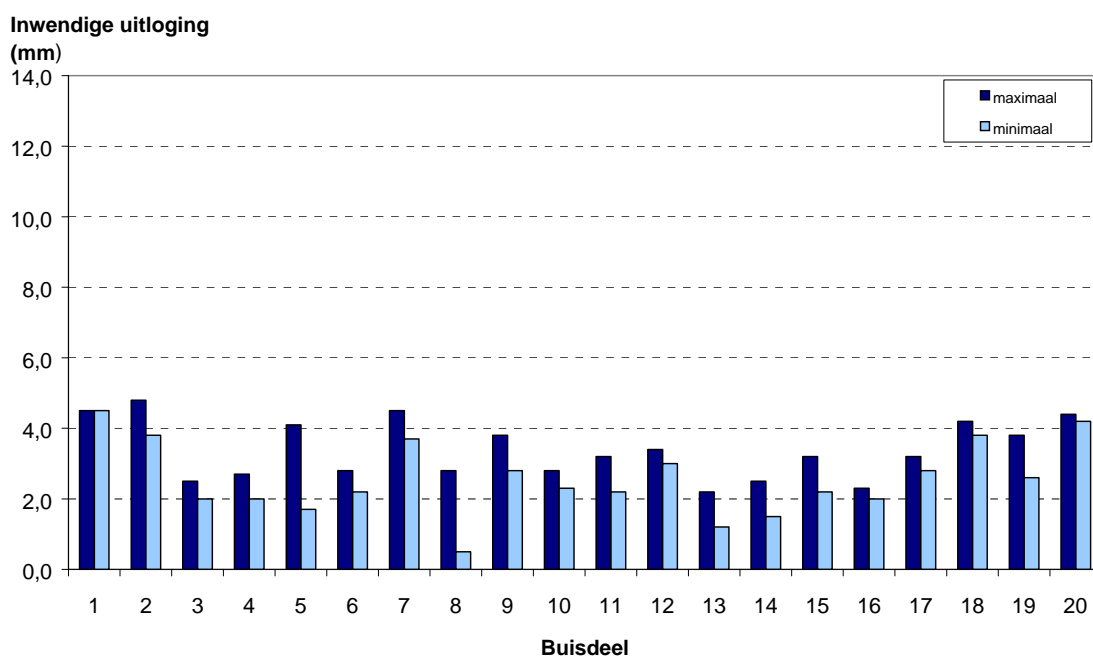
De kosten van de georadarmeting zijn bij een juiste logistiek redelijk beperkt. Eén dag meten kost ongeveer 1400 Euro inclusief de rapportage van de resultaten. Gedurende één dag werk kan op ongeveer zeven locaties gemeten worden, waarbij een leiding dan over een lengte van 2 à 3 meter en met drie meetraaien onderzocht wordt. Bij deze kosten is er van uitgegaan dat de voorbereidende graafwerkzaamheden al zijn uitgevoerd. Het is niet aan te bevelen om de radartechniek voor slechts één bepaling in te zetten. In zulk geval zijn de kosten onevenredig hoog.



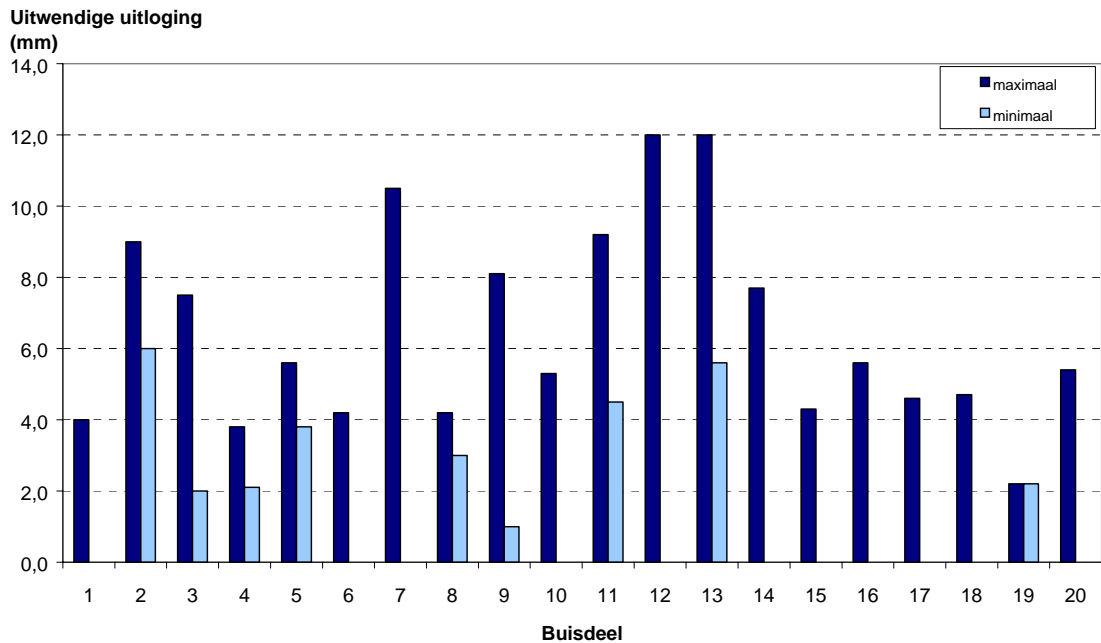
## 5 Statistische betekenis uitkomsten fenolftaleïne-test

De statistische betekenis van de uitkomsten van de fenolftaleïne-test is bepaald door de test uit te voeren op 20 buizen afkomstig uit één AC-leiding. Het betreft een  $\varnothing 100$  mm leiding uit het voorzieningsgebied van WMD, locatie Oostopgaande. De leiding is beschikbaar gekomen na vervanging vanwege een aantal breuken in deze leiding. De lengte van de totale leiding is niet bekend. De leiding is aangelegd in 1957 en ligt in een veenbodem. De SI van het gedistribueerde drinkwater SI is gemiddeld  $-0,11$  (variërend van  $0,0$  tot  $-0,36$ ).

De variatie in uitloging van de leidingwand is bepaald door van de 20 buisdelen op de kopse kant de minimale en maximale inwendige en uitwendige uitloging te bepalen (Figuur 7 en Figuur 8). De gemiddelde wanddikte van de 20 buisdelen bedraagt  $15,1 \pm 0,9$  mm. Zichtbaar is dat binnen elke buis spreiding optreedt in de mate van uitloging. De spreiding in inwendige uitloging is kleiner dan de spreiding in uitwendige uitloging.



Figuur 7 Maximale en minimale inwendige uitloging (in mm) in twintig buisdelen uit één leiding



*Figuur 8 Maximale en minimale uitwendige uitloging (in mm) in twintig buisdelen uit één leiding*

In de praktijk wordt bij buisdeelonderzoek de inwendig en uitwendige uitloging over de gehele kopse kant van de buis bepaald. Alleen de maximale inwendige en uitwendige uitloging worden gebruikt in het Kennissysteem Levensduurbepaling.

De vraag is in hoeverre de resultaten van het onderzoek aan één buisdeel representatief zijn voor een gehele leiding. *Figuur 7* en *Figuur 8* laten zien dat de mate van uitloging in 20 buisdelen uit één leiding varieert. Bij inwendige uitloging is de verhouding tussen de standaardafwijking en het gemiddelde (variatiecoëfficiënt) 25%, in de mate van uitwendige uitloging is de variatiecoëfficiënt 44% (Tabel 2).

*Tabel 2 Statistische gegevens maximum inwendige en uitwendige uitloging leidingwand van 20 buisdelen uit één leiding*

	Inwendige uitloging (mm)	Uitwendige uitloging (mm)
Minimum	2,2	2,2
Gemiddelde	3,4	6,5
Mediaan	3,2	5,5
Maximum	4,8	12,0
Standaardafwijking	0,8	2,8
Variatiecoëfficiënt	24%	44%

Voor het schatten van het werkelijke gemiddelde van de maximale inwendige uitloging met maximaal 20% nauwkeurigheid, zijn minimaal 9 monsters nodig. Als de vereiste nauwkeurigheid maximaal 10% bedraagt, zijn 25 monsters nodig.

De spreiding in uitwendige uitloging is groter dan de spreiding in de inwendige uitloging. Om het werkelijke gemiddelde van de maximale uitwendige uitloging met de bovenvermelde nauwkeurigheden te schatten zijn daarom meer monsters nodig, namelijk minimaal respectievelijk 25 en 75 monsters.

De mate van uitloging en de spreiding daarin hangt uiteraard samen met de agressiviteit van drinkwater en bodem ten opzicht van asbestcement.

Naarmate de agressiviteit toeneemt, zal de uitloging sterker zijn en de spreiding in uitloging hoger. Bovendien hangt de mate van uitloging niet af van een enkele factor. De inwendige uitloging hangt voornamelijk af van de agressiviteit van het drinkwater, maar ook van de leeftijd van de leiding.

Bij de mate van uitwendige uitloging spelen nog meer factoren een rol, zoals de bodem, de ligging van de leiding ten opzichte van het grondwater en leeftijd (Trietsch et al., 2001).

De leiding bij WMD ligt in een veenbodem, waarbij de mate van aantasting hoog is. Naar verwachting zal de mate van uitloging en de spreiding in de meetresultaten bij andere typen bodems lager zijn en daarmee ook het aantal benodigde monsters om de gemiddelde maximale uitloging met een bepaalde nauwkeurigheid te kunnen schatten.

### ***Betekenis voor de praktijk***

De fenolftaleinetest is een snelle en relatief goedkope methode om inzicht te krijgen in de mate van in- en uitwendige aantasting van AC-leidingen. Er zijn echter een groot aantal monsters nodig om een statistisch betrouwbare uitspraak te doen over de conditie.

In de praktijk is een pragmatische aanpak nodig: bij agressief drinkwater is de mate van inwendige uitloging te bepalen op basis van een beperkt aantal leidingdelen (5 per leiding). Bij een agressieve bodem is het nodig om per buisdeel de conditie vast te stellen.





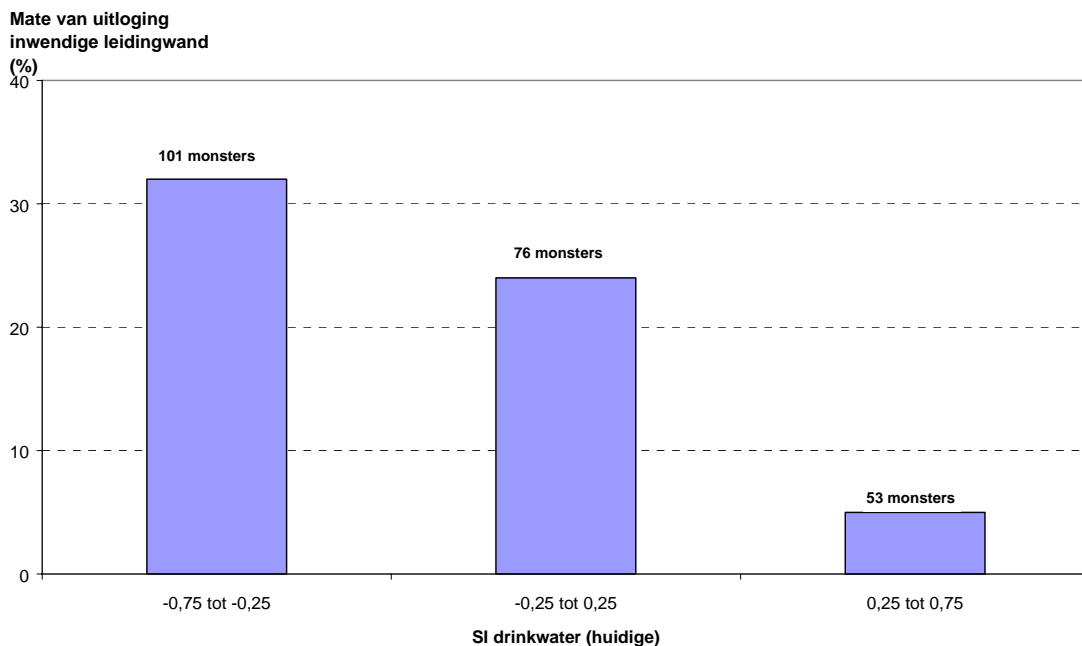
## 6 Invloedsfactoren bij uitloging

De meetresultaten van uitloging van asbestcement leidingen van alle bij Kiwa bekende AC-onderzoeken (WMD, WML en DZH) zijn ondergebracht in één centrale database. Deze database bevat eveneens gegevens over de watersamenstelling en de bodemsamenstelling van de locatie waar de AC-leidingdelen uitgenomen zijn.

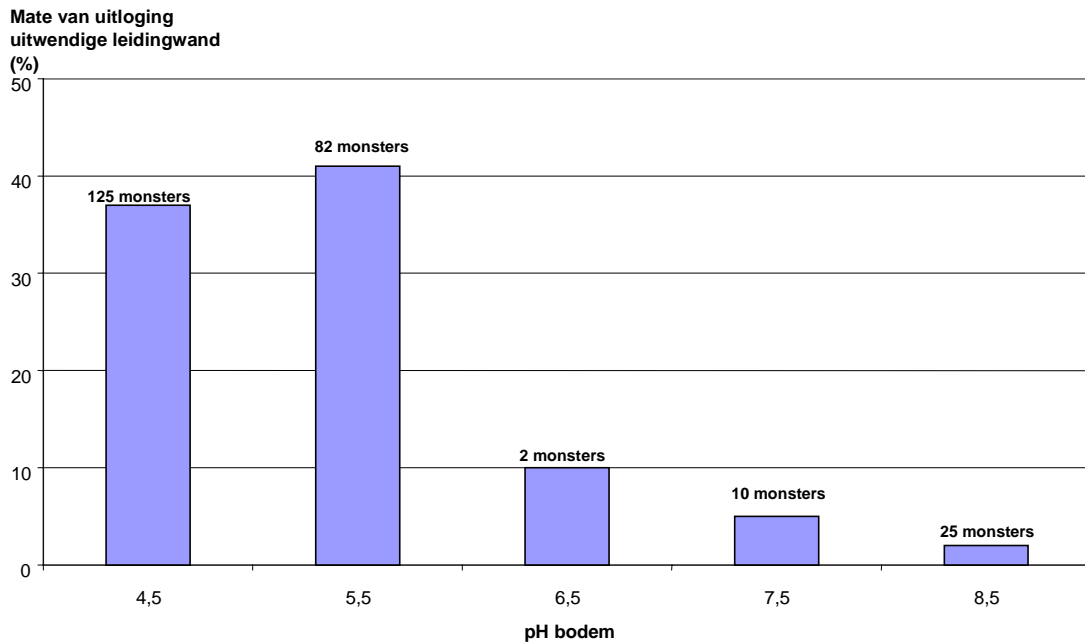
Uit de resultaten zijn relaties bepaald tussen de mate van inwendige uitloging en parameters zoals pH en SI en uitwendige factoren, zoals bodem en grondwater (Trietsch e.a., 2001). De relaties zijn bepaald door de (gemiddelde) mate van uitloging uit te zetten tegen een tweede factor (SI drinkwater, pH bodem).

Op basis van de beschikbare gegevens is te concluderen dat er een significante relatie bestaat tussen de verzadigingsindex van het water (SI) en de mate van uitloging van de inwendige leidingwand (Figuur 9). Bij een toename van de SI van het drinkwater neemt de mate van uitloging af.

De relatie tussen de uitloging van de uitwendige leidingwand en de pH van de bodem is eveneens vrij duidelijk. Bij bodems met een pH waarde hoger dan 6 tot 7 vindt nauwelijks uitloging van asbestcement vanaf de buitenzijde plaats, bij pH waarden lager dan 6 is uitwendige uitloging van AC-leidingen meer waarschijnlijk (Figuur 10).



Figuur 9 *Mate van uitloging van de inwendige leidingwand uitgezet tegen de huidige SI van het drinkwater ( 230 meetpunten)*



Figuur 10 Mate van uitloging van de uitwendige leidingwand uitgezet tegen de pH van de bodem (244 meetpunten)

Uitloging vanaf de buitenzijde is overigens niet alleen afhankelijk van de pH, maar ook van de leeftijd van de leiding, het soort bodem waarin de leiding ligt en de grondwaterstand. Een jonge leiding kan bijvoorbeeld in een bodem liggen met een lage pH en toch minder uitgelopen zijn dan een oudere leiding in een bodem met een hoge pH. Omdat het merendeel van de resultaten in de database betrekking heeft op leidingen die zijn gelegd in de periode 1950-1970, speelt leeftijd slechts een beperkte rol.

De interpretatie van de gegevens wordt bemoeilijkt doordat de uitloging in percentages en in ranges zijn opgeslagen in de database voor conditiebepaling van asbestcement (volgens Kennissysteem Levensduurbepaling). Het nadeel van de notatie in procenten is dat de relatie tussen waterkwaliteit en mate van uitloging deels verloren gaat.

Om te voorkómen dat informatie verloren gaat, is het beter om de in- en uitwendige uitloging in millimeters in te voeren en op te slaan en deze op basis van de wanddikte door het kennissysteem te laten omrekenen naar percentages en ranges.

## 7 Beoordeling conditie AC-leidingen

### 7.1 Mate van uitloging en resterende veiligheid van AC-leidingen

De mate van uitloging van AC-leidingen is te bepalen met de fenolftaleïne-test of met georadarmetingen. Het uitgelogde deel van de leidingwand kan niet als structureel deel van de wand worden beschouwd. Van belang is het deel van de leiding dat bijdraagt aan de sterkte, en dus de veiligheid, van de AC-leiding. Dit wordt de effectieve wanddikte genoemd.

In een AC leiding is de sterkte evenredig met de effectieve wanddikte. Omdat in de conditiebepalingsmethoden geen sterkte wordt bepaald maar wanddikte wordt in de rest van dit hoofdstuk de term 'wanddikte' gebruikt. Dit hoofdstuk geeft een pragmatische aanpak om op basis van de effectieve wanddikte en de minimaal benodigde wanddikte de resterende veiligheid van een leiding te bepalen.

### 7.2 Benodigde sterkte en veiligheid

De conditie van een leiding wordt bepaald door de mate waarin de leiding voldoet aan de eisen die aan deze leiding gesteld worden. Deze eisen kunnen gebaseerd zijn op de benodigde sterkte, de benodigde hydraulische capaciteit en de vereiste waterkwaliteit. De conditie van asbestcement leidingen moet dan ook beoordeeld worden aan de hand van deze criteria.

Leidingen voor drinkwater zijn over het algemeen overgedimensioneerd qua wanddikte voor de omstandigheden waarin de leidingen toegepast worden. Deze overdimensionering zorgt voor een veiligheid tegen falen. De overdimensionering wordt veroorzaakt door een aantal onderdelen:

- Veiligheid in de ontwerpbelasting;  
De leiding heeft voor bepaalde externe omstandigheden een bepaalde wanddikte nodig maar deze omstandigheden komen slechts plaatselijk of tijdelijk voor. Daartoe wordt een leiding bijvoorbeeld uitgevoerd in de drukklasse 1 MPa terwijl de werkdruk in het systeem niet boven 0,5 MPa komt.
- Fabricageproces;  
Een kleine diameter buis is niet te vervaardigen in de exacte wanddikte die voor de sterkte noodzakelijk is, doordat de benodigde wanddikte te klein voor het fabricageproces. Vooral kleine diameters ( $\varnothing$  100 mm) zijn hierdoor overgedimensioneerd.
- Veiligheid door spreiding van materiaaleigenschappen.  
De buizen worden vervaardigd in een wanddikte waarbij uitgegaan is van bepaalde materiaaleigenschappen. Door variatie in materiaaleigenschappen moet er een grotere wanddikte toegepast worden, waardoor de leiding sterker en dus overgedimensioneerd is.

Voor het beheer van het leidingnet heeft overdimensionering een voordeel: de sterkte van de leiding kan achteruit gaan terwijl de veiligheid ervoor zorgt dat de buis blijft voldoen. De aanwezige veiligheid is hoger dan noodzakelijk en mag dus in bepaalde mate afnemen.

Om de conditie van de leiding c.q. de resterende veiligheid te bepalen, is het nodig om vast te stellen waardoor de benodigde en aanwezige wanddikte bepaald wordt.

Voor de benodigde wanddikte van een leiding zijn de volgende factoren van belang:

- de maximum te verwachten inwendige druk;
- de maximum uitwendige belasting. Deze is afhankelijk van:
  - diepteligging,
  - grondsoort en -karakteristieken,
  - bovenbelasting vanuit het verkeer.
- de afmetingen, materiaaleigenschappen en constructie van de leiding.

De aanwezige wanddikte, en daarmee de veiligheid, volgt uit de werkelijke afmetingen op een bepaald tijdstip (effectieve wanddikte), materiaal-eigenschappen en de constructie van de leiding.

De effectieve wanddikte wordt bepaald bij een conditieonderzoek.

Voor de materiaaleigenschappen wordt uitgegaan van gemeten of minimum waarden voor het materiaal. Verder wordt aangenomen dat de constructie van een leiding niet verandert in de tijd.

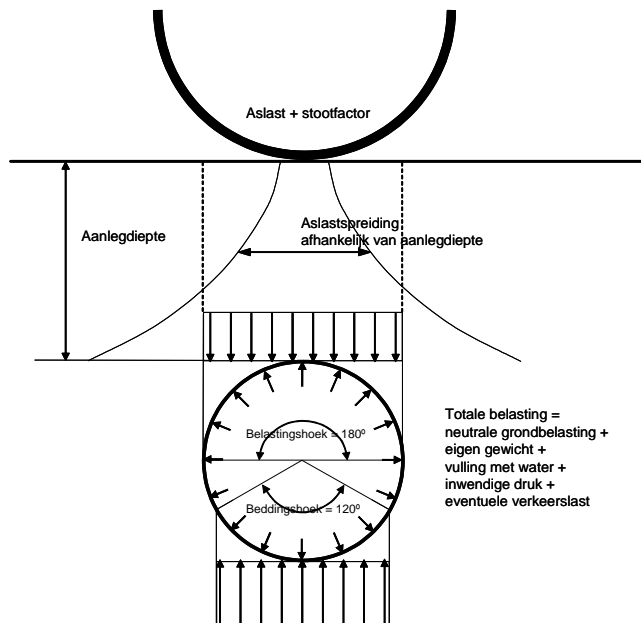
Door de uitkomst van het conditieonderzoek te combineren met een inschatting van de werkelijk benodigde wanddikte wordt de restwanddikte vastgesteld. Dit is een maat voor de resterende veiligheid tegen bezwijken van een leiding.

### **7.3 Vaststellen benodigde wanddikte**

Uit de belasting van de leiding en de materiaaleigenschappen is de benodigde wanddikte te bepalen volgens vereenvoudigde berekeningen als in de Pijpleidingcode (editie 1972). Zowel voor de belasting als voor de materiaaleigenschappen moeten een aantal aannames gedaan worden. Deze worden hierna besproken.

#### **7.3.1 Belastingen op de leiding**

Voor de berekening van de belasting op de leiding wordt uitgegaan van Figuur 11.



Figuur 11 Schematisch overzicht van de belastingen op de leiding

Hierin wordt rekening gehouden met:

- **Maximum inwendige druk**

Hierbij moet rekening gehouden worden met de maximum drukken onder mogelijke bijzondere omstandigheden. Drukgolven door waterslag moeten hierbij betrokken worden. In de voorbeeldberekeningen wordt rekening gehouden met drukken tussen de 0,3 en 1 MPa (30 - 100 mwk).

- **Grondbelasting**

Voor de grondbelasting wordt gerekend met een diepteligging die varieert van 0,75 tot 1,5 meter. Omdat de te onderzoeken leidingen al lange tijd in de grond liggen wordt uitgegaan van een neutrale grondbelasting met een belastingshoek van  $180^\circ$ .

De grondsoorten zand (soortelijke massa =  $1800 \text{ kg/m}^3$ ), klei (soortelijke massa =  $2000 \text{ kg/m}^3$ ) en veen (soortelijke massa =  $1100 \text{ kg/m}^3$ ) kunnen in de berekening betrokken worden.

- **Verkeersbelasting**

Als de leiding in een tracé ligt waar een verkeersbelasting mogelijk is, moet hiermee rekening gehouden worden. In de voorbeeldberekening wordt een verkeersbelasting gehanteerd van 0, 100 en 150 kN per aslast, dit komt respectievelijk overeen met geen verkeerslast, een verkeerslast volgens klasse 30 (normale verkeersbelasting, 300 kN totaal gewicht) en een verkeerslast volgens klasse 45 (zware verkeersbelasting, 450 kN totaal gewicht). Deze verkeersbelasting wordt gereduceerd voor de diepteligging. Tevens wordt de te hanteren stootfactor afhankelijk van de diepteligging bepaald.

Er wordt niet gerekend met een reductie ten gevolge van de wegconstructie.

### 7.3.2 *Ligging leiding in de grond*

Voor de berekening van de optredende spanningen in de leiding wordt de lange liggingsduur (meer dan 30 jaar) ook betrokken in de beschouwing. De beddingshoek is gesteld op 120°. Er worden alleen tangentiële spanningen in rekening gebracht. Er is dus niet gerekend met belastingsverschillen over de lengte van de leiding.

De leiding wordt verondersteld volledig boven het grondwater te liggen.

### 7.3.3 *Materiaaleigenschappen*

In de voorbeeldberekeningen is uitgegaan van een maximaal toelaatbare tangentiële spanning in asbestcement van 50 N/mm<sup>2</sup>. Voor de toegepaste rerounding van de buis wordt gerekend met een elasticiteitsmodulus van 25.000 MPa.

### 7.3.4 *Minimale veiligheid*

In de berekeningen wordt op de toelaatbare spanning in het buismateriaal een veiligheid van 2,5 gehanteerd op de toelaatbare spanning. Voor de belasting worden zoveel mogelijk reële waarden geschat. Dit betekent dat er een overall minimale veiligheidsfactor wordt gehanteerd van 2,5.

Indien de maximum toelaatbare spanningen in het materiaal anders zijn dan de gehanteerde wordt ook de veiligheidsfactor hiermee beïnvloed. Uit het breukgedrag van de leiding kan soms geconcludeerd worden dat de toelaatbare spanning afwijkt van de gehanteerde 50 N/mm<sup>2</sup> of dat de belasting hoger is dan ingeschat.

## 7.4 **Resultaten berekeningen minimaal benodigde wanddikte**

Voor de berekeningen van de minimaal benodigde wanddikte is gebruik gemaakt van een spreadsheet. Tabel 3 geeft alle belastingcombinaties (2592 stuks) met de verwijzing naar de corresponderende grafieken in bijlage I.

Door verschillende belastingcombinaties in één grafiek op te nemen is het aantal grafieken beperkt. Er worden twee typen grafieken onderscheiden:

- Grafiektype 1 waarin het materiaal, de diameter en de grondsoort varieert per grafiek (18 stuks per materiaal);
- Grafiektype 2 waarin het materiaal, de verkeersklasse, de grondsoort en diepteligging varieert per grafiek (27 stuks per materiaal).

De grafieken worden gekenmerkt volgens Tabel 3. De verschillende variabelen worden in het grafiekenmerk aangeduid met een getal of een X. De X staat voor de aanwezigheid van alle waarden van deze variabele in de grafieken. Op deze wijze ontstaat een kenmerk van 6 karakters per grafiek. Bijvoorbeeld:

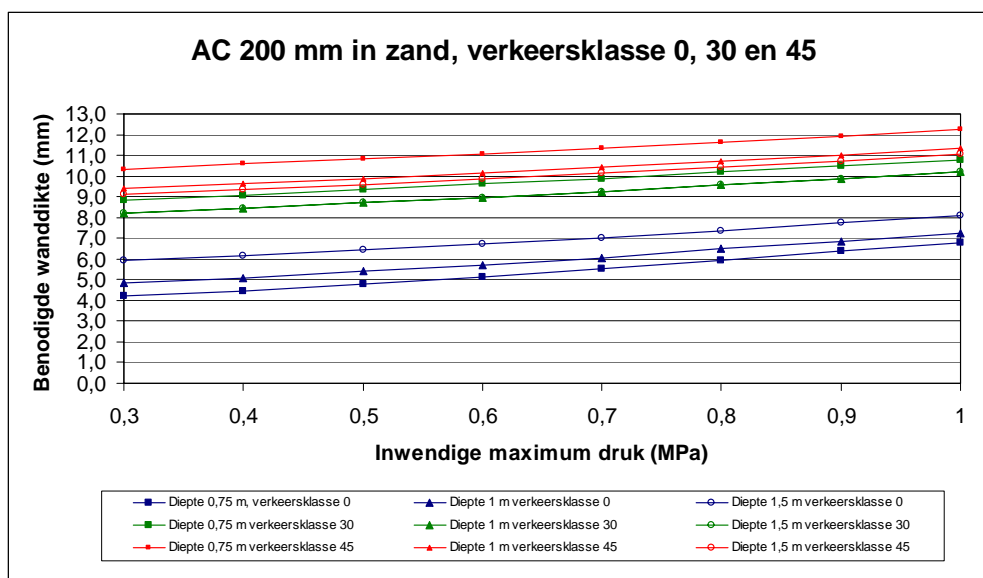
- Grafiektype 1: 142XXX  
Dit betreft een grafiek voor een asbestcement buis (1) van 150 mm(4) in klei (2).
- Grafiektype 2: 1X212X  
Dit betreft een grafiek voor een asbestcement buis (1) in klei (2) zonder verkeersbelasting (1) op een diepte van 1 m (2).

Alle benodigde grafieken zijn opgenomen in bijlage I. Indien er axiale spanningen aanwezig zijn in de leiding mogen de grafieken in bijlage I niet gebruikt worden.

Tabel 3 Mogelijke combinaties voor berekening van de minimaal benodigde wanddikte

Variabele		1	2	3	4	5	6
1	Materiaal	AC	GIJ				
2	Diameter	80 mm	100 mm	125 mm	150 mm	175 mm	200 mm
3	Grondsoort	Zand	klei	veen			
4	Verkeersklasse	0	30	45			
5	Diepteligging	0,75 m	1,00 m	1,50 m			
6	Inwendige druk	Continu 0,3 - 1 MPa (stapjes 0,1 MPa)					

Figuur 12 geeft voor een  $\varnothing 200$  mm asbestcement leiding de benodigde wanddikten voor verschillende diepteliggingen, maximum waterdrukken en verkeersklassen.

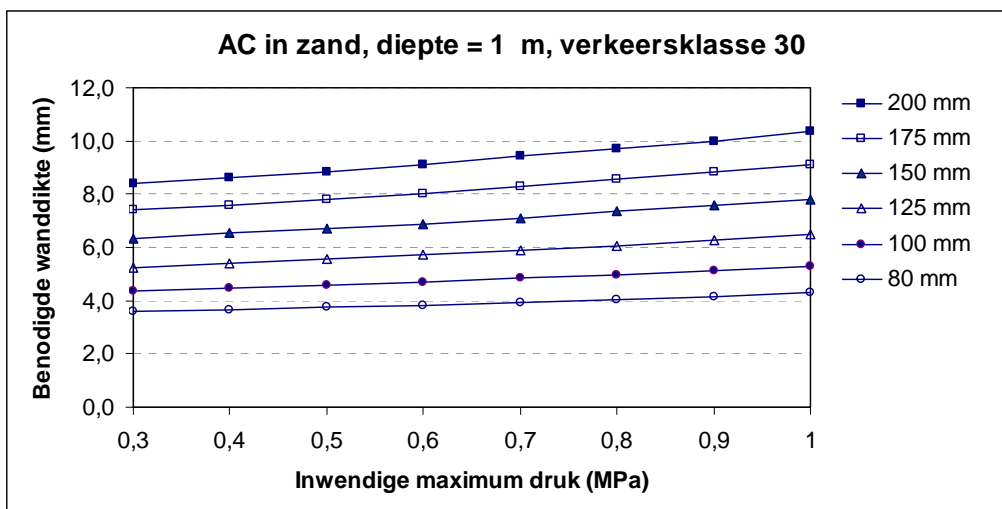


Figuur 12 Grafiektype 1: benodigde wanddiktes  $\varnothing 200$  mm bij verschillende belastingen (kenmerk 161XXX)

Figuur 13 geeft de benodigde wanddikte bij een diepteligging van 1 m, boven het grondwater en bij een verkeersbelasting van klasse 30.

De benodigde wanddikte is bepaald voor de tangentiële spanning. Met extra spanningen in de lengterichting van de leiding (axiale spanningen) als gevolg van zettingsverschillen of kruisingen met andere infrastructuur wordt geen rekening gehouden.





Figuur 13 Grafiektype 2: benodigde wanddikten voor verschillende diameters bij een gelijke belasting (kenmerk1X121X)

## 7.5 Interpretatie grafieken wanddikten

Uit de grafieken zijn de minimaal benodigde wanddikten te bepalen voor verschillende belastingomstandigheden. Uit het voorbeeld van Figuur 13 blijkt dat een  $\varnothing 125$  mm leiding in deze omstandigheden een minimale benodigde wanddikte 6 mm bedraagt bij een maximum inwendige druk van 0,8 MPa. Wordt in het conditieonderzoek een geringere plaatselijke wanddikte gemeten, dan betekent dit dat de veiligheid is teruggelopen tot onder het niveau van 2,5.

Bij een extreme gebeurtenis als waterslag, extra hoge druk, extra verkeersbelasting of zettingen als gevolg van werkzaamheden zal de buis waarschijnlijk bezwijken. Het optreden van een dergelijke gebeurtenis kan echter op zich laten wachten. De veiligheid van de buis ligt echter beneden een aanvaardbaar niveau.

## 7.6 Betekenis van de minimaal benodigde wanddikte

Bij goed ontwerp is de conditie van een leiding bij aanleg 100%.

Op basis van een berekening is het mogelijk om de minimaal benodigde wanddikte te bepalen. Als deze minimaal benodigde wanddikte optreedt, is de restwanddikte 0 mm. De resterende veiligheid ligt dan op het niveau van 2,5. Door de schadeconsequenties bij breuk in te schatten kan een lagere veiligheid al dan niet geaccepteerd worden. Hierdoor zijn saneringsbeslissingen beter te onderbouwen.

In het Kennissysteem Levensduur Bepaling (KSLB) wordt de minimaal benodigde wanddikte niet meegenomen. In het KSLB wordt de benodigde conditie (normconditie) bepaald op basis van de klantperceptie. De klantperceptie wordt berekend op basis van gegevens van de gevolgen van storingen.

De normconditie staat los van de werkelijke conditie van de leiding. De werkelijke conditie wordt berekend door combinatie van de oorspronkelijke wanddikte, de minimaal benodigde wanddikte en de effectieve wanddikte. Op het moment dat de benodigde conditie onder 0% komt, dienen passende maatregelen genomen te worden.

In onderstaand rekenvoorbeeld wordt de conditie van een leiding berekend uit de meet- en rekengegevens:

Oorspronkelijke wanddikte	15 mm
Minimaal benodigde wanddikte	5 mm
Effectieve wanddikte	7 mm
Conditie van deze leiding	$(7 - 5) / (15 - 5) = 0,2 = 20\%$

Dit getal moet vergeleken worden met benodigde conditie vanuit de klantperceptie.



## 8 Conclusies en aanbevelingen

### 8.1 Mate van uitloging van AC

De fenolftaleïne-test en de georadartechniek blijken uitstekende methoden om inzicht te krijgen in de mate van uitloging van AC-leidingen.

De fenolftaleïne-test is een snelle en relatief goedkope methode. Er zijn echter een groot aantal monsters nodig om met deze methode een statistisch betrouwbare uitspraak te doen over de mate van uitloging.

In de praktijk wordt voor het bepalen van de mate van uitloging met de fenolftaleïne-test en de georadarmeting de volgende aanpak voorgesteld:

- de mate van inwendige uitloging wordt bepaald op basis van onderzoek van vijf leidingdelen per leiding;
- de mate van uitwendige uitloging wordt per buisdeel bepaald.

Ondanks de relatief grote spreiding in meetresultaten geven de fenolftaleïne-test en de georadarmeting een goed beeld van de mate van aantasting van een leiding en kunnen de resultaten van de metingen behulpzaam zijn om prioriteiten te stellen bij saneringsprogramma's voor leidingen.

Op basis van de meetgegevens van fenolftaleïne-testen bij waterbedrijven blijkt dat er een duidelijk relatie bestaat tussen de SI van het drinkwater en de inwendige uitloging. Bij een toename van de SI neemt de mate van inwendige uitloging af. De kans op uitwendige uitloging is groot bij bodems met een pH lager dan 6, bij bodems met een pH van 6 à 7 lijkt nauwelijks uitloging op te treden.

Naast gevolgen voor de conditie van een leiding kan uitloging van AC-leiding negatieve gevolgen hebben voor de waterkwaliteit.

### 8.2 Conditie van AC-leidingen

De mate van uitloging doet geen uitspraak over de daadwerkelijke conditie of resterende veiligheid van een leiding. Om een uitspraak te doen over de werkelijke conditie van een AC-leiding is een pragmatische aanpak ontwikkeld.

De **minimaal benodigde wanddikte** wordt afgeleid uit de maximum te verwachten inwendige druk, de maximum uitwendige belasting en de afmetingen, materiaaleigenschappen en constructie van de leiding.

De aanwezige en dus de **effectieve wanddikte** wordt bepaald met de fenolftaleïne-test of georadarmeting.

De restwanddikte wordt berekend door de effectieve wanddikte te verminderen met de minimaal benodigde wanddikte. De restwanddikte geeft een beeld van de resterende veiligheid. Door de schadeconsequenties bij breuk in te schatten kan een lagere veiligheid al dan niet geaccepteerd worden. Hierdoor zijn saneringsbeslissingen beter te onderbouwen.



# Referenties

Hoven, Th.J.J. van den en J.H.G. Vreeburg (1992). *Waterkwaliteit in het leidingnet: Helderheid met monitorsystemen*, H<sub>2</sub>O **25**, 10, p. 255

Kiwa Keuringseisen No. 17 (1959). *Waterleidingbuizen en hulpstukken van asbestcement met nominale middellijnen toe en met 300 mm KIWA Rijswijk (huidige status: vervallen)*

Leroy P., M.R. Schock, I Wagner en H. Holtschulte: *Cement-based materials in: AwwaRF/DVWG-Technologiezentrum Wasser (1996). Internal corrosion of water distribution systems (second edition)*, AWWA Denver

Mesman G.A.M. (2001). *Validatie georadar voor kleine diameters AC-buizen*, Kiwa-rapport 2001.150 (C), Nieuwegein

Mons M.N. (2000). *Blootstelling aan asbest via drinkwater*, Kiwa SWI 99.186, Nieuwegein

NEN 3262 (1988). *Asbestcementbuizen en koppelingen voor drukleidingen – Eisen en beproevingsmethoden*, NEN Delft (huidige status: ingetrokken)

Pijpleidingcode 1972, uitgegeven door de Provincie Zuid-Holland, Den Haag

Rosenthal L.P.M (1997). *Leidingnetbeheer*, Kiwa SWE 97.010, Nieuwegein

Schock M.R. en R.W. Buelow (1981). *The behavior of asbestos-cement pipe under various water quality conditions: Part 2, theoretical considerations*, JAWWA **73**, 636-651

Slaats P.G.G., H. Brink en Th.J.J. van den Hoven (1993). *Uitloging van calciumhydroxide bij cementshoudende leidingmaterialen*, Kiwa-rapport SWE 93.035, Nieuwegein

Slaats P.G.G. (2003). *BTO projectplan Conditiebescherming cementshoudende leidingmaterialen*, Kiwa Nieuwegein

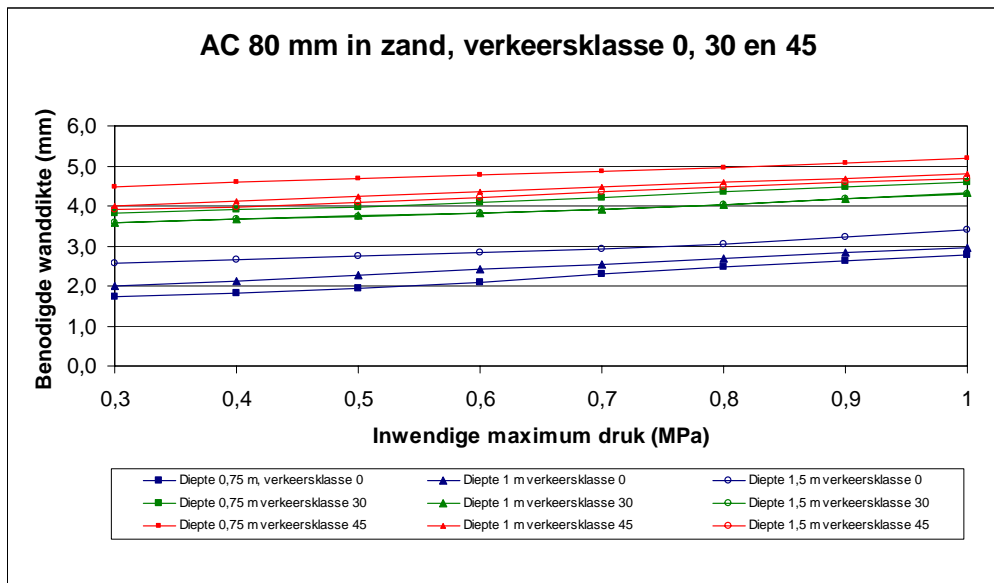
Sterk G.R., C.A.C. van den Lisdonk en P.G.G. Slaats (1999). *Conditiebepalingsmethoden voor asbestcementleidingen - Beoordeling met praktijkonderzoek*. Kiwa-rapport SWE 99.004, Nieuwegein

Trietsch E.A. en M. de Koning (2001). *Operationeel leidingnetbeheer en conditie- en levensduurbepaling - Clusteronderzoek 2000*, Kiwa-rapport BTO 2001.129 (C) Nieuwegein

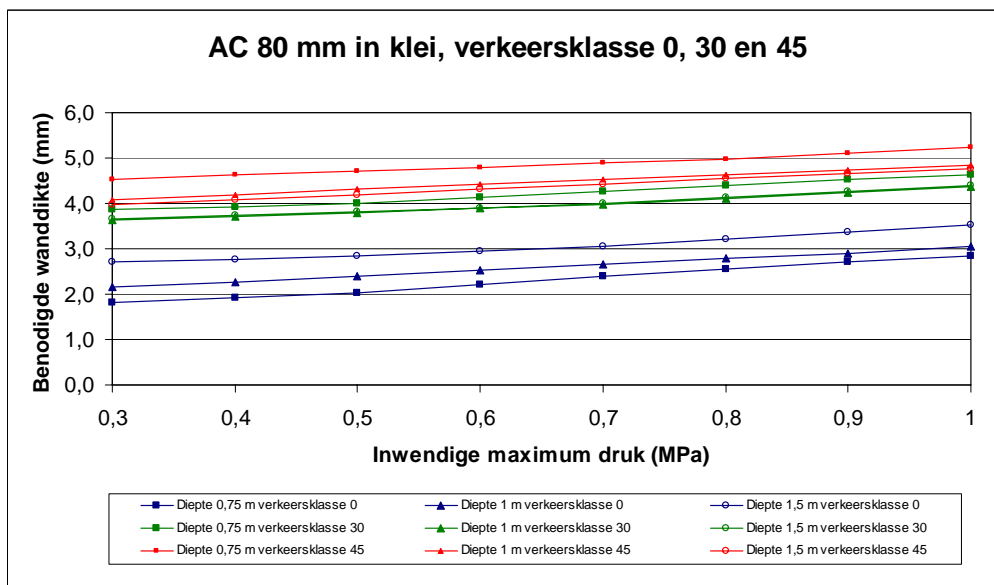
Troxell G.E., H.E. Davis en J.W. Kelly (1968). *Composition and properties of concrete*, 2nd ed. New York: Mc Graw-Hill Book Co.Inc.



# I Grafieken benodigde wanddikten

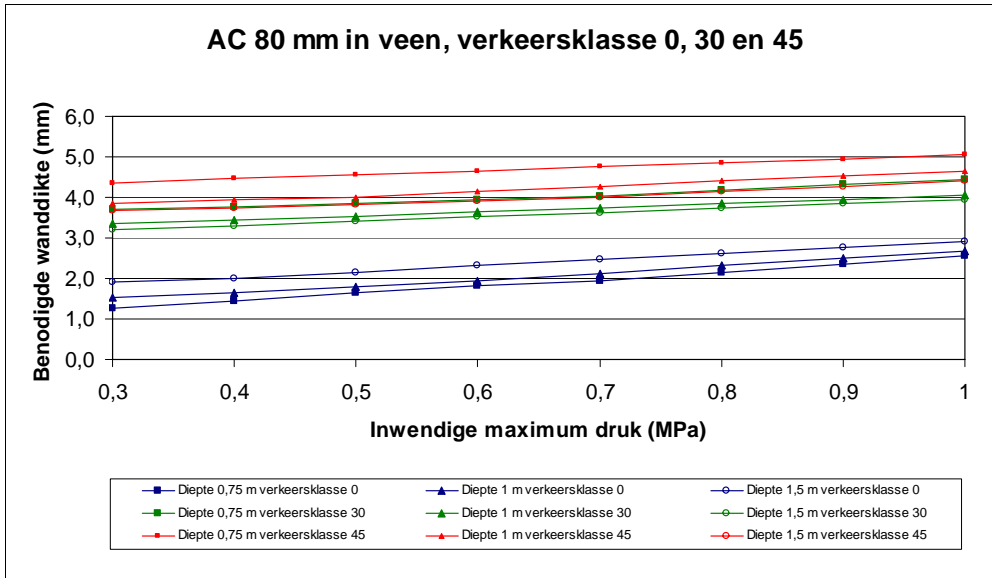


Grafiektype 1, kenmerk 111XXX

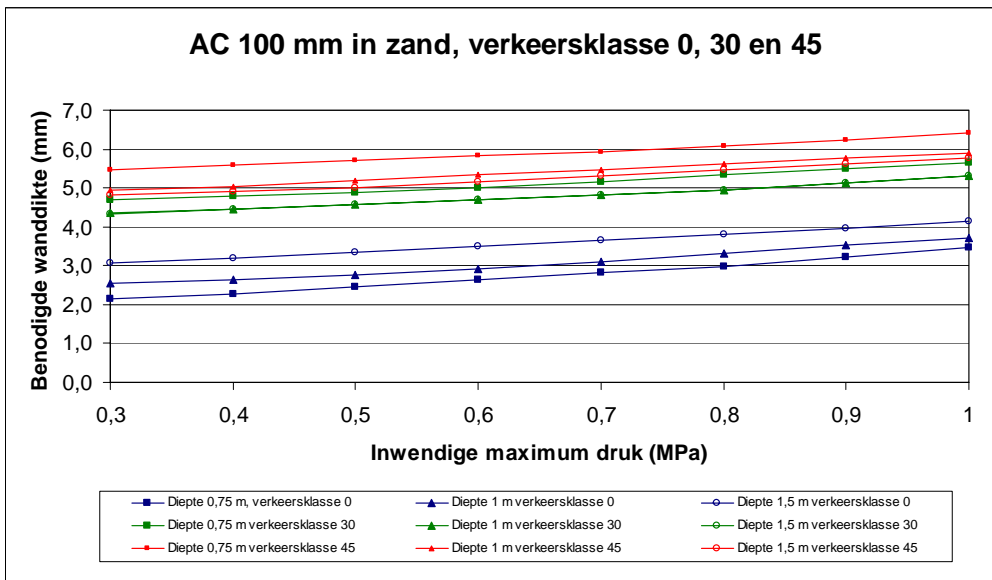


Grafiektype 1, kenmerk 112XXX

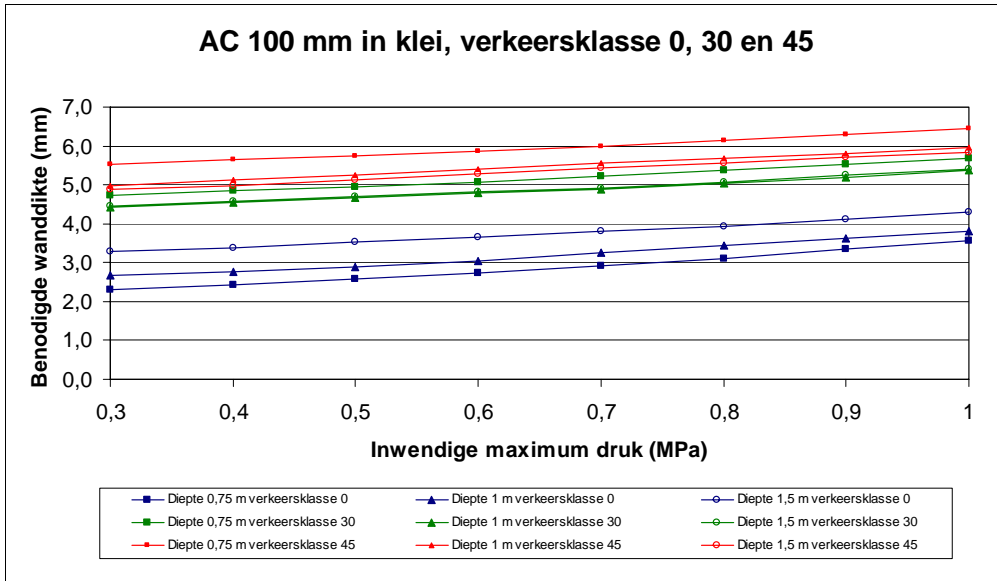




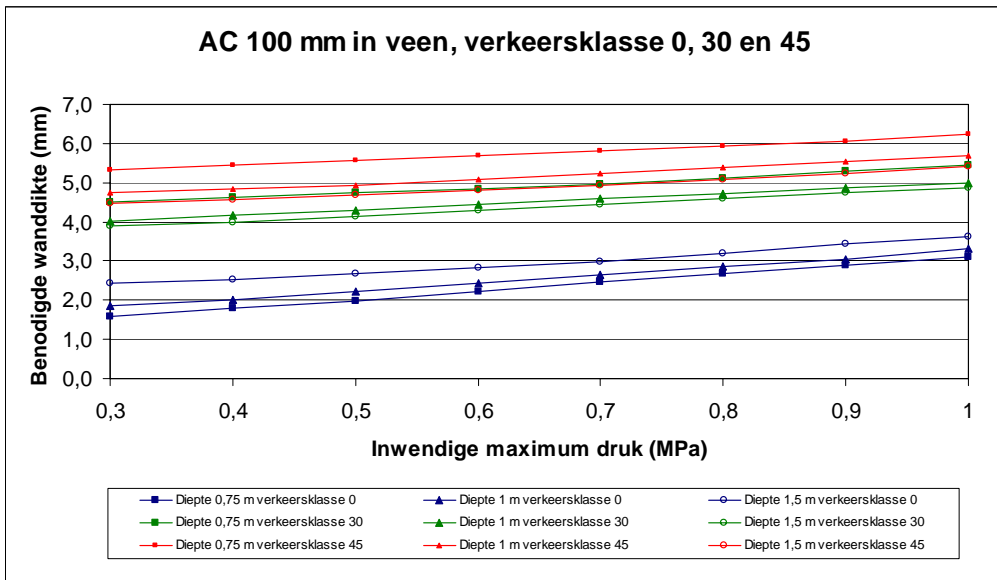
Grafiektype 1, kenmerk 113XXX



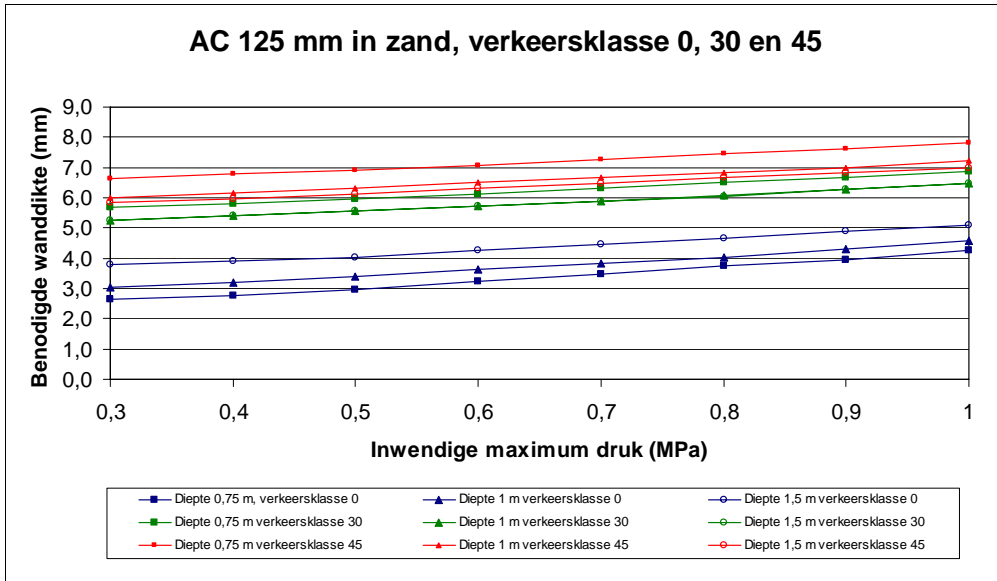
Grafiektype 1, kenmerk 121XXX



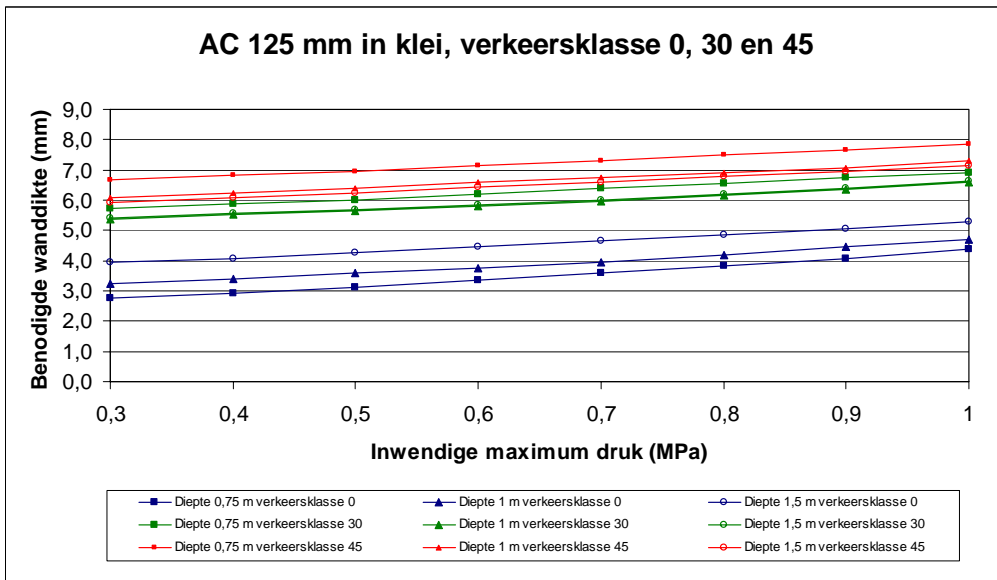
Grafiektype 1, kenmerk 122XXX



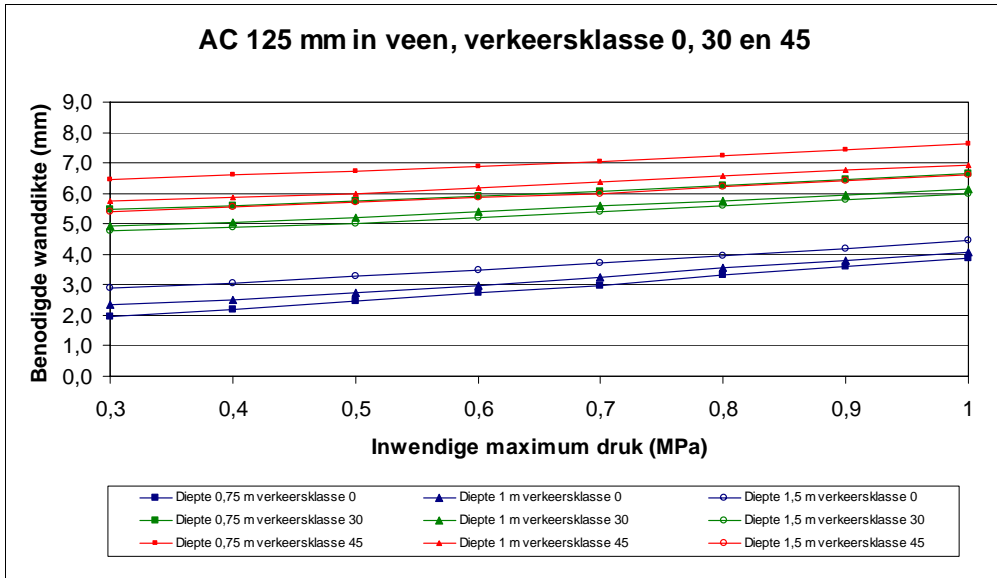
Grafiektype 1, kenmerk 123XXX



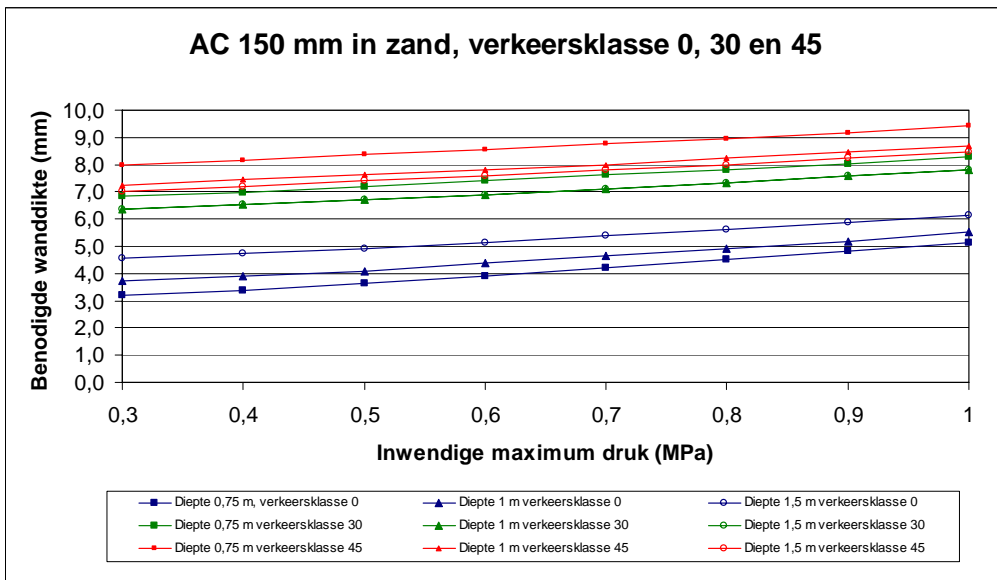
Grafiektype 1, kenmerk 131XXX



Grafiektype 1, kenmerk 132XXX

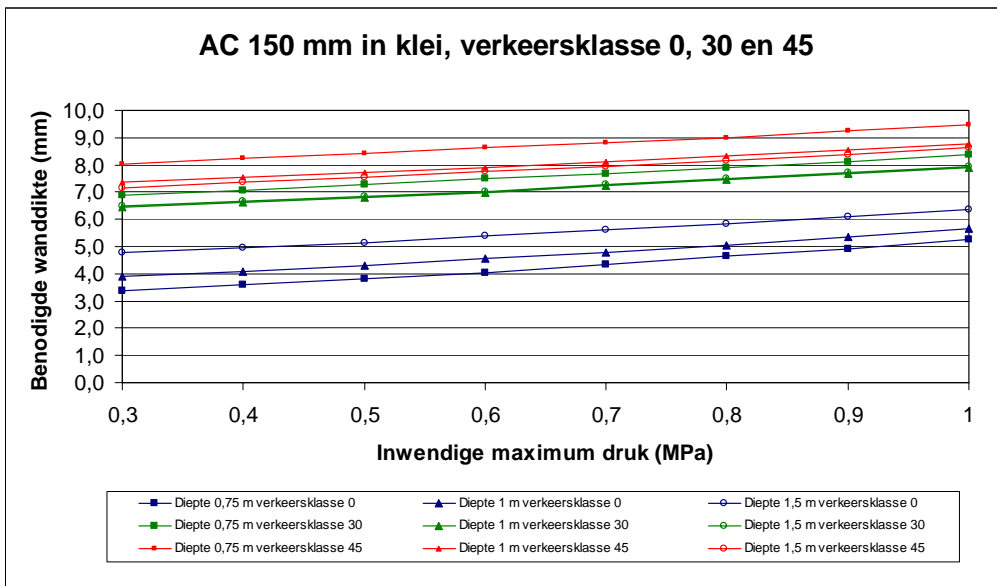


Grafiektype 1, kenmerk 133XXX

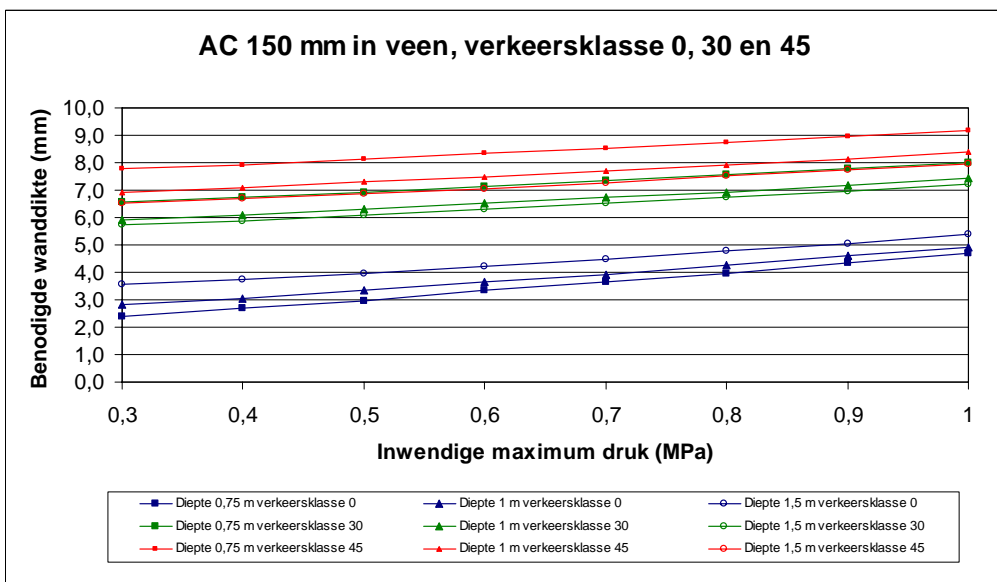


Grafiektype 1, kenmerk 141XXX

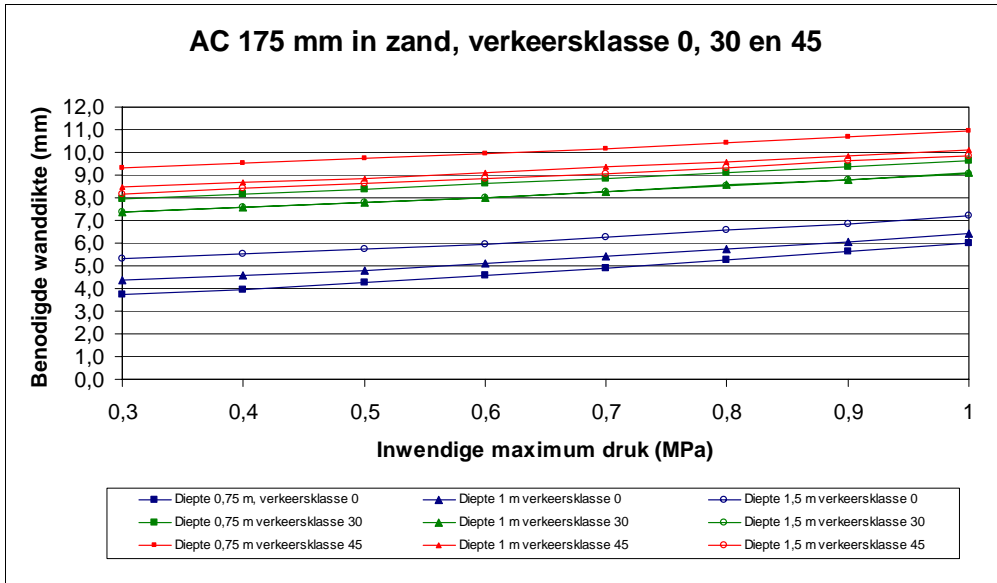
++



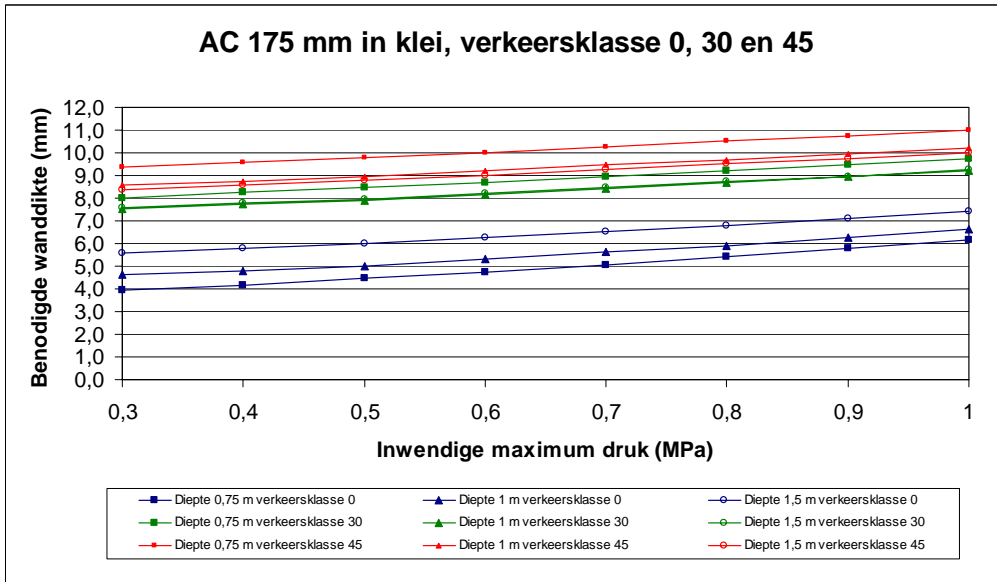
Grafiektype 1, kenmerk 142XXX



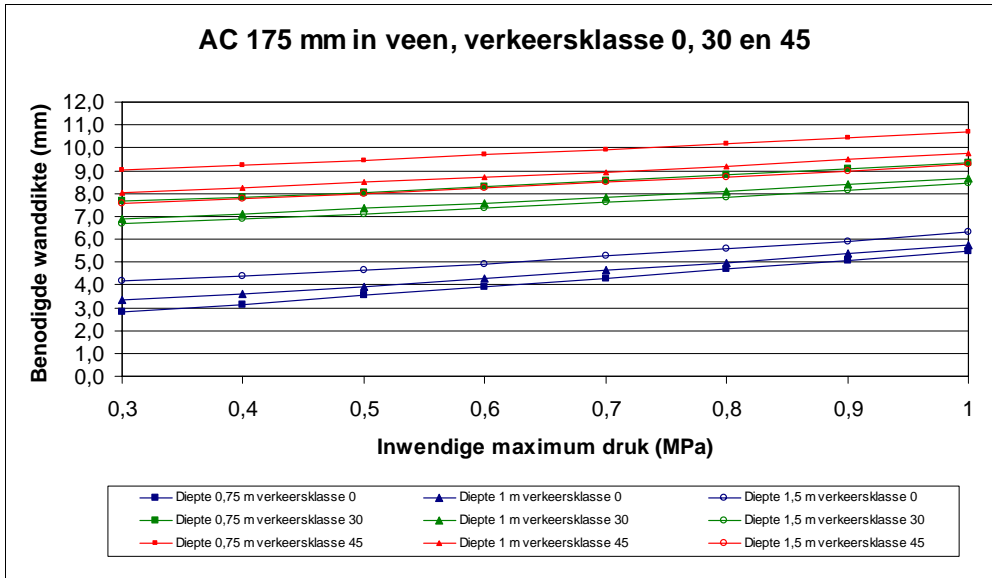
Grafiektype 1, kenmerk 143XXX



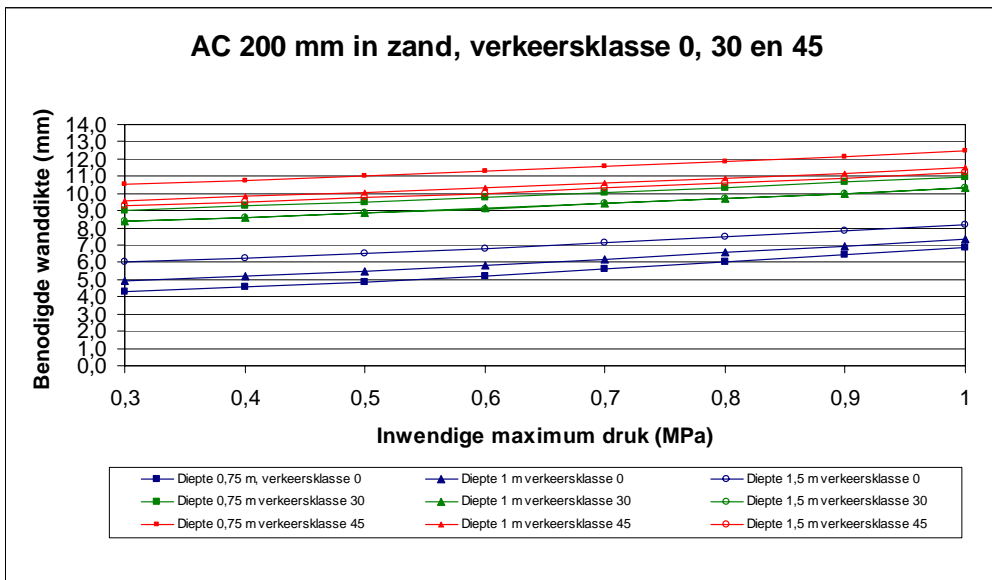
Grafiektype 1, kenmerk 151XXX



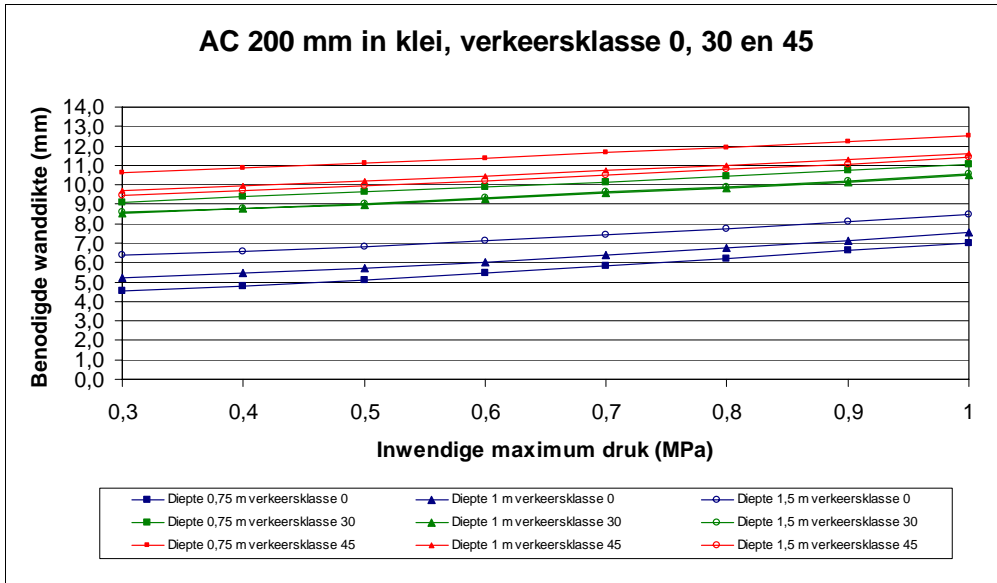
Grafiektype 1, kenmerk 152XXX



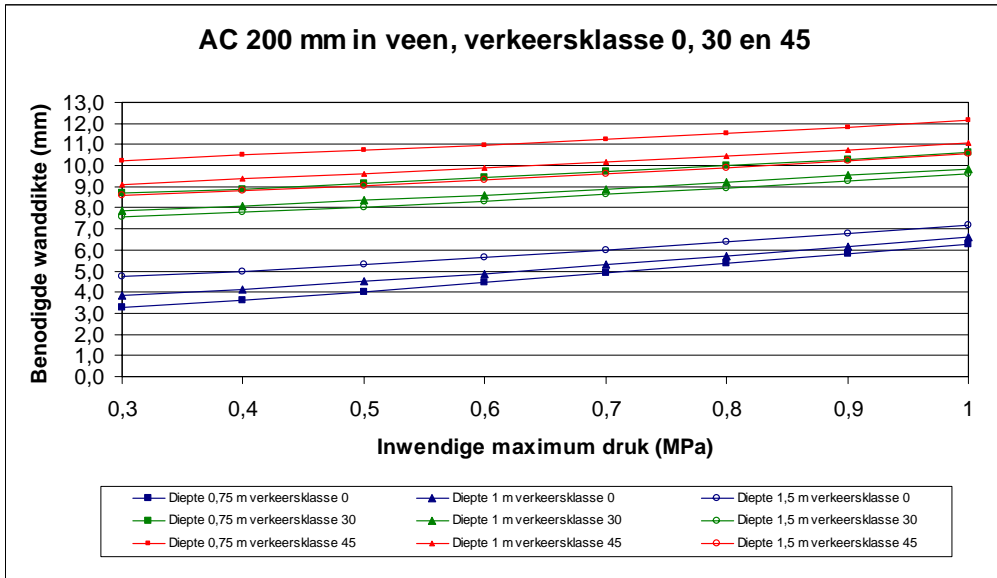
Grafiektype 1, kenmerk 153XXX



Grafiektype 1, kenmerk 161XXX

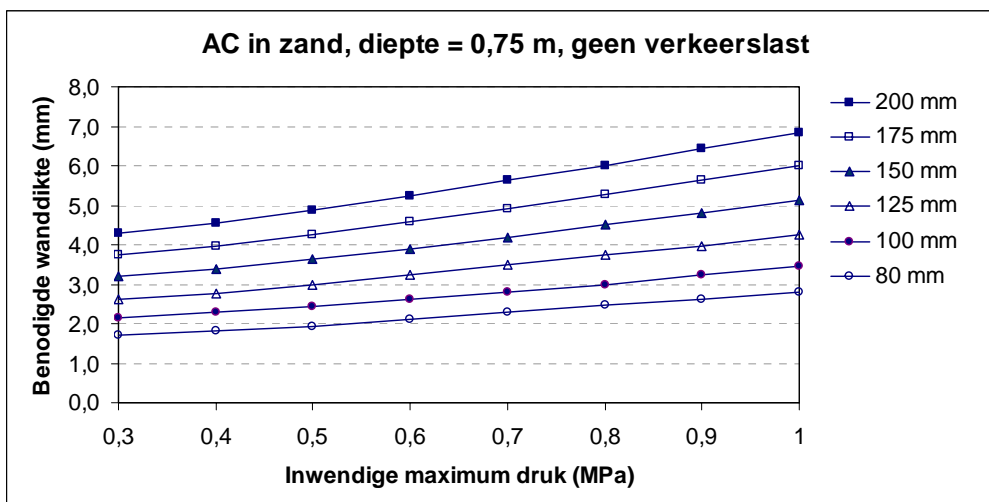


Grafiektype 1, kenmerk 162XXX

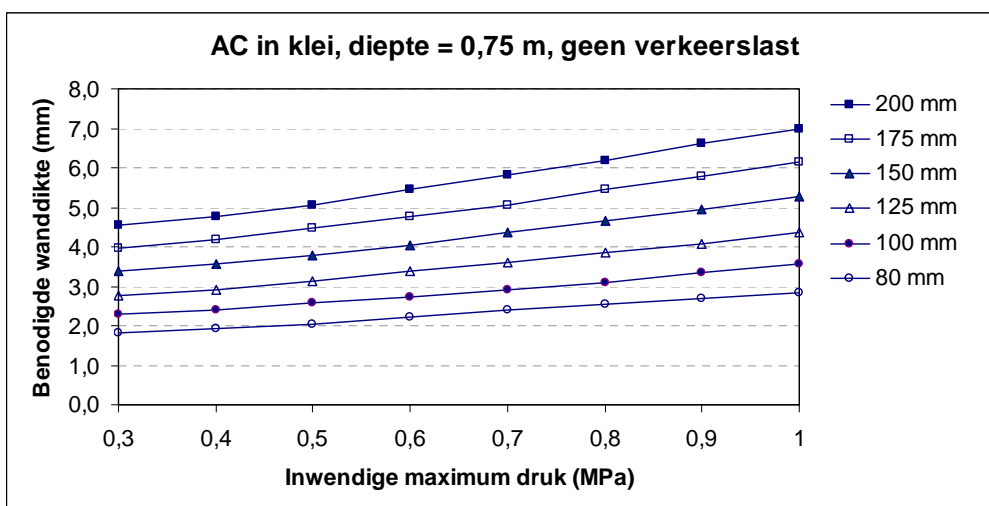


Grafiektype 1, kenmerk 163XXX

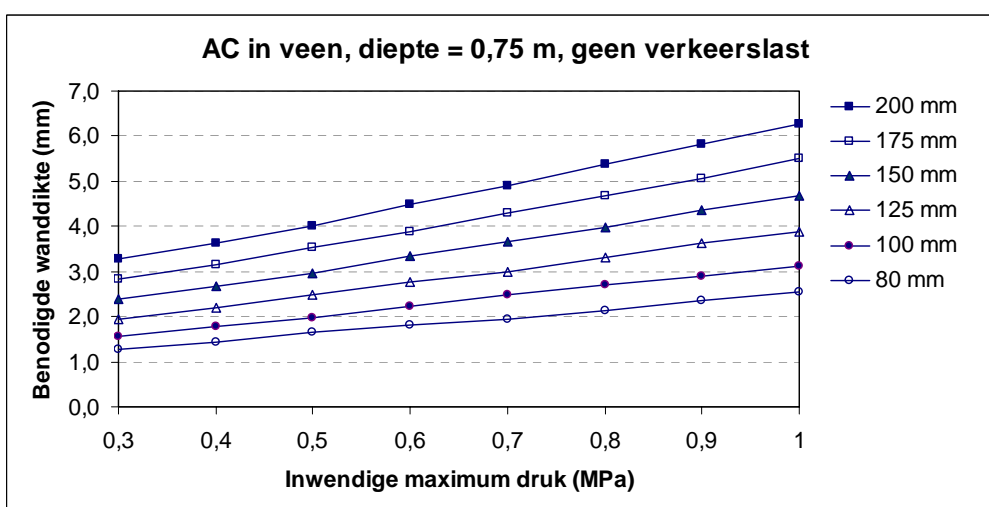




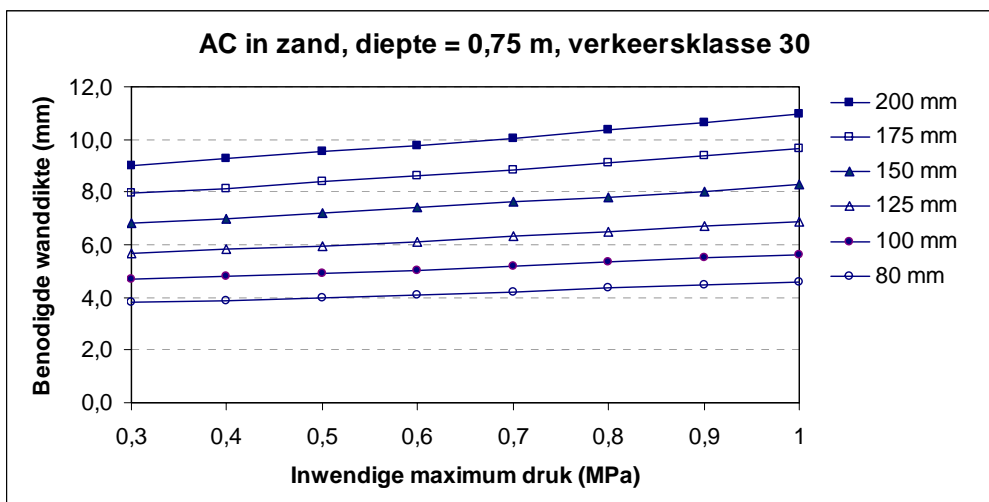
Grafiektype 2, kenmerk 1X111X



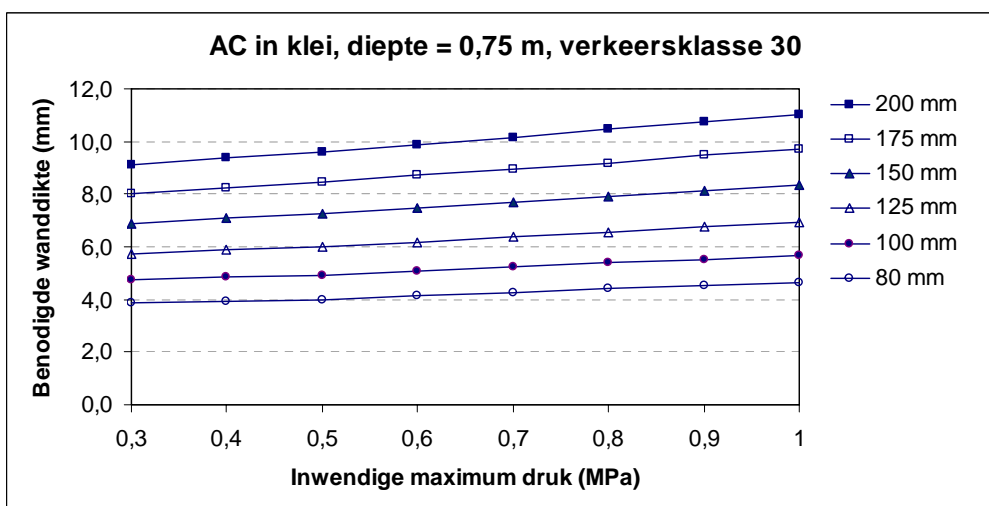
Grafiektype 2, kenmerk 1X211X



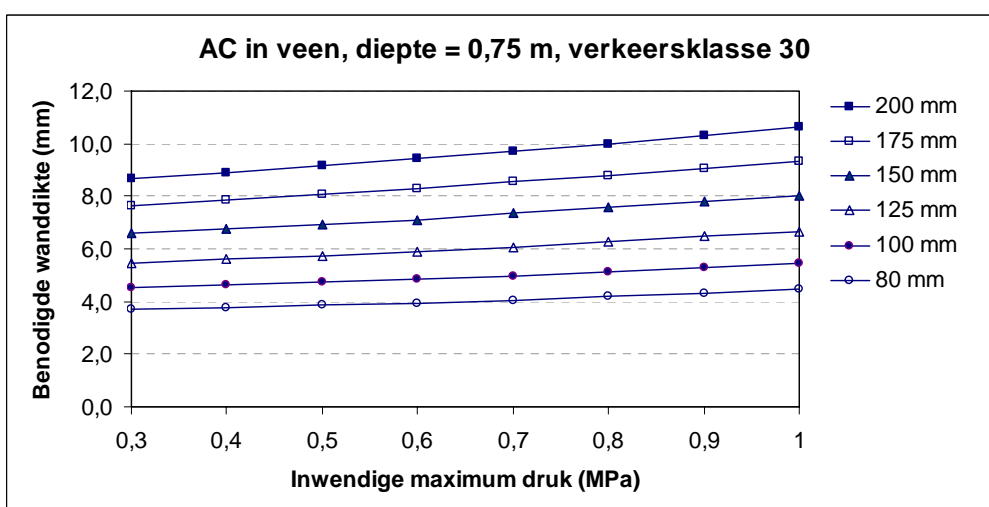
Grafiektype 2, kenmerk 1X311X



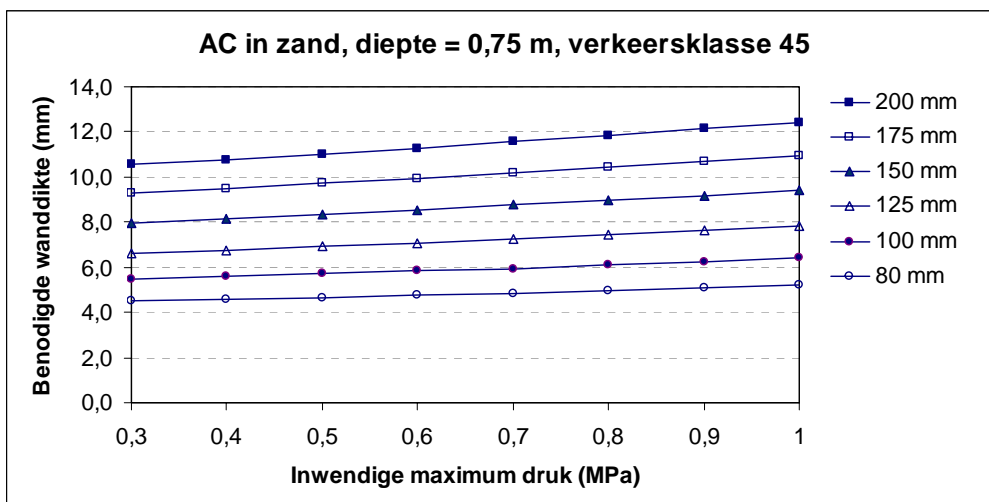
Grafiektype 2, kenmerk 1X121X



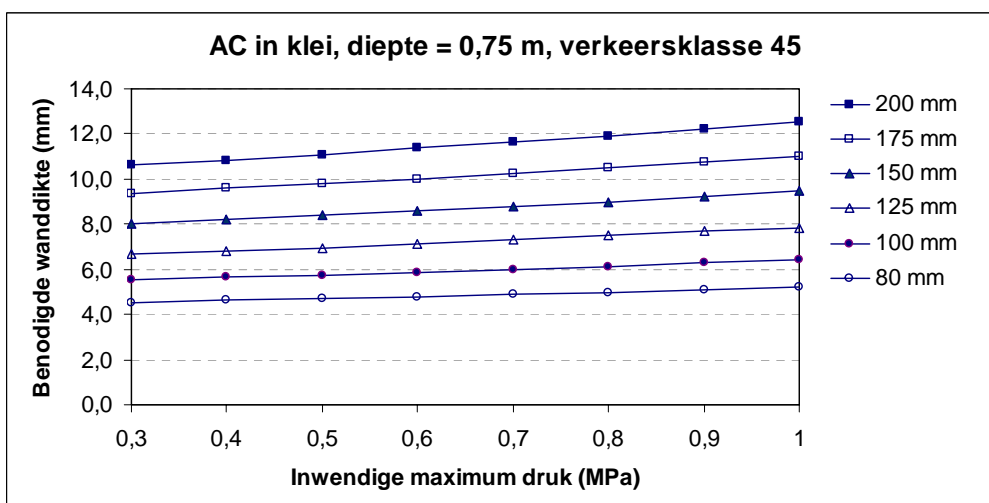
Grafiektype 2, kenmerk 1X221X



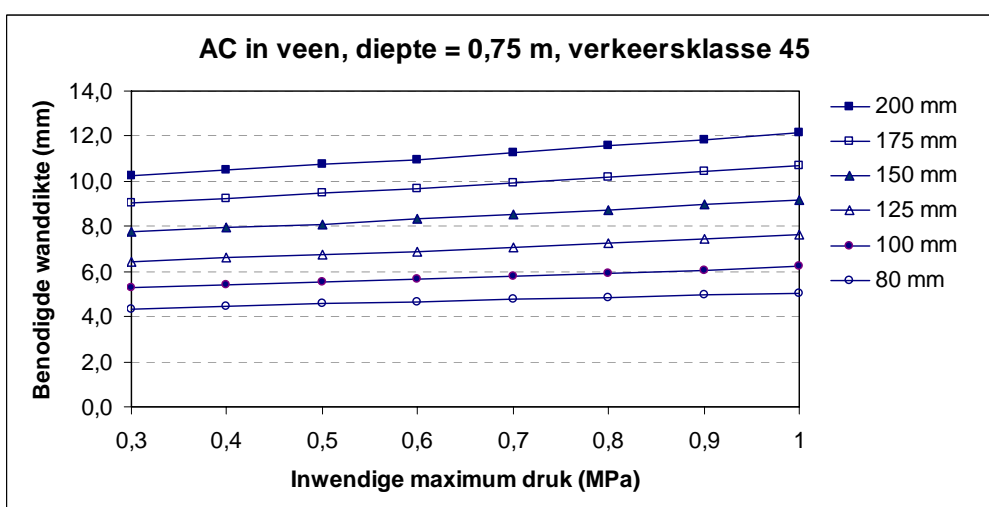
Grafiektype 2, kenmerk 1X321X



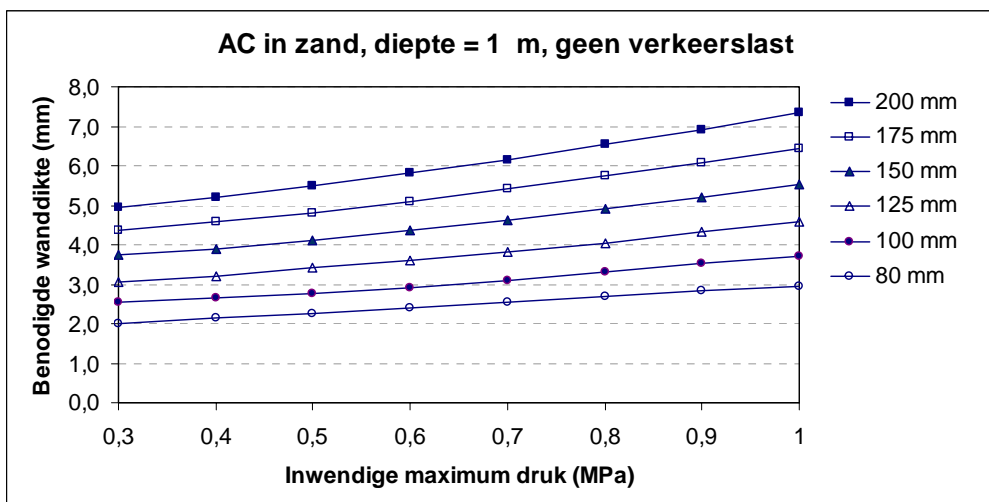
Grafiektype 2, kenmerk 1X131X



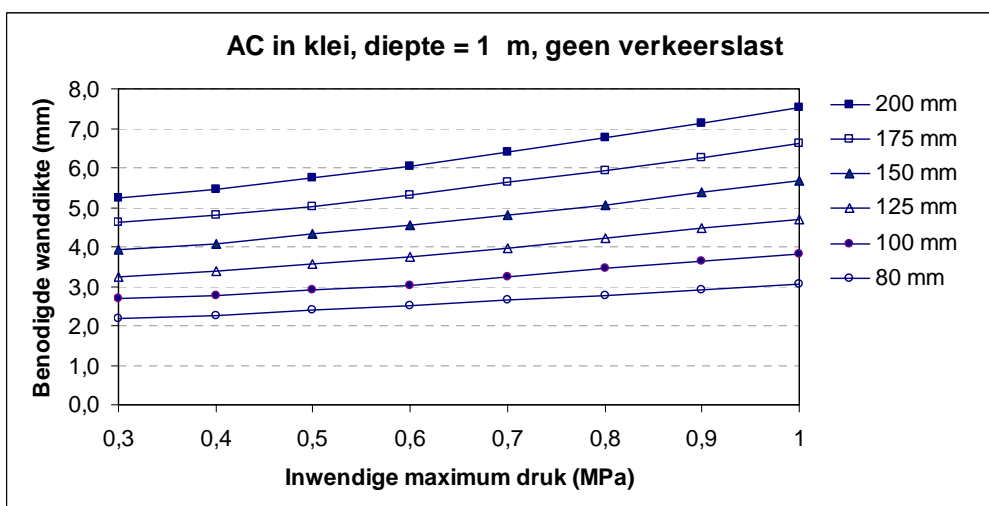
Grafiektype 2, kenmerk 1X231X



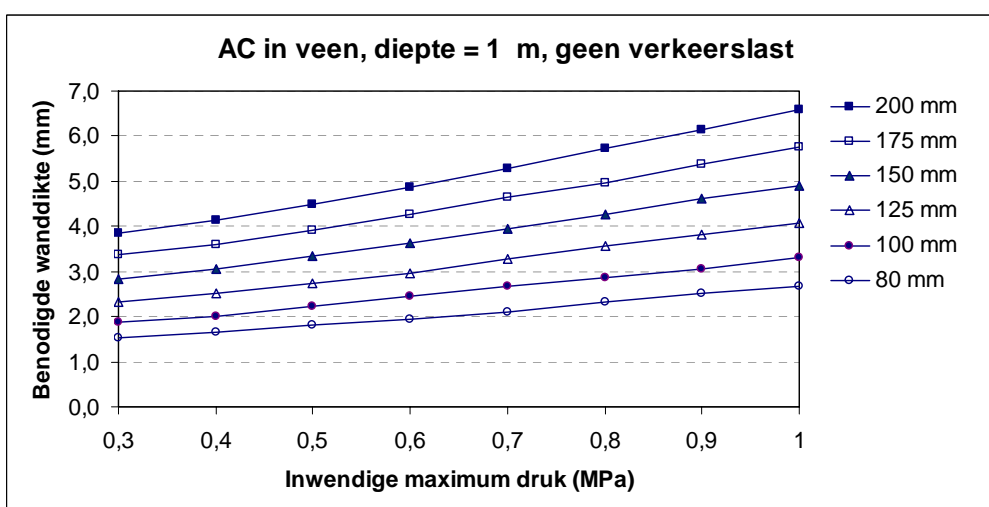
Grafiektype 2, kenmerk 1X331X



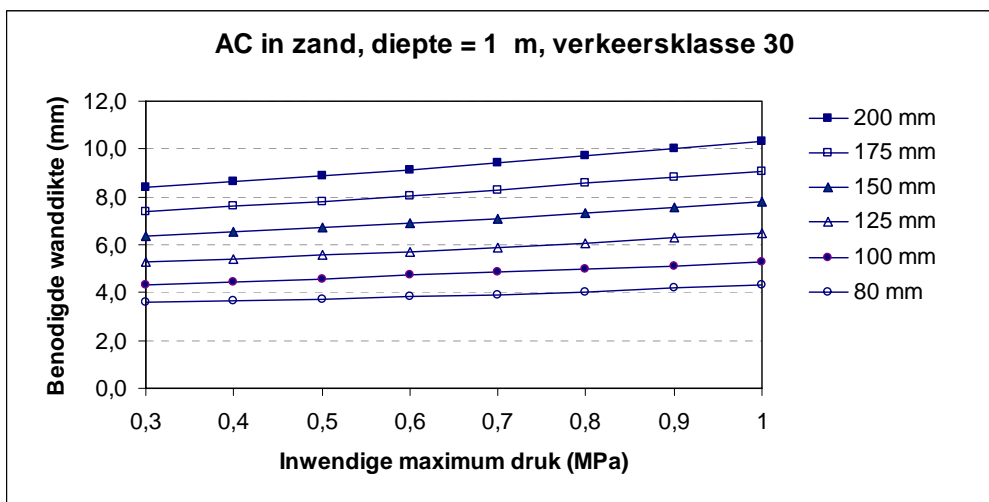
Grafiektype 2, kenmerk 1X112X



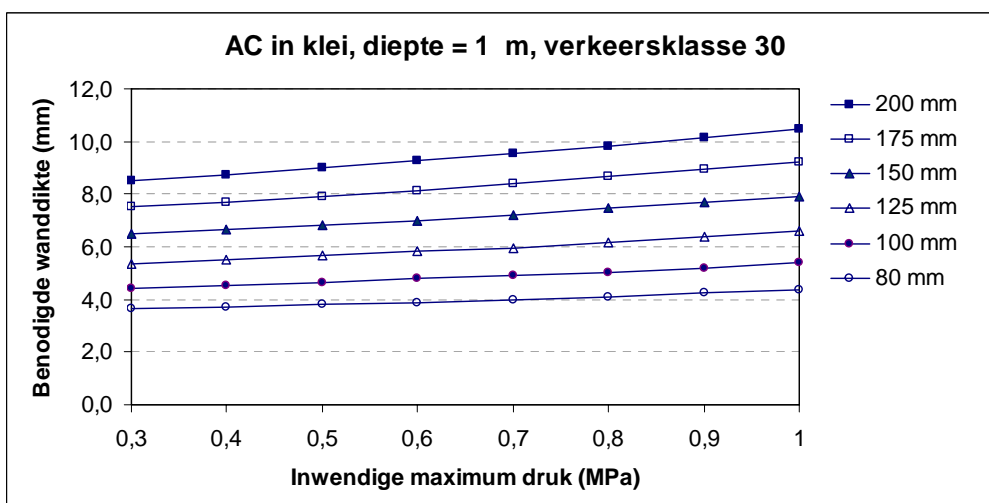
Grafiektype 2, kenmerk 1X212X



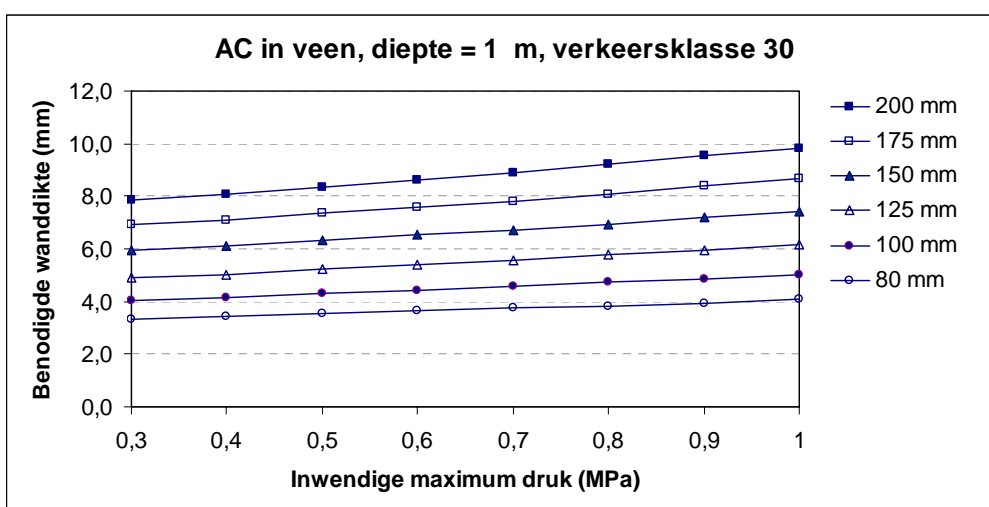
Grafiektype 2, kenmerk 1X312X



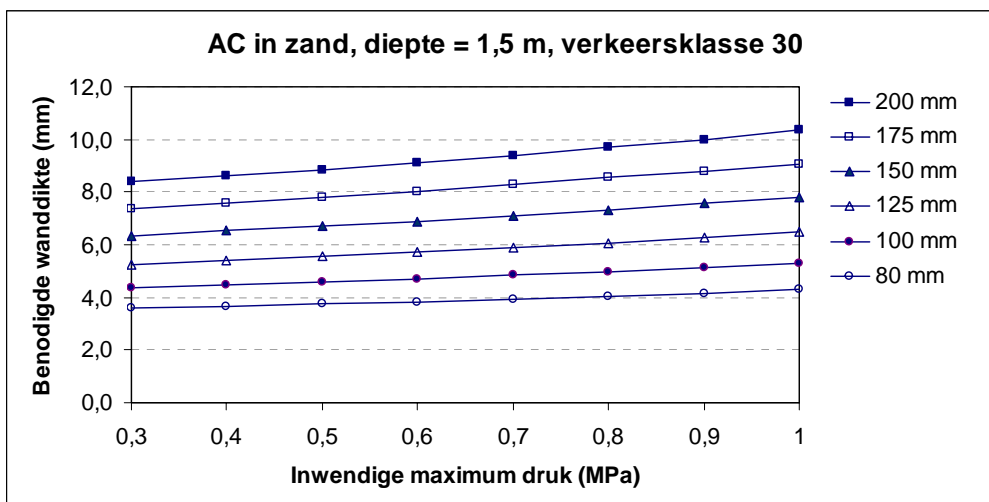
Grafiektype 2, kenmerk 1X121X



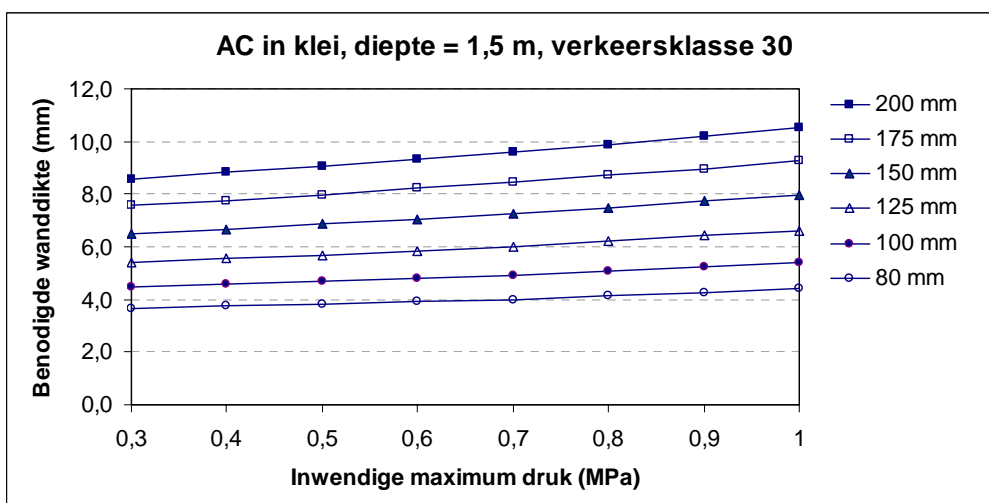
Grafiektype 2, kenmerk 1X213X



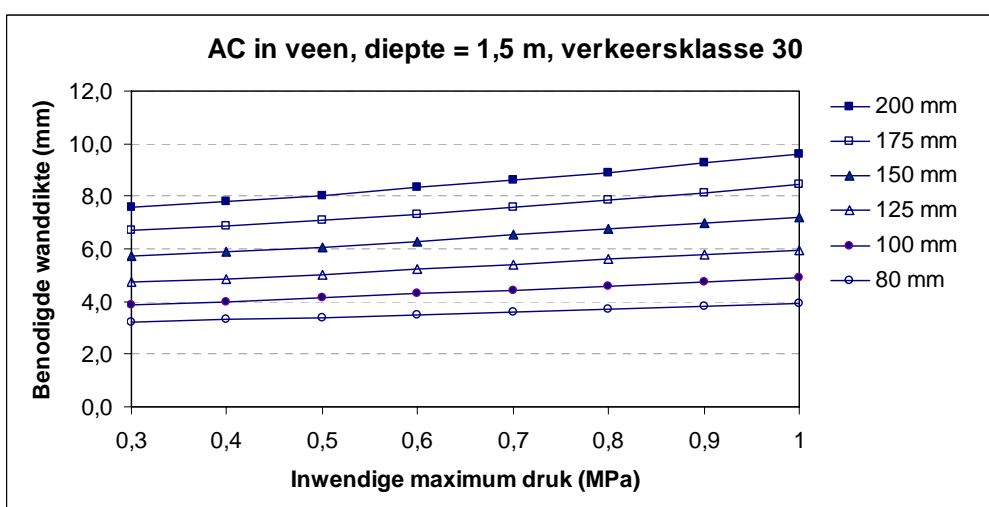
Grafiektype 2, kenmerk 1X313X



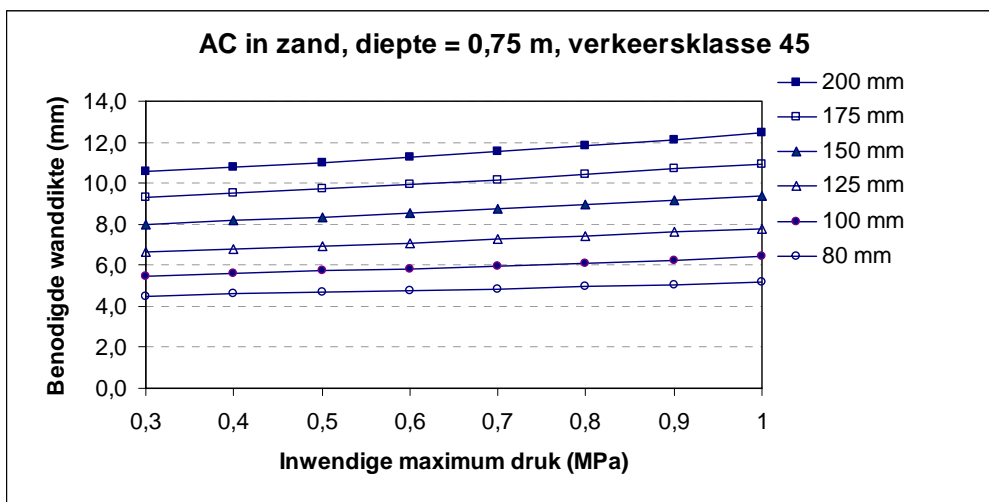
Grafiektype 2, kenmerk 1X123X



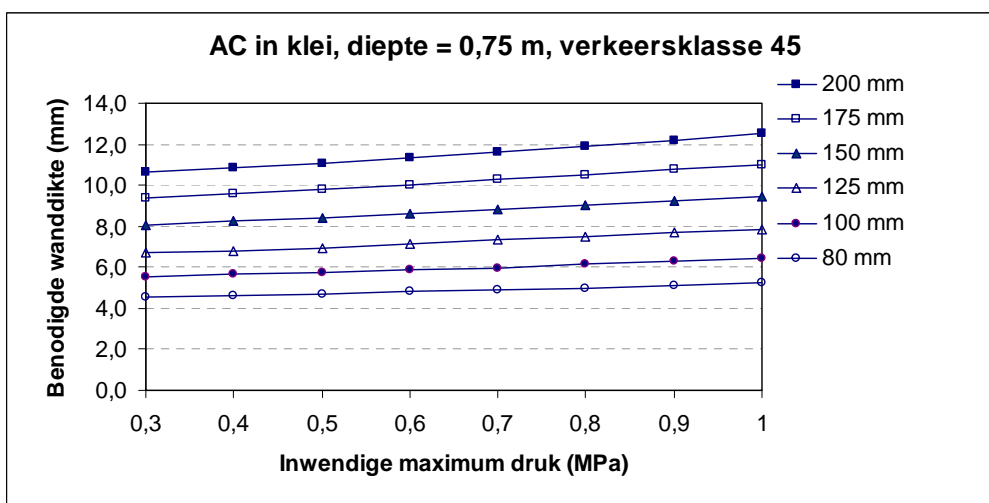
Grafiektype 2, kenmerk 1X223X



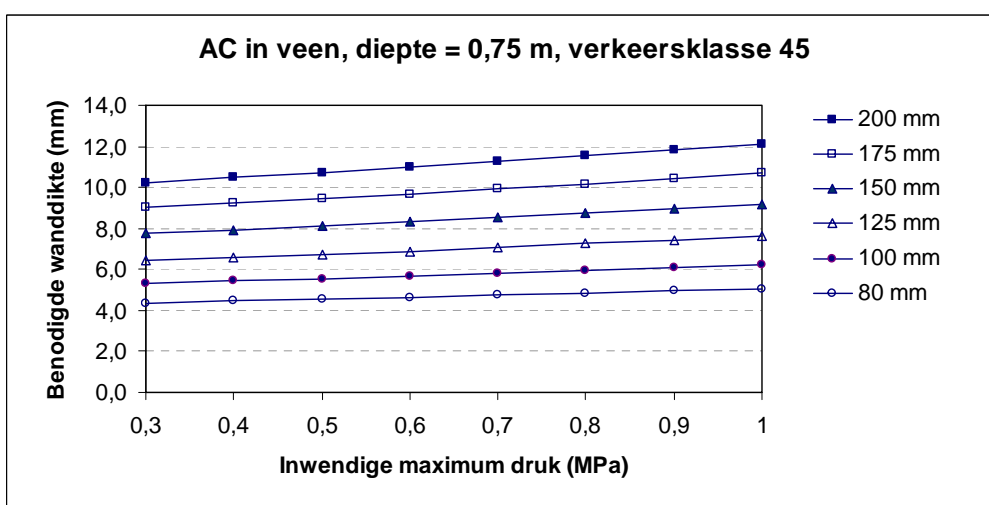
Grafiektype 2, kenmerk 1X323X



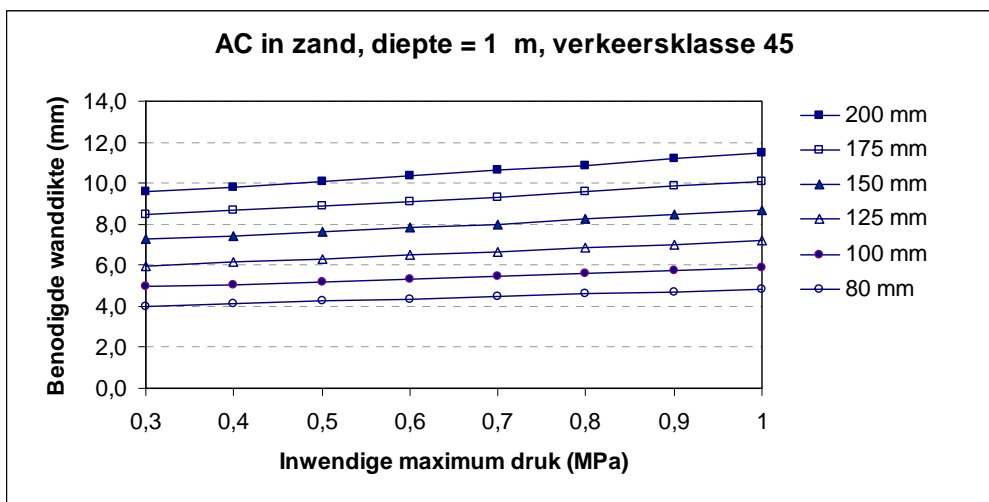
Grafiektype 2, kenmerk 1X131X



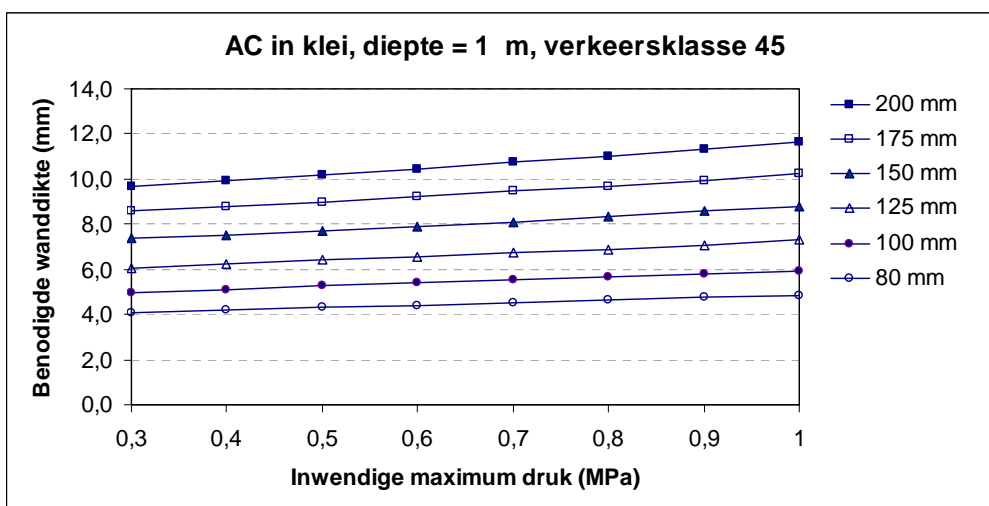
Grafiektype 2, kenmerk 1X231X



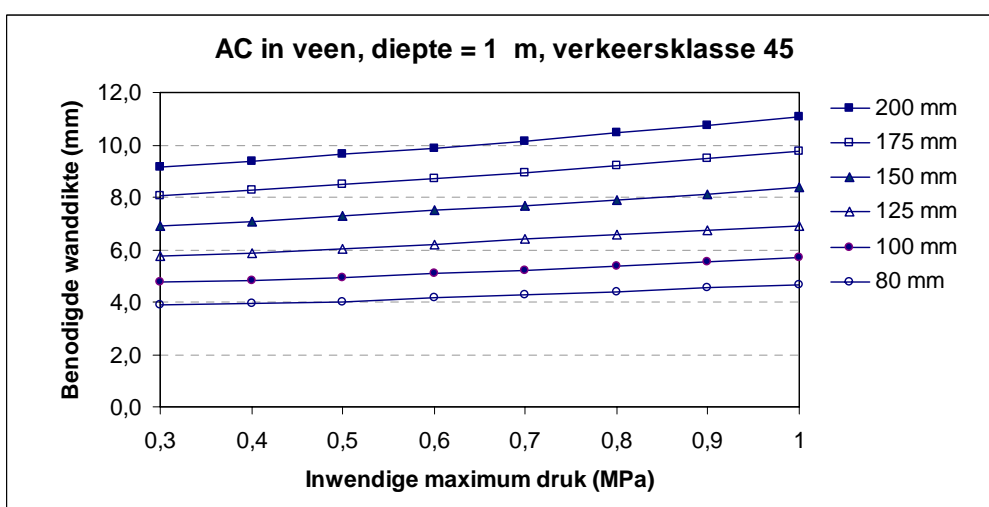
Grafiektype 2, kenmerk 1X331X



Grafiektype 2, kenmerk 1X132X

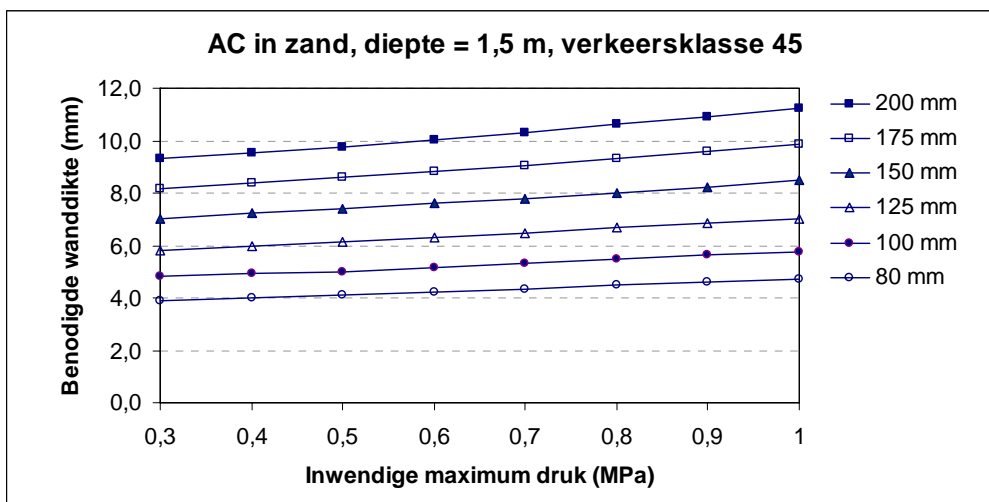


Grafiektype 2, kenmerk 1X232X

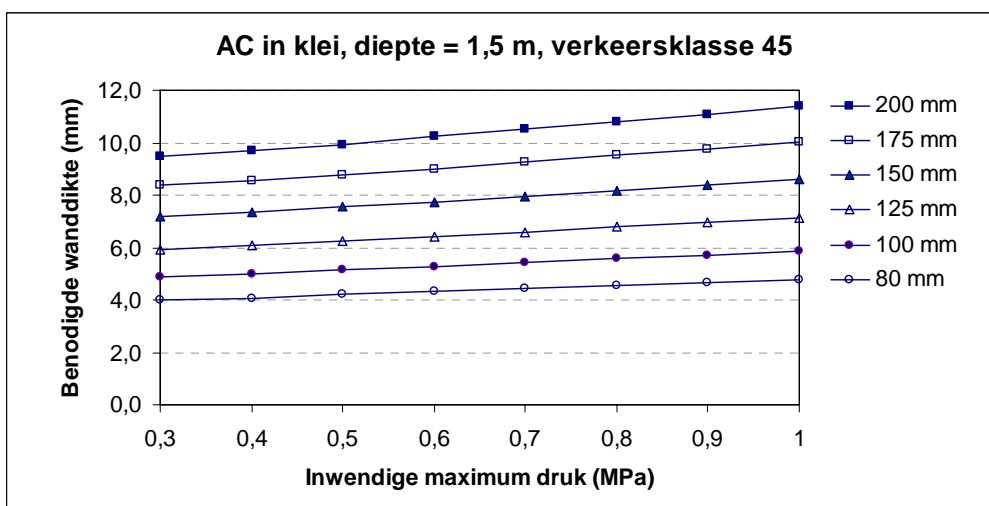


Grafiektype 2, kenmerk 1X332X

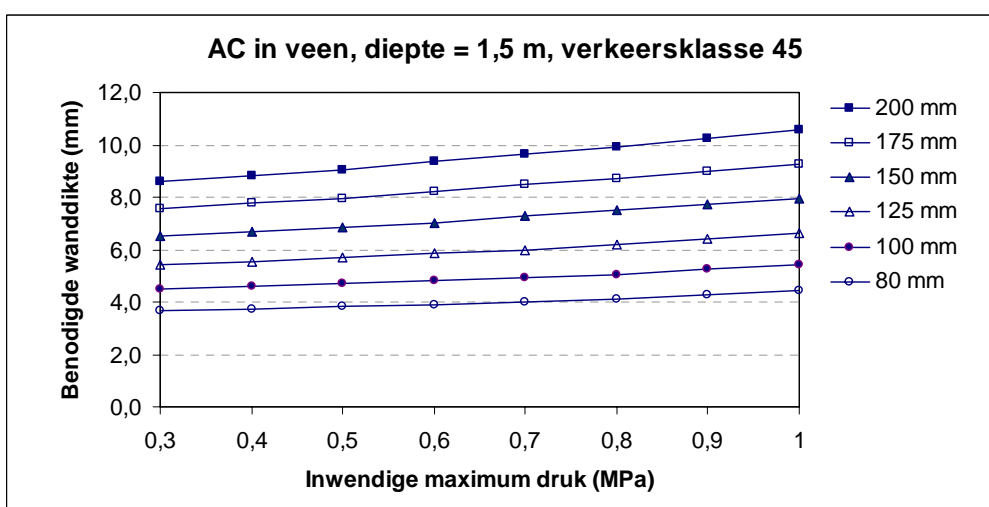




Grafiektype 2, kenmerk 1X133X



Grafiektype 2, kenmerk 1X233X



Grafiektype 2, kenmerk 1X333X