



George Mesman, KWR Watercycle Research Institute

Nellie Slaats, KWR Watercycle Research Institute

Arjen Boersma, TNO Industrie en Techniek

Bart Schultz, Oasen

Nieuwe methode inzetbaar bij saneringsbeslissingen PVC-leidingen

Het Nederlandse waterleidingnet bestaat momenteel voor ongeveer de helft uit PVC-leidingen. Eén van de conclusies van het bedrijfstakonderzoek voor de waterbedrijven luidde dat de levensduur van PVC-buizen afhankelijk is van een combinatie van initiële materiaaleigenschappen en van de belastingen die de buis ondervindt. Binnen dit onderzoek is een methode ontwikkeld om de restlevensduur te bepalen van de PVC-leidingen die in gebruik zijn, namelijk de 'weerstand tegen langzame scheurgroei'. Deze uitkomst van de methode geeft inzicht in de kans op vroegtijdig falen van een leiding. De testmethode is toegepast op schadegevallen uit de praktijk van Oasen om een uitspraak te doen over het wel of niet saneren van PVC-leidingen. De combinatie van verschillende onderzoeken blijkt een goede verklaring te geven voor opgetreden storingen in PVC-leidingen van Oasen. Hierdoor zijn saneringsbeslissingen beter en eenvoudiger te onderbouwen. De gevolgde methode van monitoring van de storingsfrequentie, gedetailleerd materiaalonderzoek (breukvlakonderzoek, MTC-test en bepaling van de weerstand tegen langzame scheurgroei) en het inschatten van de aanwezige belastingen geldt nu binnen Oasen dan ook als standaard voor grote saneringsbeslissingen over PVC-leidingen.

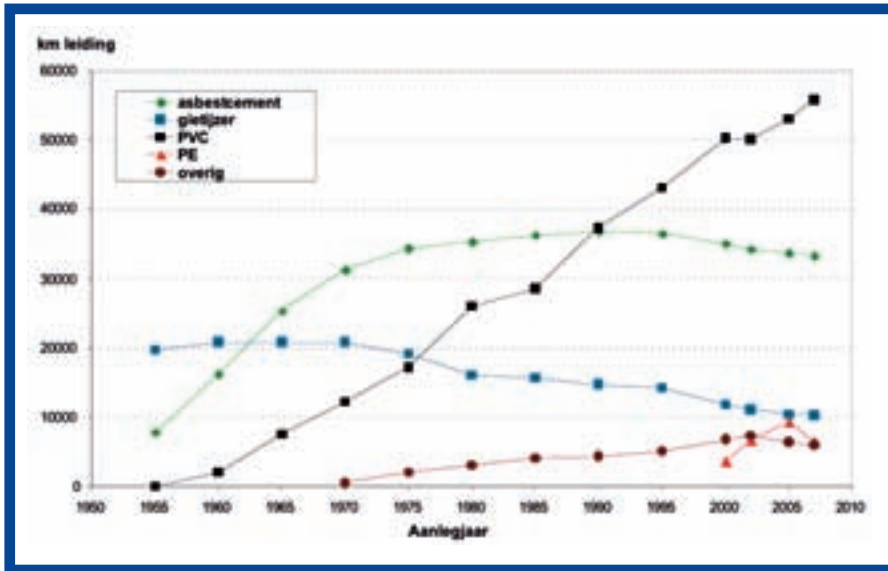
'Onbegrepen' lekkage in een PVC-leiding.



Drinkwaterbedrijf Oasen past in zijn leidingnet op grote schaal PVC-leidingen toe. In 2006 betrof het 57 procent (2400 km). Oasen is bijzonder geïnteresseerd in de conditie van PVC-leidingen, omdat veel van deze leidingen in bodems liggen waarin zettingen voorkomen, zoals veengronden. Ongelijkmatige zettingen verhogen de spanningen in een leiding. PVC is gevoeliger voor verhoogde spanningen dan andere materialen; de mate waarin verschilt per leiding. Ook in de rest van Nederland is PVC het meest gebruikte materiaal bij aanleg en vervanging. Anno 2009 bestaat het Nederlandse waterleidingnet voor circa de helft procent uit PVC-leidingen (afbeelding 1).

Ontwikkeling

PVC is een relatief jong leidingmateriaal dat door de jaren heen een behoorlijke ontwikkeling heeft doorgemaakt. Grondstoffenleveranciers, PVC-leidingfabrikanten en onderzoeksinstituten hebben in de jaren '60, '70 en '80 veel onderzoek verricht naar



Afb. 1: Ontwikkeling van het Nederlandse waterleidingnet sinds 1955.

de kwaliteit van PVC-buizen voor verschillende toepassingen. Tot halverwege de jaren '70 hebben leidingfabrikanten diverse recepturen en verschillende productie-methoden voor PVC gehanteerd, wat aanleiding gaf tot wisselende leiding-kwaliteiten. In negatieve zin zijn de 'oliecrisisbuizen' van begin jaren '70 bekend. Daartegenover staat dat het overgrote deel van de PVC-leidingen uit de beginperiode nog prima functioneert. Vanaf circa 1975 kreeg de kwaliteit van de productie van PVC-leidingen een permanent hoog niveau. Kiwa-beoordelingsrichtlijn BRL K17301 beschrijft de procedures en testen die voor PVC zijn ontwikkeld. Voor recent geproduceerde PVC-buizen die voldoen aan alle gestelde eisen in BRL K17301¹⁾, wordt een minimale technische levensduur verondersteld van 50 jaar.

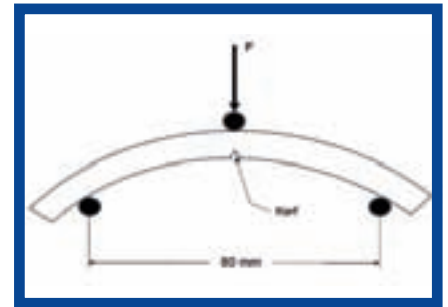
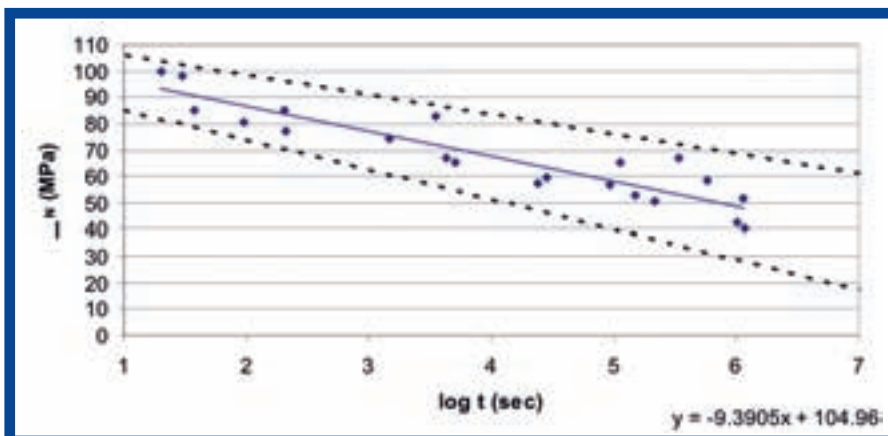
Conditie bepalen

Tussen 2002 en 2006 is binnen het bedrijfstack-onderzoek een methode ontwikkeld om de restlevensduur te bepalen van PVC-leidingen die in gebruik zijn^{2),3)}. De voornaamste conclusie luidde dat de levensduur van PVC-buizen afhankelijk is van de combinatie van de initiële materiaaleigenschappen én van de belastingen die de buis ondervindt.

Materiaaleigenschappen kunnen worden bepaald aan de hand van de weerstand tegen langzame scheurgroei en de geleergraad.

Deze weerstand is ontwikkeld op basis van metingen aan initiatie, groei en stabiliteit van scheurtjes in de buiswand, bij verschillende belastingen. Scheurtjes in PVC-buizen ontstaan onder invloed van de belastingen in en op de buis. Deze scheurtjes kunnen verder groeien, afhankelijk van de spanningscondities en de tijd dat deze spanningen heersen. De weerstand van het buismateriaal is afhankelijk van de kwaliteit van het PVC. Deze weerstand kan worden vastgesteld via een testmethode. De weerstand is een eigenschap van PVC die gedurende de levensduur van een buis slechts weinig verandert. De verandering in weerstand is het grootst in slecht geleerde buizen. Ook de geleergraad van het PVC is dus van belang voor de levensduur en een maat voor de homogeniteit van het in PVC opgebouwde netwerk tijdens het verwerkingsproces. De geleergraad geeft informatie over de uitgangssituatie van de PVC-buis en verandert niet of nauwelijks tijdens de levensduur. Ze wordt bepaald met de dichloormethaantest (NEN-EN 580).

Afb. 3: Bezwijktijden bij opgelegde spanningen door een driepuntsbuigproef. Ter indicatie: log t=6 komt overeen met één miljoen seconden of 11,6 dagen; log t=7 staat voor tien miljoen seconden of 115,7 dagen. Tussen de stippellijnen ligt het 95% betrouwbaarheidsinterval.



Afb. 2: Opstelling van de driepuntsbuigproef.

De belasting op leidingen is opgebouwd uit verschillende onderdelen:

- de inwendige waterdruk, die resulteert in een wandspanning en een langsspanning;
- de externe gronddruk, gelijkmatig opgevangen of geconcentreerd;
- waterslag;
- verkeerslasten;
- en alles wat een plotselinge belasting op een buis geeft, zoals aanboring.

Een inventarisatie van de belastingen kan een kwantitatieve schatting opleveren van de inwendige spanningen in de leiding onder gebruikscondities. Ook een goede storingsanalyse vormt een belangrijke bron van informatie. Bij storingen dient aandacht te worden besteed aan eventuele beschadigingen aan en verontreinigingen in het PVC-materiaal. Voor individuele leidingen kunnen aanvaardbare storingsfrequenties worden vastgesteld, gebaseerd op als het effect op de levering, vervolgschade bij breuk of klantperceptie. Het registreren van storingen in de leiding via een uniforme registratie helpt bij het nemen van de saneringsbeslissing.

Weerstand tegen langzame scheurgroei

De weerstand tegen langzame scheurgroei wordt bepaald met proefstukken uit de te onderzoeken leiding. Van een aangeleverd buisdeel worden enkele ringen gezaagd, die worden verdeeld in segmenten met een lengte van 110 millimeter. In het midden van de binnenkant van elk segment wordt een kerf gefreesd, met een diepte van ongeveer één, twee of drie millimeter. De gekerfde proefstukken worden belast in een 'driepuntsbuiging' (zie afbeelding 2). Men registreert de tijd tot falen, waarna een inspectie van het breukvlak volgt om het breukmechanisme te bepalen (bros of taai). Een deeltje in de buiswand, verkoold PVC of een metaaldeeltje, kan het initiatiepunt vormen voor scheurvorming, maar ook een kras in de buiswand. De weerstand tegen langzame scheurgroei geeft dan de tijd aan die na scheurvorming leidt tot breuk, onder de aangelegde spanning. Bij langzame scheurgroei vertonen de proefstukken taai breukgedrag. Slechts bij hele slechte of extreem verouderde buizen is bros breukgedrag te zien. De netto spanning aan de tip van de kerf (σ_N) kan voor een driepuntsbuiging worden berekend volgens:

$$\sigma_N = \sigma / \left(1 - \frac{a}{w}\right)^2$$

waarin: a = kerfdiepte, σ = de aangelegde spanning, w = de dikte van het proefstuk.

De resultaten van de onderzochte buizen zijn uitgezet in grafieken waarin de netto spanning is uitgezet tegen de logaritme van de tijd tot bezwijken van het proefstuk (afbeelding 3).

Omdat de spanningsverdeling in de wand bij een driepuntsbuigproef anders is dan de optredende wandspanning tijdens gebruik van de leiding, moeten de resultaten van de driepuntsbuigproef worden vertaald naar de spanningstoestand van de buis in de grond om het bezwijken van een buis onder inwendige waterdruk te beschrijven.

Voor dikwandige buizen geldt dat de bezwijkspanning gelijk is aan ongeveer $0,6 \cdot \sigma_n$. Het onderzochte buisdeel in afbeelding 2 is nu 20 jaar in gebruik. De huidige bezwijkspanning bedraagt 13,3 MPa ($t = 20$ jaar, $\log t = 8,8$). Na 32 jaar ($\log t = 9$) heeft dit buisdeel een sterkte van 12,2 MPa. Het buisdeel heeft na 100 jaar ($\log t = 9,5$) een bezwijkspanning ten gevolge van inwendige druk van 9,4 MPa. De uitkomst is een verwachting voor de tijd dat een bepaalde spanning door het materiaal weerstaan kan worden. Bij een bekende of ingeschatte spanning in het materiaal kan hiermee dus bepaald worden wat de levensduurverwachting van de leiding is. Hoewel onderzoek heeft aangetoond dat de weerstand tegen langzame scheurgroei een goede test is, bestaat hiervoor nog geen norm.

Toepassing weerstandstest

Sinds 2000 voert Oasen systematisch onderzoek uit naar storingen in PVC-leidingen, tot 2006 vooral door visueel onderzoek en het bepalen van de geleergraad. In de periode van 2006 tot 2008 zijn tien leidingen waarin storingen optraden, onderzocht met de nieuw ontwikkelde weerstand tegen langzame scheurgroei en andere meetmethoden⁴⁾. Van de buisdelen A - D zijn in dit artikel de weerstandsresultaten gerapporteerd, van de buisdelen 1 - 6 zijn daarnaast ook de ligging, belasting en de beoordelingen gerapporteerd. Oasen heeft de buisdelen voor onderzoek aangeboden om een uitspraak te kunnen doen over de restlevensduur van de leiding waaruit ze afkomstig zijn. Tabel 1 geeft een aantal kentallen van de onderzochte buisdelen. Ze liggen allemaal op dieptes tussen 0,6 tot 1,5 meter in bodems die variëren van zand tot veen. Er is geen sprake van bijzondere drukken.

Tijdens het onderzoek zijn de buisdelen visueel gecontroleerd, onder meer op de aanwezigheid van beschadigingen. Als scheuren aanwezig waren, zijn foto's gemaakt van beschadigingen en/of van het 'startpunt' van de scheur. Vaak zijn dit kristallijne deeltjes of vuilinsluitels. Vervolgens zijn van de buisdelen de wanddikte bepaald van buisdelen en de 'onrondheid', de weerstand tegen aantasting door dichloor-methaan bij een vastgestelde temperatuur ('MTC-test') volgens NEN-EN 580⁵⁾ en de weerstand tegen langzame scheurgroei. Indien originele breukvlakken op het onderzoeksmateriaal aanwezig zijn, worden deze

Tabel 1. Kentallen onderzochte leidingdelen 1 - 6.

buis-deel	aanleg-jaar	nominale diameter (mm)	druk-klasse PN	druk (kPa)	plaats in weglichaam
1	1970-1975	500	7,5	320	variërend
2	1970-1975	500	6	320	
3	1975-1979	315	6	280-300	in smalle berm met bomen naast sloot
4	1975-1979	315	7,5	380-400	volledig in provinciale weg
5	1970-1974	500	7,5	400-410	
6	1970-1974	315	7,5	380	

Tabel 2. Langeduur sterktes op basis van de weerstand tegen langzame scheurgroei van de tien onderzochte buisdelen.

buisdeel	t = 25 jaar log t = 8,9	bezwijk- spanning (MPa)	t = 50 jaar log t = 9,2 95% L	95% U	t = 100 jaar log t = 9,5	t (jaar) bij $\sigma_y = 12,5$ MPa
buis A	12,8	12,2	4,6	29,6	11,5	36
buis B	2,8	1,3	-17,2	20,8	-	0,2
buis C	6,2	4,9	-4,7	18,5	3,6	0,9
buis D	12,7	11,1	-0,1	31,2	9,4	28
buis 1	8,5	7,1	-19,9	37,8	5,7	3,4
buis 2	6,3	4,9	-9,8	23,5	3,4	1,3
buis 3	19,5	18,4	9,9	41,8	17,3	>100
buis 4	17,2	16,1	-0,7	45,9	15,0	>100
buis 5	24,1	23,2	18,8	46,3	22,2	>100
buis 6	14,6	13,1	0,8	36,0	11,6	66

onderzocht op mogelijke initiatiepunten. In de buisdelen 1, 2 en 3 zijn deeltjes of holten aangetroffen.

Alle onderzochte buisdelen voldoen aan de gestelde eisen voor de wanddikte en onrondheid. Buisdeel 1 en buisdeel 2 voldoen niet aan de gestelde eisen voor de geleergraad. Buisdeel 3, 4, 5 en 6 voldoen hier wel aan.

Van tien buisdelen is de weerstand tegen langzame scheurgroei bepaald. Op basis van de resultaten van de test zijn de maximumspanningen te berekenen na 25 jaar (ongeveer huidige leeftijd), na 50 jaar (maximum economische afschrijvingstermijn) en na 100 jaar (horizon voor mogelijke technische levensduur). De resultaten zijn samengevat in tabel 2. Voor de weerstand tegen langzame scheurgroei na 50 jaar zijn ook de 95% intervallen bepaald en weergegeven in de grijze kolommen.

Uit het onderzoek naar de weerstand tegen langzame scheurgroei in 2006 volgen langeduursterktes ($t = 50$ jaar) van 15 tot 25 MPa. De laatste kolom in de tabel geeft de resterende levensduur bij de algemeen aanvaarde ontwerpspanning voor PVC.

Materiaalspanningen in buisdelen

Voor de verschillende buisdelen zijn de materiaalspanningen onder verschillende omstandigheden uitgerekend en in de tweede kolom van tabel 3 weergegeven. De materiaalspanningen ten gevolge de gronddruk zijn voor acht situaties uitgerekend, te weten: een diepteligging van 0,6 en 1,5 meter, de spanningen met en zonder inwendige waterdruk en voor een

kleine en grote opleghoek (70° en 120°). Hierbij is uitgegaan van een ligging in een zandbed met een sleufvulling van zand. Het grote verschil tussen de situatie met en zonder inwendige waterdruk ontstaat door het 'reroundingeffect' van een leiding met beperkte stijfheid onder inwendig druk. De resultaten zijn samengevat in tabel 3.

Van de onderzochte buisdelen ligt buisdeel 4 onder het wegdek. Omdat nadere gegevens over wegconstructie en diepteligging ontbreken, gaan de onderzoekers uit van een diepteligging van één meter onder een wegconstructie.

Beoordeling belastingen op onderzochte buisdelen

Voor de beoordeling van de buisdelen zijn vooral de permanent langdurig optredende spanningen van belang. De waterslag die optreedt, is beperkt in amplitude (geen extreem lage druk en een beperkte maximumdruk) en beperkt in voorkomen in tijd, want de pompstations zijn uitgerust met waterslagvoorzieningen.

Op basis van de resultaten en de uitgangssituatie als hierboven is onderzocht of het eerdere falen van de buizen te verklaren is. De beoordeling is samengevat in tabel 4. In de laatste kolom is weergegeven in hoeverre de uitslagen van het onderzoek verklarend zijn voor het al dan niet falen van een leiding. Dit is zo in vier van de zes gevallen.

Tabel 5 geeft de conclusies per buisdeel en maakt duidelijk dat de uitgevoerde metingen een goede bijdrage leveren bij saneringsbeslissingen.

Tabel 3. Berekende materiaalspanningen ten gevolge van gronddruk (zand)

buis-deel	optredende spanning t.g.v. waterdruk (MPa)	materiaal spanningen (MPa)							
		diepteligging 0,6 m				diepteligging 1,5 m			
		opleghoek 70°		opleghoek 120°		opleghoek 70°		opleghoek 120°	
		drukloos	druk	drukloos	druk	drukloos	druk	drukloos	druk
1	5,2	7,3	2,1	5,6	1,6	18,1	5,2	14,1	4,0
2	6,2	10,1	2,1	7,9	1,7	25,3	5,2	19,6	4,4
3	5,8	10,3	2,1	8,0	1,7	25,7	5,2	19,9	4,4
4	6,4	7,1	2,1	5,6	1,6	17,9	5,2	13,9	4,0
5	6,4	7,3	2,1	5,6	1,6	18,1	5,2	14,1	4,0
6	6,1	7,2	2,1	5,6	1,6	17,9	5,2	13,9	4,0

Tabel 4. Beoordeling buisdelen. WLS = weerstand tegen langzame scheurgroei.

buis-deel	50 jaar sterkte volgens WLS (Mpa)	σ in de buiswand t.g.v. waterdruk en bovenbelasting (MPa)		σ ten gevolge van verkeersbelasting (MPa)	deeltjes in PVC-matrix aangetroffen	uitslag MTC	verklaring voor falen
		σ in de buiswand t.g.v. waterdruk en bovenbelasting (MPa)					
		0,6 m diep	1,5 m diep				
1	7,1	6,8	9,2	niet bekend	ja	X	ja
2	4,9	7,9	10,6	niet bekend	ja	X	ja
3	18,4	7,5	10,2	niet bekend	ja	ok	ja
4	16,1	8,0	10,4	8,0	nee	ok	ja
5	23,2	8,0	10,4	niet bekend	nee	ok	nee
6	13,1	7,7	10,1	niet bekend	nee	ok	nee

Tabel 5. Saneringbeslissing per buisdeel op basis van weerstand tegen langzame scheurgroei en geleergraad.

buis-deel	weerstand tegen langzame scheurgroei (> 12,5 MPa)		bijzonderheid	advies
	geleergraad	bijzonderheid		
1	voldoet niet	voldoet niet	deeltjes in PVC-matrix	saneren indien storing-frequentie aanleiding geeft
2	voldoet niet	voldoet niet	deeltjes in PVC-matrix	saneren indien storing-frequentie aanleiding geeft
3	voldoet	voldoet	holten in PVC-matrix	saneren als uitwijst dat holten en deeltjes in de PVC-matrix terugkerende oorzaak van falen is
4	voldoet	voldoet	belasting te hoog	sanering indien storings-frequentie van zwaar belaste leidingdelen daartoe aanleiding geeft
5	voldoet	voldoet		niet saneren
6	voldoet	voldoet		niet saneren

Voor buisdeel 6 wordt de nauwkeurigheid van de bepaling van de weerstand tegen langzame scheurgroei van belang. Het 95% betrouwbaarheidsinterval voor $t = 50$ jaar ($\log t \text{ (sec)} = 9,2$) tussen 0,8 en 36 MPa. Een sanering van deze leiding hangt dan sterk af van de storingsfrequentie.

Conclusies

In dit onderzoek is de bepaling van de weerstand tegen langzame scheurgroei voor de eerste keer ingezet voor het onderbouwen van saneringsbeslissingen van PVC-leidingen. Door de geleergraad, de verwachting voor de weerstand tegen langzame scheurgroei, de berekende belastingen op de buis en een analyse van storingsgegevens van de onderzochte leiding te combineren, is een

onderbouwde uitspraak te doen over wel of niet saneren van een leiding. De leidingdelen die voor dit onderzoek ter beschikking zijn gesteld, zijn afkomstig van schadegevallen uit leidingen met een bekende storingsfrequentie. Bij de uiteindelijke beslissing over al dan niet saneren heeft ook de hoogte van de storingsfrequentie een rol gespeeld.

Op basis van alle resultaten (materiaal-onderzoek plus storingsfrequentie) heeft Oasen de volgende beslissingen genomen:

- een volledige sanering van een $\varnothing 500$ mm transportleiding in Zoeterwoude (leidingdeel 1 en 2);
- een volledige sanering van een $\varnothing 315$ mm transportleiding in Gouda (leidingdeel 6);

- een gedetailleerde studie naar de ligging van een $\varnothing 500$ mm transportleiding in Kamerik. Waar nodig worden maatregelen genomen om de belasting op de leiding te beperken (leidingdeel 5). De gevolgde methode van monitoring van de storingsfrequentie, gedetailleerd materiaalonderzoek (breukvlakonderzoek, MTC-test en bepaling van de weerstand tegen langzame scheurgroei) en een inschatting van de aanwezige belastingen is binnen Oasen opgepakt als standaard voor grote saneringsbeslissingen in PVC-leidingen.

LITERATUUR

- 1) Kiwa (2007). BRL-K17301: 'Beoordelingsrichtlijn voor het Kiwa productcertificaat voor leidingssystemen van PVC voor transport van drinkwater en ruw water'.
- 2) Slaats N., J. Vreeburg, A. Boersma en J. Breen (2003). PVC-waterleidingen: hoe lang gaan ze mee? H₂O nr. 16, pag. 25-28.
- 3) Breen J., A. Boersma, P. Slaats en J. Vreeburg (2004). Long term performance prediction of existing PVC water distribution systems. Proceedings Plastic Pipes XII-conferentie in Milaan.
- 4) Mesman G. en M. Meerkerk (2008). Onderzoek PVC buisdelen Oasen. KWR Watercycle Research Institute. KWR 08.088.
- 5) Nederlands Normalisatie Instituut (2003.) EN-EN 580: 'Kunststofleidingssystemen - PVC-U buizen - Beproevingmethode voor de bepaling van de weerstand tegen aantasting voor dichloormethaan bij een vastgestelde temperatuur (DCMT)'.